



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων μέσω της χρήσης προηγμένων αλγορίθμων πρόβλεψης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΦΛΑΜΠΟΥΡΗ ΒΑΡΒΑΡΑ

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

Υπεύθυνος: Αχιλλέας Ράπτης,
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε. Μ. Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

Βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων μέσω της χρήσης προηγμένων αλγορίθμων πρόβλεψης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΦΛΑΜΠΟΥΡΗ ΒΑΡΒΑΡΑ

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

Υπεύθυνος: Αχιλλέας Ράπτης,
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε. Μ. Π.

Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χρυσόστομος Δούκας
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2020

Φλαμπούρη Βαρβάρα

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

Copyright © Βαρβάρα Β. Φλαμπούρη, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου συμπεριλαμβανόμενων Σχολών, Τομέων και Μονάδων αυτού.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στο σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός σύγχρονου συστήματος πρόβλεψης αποθέματος και αυτοματοποίησης παραγγελιών από την κεντρική αποθήκη για την κάλυψη των αναγκών μιας μεγάλης αλυσίδας supermarket. Το τελικό σύστημα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με το ERP της επιχείρησης, με στόχο την αυτόματη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, την παραγωγή προβλέψεων και την αυτόματη τοποθέτηση των παραγγελιών στους προμηθευτές. Το τελικό σύστημα δεν έχει κάποιο γραφικό περιβάλλον διεπαφής, με στόχο την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας και την αποφυγή σφαλμάτων λόγω λανθασμένων χειρισμών των χρηστών.

Εισαγωγικά, παρουσιάζεται μια ανάλυση της έννοιας του αποθέματος, των κατηγοριών του και του κόστους που αυτό εμπεριέχει για μία επιχείρηση. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι σημαντικότερες έννοιες των προβλέψεων, ενώ αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά των χρονοσειρών και η διαδικασία επεξεργασίας τους που προηγείται της πρόβλεψης. Ύστερα από την περιγραφή των μεθόδων πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθούν, παρουσιάζονται δείκτες μέτρησης της ακρίβειας και περιγράφεται η διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης κάθε φορά τεχνικής, μέσω ελαχιστοποίησης του σφάλματος. Επιπλέον, παρουσιάζεται η σύγχρονη επικρατούσα κατάσταση στον κλάδο των λογισμικών παραγωγής προβλέψεων και επιχειρησιακών πόρων, με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάγκη που καλείται να καλύψει το συγκεκριμένο σύστημα.

Στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία του συστήματος. Αναλύεται η ταξινόμηση των κωδικών της αποθήκης μέσω της ABC-XYZ ανάλυσης, που οδηγεί στο σύνολο των κωδικών προς βελτιστοποίηση. Στο σύνολο των κωδικών διαχειρίζονται οι ακραίες και κενές τιμές, ώστε να γίνει η παραγωγή προβλέψεων και, εν συνεχεία, γίνεται ο υπολογισμός της τελικής παραγγελίας, βάσει ορισμένων μεγεθών και περιορισμών που έχει ορίσει η επιχείρηση. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια απλουστευμένη εκδοχή της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Τέλος, καταγράφονται τα αποτελέσματα και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του συστήματος, μέσα από προσομοιώσεις διαφορετικών χρονικών περιόδων, καθώς οι μελλοντικές προεκτάσεις αυτού.

Λέξεις Κλειδιά: Τεχνικές προβλέψεων, Βελτιστοποίηση αποθέματος, Διαχείριση αποθήκης

Abstract

The aim of this thesis focuses on the design and implementation of a modern system for inventory forecasting and purchase order automation that covers the needs of the central warehouse of a big supermarket chain. The solution integrates with the company's ERP system, in order to automatically collect all the necessary data, produce forecasts and place the purchase orders to the vendors. The system has no graphic User Interface, to secure the complete automation of the process and to avoid errors due to improper use.

Firstly, the concept of inventory, its categories and all the relevant costs for an enterprise are analyzed. Consequently, the key forecasting concepts are described, and the time series characteristics and processing procedure before the forecast are developed. After describing the forecasting methods that will be used, accuracy indexes are presented along with the process of selecting each time the most suitable method, through error minimization. Furthermore, the prevalent state in the fields of forecasting and enterprise resource planning software is presented, with special focus on the needs that the specific software must meet.

Following that, the system's methodology is thoroughly described. The warehouse product codes classification through ABC-XYZ analysis is defined, leading to the final group of codes that will be optimized. In the original group of product codes, missing values and outliers are handled in order to proceed with the forecasting process and, consequently, the final order is calculated for each product code, based on specific metrics and limitations that the organization has put. Moreover, a simplified architecture of the system is presented.

Finally, the results and advantages that arise from the use of the system, through simulations of different time periods, as well as its future extensions.

Key words: forecasting techniques, inventory optimization, warehouse management

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020. Η μονάδα υπάγεται στον Τομέα Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Βασίλειο Ασημακόπουλο για την ευκαιρία και την ώθηση που μου έδωσε να χρησιμοποιήσω γνώσεις και τεχνικές από τον ευρύτατο τομέα των προβλέψεων για την επίλυση ενός προβλήματος της πραγματικής ζωής ώστε να ξεφύγω από τα πλαίσια μιας καθιερωμένης διπλωματικής και να βοηθήσω μια επιχείρηση να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες και τη λειτουργία της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Δ. Ασκούνη και Χ. Δούκα για την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να απευθύνω στον Υπ. Διδάκτωρ Αχιλλέα Ράπτη, η συμβολή του οποίου υπήρξε καθοριστική για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η βοήθεια και οι συμβουλές του τόσο σε οργανωτικό, όσο και επιστημονικό επίπεδο υπήρξαν πολύτιμες, χωρίς να παραλείπεται η ηθική συμπαράσταση και υποστήριξη που μου παρείχε.

Για τη συνεισφορά του σε πρακτικό επίπεδο σε όλα τα στάδια της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα ιδιαιτέρως να ευχαριστήσω τον Διδάκτωρ Βαγγέλη Σπηλιώτη, καθώς χωρίς την καθοριστική βοήθειά του αυτή η διπλωματική δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την απεριόριστη υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Φλαμπούρη Βαρβάρα

Αθήνα, Ιούνιος 2020

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	9
Πρόλογος	11
Πίνακας Περιεχομένων	13
Πίνακας εικόνων	17
1. Ευρεία περίληψη	19
1.1. Εισαγωγή	19
1.1.1. Διαχείριση αποθεμάτων αποθηκών	19
1.1.2. Καταγραφή του προβλήματος	22
1.1.3. Στόχος της διπλωματικής	22
1.2. Τεχνικές προβλέψεων	23
1.2.1. Μέθοδοι χρονοσειρών	23
1.3. Συστήματα λογισμικού	24
1.3.1. Συστήματα προβλέψεων	24
1.3.2. Συστήματα επιχειρησιακού λογισμικού	25
1.4. Μεθοδολογία και αρχιτεκτονική συστήματος	26
1.4.1. Μεθοδολογία	26
1.4.2. Αρχιτεκτονική συστήματος	29
1.5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων	30
1.6. Μελλοντικές Προεκτάσεις	32
2. Εισαγωγή	33
2.1. Διαχείριση αποθεμάτων αποθηκών	34
2.1.1. Σκοπός διατήρησης αποθεμάτων	36
2.1.2. Στοιχεία κόστους αποθεμάτων	36
2.1.3. Εξαρτημένα και ανεξάρτητα ζήτηση	37
2.1.4. Κατηγορίες αποθεμάτων	38
2.1.5. Μέθοδοι μείωσης παραγγελιών	40
2.1.6. Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων	41

2.2.	Καταγραφή του προβλήματος.....	48
2.3.	Στόχος της διπλωματικής.....	50
3.	Τεχνικές προβλέψεων	51
3.1.	Γενικά για τις προβλέψεις.....	51
3.2.	Χαρακτηριστικά χρονοσειρών	53
3.2.1.	Εισαγωγή	53
3.2.2.	Ανάλυση έννοιας χρονοσειράς.....	53
3.2.3.	Αναπαράσταση χρονοσειρών	54
3.2.4.	Ποιοτικά χαρακτηριστικά χρονοσειρών.....	57
3.3.	Κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης	62
3.3.1.	Ποσοτικές μέθοδοι	62
3.3.2.	Κριτικές μέθοδοι.....	65
3.3.3.	Τεχνολογικές μέθοδοι.....	66
3.4.	Κυριότερες μέθοδοι πρόβλεψης	67
3.4.1.	Απλοϊκή Μέθοδος (Naive).....	67
3.4.2.	Μέθοδοι μέσου όρου.....	68
3.4.3.	Απλή γραμμική παλινδρόμηση.....	70
3.4.4.	Μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης	71
3.4.5.	Μοντέλο Theta.....	78
3.4.6.	Μέθοδοι διακοπτόμενης ζήτησης.....	82
3.5.	Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης	88
3.6.	Συνδυασμοί μεθόδων πρόβλεψης	90
3.7.	Δείκτες αξιολόγησης προβλέψεων	90
3.7.1.	Βασική στατιστική ανάλυση	91
3.7.2.	Στατιστική ανάλυσης ακρίβειας προβλέψεων	93
3.7.3.	Ρυθμός ανάπτυξης.....	95
4.	Συστήματα λογισμικού	97
4.1.	Συστήματα προβλέψεων.....	97
4.2.	Συστήματα επιχειρησιακού λογισμικού.....	105

4.2.1. Συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resource Planning - ERP).....	105
4.2.2. Συστήματα διαχείρισης αποθήκης (Warehouse Management Systems – WMS)	109
5. Μεθοδολογία και αρχιτεκτονική συστήματος.....	119
5.1. Ανάλυση ABC-XYZ.....	119
5.2. Διαγωνισμός προβλέψεων.....	122
5.3. Αλγόριθμος παραγγελίας και προσαρμογές	126
5.4. Αρχιτεκτονική συστήματος	128
6. Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	131
7. Επίλογος.....	143
7.1. Μελλοντικές προεκτάσεις.....	144
8. Βιβλιογραφία.....	147

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας.....	42
Εικόνα 2 Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας.....	44
Εικόνα 3 Η Μέθοδος Theta.....	81
Εικόνα 4 Κατηγορίες ταξινόμησης ζήτησης.....	83
Εικόνα 5 Μεθοδολογία ADIDA.....	87
Εικόνα 6 Βασικές λειτουργίες και δυνατότητες ενός ERP συστήματος.....	106
Εικόνα 7 Βασικές λειτουργίες και δυνατότητες ενός WMS συστήματος.....	112
Εικόνα 8 ABC-XYZ ταξινόμηση των κωδικών προϊόντων της αποθήκης.....	121
Εικόνα 9 Παράδειγμα διαχωρισμού χρονικού εύρους δεδομένων για την διαδικασία παραγωγής προβλέψεων	125
Εικόνα 10 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος.....	130
Εικόνα 11 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για το σύνολο της αποθήκης.....	138
Εικόνα 12 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για το σύνολο των κωδικών της γραμμής X	138
Εικόνα 13 Γραφική απεικόνιση του δείκτη αποθέματος.....	139
Εικόνα 14 Γραφική απεικόνιση του δείκτη εξυπηρέτησης	139
Εικόνα 15 Γραφική απεικόνιση του δείκτη κόστους.....	140
Εικόνα 16 Γραφική απεικόνιση του δείκτη αποθηκοημερών	140
Εικόνα 17 Δείγμα αναλυτικής αναφοράς ανά οικογένεια προϊόντων	141
Εικόνα 18 Δείγμα αναλυτικής αναφοράς ανά προμηθευτή.....	142

1. Ευρεία περίληψη

1.1. Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα τόσο για την παγκόσμια οικονομία όσο και για οποιαδήποτε επιχείρηση και οργανισμό είναι να μπορεί να προβλέπει τη ζήτηση των πελατών της, ώστε να προσαρμόζει ανάλογα την παραγωγή της αντίστοιχης ποσότητας, ή την παραγγελία στους προμηθευτές της. Ως ζήτηση μεταφράζεται το ύψος του αποθέματος που παράγει ή προμηθεύει η επιχείρηση αυτή για κάθε προϊόν.

Τα είδη που παράγονται και διατηρούνται σε απόθεμα διαφέρουν στα βασικά τους χαρακτηριστικά, στον τρόπο που συσκευάζονται και στον τρόπο που αποθηκεύονται. Διαφορές εκδηλώνονται και στη ζήτηση των προϊόντων αυτών. Πολλά προϊόντα εμφανίζουν αποκλειστικά εποχιακή ζήτηση. Άλλα διαθέτουν υποκατάστατα ή συμπληρωματικά προϊόντα. Κάποια απαιτούν άμεση παράδοση, ενώ άλλα παραδίδονται μετά από ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

1.1.1. Διαχείριση αποθεμάτων αποθηκών

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί σημαντική ευθύνη για τη διοίκηση ενός παραγωγικού συστήματος. Ως απόθεμα θεωρείται η ποσότητα πρώτων υλών ή αγαθών που εισάγεται στο σύστημα και υπερβαίνει την αντίστοιχη ποσότητα που εξάγεται από το σύστημα. Η δημιουργία αποθεμάτων είναι σχεδιασμένη, ή είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων όπως ο κακός προγραμματισμός ή τα έκτακτα φαινόμενα. Για τις περισσότερες επιχειρήσεις είναι αναγκαία η ύπαρξη αποθέματος λόγω της αβεβαιότητας κάλυψης των εκάστοτε αναγκών ζήτησης. Πολλές φορές, επίσης, η διατήρηση αποθέματος βοηθά τις επιχειρήσεις να εκμεταλλευτούν προσφορές ή συμφέρουσες συμφωνίες με τους προμηθευτές τους και να μειώσουν το αρχικό κόστος των προϊόντων τους, μεγιστοποιώντας τα περιθώρια κέρδους τους.

Για τη σωστή και αποτελεσματική διαχείριση του αποθέματος μιας επιχείρησης, έχουν σχεδιαστεί διάφορα συστήματα διαχείρισης αποθέματος, με σκοπό τον σωστό προγραμματισμό της προμήθειας, της αποθήκευσης και της διάθεσης των προϊόντων. Ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων, εξοικονομεί πόρους για την επιχείρηση ελαχιστοποιώντας το κόστος, καθώς τα αποθέματα δεσμεύουν συνήθως ένα μεγάλο ποσοστό του κεφαλαίου της κι έχουν σημαντικό κόστος μεταφοράς αλλά και διατήρησης, ειδικά για επιχειρήσεις όπως τα super market, που εμπορεύονται προϊόντα ευρείας κατανάλωσης και αφορούν το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας.

Για τον σωστό προγραμματισμό του αποθέματός της, μια επιχείρηση θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν τους ακόλουθους βασικούς συντελεστές κόστους:

- Κόστος τήρησης αποθέματος
- Κόστος προμήθειας αποθέματος
- Κόστος παραγγελίας/εκκίνησης (παραγωγής)
- Κόστος έλλειψης / μη ικανοποίησης της ζήτησης

Επιπλέον δευτερεύοντα πιθανά κόστη είναι το κόστος ασφάλισης των αποθεμάτων, το κόστος που παράγεται από πρόκληση ζημιών και το κόστος δεσμευόμενου κεφαλαίου για την αγορά.

Σημαντικός παράγοντας για τον προγραμματισμό του αποθέματος είναι και το είδος της ζήτησης του προϊόντος που αφορά. Ένα αγαθό ή προϊόν μπορεί να έχει ανεξάρτητη ή εξαρτημένη ζήτηση. Η εξαρτημένη ζήτηση αφορά προϊόντα που παράγονται για να καλύψουν τις ανάγκες που προκύπτουν από την παραγωγή άλλων προϊόντων, όπως είναι η περίπτωση των ανταλλακτικών, και είναι πιο εύκολο να προσδιοριστεί. Τα βασικά προϊόντα, όμως, έχουν ανεξάρτητη ζήτηση με μεγαλύτερη δυσκολία προσδιορισμού της, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η διατήρηση επιπλέον μονάδων αποθέματος στα προϊόντα αυτά.

Σημαντικός παράγοντας για τη διαχείριση του αποθέματος είναι και η κατηγορία στην οποία ανήκει. Τα αποθέματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν (φυσική κατηγοριοποίηση) ή τον τρόπο δημιουργίας τους (οικονομική κατηγοριοποίηση). Η οικονομική κατηγοριοποίηση είναι σημαντικότερη για την διαδικασία διαχείρισης του αποθέματος μιας επιχείρησης.

Με βάση τη φυσική κατηγοριοποίηση, έχουμε τους εξής τύπους αποθεμάτων:

- Εφόδια
- Εμπορεύματα
- Υποπροϊόντα
- Υλικά συσκευασίας
- Πρώτες και βοηθητικές ύλες
- Ενδιάμεσα προϊόντα ή υπό-επεξεργασία αγαθά ή ημικατεργασμένα αγαθά
- Τελικά προϊόντα

Με βάση τη φυσική κατηγοριοποίηση, τα αποθέματα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Κυκλικό απόθεμα
- Απόθεμα ασφαλείας
- Απόθεμα αναμονής ή εποχιακό απόθεμα

- Απόθεμα σε κίνηση ή διερχόμενο απόθεμα
- Απόθεμα αποσύνδεσης

Με βάση την κατηγορία των αποθεμάτων μπορούν να καθοριστούν οι κατάλληλες μέθοδοι για τη μείωση του. Οι μέθοδοι αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν την ενέργεια για τη μείωση του αποθέματος αλλά και τακτικές για τη μείωση του κόστους εξαιτίας της έλλειψης αποθεμάτων.

Η βασική τακτική για τη μείωση του κυκλικού αποθέματος είναι η μείωση του μεγέθους της παραγγελίας. Αυτό, όμως, πρέπει να γίνει με προσοχή στην αποφυγή της αύξησης του κόστους έναρξης νέας λειτουργίας και την αύξηση του συνολικού κόστους παραγγελίας, λόγω περισσότερων παραγγελιών. Η βασική τακτική για τη μείωση του αποθέματος ασφαλείας είναι η τοποθέτηση των παραγγελιών πιο κοντά στο χρόνο παραλαβής. Ο κίνδυνος αυτής της τακτικής είναι πιθανώς μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών, λόγω αβεβαιότητας της ζήτησης και των χρόνων αποστολής. Η μέθοδος για την μείωση των αποθεμάτων αναμονής, είναι η εξίσωση του ρυθμού παραγωγής με το ρυθμό ζήτησης, ενδεχομένως με τη χρήση διαφήμισης ή προωθητικών ενεργειών. Τέλος, για τη μείωση των αποθεμάτων σε κίνηση χρειάζεται η μείωση της διάρκειας αναμονής των αποθεμάτων χωρίς τη μείωση της ζήτησης, με την επιλογή κατάλληλων προμηθευτών και εταιριών μεταφορών, τη βελτίωση διαχείρισης των υλικών και τη μείωση της ποσότητας παραγγελίας στις περιπτώσεις που ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από αυτήν τη ποσότητα.

Τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων, που είναι υπεύθυνα για τις παραπάνω μεθόδους βελτιστοποίησης, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Συστήματα σταθερής ποσότητας παραγγελίας
- Συστήματα σταθερής περιόδου παραγγελίας
- Μεικτά συστήματα επιλεκτικής αναπλήρωσης
- Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων με τυχαία ζήτηση

1.1.2. Καταγραφή του προβλήματος

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα εφαρμογής ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης αποθέματος σε μία μεγάλη επιχείρηση supermarket, παρά την ύπαρξη σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης αποθεμάτων και μεθοδολογιών πρόβλεψης αυτών. Τα προβλήματα εφαρμογής συνοψίζονται στους παρακάτω λόγους:

- Έλλειψη πόρων
- Έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού
- Ιδιαιτερότητες προϊόντων
- Ιδιαιτερότητες οικονομικού περιβάλλοντος
- Ιδιαιτερότητες στη μεθοδολογία παράδοσης των προϊόντων

1.1.3. Στόχος της διπλωματικής

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός σύγχρονου, αυτοματοποιημένου συστήματος πρόβλεψης παραγγελιών για την κάλυψη των αναγκών μιας μεγάλης αλυσίδας supermarket. Το τελικό σύστημα θα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με το ERP της επιχείρησης, με στόχο την αυτοματοποιημένη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, την παραγωγή προβλέψεων για τους απαραίτητους κωδικούς προϊόντων και την αυτόματη τοποθέτηση των παραγγελιών στους προμηθευτές. Το τελικό σύστημα δε θα έχει κάποιο γραφικό περιβάλλον διεπαφής (user interface – UI) με τους χρήστες με στόχο την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας καθώς και την αποφυγή σφαλμάτων λόγω λανθασμένων χειρισμών των χρηστών.

Η εταιρεία για την οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης (case study) δραστηριοποιείται στο χώρο των σουπερμάρκετ, με πάνω από 250 καταστήματα και τρία κέντρα διανομής (κεντρικές αποθήκες) στην Ελλάδα. Δεν έχει εφαρμόσει ποτέ καμία στατιστική μέθοδο πρόβλεψης ζήτησης σε κανέναν κωδικό της. Οι παραγγελίες στους προμηθευτές βασίζονται, μέχρι σήμερα, σε στατιστικά στοιχεία πωλήσεων και πραγματοποιούνται μόνο με βάση την εμπειρία των στελεχών της.

1.2. Τεχνικές προβλέψεων

Για την εξαγωγή προβλέψεων αλλά και γενικότερα για την στατιστική ανάλυση και τη μελέτη μιας μεταβλητής, το πρώτο σημαντικό βήμα είναι η συλλογή και η οργάνωση των ιστορικών στοιχείων της μεταβλητής αυτής. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο έγκυρα και επικαιροποιημένα έτσι, ώστε η μετέπειτα επεξεργασία τους με κάποια μέθοδο πρόβλεψης να επιτρέψει την επίτευξη της κατά το δυνατόν καλύτερης ακρίβειας. Αφού συγκεντρωθούν τα δεδομένα, το επόμενο βήμα είναι η χρήση της κατάλληλης μεθόδου για την προέκταση των δεδομένων αυτών στο μέλλον. Τέλος, η προέκταση των χρονοσειρών ακολουθείται από αξιολόγηση των τιμών που παρήχθησαν από το μοντέλο το οποίο επιλέχθηκε με τους κατάλληλους στατιστικούς δείκτες.

1.2.1. Μέθοδοι χρονοσειρών

Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται οι τεχνικές προβλέψεων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

- Ποσοτικές (quantitative)
- Κριτικές (judgmental)
- Τεχνολογικές (technological)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήσαμε μεθόδους οι οποίες δίνουν εν γένει καλύτερα αποτελέσματα στο είδος των χρονοσειρών το οποίο μελετήσαμε και στο μεγαλύτερο πλήθος του αποτελούνταν από χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης. Το αποτέλεσμα της επιλογής των μεθόδων ήταν να αναπτύξουμε και να ενσωματώσουμε στην μεθοδολογία μας τις παρακάτω μεθόδους προβλέψεων:

- Naive ή Απλοϊκή Μέθοδο
- Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση – LRL
- Απλή Εκθετική Εξομάλυνση – SES
- Croston
- SBA (Syntetos and Boylan Approximation)
- ADIDA (Aggregate-Disaggregate Intermittent Demand Approach)
- Όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των παραπάνω

Το κύριο σφάλμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των παραπάνω μεθόδων είναι το sMAPE:

$$sMAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{\left(\frac{Y_i + F_i}{2}\right)} \right| \cdot 100 (\%) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{2 \cdot (Y_i - F_i)}{Y_i + F_i} \right| \cdot 100 (\%)$$

1.3. Συστήματα λογισμικού

Η πολυπλοκότητα εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες όλων των μεθόδων που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, τόσο στον τομέα των αποθεμάτων όσο και των προβλέψεων, οδήγησε στην ανάγκη αξιοποίησης της σύγχρονης τεχνολογίας για τη δημιουργία συστημάτων λογισμικού, κατάλληλων για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων που θα βοηθήσουν τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να πάρουν σωστές και ολοκληρωμένες αποφάσεις και να οργανώσουν αποτελεσματικά τις εσωτερικές τους διαδικασίες.

1.3.1. Συστήματα προβλέψεων

Οι εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας έχουν ισχυρό αντίκτυπο στο πεδίο των προβλέψεων. Ιδιαίτερα την τελευταία 20ετία, παρατηρείται μια ισχυρή τάση σχεδιασμού και δημιουργίας καινοτόμων πληροφοριακών συστημάτων, ικανών να ενσωματώσουν όχι μόνο τη στατιστική γνώση, αλλά και την κριτική ικανότητα που απαιτεί η πραγματοποίηση προβλέψεων.

Τα σημαντικότερα από αυτά που είναι γνωστά στις μέρες μας είναι τα παρακάτω:

- ΠΥΘΙΑ
- Forecast Pro
- ForecastX
- Autobox
- Alyuda Forecaster
- PEER Planner
- DTREG
- Retail Intelligence
- Quantrix
- NCSS
- PowerOLAP
- KXEN
- Advanced Analytics Group
- IBM Cognos & Planning
- SPSS
- Time Trends
- Enterprise

- Vanguard Software
- Clarity Systems
- Intelligent Forecaster

1.3.2. Συστήματα επιχειρησιακού λογισμικού

Η πληροφορική είναι βασικός παράγοντας για την εύρυθμη λειτουργία μιας σύγχρονης επιχείρησης. Για τις διαφορετικές ανάγκες των οργανισμών, έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί πολλών ειδών συστήματα, τα οποία περιλαμβάνονται στον γενικότερο όρο των συστημάτων επιχειρησιακού λογισμικού (enterprise software). Οι δύο υποκατηγορίες που θα εξεταστούν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι τα συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (ERP) και τα συστήματα διαχείρισης αποθηκών (WMS).

Τα ERP συστήματα είναι ολοκληρωμένες λύσεις λογισμικού, που ενσωματώνουν όλο το εύρος των επιχειρησιακών διαδικασιών και λειτουργιών. Ένα ERP σύστημα αποτελεί τον συνδεδεμένο κρίκο για κάθε επιπλέον σύστημα ή λύση που μπορεί να διαθέτει μια επιχείρηση για να καλύψει τις ανάγκες διαχείρισης της λειτουργίας και των πόρων της.

Οι πιο γνωστοί διεθνείς και εγχώριοι προμηθευτές ERP συστημάτων στην ελληνική αγορά και οι αντίστοιχες λύσεις τους είναι οι παρακάτω:

- SAP SE (S/4HANA, SAP R3, SAP Business One)
- Oracle Corporation (JD Edwards, Oracle ERP Cloud, E-Business Suite)
- Microsoft Corporation (Dynamics 365 Suite)
- Entersoft A.E. (Entersoft Business Suite)
- SingularLogic A.E. (Galaxy Enterprise Suite, CompakWin)
- SoftOne Technologies A.E. (Cloud ERP, Atlantis ERP)

Σε αντίθεση με τα ERP, τα WMS συστήματα είναι εξειδικευμένες λύσεις λογισμικού που στοχεύουν στην οργάνωση των διαδικασιών και λειτουργιών αποκλειστικά ενός τμήματος μιας επιχείρησης, της αποθήκης της. Οι βασικότερες λειτουργικότητες που περιλαμβάνονται σε ένα WMS σύστημα είναι οι εξής:

- Σχεδιασμός αποθήκης
- Παρακολούθηση αποθέματος
- Παραλαβή και αποθήκευση
- Συλλογή και συσκευασία αγαθών
- Αποστολή
- Διαχείριση εργασίας
- Διαχείριση εξωτερικού χώρου
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Οι πιο γνωστές λύσεις WMS στην παγκόσμια, αλλά και την ελληνική αγορά, είναι οι παρακάτω:

- NetSuite WMS (Oracle Corporation)
- Infor SCM (Infor)
- Manhattan WMS (Manhattan Associates Inc.)
- LOGON WMS (Logon A.E)
- ViewPoint WMS (AgroSoft E.Π.Ε.)
- Aberon WMS (Optimum A.E.)
- Warehouse Vision (Mantis Πληροφορική A.E.)

1.4. Μεθοδολογία και αρχιτεκτονική συστήματος

Η φύση του προβλήματος που εξετάζουμε στην παρούσα διπλωματική επιτάσσει τη χρήση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος για τη λύση του. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η δική μας προσέγγιση και μεθοδολογία απέναντι στο πρόβλημα, θα αναλυθούν τα επιμέρους βήματα που σχεδιάσαμε καθώς και πώς αυτή επετεύχθη με τη χρήση προγραμματιστικών εργαλείων τα οποία επιτρέπουν την αυτοματοποίηση των διαδικασιών και την ενσωμάτωσή τους σε συστήματα όπως αυτά που αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια. Επίσης, θα παρουσιαστεί και μία απλουστευμένη προσέγγιση της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Για να γίνει κατανοητή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε θα πρέπει να αναφερθούμε στο είδος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Τα στοιχεία που αντλήσαμε από τα συστήματα της επιχείρησης αφορούν 13372 χρονοσειρές κωδικών προϊόντων οι οποίες είχαν επαρκή αριθμό παρατηρήσεων ώστε να μπορούν να θεωρηθούν «προϊόντα προς πώληση» και όχι δείγματα ή άλλα υλικά της αποθήκης. Οι κωδικοί προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν ξηρό φορτίο (συσκευασμένα τρόφιμα), απορρυπαντικά, αλλαντικά, τυριά και προϊόντα ψυγείου και κατάψυξης.

Λόγω της φύσης των προϊόντων δεν υπήρχε μεγάλη διαθεσιμότητα δεδομένων. Τα δεδομένα που είχαμε στην κατοχή μας στα πλαίσια της εργασίας αφορούν περίοδο ενός έτους και εκτός από τις ποσότητες του διαθέσιμου αποθέματος εμπεριείχαν πληροφορίες σχετικά με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, τον προμηθευτή τους, τις διαστάσεις τους, το βάρος τους, την ημερομηνία λήξης, καθώς και την τιμή τους.

1.4.1. Μεθοδολογία

Στόχος της λύσης μας είναι η επίτευξη υψηλών ποσοστών εξυπηρέτησης των πελατών της αλυσίδας supermarket, καλύπτοντας αποτελεσματικά τη ζήτηση που έρχεται στη κεντρική αποθήκη από τα καταστήματα, για κάθε κωδικό προϊόντος. Πρακτικά, οι χρονοσειρές οι οποίες

πρέπει να προβλεφθούν είναι η ζήτηση ανά κωδικό προϊόντος, ώστε να γίνει η σωστή παραγγελία στον κάθε προμηθευτή για να καλύψει την συνολική ζήτηση όλων των σημείων εξυπηρέτησης και να μην υπάρχουν ελλείψεις.

Καθώς δεν είναι εφικτό ούτε έχει υψηλή σημαντικότητα για τη λειτουργία της επιχείρησης να γίνει πρόβλεψη για το σύνολο των προϊόντων που αυτή προμηθεύεται, απαραίτητη είναι η εύρεση των κωδικών εκείνων που θα συμπεριληφθούν στην διαδικασία της πρόβλεψης και αυτοματοποίησης της παραγγελίας τους. Για να προσδιοριστούν οι κωδικοί αυτοί χρησιμοποιείται η ABC-XYZ ανάλυση.

Στο πρώτο βήμα της ανάλυσης (ABC), οι κωδικοί προϊόντων ταξινομούνται βάσει της σημασίας τους για την επιχείρηση, σε τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία A: οι πιο σημαντικοί κωδικοί. Συνήθως περιλαμβάνει το 20% του συνόλου.
- Κατηγορία B: οι κωδικοί μεσαίας σημαντικότητας. Συνήθως περιλαμβάνει το 30% του συνόλου.
- Κατηγορία C: οι λιγότερο σημαντικοί κωδικοί. Συνήθως περιλαμβάνει το υπόλοιπο 50% του συνόλου.

Η σημασία των κωδικών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και διαφέρει ανά επιχείρηση. Το δε τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης διαφέρει ανάλογα με το πλήθος και το είδος των κωδικών που επιλέγονται για την αρχική μελέτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ελήφθησαν υπόψιν οι παρακάτω δείκτες για κάθε κωδικό προϊόντος, με ένα ειδικό βάρος για τον τελικό υπολογισμό:

- Αξία προϊόντος
- Όγκος πωλήσεων
- Αποθηκοημέρες (τεμάχια*ημέρες)
- Συχνότητα
- Ισχύουσες ημέρες αποθεματοποίησης vs. Μέγιστες δυνατές ημέρες αποθήκευσης
- Μέρες έως την ημερομηνία λήξης

Το δεύτερο βήμα της ανάλυσης (XYZ) περιλαμβάνει την ταξινόμησή τους βάσει της ικανότητας του μοντέλου πρόβλεψης να εκτιμήσει τη μελλοντική ζήτηση του προϊόντος, επίσης σε τρεις κατηγορίες:

- Κατηγορία X: ευκολία στην πρόβλεψη της ζήτησης
- Κατηγορία Y: μεσαίας δυσκολία στην πρόβλεψη της ζήτησής
- Κατηγορία Z: μεγαλύτερη δυσκολία πρόβλεψης της ζήτησης

Για την εκτέλεση και την ολοκλήρωση της ABC-XYZ ανάλυσης η οποία ως αποτελέσματα θα έχει κάθε φορά την ταξινόμηση των δεδομένων εκείνων με τα οποία έχει νόημα να ασχοληθούμε, ακολουθούμε μια διαδικασία για την παραγωγή των απαιτούμενων προβλέψεων. Για την παραγωγή έγκυρων προβλέψεων εκτελούμε έναν διαγωνισμό προβλέψεων, ο οποίος μας επιτρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα και, κατά συνέπεια, πιο ακριβείς προβλέψεις.

Βήμα 1: Διαχείριση κενών τιμών

Οι χρονοσειρές που έχουμε ως προς πρόβλεψη είναι η ζήτηση ανά κωδικό προϊόντος. Κάθε τέτοια χρονοσειρά δεν έχει πάντα συμπληρωμένες όλες τις παρελθούσες τιμές για διάφορους λόγους, όπως είναι η αδυναμία παροχής τους από τα super market, λάθη λόγω χειροκίνητης καταγραφής τους κατά παρελθόντα χρόνο, κλπ. Επίσης, κάποιες τιμές των χρονοσειρών αυτών μπορεί να είναι λανθασμένα μηδενικές.

Βήμα 2: Διαχείριση ακραίων τιμών (outliers)

Η ύπαρξη ακραίων τιμών προκαλείται από ξαφνικές αλλαγές που επηρεάζουν τη δυναμική των δεδομένων σε παροδική ή μόνιμη βάση, αλλαγές οι οποίες, ανεξάρτητα από την τυχόν γνωστή ή άγνωστη πηγή τους, είναι συνήθως μη συστηματικές και δεν μπορούν να συλληφθούν από τα συνήθη μοντέλα χρονοσειρών. Υπάρχουν πέντε είδη των ακραίων τιμών: innovation outlier, additive outlier, level shift, temporary change και seasonal level shift.

Βήμα 3: Παραγωγή προβλέψεων

Ο στόχος μας είναι η παραγωγή όσο το δυνατόν ακριβέστερων προβλέψεων για το σύνολο των κωδικών προϊόντων. Για να είμαστε σε θέση να απαντήσουμε στο ερώτημα της ακρίβειας, θα πρέπει οι προβλέψεις να αξιολογηθούν σε χρονικές περιόδους για τις οποίες έχουμε πραγματικά δεδομένα. Ως εκ τούτου, αποφασίσαμε να χωρίσουμε για κάθε χρονοσειρά την χρονική περίοδο των δεδομένων σε δύο διαστήματα. Στο πρώτο διάστημα γίνεται η εκπαίδευση του συστήματος και στο δεύτερο η αξιολόγηση των μεθόδων και η επιλογή της βέλτιστης.

Αλγόριθμος παραγγελίας

Αφού έχουμε παράξει τις προβλέψεις για το σύνολο των κωδικών των προϊόντων το επόμενο βήμα είναι η υλοποίηση του αλγορίθμου παραγγελίας των προϊόντων, ο οποίος ενσωματώνει προσαρμογές στα αποτελέσματα των προαναφερόμενων διαδικασιών και έχει ως αποτέλεσμα τα τελικά τεμάχια προς παραγγελία για κάθε κωδικό προϊόντος.

Τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούμε για την ολοκλήρωση της παραγγελίας είναι τα ακόλουθα:

- Απόθεμα ασφαλείας
- Επίπεδο αναπαραγγελίας
- Ποσότητα παραγγελίας

Επιπλέον, λάβαμε υπόψη διάφορους περιορισμούς οι οποίοι προέρχονται από τους προμηθευτές και είναι διαφορετικοί για κάθε έναν από αυτούς. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- Περιορισμοί ως προς τον χρόνο παράδοσης
- Περιορισμοί ως προς την αποστολή προϊόντων

Οι βασικοί κανόνες οι οποίοι ακολουθούνται για την λήψη της τελικής απόφασης για την παραγγελία για κάθε κωδικό προϊόντος είναι:

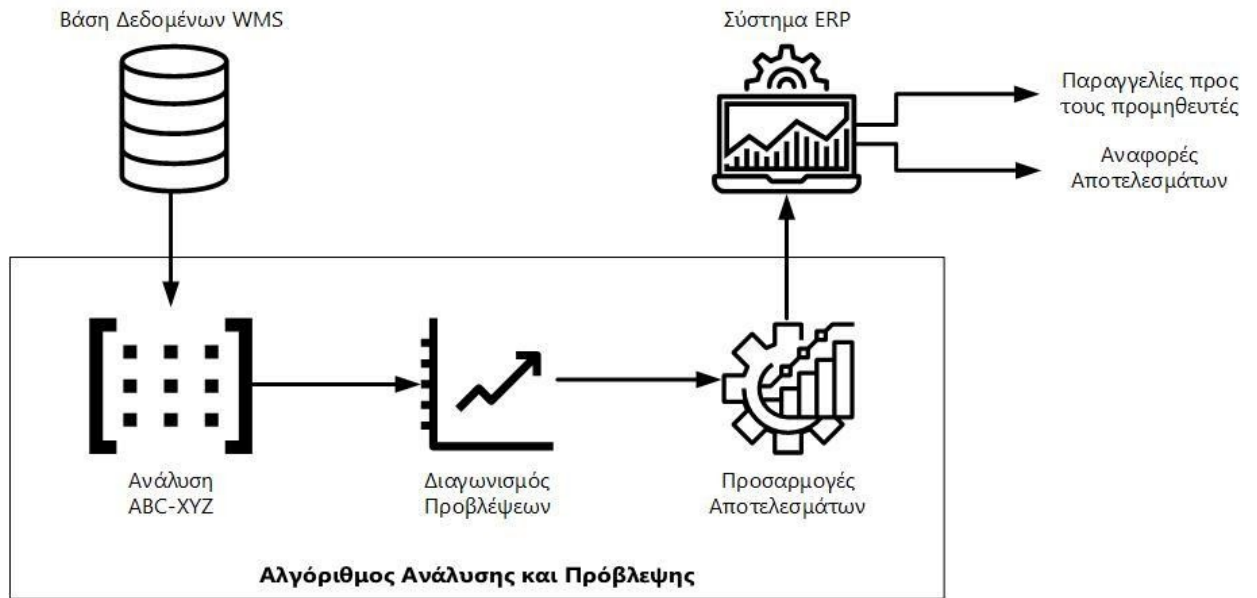
- Η στρογγυλοποίηση γίνεται πάντα προς το μεγαλύτερο μέγεθος
- Για τη συμπλήρωση των προϊόντων, ανεξάρτητα αν αυτή είναι πρόσθεση ή αφαίρεση, χρησιμοποιούμε τα κριτήρια της ABC ανάλυσης καθώς και τον τρόπο συσκευασίας τους

1.4.2. Αρχιτεκτονική συστήματος

Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί εξ ολοκλήρου με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R. Για τις ανάγκες της εφαρμογής, η R χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των χρονοσειρών και την παραγωγή προβλέψεων, για τον υπολογισμό σφαλμάτων και στατιστικών καθώς και για την απαραίτητη αναπροσαρμογή των αποτελεσμάτων. Ενδεικτικά, αξιοποιήθηκαν διάφορες ευρέως διαδεδομένες βιβλιοθήκες όπως:

- tsoutliers
- forecast
- forecTheta
- metrics
- stats

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα γενικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής του συστήματος.



1.5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την αντικειμενικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, διεξήχθησαν τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις -60, 80 και 120 ημερών- και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές που παρήγαγε το χειροκίνητο σύστημα παραγγελιοδότησης της επιχείρησης, βάσει συγκεκριμένων δεικτών. Ένα διάστημα 30 ημερών πριν από κάθε προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του συστήματος.

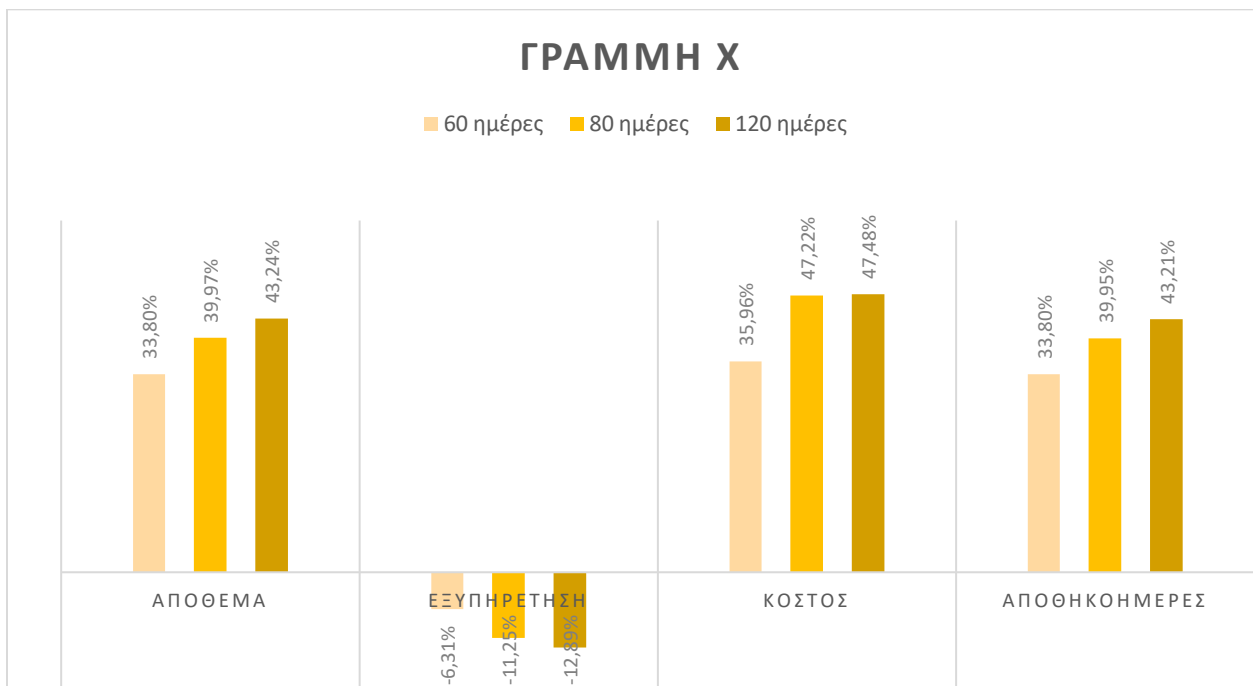
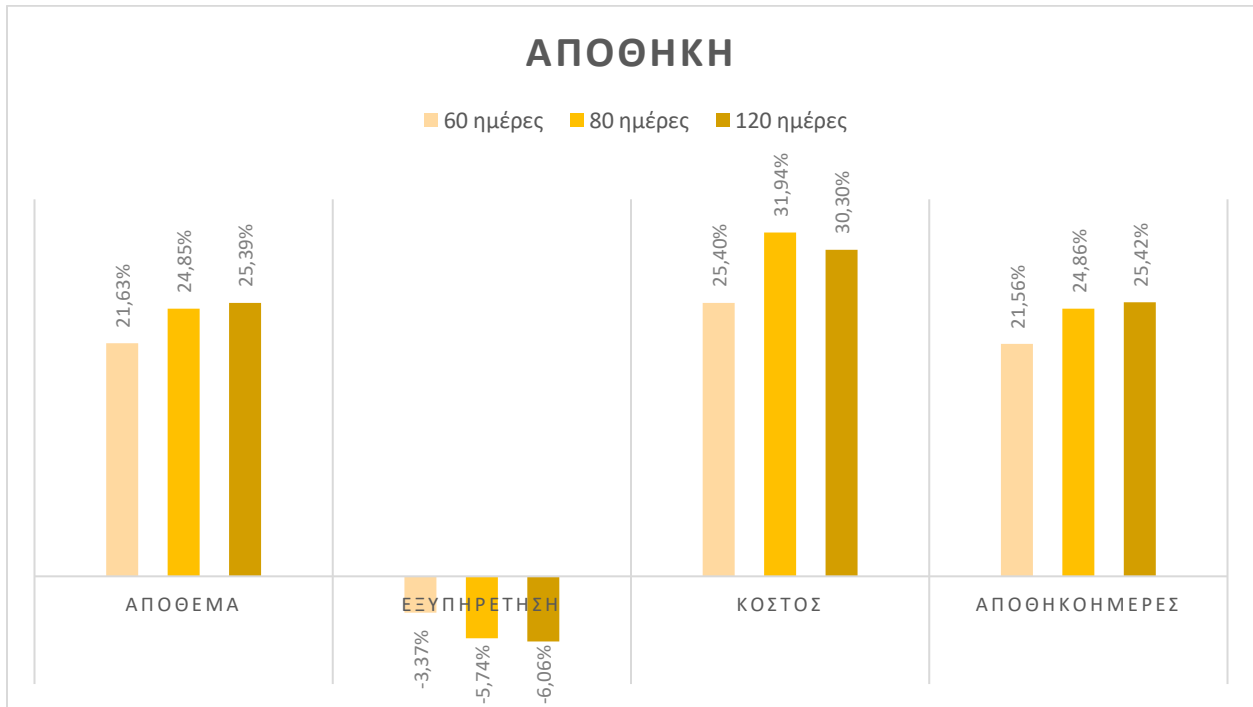
Οι δείκτες που ελήφθησαν υπόψη για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ήταν οι παρακάτω:

- Απόθεμα
- Ποσοστό εξυπηρέτησης
- Κόστος
- Αποθηκοημέρες

Στα παρακάτω διαγράμματα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, καθώς και ενδεικτική τους ανάλυση.

- Όσο μεγαλώνει το διάστημα της προσομοίωσης, αυξάνεται το σύνολο των κωδικών της αποθήκης και μειώνεται αντίστοιχα το ποσοστό των κωδικών που έχουν συμπεριληφθεί στην βελτιστοποίηση.
- Όλοι οι δείκτες που ορίστηκαν για την αξιολόγηση των προσομοιώσεων έχουν σημαντικό θετικό πρόσημο με διψήφια ποσοστά, πλην της εξυπηρέτησης των καταστημάτων, η οποία μάλιστα μειώνεται όσο αυξάνεται το διάστημα της προσομοίωσης.

- Η βελτιστοποίηση όλων των υπόλοιπων δεικτών για τους κωδικούς της γραμμής Χ κινείται πάνω από το 30%, με αποκορύφωμα το διάστημα 120 ημερών που ξεπερνούν το 40%.



1.6. Μελλοντικές Προεκτάσεις

Με στόχο τη διευκόλυνση του αναγνώστη και του ερευνητή ο οποίος πιθανώς να θελήσει να επεκτείνει την συγκεκριμένη έρευνα, θεωρήσαμε κρίσιμο να διαχωριστούν οι μελλοντικές προεκτάσεις της εργασίας σε τρεις πυλώνες, ανάλογα με το περιεχόμενό τους.

Ο πρώτος πυλώνας αφορά νέες μεθόδους και τεχνικές προβλέψεων. Για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα θα πρέπει να αφαιρεθεί, τουλάχιστον από τα αρχικά πρωτογενή δεδομένα, και θα πρέπει να προστεθεί σε επόμενο βήμα πιθανά με την υλοποίηση κάποιου μηχανισμού κριτικών προβλέψεων. Με αυτόν το τρόπο, θα είναι εύκολο να υλοποιηθούν και τεχνικές Top-Down, Bottom-Up οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων ειδικά σε προϊόντα με πολλαπλούς κωδικούς συσκευασιών. Πιθανή είναι και η εφαρμογή άλλων τεχνικών προβλέψεων, όπως τα νευρωνικά δίκτυα και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης, ώστε να γίνει και η σύγκρισή τους με τις κλασσικές τεχνικές.

Ο δεύτερος πυλώνας αφορά την ενσωμάτωση της γνώσης και των πληροφοριών του εξωτερικού περιβάλλοντος και την ενσωμάτωση δεδομένων από τρίτες πηγές. Τέτοια δεδομένα μπορεί να είναι προωθητικές ενέργειες, οι οποίες μπορεί να γίνονται για συγκεκριμένους κωδικούς προϊόντων ή για μεγαλύτερες ομάδες προϊόντων, καθώς και προωθητικές ενέργειες από την πλευρά των προμηθευτών. Επιπλέον, περιγραφικά δεδομένα τα οποία επηρεάζουν τις πωλήσεις των σημείων εξυπηρέτησης και μπορούν να προσφέρουν επιπρόσθετες πληροφορίες είναι αυτά που σχετίζονται και με ανταγωνιστικές εταιρείες.

Τέλος, ο τρίτος πυλώνας αφορά το στόχο του συστήματος και τα αποτελέσματά του, και, ως εκ τούτου, μια προέκταση της διπλωματικής θα μπορούσε να είναι, η επίτευξη του μέγιστου ποσοστού εξυπηρέτησης, δηλαδή πρόβλεψης της ζήτησης και εξυπηρέτησής της, όχι σε επίπεδο προϊόντος αλλά σε επίπεδο κατηγορίας προϊόντων.

2. Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα τόσο για την παγκόσμια οικονομία όσο και για οποιαδήποτε επιχείρηση και οργανισμό είναι να μπορεί να προβλέπει τη ζήτηση των πελατών της, ώστε να προσαρμόζει ανάλογα την παραγωγή της αντίστοιχης ποσότητας, ή την παραγγελία στους προμηθευτές της. Ουσιαστικά η ζήτηση των πελατών μιας επιχείρησης μπορεί και πρέπει να μεταφραστεί στο ύψος του αποθέματος που παράγει ή προμηθεύει η επιχείρηση αυτή για κάθε προϊόν. Βέβαια, όπως θα δούμε, ο τρόπος τήρησης των αποθεμάτων για κάθε προϊόν διαφέρει για πολλούς και διάφορους λόγους που είτε είναι σχετικοί με το ίδιο το προϊόν είτε αφορούν εξωγενείς παράγοντες.

Τα είδη που παράγονται και διατηρούνται σε απόθεμα διαφέρουν με πολλούς τρόπους. Διαφέρουν στα βασικά τους χαρακτηριστικά, όπως το κόστος, το βάρος, τον όγκο, το χρώμα ή το σχήμα. Διαφέρουν στον τρόπο που αποθηκεύονται -σε καφάσια, βαρέλια, παλέτες, χαρτοκιβώτια ή απλά να τοποθετούνται σε ράφια. Μπορεί να συσκευάζονται μεμονωμένα ή σε χιλιάδες, να είναι φθαρτά λόγω περιορισμένης διάρκειας ζωής, λόγω κλοπής ή να απαξιώνονται εξαιτίας των αλλαγών στη μόδα ή την τεχνολογία. Κάποια προϊόντα αποθηκεύονται σε καθαρούς κλιματιζόμενους χώρους, ενώ άλλα σε εξωτερικούς χώρους, εκτεθειμένους στα καιρικά φαινόμενα.

Διαφορές εκδηλώνονται και στη ζήτηση των προϊόντων αυτών. Τα προϊόντα μπορεί να εξέρχονται από το απόθεμα, σε χιλιάδες, σε δωδεκάδες ή σε μονάδες. Μπορεί να υπάρχουν υποκατάστατα, έτσι ώστε αν δεν υπάρχει κάτι διαθέσιμο, ο πελάτης να μπορεί να χρησιμοποιήσει το υποκατάστατο. Επίσης μπορεί να υπάρχουν συμπληρωματικά προϊόντα, δηλαδή ο πελάτης να μην αγοράζει κάτι αν δεν υπάρχει διαθέσιμο το συμπλήρωμά του. Τα προϊόντα μπορεί να παραλαμβάνονται από τον πελάτη ή να διανέμονται από οχήματα της εταιρίας ή να αποστέλλονται με πλοίο, αεροπλάνο, τραίνο ή φορτηγό. Κάποιοι πελάτες είναι διατιθέμενοι να περιμένουν για ορισμένα προϊόντα, ενώ άλλοι απαιτούν άμεση εξυπηρέτηση με την παραγγελία. Πολλοί πελάτες παραγγέλνουν περισσότερα από ένα προϊόντα σε κάθε παραγγελία. Τα αγαθά εισάγονται στο απόθεμα με διάφορους τρόπους και σε ποσότητες διαφορετικές από αυτές στις οποίες θα ζητηθούν. Κάποια είδη παραλαμβάνονται χαλασμένα, σε άλλα διαφέρει η ποσότητα ή το είδος σε σχέση με ότι παραγγέλθηκε. Κάποια είδη δεν είναι διαθέσιμα εξαιτίας απεργιών και άλλων προβλημάτων στην επιχείρηση ή στον προμηθευτή. Η παράδοση μιας παραγγελίας μπορεί να πάρει ώρες, εβδομάδες ή μήνες και ο χρόνος ικανοποίησης της παραγγελίας μπορεί να είναι γνωστός εκ των προτέρων ή όχι.

2.1. Διαχείριση αποθεμάτων αποθηκών

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί μια σημαντική ευθύνη για τη διοίκηση ενός παραγωγικού συστήματος. Ως απόθεμα θεωρείται η ποσότητα πρώτων υλών ή αγαθών που εισάγεται στο σύστημα και υπερβαίνει την αντίστοιχη ποσότητα της πρώτης ύλης ή 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 ή την επίτευξη μιας πιο συμφέρουσας συμφωνίας κατά την αγορά του αγαθού, είτε αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων όπως κακός προγραμματισμός ή έκτακτα φαινόμενα. 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. Σε ένα παραγωγικό σύστημα, τα αποθέματα διακρίνονται σε πρώτες ύλες, τελικά προϊόντα, ενδιάμεσα προϊόντα και εφόδια. Αποθέματα δημιουργούνται και στις υπηρεσίες με την έννοια των υλικών αγαθών και προμηθειών που υποστηρίζουν την υπηρεσία αυτή.

Ο βασικός σκοπός ενός συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων είναι να καθορίζει πότε θα πρέπει να παραγγελθούν τα αγαθά και πόσο μεγάλη θα πρέπει να είναι αυτή η παραγγελιά. Στην περίπτωση που τα διαθέσιμα αποθέματα καλύπτουν τις ανάγκες μιας επιχείρησης για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων καθορίζει πότε και σε τι ποσότητα θα διανεμηθεί το αγαθό προς πώληση. 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. Το πρόβλημα ελέγχου των αποθεμάτων έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια την βιβλιογραφία κι έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια ανάλυσης και εμβάθυνσης 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.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί το πρόβλημα διαχείρισης των αποθεμάτων, τα μοντέλα διαχείρισης αποθέματος καθώς και η προσέγγιση του προβλήματος κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Το πρόβλημα διαχείρισης αποθεμάτων ορίζεται γενικά ως πρόβλημα εξισορρόπησης μεταξύ του κόστους έλλειψης και του κόστους πλεονάσματος αποθέματος ενός παραγωγικού προϊόντος. Ένας σωστός σχεδιασμός διαχείρισης αποθεμάτων αποσυνδέει το παραγωγικό σύστημα από τις διακυμάνσεις της ζήτησης και διατηρεί ομαλή ροή στην παραγωγή, ανεξάρτητη τη λειτουργία της παραγωγικής στάθμης, αυξάνει το ρυθμό παραγωγής και ελαττώνει το κόστος.

2.1.1. Σκοπός διατήρησης αποθεμάτων

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί μια από τις σημαντικές λειτουργίες σε ένα παραγωγικό σύστημα για διάφορους λόγους. Αν η ζήτηση ενός προϊόντος ήταν γνωστή τότε η επιχείρηση θα μπορούσε να παράγει το προϊόν αυτό σε τέτοια ποσότητα έτσι ώστε να αντιστοιχεί ακριβώς στη ζήτηση. Επειδή όμως στην πραγματικότητα η ζήτηση είναι σπάνια γνωστή, με τη διατήρηση τελικών αποθεμάτων δίνεται η δυνατότητα στην επιχείρηση να διαχωρίσει το παραγωγικό σύστημα από τη ζήτηση και να αντιμετωπίσει τυχόν μεταβολές της. Συνεπώς, η δημιουργία αποθεμάτων συμβάλει στην επιτάχυνση και βελτίωση της έγκαιρης παράδοσης των προϊόντων, μειώνοντας τις πιθανότητες μη εκπλήρωσης μίας παραγγελιάς ή μιας καθυστερημένης παράδοσης. Η ύπαρξη αποθεμάτων πρώτων υλών και ενδιάμεσων προϊόντων εξασφαλίζει τη συνεχή τροφοδοσία του παραγωγικού συστήματος και την ομαλή ροή της παραγωγής, χωρίς να επηρεάζεται από καθυστερήσεις των προμηθευτών. Επίσης εξασφαλίζει την ανεξάρτητη λειτουργία των παραγωγικών σταδίων, την αύξηση του ρυθμού παραγωγής και τη μείωση του κόστους παραγωγής.

Κάθε καινούργια παραγγελία συνεπάγεται κόστος για την επιχείρηση, το οποίο δεν εξαρτάται από την ποσότητα της παραγγελιάς. Συνεπώς όσο μεγαλύτερη είναι η παραγγελία, τόσο μικρότερος θα είναι ο συνολικός αριθμός των παραγγελιών και συνεπώς τόσο μικρότερο το κόστος αυτών. Τέλος, μια επιχείρηση με τη διατήρηση αποθεμάτων έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις πληρωμές της σε προμηθευτές, κάνοντας μεγαλύτερες παραγγελίες σε περιόδους που οι τιμές των προμηθευτών είναι χαμηλές.

2.1.2. Στοιχεία κόστους αποθεμάτων

Για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το ύψος των αποθεμάτων, η επιχείρηση θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν τους ακόλουθους συντελεστές κόστους:

Κόστος τήρησης αποθέματος (holding/storage cost). Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται 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 αποθέματος. Ειδικότερα, το κόστος δεσμευμένου κεφαλαίου προέρχεται από την ανάγκη της επιχείρησης να επενδύσει τα κεφαλαία της για τη διατήρηση αποθεμάτων έναντι των άλλων εναλλακτικών χρήσεων των κεφαλαίων της (επενδύσεων). 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.

Κόστος προμήθειας αποθέματος. Περιλαμβάνει τόσο το σταθερό κόστος για την τοποθέτηση μιας παραγγελιάς στους προμηθευτές της επιχείρησης όσο και το κόστος αγοράς του αποθέματος από αυτούς. Στη περίπτωση όπου η επιχείρηση δεν προμηθεύεται τα σχετικά

προϊόντα αλλά τα παράγει χρησιμοποιώντας δικές της εγκαταστάσεις, το σταθερό κόστος παραγωγής αφορά στο κόστος προετοιμασίας της παραγωγικής διαδικασίας (setup), ενώ το μεταβλητό κόστος αφορά στο κόστος παραγωγής.

Κόστος παραγγελίας/εκκίνησης (παραγωγής) (order cost). Δημιουργείται από τη δαπάνη έκδοσης μιας παραγγελίας αγοράς που απευθύνεται σε κάποιον εξωτερικό προμηθευτή ή από τις δαπάνες εκκίνησης για την εσωτερική παραγωγή του προϊόντος. Συνήθως, μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των παραγγελιών ή εκκινήσεων που γίνονται και περιλαμβάνει έξοδα που προκαλούνται από τα διάφορα δελτία παραγγελίας, από ταχυδρομικά ή τηλεπικοινωνιακά έξοδα, δαπάνες έρευνας αγοράς και σχεδιασμού των προδιαγραφών, καθώς εξουσιοδοτήσεις σε τρίτους για την παρακολούθηση, την παραλαβή, την επιθεώρηση και το χειρισμό της παραγγελίας. Στο κόστος παραγγελίας ανήκουν δαπάνες μεταβολής της διαδικασίας παραγωγής που γίνονται για την παραγωγή του παραγγελόμενου είδους, δηλαδή κονδύλια για την προετοιμασία της παραγγελίας προς το εργοστάσιο, τον χρονικό προγραμματισμό της εργασίας, τις πριν από την έναρξη της παραγωγής απαραίτητες ενέργειες, την επιτάχυνση της παραγωγικής διαδικασίας και την ποιοτική αποδοχή.

Κόστος έλλειψης / μη ικανοποίησης της ζήτησης (shortage cost). Αν εξαντληθούν τα αποθέματα ενός προϊόντος, η επιχείρηση είναι υποχρεωμένη να καθυστερήσει ή να ακυρώσει την παραγγελία χάνοντας με τον τρόπο αυτό κέρδος αλλά πιθανώς και φήμη.

Στα δευτερεύοντα πιθανά κόστη συγκαταλέγονται το κόστος ασφάλισης των αποθεμάτων, το κόστος που παράγεται από πρόκληση ζημιών και το κόστος δεσμευόμενου κεφαλαίου για την αγορά.

2.1.3. Εξαρτημένη και ανεξάρτητη ζήτηση

Για τη διαχείριση αποθεμάτων, είναι σημαντική η κατανόηση της διαφοράς μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης ζήτησης. Στην πρώτη περίπτωση, η ζήτηση για διάφορα προϊόντα είναι ανεξάρτητη για κάθε προϊόν. Δηλαδή, μια παραγωγική μονάδα μπορεί να παράγει διάφορα αντικείμενα που δε σχετίζονται μεταξύ τους αλλά αντιμετωπίζουν κάποια εξωτερική ζήτηση.

Στην περίπτωση της εξαρτημένης ζήτησης, η ανάγκη για ένα αντικείμενο είναι αποτέλεσμα της ανάγκης για κάποιο άλλο, συνήθως σε υψηλότερο επίπεδο της παραγωγικής διαδικασίας. Η εξαρτημένη ζήτηση είναι σχετικά εύκολο να προσδιοριστεί με βάση τη ζητούμενη ποσότητα του αντικειμένου από το οποίο εξαρτάται. Για παράδειγμα, αν μια βιομηχανία αυτοκινήτων σχεδιάζει να παράγει 1000 αυτοκίνητα, είναι φανερό ότι θα χρειαστεί 4000 τροχούς. Η ζήτηση για τροχούς δεν είναι ανεξάρτητη αλλά προσδιορίζεται από το ύψος της παραγωγής αυτοκινήτων. Η ζήτηση όμως για αυτοκίνητα είναι ανεξάρτητη και δε σχετίζεται με τη ζήτηση κάποιου άλλου προϊόντος.

Για τον καθορισμό της ποσότητας παραγωγής ανεξάρτητων αντικειμένων, οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους όπως έρευνα αγοράς, μεθόδους προβλέψεις κ.α. Εξαιτίας της αβεβαιότητας της ανεξάρτητης ζήτησης, είναι απαραίτητη η διατήρηση επιπλέον μονάδων αποθέματος στα προϊόντα αυτά.

2.1.4. Κατηγορίες αποθεμάτων

Τα αποθέματα έχουν διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις ανάλογα με την οπτική με την οποία μελετώνται. Παραδείγματα κατηγοριοποίησης των αποθεμάτων είναι ανάλογα με τον σκοπό που εξυπηρετούν (φυσική κατηγοριοποίηση) ή τον τρόπο δημιουργίας τους (οικονομική κατηγοριοποίηση). βασική διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω κατηγοριοποιήσεων εντοπίζεται στην ευκολία να καταταχθούν τα αποθέματα σύμφωνα με την φυσική κατηγοριοποίηση, σε αντίθεση με τη δυσκολία να προσδιοριστούν σύμφωνα με την οικονομική, καθώς στην πραγματική ζωή υπάρχουν πάντα περισσότεροι από ένας λόγοι για τη διατήρηση αποθεμάτων. Πάντως, τα είδη αποθεμάτων με βάση την οικονομική κατηγοριοποίηση καλύπτουν την πλειοψηφία των θεμάτων διαχείρισης αποθεμάτων σε συστήματα παραγωγής και διανομής, σε αντίθεση με εκείνα της φυσικής κατηγοριοποίησης, που δε βοηθούν στη διάγνωση της επάρκειας των αποθεμάτων, ούτε στον εντοπισμό τρόπων βελτίωσης της διαχείρισής τους.

Με βάση τη φυσική κατηγοριοποίηση, δηλαδή με κριτήριο τον σκοπό που εξυπηρετούν, έχουμε τους εξής τύπους αποθεμάτων:

Εφόδια. Τα εφόδια είναι είδη αποθεμάτων που καταναλώνονται κατά την καθημερινή λειτουργία ενός οργανισμού και δεν αποτελούν μέρος του τελικού προϊόντος. Στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν τα αναλώσιμα υλικά, τα οποία είναι τα διάφορα υλικά αγαθά που χρησιμοποιεί η επιχείρηση για την ομαλή λειτουργία της και δε σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή προϊόντων, όπως για παράδειγμα, η γραφική ύλη, τα υλικά καθαριότητας, τα καύσιμα και τα ανταλλακτικά παγίων στοιχείων (Spare parts - SP), τα οποία είναι υλικά απαραίτητα για την συντήρηση και επισκευή του παγίου εξοπλισμού της επιχείρησης.

Εμπορεύματα. Πρόκειται για αγαθά που αγοράζονται με σκοπό την μεταπώληση τους χωρίς κάποια επεξεργασία από την επιχείρηση. Αποτελούν εμπορεύματα που αγοράζονται με σκοπό να πωληθούν αυτούσια.

Υποπροϊόντα. Ονομάζονται τα πολύ μικρότερης αξίας προϊόντα, τα οποία προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία για την παραγωγή των έτοιμων προϊόντων. Στο κόψιμο των χαλιών, για παράδειγμα, προκύπτουν συχνά μικρά κομμάτια τα οποία δεν μπορούν να πουληθούν ως κανονικά αγαθά, γιατί δεν έχουν το απαραίτητο μέγεθος αλλά πολλές φορές πωλούνται ξεχωριστά ως υποπροϊόντα σε πολύ μικρότερη τιμή.

Υλικά συσκευασίας. Χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία των έτοιμων προϊόντων και των εμπορευμάτων και δεν αποτελούν μέρος τους. Οι κούτες που προστατεύουν τα προϊόντα και διευκολύνουν τη μεταφορά τους, αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα υλικού συσκευασίας.

Πρώτες και βοηθητικές ύλες (Raw materials - RM). Είναι οι εισροές στην παραγωγική διαδικασία που θα τροποποιηθούν ή θα μετατραπούν σε έτοιμα προϊόντα. Οι βοηθητικές ύλες έχουν πολύ μικρότερη αξία από τις πρώτες ύλες.

Ενδιάμεσα προϊόντα ή υπό-επεξεργασία αγαθά ή ημικατεργασμένα αγαθά (Work in process - WIP). Η παραγωγή αγαθών γίνεται σε διάφορα στάδια. Ως ενδιάμεσα προϊόντα καταγράφονται οι εκροές ενδιάμεσων φάσεων της παραγωγικής διαδικασίας, που θα αποτελέσουν εισροές σε επόμενες φάσεις.

Τελικά προϊόντα (Finished goods - FG). Πρόκειται για αγαθά τα οποία έχουν παραχθεί από την επιχείρηση και προορίζονται για πώληση, διανομή ή αποθήκευση χωρίς άλλη επεξεργασία. Ορισμένα τελικά προϊόντα μπορεί να αποτελούν ενδιάμεσα προϊόντα, και γενικότερα εισροές, για άλλες επιχειρήσεις. Διαφέρουν από τα εμπορεύματα στην προέλευσή τους. Τα έτοιμα προϊόντα παράγονται από την επιχείρηση, ενώ τα εμπορεύματα αγοράζονται για να μεταπωληθούν. Ο πελάτης για αποθέματα έτοιμων αγαθών μπορεί να είναι ο τελικός καταναλωτής, ένας οργανισμός λιανικών πωλήσεων, ένας χονδρέμπορος ή ένας άλλος κατασκευαστής.

Η υπαγωγή των αποθεμάτων σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες εξαρτάται από το συγκεκριμένο είδος που εξετάζεται, καθώς το έτοιμο προϊόν ενός είδους μπορεί να είναι πρώτη ύλη ενός άλλου.

Με βάση τη φυσική κατηγοριοποίηση, δηλαδή με κριτήριο τον τρόπο δημιουργίας τους, τα αποθέματα διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες:

Κυκλικό απόθεμα (cycle inventory). Το κυκλικό απόθεμα είναι το τμήμα του συνολικού αποθέματος που καθορίζεται άμεσα από το μέγεθος της παραγγελίας. Το ύψος του κυκλικού αποθέματος εξαρτάται από τον χρόνο ανάμεσα σε δυο παραγγελίες. Για παράδειγμα, αν γίνεται μια παραγγελία κάθε μήνα, το ύψος του αποθέματος θα πρέπει να ισούται με τη μηνιαία ζήτηση. Όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική περίοδος ανάμεσα σε δυο παραγγελίες τόσο μεγαλύτερο θα είναι το κυκλικό απόθεμα. Ο υπολογισμός της βέλτιστης στάθμης συνεπάγεται την αλληλεπίδραση μεταξύ των οικονομικών κλίμακας των μεγάλων παραγγελιών και του χρηματοοικονομικού κόστους που προκύπτει από τη διατήρηση των αποθεμάτων κύκλου. Το βέλτιστο μέγεθος παραγγελίας είναι γνωστό ως η οικονομική ποσότητα παραγγελίας (economic order quantity - EOQ).

Απόθεμα ασφαλείας (safety stock inventory). Για να αποφύγουν προβλήματα εξυπηρέτησης των πελατών και μη διαθεσιμότητας προϊόντων, οι εταιρείες συχνά κρατάνε ένα απόθεμα ασφαλείας. Τα αποθέματα ασφαλείας είναι χρήσιμα όταν οι προμηθευτές δεν παραδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα στην προκαθορισμένη ημερομηνία, σε αποδεκτή ποιότητα ή όταν τα παρασκευασμένα αντικείμενα έχουν υποστεί ζημιές ή απαιτούν περαιτέρω διορθώσεις. Η διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας σε περίπτωση τέτοιων προβλημάτων. Για τη διατήρηση αποθεμάτων ασφαλείας, μία επιχείρηση κάνει μία παραγγελία νωρίτερα απ' ότι τη χρειάζεται πραγματικά είτε σε μεγαλύτερη ποσότητα.

Απόθεμα αναμονής ή εποχιακό απόθεμα (anticipation inventory). Ως απόθεμα αναμονής καθορίζεται το απόθεμα που χρησιμοποιείται για να απορροφήσει ανόμοια ζήτηση σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Παραδείγματα εποχιακών αποθεμάτων είναι το πετρέλαιο θέρμανσης, τα χριστουγεννιάτικα στολίδια ή τα είδη θαλάσσης. Με τη διατήρηση αποθεμάτων αναμονής, οι επιχειρήσεις δεν είναι υποχρεωμένες να προβαίνουν σε σημαντικές αυξομειώσεις της παραγωγής που συνεπάγονται κόστος. Τα αποθέματα αναμονής χρησιμοποιούνται επίσης και σε περιπτώσεις αβεβαιότητας σχετικά με την πρόσφορα ενός προϊόντος.

Απόθεμα σε κίνηση ή διερχόμενο απόθεμα (pipeline inventory). Τα αποθέματα που κινούνται από το ένα σημείο του συστήματος ροής υλικών στο άλλο καλούνται αποθέματα σε κίνηση. Τα αποθέματα αυτά αποτελούν παραγγελίες που έχουν γίνει αλλά δεν έχουν παραληφθεί ακόμα. Μπορούν να υπολογιστούν ως η μέση τιμή ζήτησης κατά το χρόνο μεταξύ της παραλαβής δυο διαδοχικών παραγγελιών.

Αποθέματα αποσύνδεσης (decoupling stocks). Τα αποθέματα αποσύνδεσης δημιουργούνται μεταξύ δύο φάσεων της παραγωγής με σκοπό να απορροφήσουν τις διακυμάνσεις στους ρυθμούς παραγωγής των δύο σταδίων. Συνήθως, ένα μεγάλο απόθεμα αποσύνδεσης μειώνει την πιθανότητα αναμονής και, κατά συνέπεια, οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού παραγωγής (throughput). Το βέλτιστο μέγεθος του αποθέματος αποσύνδεσης εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ της αύξησης του ρυθμού παραγωγής και του αντίστοιχου κόστους διατήρησης.

2.1.5. Μέθοδοι μείωσης παραγγελιών

Με βάση την κατηγορία των αποθεμάτων μπορούν να καθοριστούν οι κατάλληλες μέθοδοι για τη μείωση του. Οι μέθοδοι αυτές θα πρέπει να περιλαμβάνουν την ενέργεια για τη μείωση του αποθέματος αλλά και τακτικές για τη μείωση του κόστους εξαιτίας της έλλειψης αποθεμάτων. Η βασική τακτική για τη μείωση του κυκλικού αποθέματος είναι απλά η μείωση του μεγέθους της παραγγελίας. Παράλληλα, όμως, για την αποφυγή της αύξησης του κόστους έναρξης νέας λειτουργίας και την αύξηση του συνολικού κόστους παραγγελίας, λόγω αύξησης

του αριθμού των παραγγελιών, θα πρέπει η επιχείρηση να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες παραγγελίας και προετοιμασίας για νέες λειτουργίες. Επίσης, μπορεί να αυξήσει το βαθμό στον οποίο η ίδια εργασία μπορεί να επαναληφθεί χωρίς να χρειάζονται αλλαγές με εξειδίκευση, αφιέρωση πόρων για την παραγωγή ενός μόνο προϊόντος και τη χρησιμοποίηση του ίδιου εξαρτήματος για διαφορετικά προϊόντα.

Η βασική τακτική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του αποθέματος ασφαλείας είναι η τοποθέτηση των παραγγελιών πιο κοντά στο χρόνο που πρέπει να γίνει η παραλαβή. Λόγω της αβεβαιότητας σχετικά με τη ζήτηση, τις προμήθειες και τους χρόνους αποστολής, η τακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών. Οι πιθανές αρνητικές συνέπειες μπορούν να αποφευχθούν αν παράλληλα η επιχείρηση:

- βελτιώσει τις προβλέψεις ζήτησης
- μειώσει το χρόνο ανάμεσα σε δυο παραλαβές
- μειώσει την αβεβαιότητα των προμηθειών και
- δώσει μεγαλύτερη έμφαση σε εργασία και μηχανές, τα μόνα συστατικά στοιχεία της παραγωγής που δεν αποθηκεύονται.

Για την μείωση των αποθεμάτων αναμονής, μια επιχείρηση μπορεί να εξισώσει το ρυθμό παραγωγής της με τον ρυθμό ζήτησης. Παράλληλα θα πρέπει να προσπαθήσει να εξισορροπήσει τη ζήτηση δημιουργώντας νέα προϊόντα με διαφορετικούς κύκλους ζήτησης, με διαφήμιση προϊόντων εκτός εποχής και με εκπτώσεις στα προϊόντα αυτά.

Τέλος μια επιχείρηση για να ελέγξει τα αποθέματα σε κίνηση έχει τη δυνατότητα να μειώσει τη διάρκεια αναμονής των αποθεμάτων όχι όμως και τη ζήτηση. Για τη μείωση των χρόνων αναμονής των αποθεμάτων μπορεί να επιλέξει τους κατάλληλους προμηθευτές και εταιρίες μεταφορών, να βελτιώσει τη διαχείριση των υλικών εντός του εργοστασίου και να μειώσει την ποσότητα της παραγγελίας στις περιπτώσεις που ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από την ποσότητα παραγγελίας.

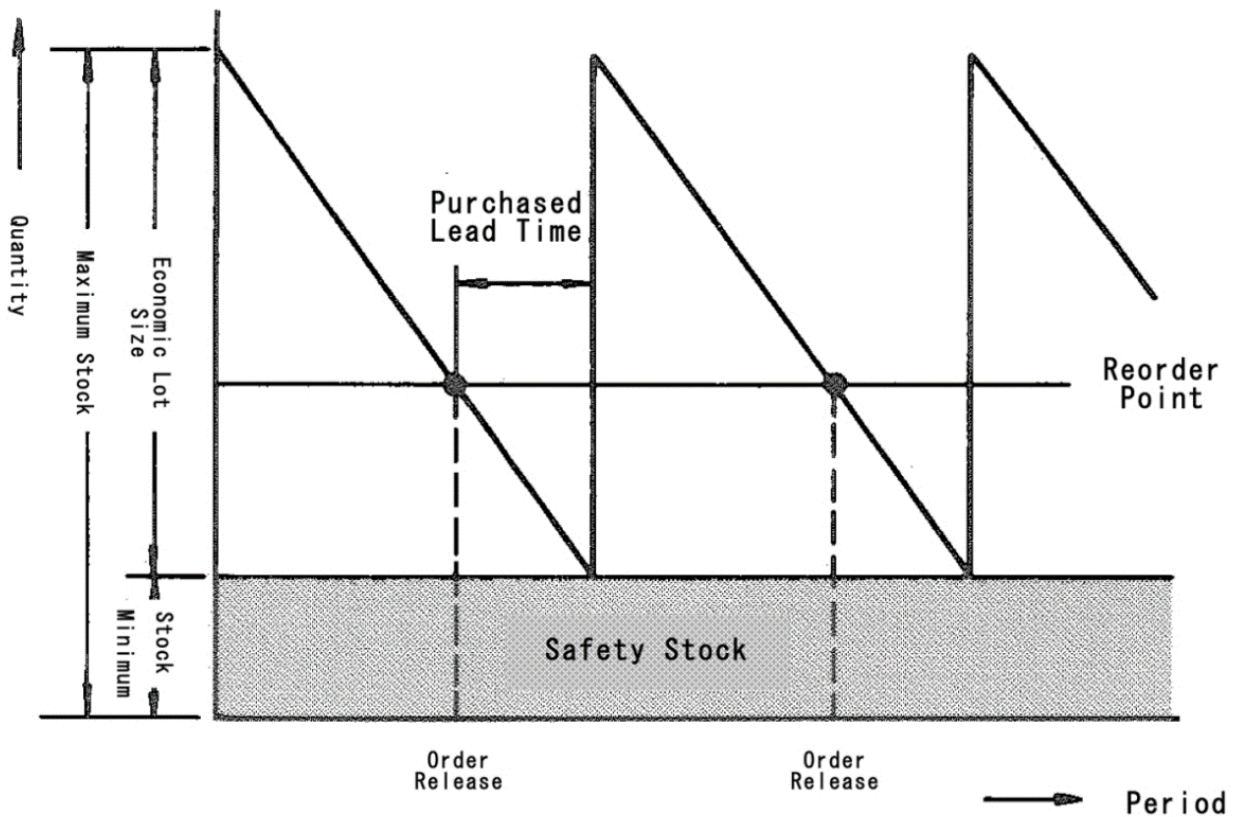
2.1.6. Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων

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 τέσσερις κατηγορίες:

Συστήματα σταθερής ποσότητας παραγγελίας (ή συστήματα συνεχούς παρακολούθησης αποθέματος). Αποτελεί σύστημα συνεχούς επιθεώρησης. Ένα σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας ενεργοποιεί εντολές και τοποθετεί παραγγελία σταθερής ποσότητας Q όταν το απόθεμα φτάσει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο S . Το προκαθορισμένο αυτό επίπεδο ονομάζεται σημείο αναπαραγγελίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.

Για τον ακριβή υπολογισμό του σημείου αναπαραγγελίας θα πρέπει να ισχύουν οι υποθέσεις στήριξης των συστημάτων σταθερής ποσότητας παραγγελίας. Παραγγέλλεται πάντοτε ο ίδιος αριθμός μονάδων, ο ρυθμός της ζήτησης είναι σταθερός και το χρονικό διάστημα μεταξύ παραγγελιών μεταβάλλεται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Η ποσότητα παραγγελίας και το σημείο αναπαραγγελίας αποτελούν τις παραμέτρους του συστήματος. Το σημείο αναπαραγγελίας είναι καθορισμένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επαρκεί να καλύψει τη ζήτηση κατά τη διάρκεια του χρόνου υστέρησης, αφήνοντας στο τέλος του συγκεκριμένου χρόνου ένα καθορισμένο απόθεμα ασφαλείας.



Εικόνα 1 Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας

Με βάση το συγκεκριμένο σύστημα η επιχείρηση διατηρεί χαμηλή ποσότητα αποθεμάτων, γεγονός που συνεπάγεται χαμηλό κόστος. Για την υλοποίηση του συστήματος απαιτείται η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται έλεγχος των

αποθεμάτων και καταγραφή της στάθμης τους συνεχώς, έτσι ώστε να διαπιστώνεται αμέσως πότε θα πρέπει να τοποθετηθεί η παραγγελία. Στο σύστημα αυτό, το κόστος παρακολούθησης του αποθέματος της επιχείρησης είναι σχετικά υψηλό αλλά αντισταθμίζεται από την χαμηλή μέση στάθμη αποθέματος.

Στα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων σταθερής ποσότητας παραγγελίας συγκαταλέγονται τα εξής:

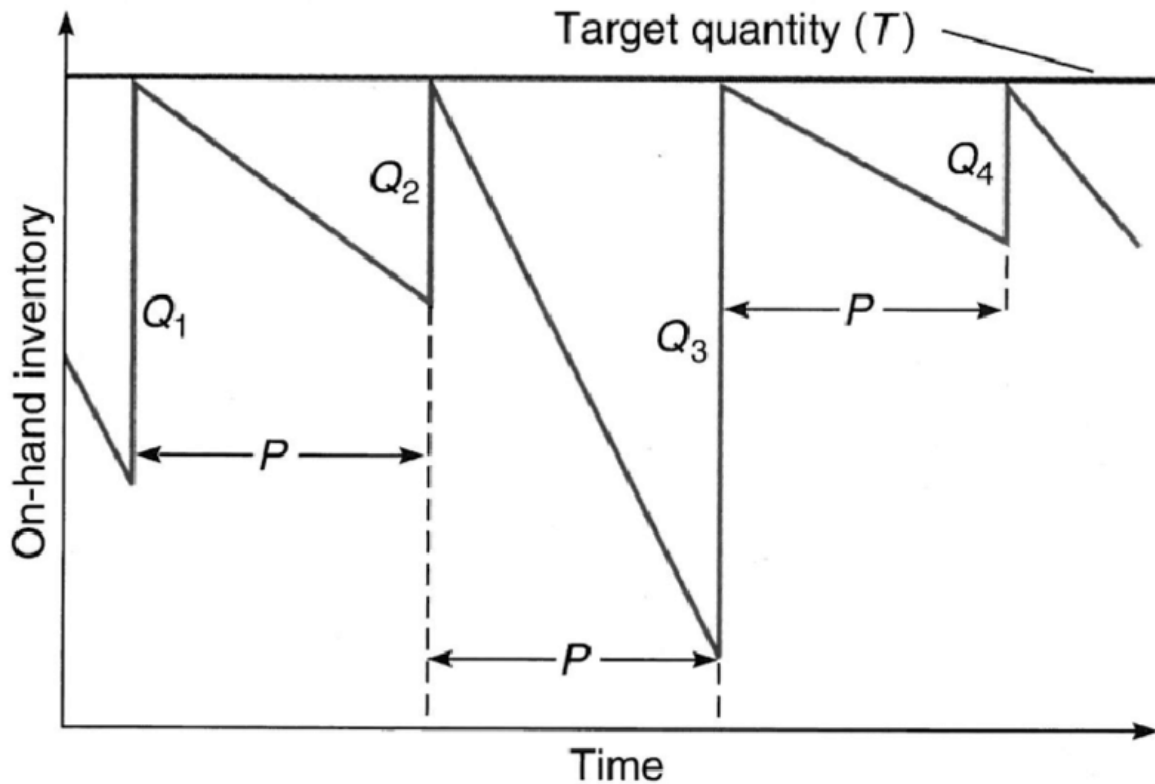
- Κάθε είδος μπορεί να προμηθευτεί στην πιο συμφέρουσα ποσότητα.
- Οι υπεύθυνοι προμηθειών και αποθεμάτων δίνουν άμεσα την προσοχή τους στα ειδή που χρειάζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο.
- Η επένδυση σε απόθεμα μπορεί εύκολα να διατηρηθεί στα επιθυμητά επίπεδα, μόνο με τον υπολογισμό των προκαθορισμένων μέγιστων και ελάχιστων τιμών.

Τα βασικά μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα παρακάτω:

- Κάποιες φορές οι παραγγελίες τοποθετούνται σε ακαθόριστες χρονικές στιγμές που δεν βολεύουν το πρόγραμμα των προμηθευτών ή των μεταφορέων.
- Τα είδη δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν και να παραγγελθούν σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αφού τα σημεία αναπαραγγελίας εμφανίζονται ακανόνιστα.
- Εάν κάποιος προμηθευτής έχει πολύ μεγάλο χρόνο παράδοσης, μπορεί να έχουν αναμένονται δύο ή τρεις παραγγελίες μέχρι την παράδοση, με κίνδυνο να έρθουν όλες μαζί.
- Η ποσότητα της απαιτούμενης παραγγελίας μπορεί να είναι κατά πολύ μικρότερη από την ελάχιστη ποσότητα παραγγελίας του προμηθευτή, ενώ το σημείο αναπαραγγελίας μπορεί να έχει παρέλθει και να μην έχει γίνει αντιληπτό, με αποτέλεσμα να υπάρξει έλλειψη στο απόθεμα (stock out).
- Το σύστημα αυτό προϋποθέτει σταθερή ζήτηση και συγκεκριμένο χρόνο παράδοσης. Εάν αυτά αλλάξουν σημαντικά, πρέπει να ορισθούν νέες παράμετροι, κάτι που είναι αρκετά πολύπλοκο.

Συστήματα σταθερής περιόδου παραγγελίας (ή συστήματα περιοδικής παρακολούθησης αποθέματος). Το σύστημα αυτό περιορίζεται στην τοποθέτηση εντολών στο τέλος μιας προκαθορισμένης περιόδου. Είναι ένα σύστημα αποθεμάτων που βασίζεται στον παράγοντα χρόνο και θεωρείται περιοδικό σύστημα αποθεμάτων. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η στάθμη του αποθέματος επιθεωρείται περιοδικά και σε χρόνους που απέχουν μεταξύ τους σταθερό χρονικό διάστημα P . Κάθε φορά παραγγέλλεται ποσότητα Q_n ίση με τη διαφορά μεταξύ της τρέχουσας στάθμης αποθέματος I και ενός προκαθορισμένου μέγιστου ορίου T , όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Για κάθε είδος καθορίζεται ένα μέγιστο επίπεδο αποθεμάτων. Προφανώς η

ποσότητα αυτή, ανάλογα με την ζήτηση, αυξομειώνεται από χρονική περίοδο σε χρονική περίοδο. Βέβαια, θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να ικανοποιεί τη ζήτηση κατά τη διάρκεια του επόμενου διαστήματος μεταξύ παραγγελιών αλλά και κατά τη διάρκεια της περιόδου ανοχής (lead time).



Εικόνα 2 Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας

Ως παράμετροι του συγκεκριμένου συστήματος θεωρούνται τα μεγέθη P και T . Οι δυσκολίες του παρόντος συστήματος εντοπίζονται στον επακριβή προσδιορισμό των μεγεθών αυτών, τα οποία αποτελούν τις παραμέτρους του προβλήματος βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίησης) του ετήσιου ολικού κόστους αποθέματος. Ουσιαστικά, κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος στην πράξη, το διάστημα μεταξύ παραγγελιών επιλέγεται ανάλογα με το πρόβλημα που τίθεται προς επίλυση, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως για παράδειγμα διαθέσιμο ανθρώπινο δυναμικό για τον έλεγχο των αποθεμάτων, και καθορίζεται ημερησίως, εβδομαδιαίως ή ετησίως ανάλογα με το ποια περίοδος κριθεί καταλληλότερη. Οι ποσότητες των παραγγελιών (που υπολογίζονται με βάση το T) ποικίλλουν ανάλογα με τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται στη χρήση του προϊόντος μεταξύ παραγγελιών.

Στα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων σταθερής περιόδου παραγγελίας συγκαταλέγονται τα εξής:

- Το κόστος παραγγελίας και προμήθειας των αποθεμάτων είναι χαμηλό. Το κόστος παραγγελίας είναι ιδιαίτερος μειωμένο, εάν και ενδεχομένως να είναι απαραίτητη επιπλέον εργασία μετά από κάθε παραγγελία.
- Οι προμηθευτές θα προσφέρουν ελκυστικές εκπτώσεις στις αντίστοιχες περιόδους.
- Τα συστήματα αυτά λειτουργούν καλά για προϊόντα τα οποία παρουσιάζουν διακοπτόμενη ή εποχιακή ζήτηση και των οποίων η προμήθεια πρέπει να προγραμματιστεί προκαταβολικά με βάση την πρόβλεψη πωλήσεων.

Τα βασικά μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα παρακάτω:

- Τα συστήματα περιοδικού ελέγχου συνήθως επιλέγουν την προμήθεια σχετικά κοντά στις ημερομηνίες ελέγχου.
- Τα συστήματα αυτά απαιτούν την καθιέρωση μη ευέλικτων ποσοτήτων παραγγελίας για την ικανοποίηση μιας αποτελεσματικής διαχειριστικής διαδικασίας.
- Απαιτούν περιοδικό έλεγχο όλων των ειδών. Αυτό από μόνο του καθιστά το σύστημα κάπως αντιπαραγωγικό.

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στις δύο μεγάλες κατηγορίες συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1 Διαφορές συστημάτων διαχείρισης αποθεμάτων

	Συστήματα σταθερής ποσότητας παραγγελίας	Συστήματα σταθερής περιόδου παραγγελίας
Έναρξη παραγγελίας	Όταν το διαθέσιμο απόθεμα φτάσει στο σημείο αναπαραγγελίας	Βάση συγκεκριμένης περιόδου καταγραφής και όχι βάση ποσότητας αποθέματος
Περίοδος παραγγελίας	Οποιαδήποτε στιγμή το απόθεμα φτάσει στο σημείο αναπαραγγελίας	Μόνο μετά από την προκαθορισμένη περίοδο
Καταγραφή αποθεμάτων	Συνεχής. Κάθε φορά που το απόθεμα μειώνεται ή αυξάνεται	Μόνο κατά την προκαθορισμένη περίοδο καταγραφής

Ποσότητα παραγγελίας	Σταθερή. Κάθε φορά παραγγέλλεται η ίδια ποσότητα	Η ποσότητα διαφέρει ανάλογα με την χρονική στιγμή της παραγγελίας
Μέγεθος αποθέματος	Μικρότερο από των συστημάτων σταθερής περιόδου	Μεγαλύτερο από των συστημάτων σταθερής ποσότητας
Περίοδος διατήρησης αποθέματος	Υψηλότερη εξαιτίας της συνεχούς καταγραφής αποθεμάτων	Μικρότερη λόγω καταγραφής μόνο σε συγκεκριμένη περίοδο

Μεικτά συστήματα επιλεκτικής αναπλήρωσης. Τα μεικτά συστήματα επιλεκτικής αναπλήρωσης αποτελούν τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών των δύο παραπάνω συστημάτων. Σε αυτή τη μέθοδο, απαιτείται ο προσδιορισμός τριών παραμέτρων, της περιόδου, του επιπέδου αποθέματος και της ποσότητας παραγγελίας. Αναλυτικότερα, τα επίπεδα των αποθεμάτων επιθεωρούνται περιοδικά, ανά ορισμένα διαστήματα, αλλά οι παραγγελίες γίνονται μόνο όταν το ύψος των αποθεμάτων έχει πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Σε αυτή τη περίπτωση τοποθετείται παραγγελία ποσότητας που επαρκεί ώστε να αναπληρωθεί το απόθεμα ασφαλείας που έχει τυχόν αναλωθεί κατά τη διάρκεια της προηγούμενης περιόδου, και ίσης με την προβλεπόμενη ανάλωση κατά την επόμενη περίοδο (η οποία θεωρείται σταθερή). Με άλλα λόγια, εμφανίζει ομοιότητες με το σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας, καθώς παραγγέλλεται μία σταθερή ποσότητα αποθέματος (ίσης με τη μέση ανάλωση ανά περίοδο), με τη διαφορά ότι παραγγέλλεται και το μέρος του αποθέματος ασφαλείας που πιθανώς αναλώθηκε τη προηγούμενη περίοδο. Επίσης, διατηρεί το χαρακτηριστικό της σταθερής περιόδου επιθεώρησης και αναπλήρωσης του αποθέματος, γεγονός που δείχνει ότι εμφανίζει ομοιότητες και με το σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας. Βασικό πλεονέκτημα των μεικτών συστημάτων επιλεκτικής αναπλήρωσης είναι ότι έχει το χαμηλότερο συνολικό κόστος αποθεμάτων.

Συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων με τυχαία ζήτηση. Στο βασικό μοντέλο αποθεμάτων, η ζήτηση και ο χρόνος υστέρησης θεωρούνται σταθερά, στην πράξη, όμως, συνήθως σημειώνονται διακυμάνσεις και στους δυο παράγοντες, οι οποίες αντιμετωπίζονται με τα αποθέματα ασφαλείας. Στην περίπτωση όπου η ζήτηση είναι αβέβαιη/στοχαστική τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων είναι στοχαστικά και ταξινομούνται με βάση τις περιόδους επιθεώρησης σε περιοδικής και συνεχούς επιθεώρησης. Με το σύστημα περιοδικής επιθεώρησης αποθέματος, η γνώση του επιπέδου του αποθέματος γίνεται μόνο σε συγκεκριμένα διακριτά σημεία μέσα στο χρόνο, εν αντιθέσει με το σύστημα συνεχούς επιθεώρησης, όπου αυτό γίνεται ανά πάσα χρονική στιγμή.

Το πιο διαδεδομένο στοχαστικό μοντέλο διαχείρισης αποθεμάτων με περιοδική επιθεώρηση ονομάστηκε «Μοντέλο Newsboy». Πρόκειται για μοντέλο ενιαίας περιόδου με στοχαστική ζήτηση, η οποία ακολουθεί την κανονική κατανομή πιθανοτήτων με μέση τιμή « μ » και τυπική απόκλιση « σ ». Απαιτείται προσδιορισμός της ποσότητας παραγγελίας πριν την έναρξη της περιόδου και υπάρχουν κόστη είτε από πλεονάζουσες είτε από ελλείπουσες παραγγελίες, λόγω της άγνωστης και στοχαστικής ζήτησης που υπάρχει.

Όσον αφορά τη συνεχή επιθεώρηση συγκαταλέγονται δυο ειδών συστήματα, η διαφορά των οποίων έγκειται στο ύψος της ποσότητας της παραγγελίας. Ως μια παραλλαγή του βασικού μοντέλου αποθεμάτων έχουμε το σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας, στο οποίο η παραγγελία δίνεται όταν το συνολικό απόθεμα πέσει στη στάθμη S , με την διαφορά ότι η ποσότητα παραγγελίας είναι είτε Q είτε πολλαπλάσιο του Q . Εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις εκδήλωσης της ζήτησης κατά παρτίδες. Το δεύτερο είναι το σύστημα μεταβλητής ποσότητας παραγγελίας, στο οποίο η παραγγελία δίνεται, όταν το συνολικό απόθεμα πέσει κάτω από την καθορισμένη στάθμη S . Η ποσότητα παραγγελίας είναι ανάλογη του μέγιστου συνολικού ύψους αποθέματος, όταν δηλαδή αυτό προσεγγίσει την στάθμη S . Μειονεκτεί σε ευχρηστία έναντι του πρώτου, διότι η ποσότητα παραγγελίας δεν είναι σταθερή, υπερτερεί, όμως, σε αποτελεσματικότητα.

2.2. Καταγραφή του προβλήματος

Το πρόβλημα που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι ότι παρόλη την ύπαρξη σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης αποθεμάτων, μεθοδολογιών πρόβλεψης αυτών και συστημάτων διαχείρισης αποθηκών, η εφαρμογή τους σε μια μεγάλη επιχείρηση είναι προβληματική. Τα προβλήματα εφαρμογής όλων των παραπάνω συνοψίζονται στους παρακάτω λόγους:

- **Έλλειψη πόρων.** Για την ενσωμάτωση ενός προηγμένου συστήματος διαχείρισης αποθήκης που θα είναι ταυτόχρονα συνδεδεμένο με τα τελικά καταστήματα στη διαδικασία διαχείρισης αποθεμάτων απαιτείται μια επένδυση εκατομμυρίων η οποία δεν αποτελεί προτεραιότητα στην πλειονότητα των επιχειρήσεων λιανεμπορίου και ειδικά του κλάδου των προϊόντων ευρείας κατανάλωσης (Fast Moving Consumer Goods - FMCG) στα πλαίσια μιας οικονομικής κρίσης στην οποία έχει εισέλθει η χώρα την τελευταία δεκαετία.
- **Έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού.** Για τη λειτουργία των προαναφερόμενων συστημάτων απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο οι εταιρείες δε διαθέτουν. Ακόμα και σε περίπτωση που τα υπάρχοντα συστήματα επιχειρησιακού σχεδιασμού (Enterprise Resource Planning – ERP) μιας επιχείρησης διαθέτουν τις δυνατότητες ανάλυσης αποθέματος και πρόβλεψης του, η χρήση των συγκεκριμένων δυνατοτήτων δεν μπορεί να γίνει χωρίς την απαραίτητη θεωρητική γνώση του αντικειμένου των προβλέψεων καθώς σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε τα αντίθετα αποτελέσματα και θα οδηγηθούμε σε περίσσεια αποθέματος (overstock) ή έλλειψη αποθέματος (stock out), λόγω της φύσης του ανθρώπου για προκατάληψη και τάση προς συγκεκριμένες αποφάσεις.
- **Ιδιαιτερότητες προϊόντων.** Ένα επιπλέον πρόβλημα για την εφαρμογή του συνόλου των μεθοδολογιών αυτών είναι οι ιδιαιτερότητες των προϊόντων. Ήδη έχουμε αναφερθεί στο πλήθος των διαφορετικών κωδικών καθώς και στον τρόπο συσκευασίας και αποθήκευσής τους. Σε αυτά θα πρέπει να προσθέσουμε και το πρόβλημα των συνεχώς μεταβαλλόμενων κωδικών των προϊόντων (εκπτώτικοί κωδικοί, προωθητικές συσκευασίες, νέες παρτίδες).
- **Ιδιαιτερότητες οικονομικού περιβάλλοντος.** Επιπροσθέτως, υπάρχουν οι ιδιαιτερότητες του οικονομικού περιβάλλοντος που δεν έχουν καμία σχέση με το ύψος της ζήτησης ή του αποθέματος αλλά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη από ένα σύστημα προβλέψεων με στόχο τη βελτιστοποίησης της διαδικασίας παραγγελίας στους προμηθευτές. Οι ιδιαιτερότητες αυτές έχουν να κάνουν με τον τρόπο και τη διαδικασία των πληρωμών (μετρητοίς, επί πιστώσει, κλπ.) τα ποσοστά εκπτώσεων βάση του ύψους της παραγγελίας καθώς και τις επιστροφές χρημάτων βάσει τζίρου (rebates) και τους στόχους ανά προμηθευτή ή εταιρεία παραγωγής.

- **Ιδιαιτερότητες στη μεθοδολογία παράδοσης των προϊόντων.** Τέλος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ιδιαιτερότητες που αφορούν τη μέθοδο παράδοσης των προϊόντων. Αρχικά, πολλοί προμηθευτές παραδίδουν συγκεκριμένες ημέρες της εβδομάδας και μόνο αν η παραγγελία έχει συγκεκριμένη αξία ή συγκεκριμένο όγκο. Επιπλέον, οι παραδόσεις μπορεί να γίνονται τόσο σε κεντρικές αποθήκες της επιχείρησης όσο και σε κατά τόπους αποθήκες των καταστημάτων. Τέλος κάποιες παραδόσεις πρέπει να γίνονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία προϊόντων) και βάσει συγκεκριμένων χρονικών ορίων που δίνει ο νόμος (π.χ. ευαίσθητα προϊόντα) ή που επιβάλλονται από τη φύση των προϊόντων (π.χ. προϊόντα με σύντομη ημερομηνία λήξης).

2.3. Στόχος της διπλωματικής

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός σύγχρονου, αυτοματοποιημένου συστήματος πρόβλεψης παραγγελιών για την κάλυψη των αναγκών μιας μεγάλης αλυσίδας σούπερ μάρκετ. Το τελικό σύστημα θα έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με το ERP της επιχείρησης, με στόχο την αυτοματοποιημένη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, την παραγωγή προβλέψεων για τους απαραίτητους κωδικούς προϊόντων και την αυτόματη τοποθέτηση των παραγγελιών στους προμηθευτές. Το τελικό σύστημα δε θα έχει κάποιο γραφικό περιβάλλον διεπαφής (user interface – UI) με τους χρήστες με στόχο την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας καθώς και την αποφυγή σφαλμάτων λόγω λανθασμένων χειρισμών των χρηστών.

Η εταιρεία για την οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη περίπτωσης (case study) δραστηριοποιείται στο χώρο των σουπερμάρκετ, με πάνω από 250 καταστήματα και τρία κέντρα διανομής (κεντρικές αποθήκες) στην Ελλάδα. Δεν έχει εφαρμόσει ποτέ καμία στατιστική μέθοδο πρόβλεψης ζήτησης σε κανέναν κωδικό της. Οι παραγγελίες στους προμηθευτές βασίζονται, μέχρι σήμερα, σε στατιστικά στοιχεία πωλήσεων και πραγματοποιούνται μόνο με βάση την εμπειρία των στελεχών της.

3. Τεχνικές προβλέψεων

3.1. Γενικά για τις προβλέψεις

Οι προβλέψεις πάντα αποτελούσαν αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης φύσης, τόσο σε απλές καθημερινές περιστάσεις όσο και σε σημαντικότερες αποφάσεις που αφορούν το ατομικό ή το συλλογικό μέλλον. Από την απόφαση για το αν θα πάρουμε ομπρέλα μαζί μας το πρωί έως την απόφαση για την επένδυση εκατομμυρίων ευρώ, η πρόβλεψη του καιρού από την μια και της παγκόσμιας οικονομίας από την άλλη μας οδηγούν στην λήψη της απόφασης. Ειδικότερα, η σημασία των προβλέψεων έχει αυξηθεί ραγδαία από το 1980 και μετά. Η σημασία των προβλέψεων έχει γίνει εμφανής τόσο σε ακαδημαϊκό επίπεδο όσο και στο επίπεδο των επιχειρήσεων.

Αναπόφευκτα λοιπόν, συμβολή σε αυτή την ανάπτυξη του κλάδου των προβλέψεων έχουν από την μία πλευρά οι ακαδημαϊκοί με την εξέλιξη της επιστήμης των προβλέψεων κυρίως με την δημιουργία ενός μεγάλου συνόλου μεθόδων και από την άλλη πλευρά τα στελέχη των επιχειρήσεων με την πρακτική εφαρμογή των μελετών στο εσωτερικό των επιχειρήσεων.

Το ενδιαφέρον για τις προβλέψεις πηγάζει κυρίως από την αβεβαιότητα για το μέλλον η οποία αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό των οικονομιών οι οποίες πλήττονται από την οικονομική ανασφάλεια. Από τους διοικητές των επιχειρήσεων και τους υπεύθυνους για την λήψη πολιτικών αποφάσεων έως εμάς τους ίδιους στην καθημερινή μας ζωή, όλοι μας βρισκόμαστε αντιμέτωποι με την αβεβαιότητα. Η κατάσταση αβεβαιότητας γίνεται όλο και πιο έντονη και έχει επιβάλλει μια πιο συστηματική και προσεκτική έρευνα του μέλλοντος. Τόσο τα ιστορικά δεδομένα όσο και οι προβλέψεις καθαυτές χρησιμοποιούνται σαν δεδομένα σε όλες τις κατηγορίες σχεδιασμού, πολιτικού σχεδιασμού, χρονικού προγραμματισμού καθώς και πλήθος δραστηριοτήτων λήψης απόφασης. Για τους παραπάνω λόγους η αναγκαιότητα της πρόβλεψης είναι κάτι παραπάνω από επιβεβλημένη. Αυτή τη χρονική περίοδο η μεγαλύτερη πρόκληση στον τομέα των προβλέψεων είναι να γίνει η διαδικασία των προβλέψεων όσο το δυνατόν πιο χρήσιμη, αποδοτική και ακριβής.

Η αβεβαιότητα που αποτελεί και το πιο σημαντικό «εχθρό» της επιστήμης των προβλέψεων έχει κατηγοριοποιηθεί από τον Μακρυδάκη και τους συνεργάτες του στο βιβλίο «Χορεύοντας με την Τύχη». Αναφέρουν λοιπόν δυο είδη αβεβαιότητας που συναντάμε καθημερινά, την «αβεβαιότητα του μετρώ» και την «αβεβαιότητα της καρύδας». Η «αβεβαιότητα του μετρώ» αναφέρεται σε συνεχείς μικρές τυχαίες διακυμάνσεις τόσο της ιδιωτικής όσο και της επιχειρηματικής καθημερινότητας. Ο όρος προήλθε από την επιπλέον χρονική διάρκεια που θα χρειαστεί ένας συρμός για την διαδρομή μεταξύ δυο

απομακρυσμένων σταθμών, λόγω ενός τεχνικού προβλήματος, της πολυκοσμίας ή μιας στάσης εργασίας. Από την άλλη, η «αβεβαιότητα της καρύδας» αναφέρεται σε ένα εντελώς απρόσμενο και σπάνιο γεγονός που να έχει σημαντικές επιδράσεις και συνέπειες. Το όνομα αυτού του είδους η αβεβαιότητα το πήρε από το απρόσμενο γεγονός που μπορεί να συμβεί καθώς περπατάμε στο δρόμο και να πέσει στο κεφάλι μας μια καρύδα! Η «αβεβαιότητα της καρύδας» αντιπαραβάλλεται με μεγάλες φυσικές ή οικονομικές καταστροφές που είναι δύσκολο να προβλεφθεί το πότε και το που θα συντελεστούν καθώς και πόσο μεγάλες θα είναι οι επιδράσεις τους.

Όλα αυτά τα χρόνια, η επιστήμη των προβλέψεων έχει δεχθεί σφοδρές κριτικές και είχε να αντιμετωπίσει τη μεγάλη δυσaréσκεια σχετικά με την ανικανότητα των μεθόδων να προειδοποιήσουν έγκαιρα για επερχόμενες αλλαγές καθώς και για τα μεγάλα σφάλματα στις προβλέψεις. Συγχρόνως όμως, λανθασμένες ενέργειες οι οποίες προκαλούνται από ασταθή περιβάλλοντα, μη αναμενόμενες εξελίξεις, ασυνέχειες και άλλα αυξάνουν την ανάγκη για πραγματοποίηση προβλέψεων. Όταν δεν υπάρχει αβεβαιότητα στο περιβάλλον και τα πάντα κυλούν ομαλά και ακολουθούν την αναμενόμενη πορεία τους, δεν υπάρχει καμία ουσιαστική ανάγκη για προβλέψεις. Σε περιόδους όμως, οι οποίες χαρακτηρίζονται από συνεχείς και απότομες μεταβολές και συνεπώς η ικανότητα πρόβλεψης είναι αισθητά μειωμένη, η ζήτηση και η ανάγκη για προβλέψεις παρουσιάζει κατακόρυφη αύξηση. Πρακτικά το παραπάνω γεγονός επιβεβαιώνεται σε περιόδους οικονομικών και άλλων κρίσεων κατά την διάρκεια των οποίων η αναζητήσεις για συμβούλους προβλέψεων αυξάνεται.

3.2. Χαρακτηριστικά χρονοσειρών

3.2.1. Εισαγωγή

Για την εξαγωγή προβλέψεων αλλά και γενικότερα για την στατιστική ανάλυση και τη μελέτη μιας μεταβλητής, το πρώτο σημαντικό βήμα είναι η συλλογή και η οργάνωση των ιστορικών στοιχείων της μεταβλητής αυτής. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο έγκυρα και πιο επικαιροποιημένα έτσι ώστε η μετέπειτα επεξεργασία τους με κάποια μέθοδο πρόβλεψης να μας επιτρέψει να επιτύχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη ακρίβεια.

Μια από τις διάφορες κατηγοριοποιήσεις δεδομένων η οποία έχει επικρατήσει στον τομέα των προβλέψεων είναι ο διαχωρισμός των δεδομένων σε δυο βασικές κατηγορίες. Τα **διαστρωματικά στοιχεία** (cross – sectional data) και οι **χρονολογικές σειρές** (time series), που έχουν επικρατήσει με την ονομασία **χρονοσειρές** αποτελούν τις 2 αυτές κατηγορίες. Η βασική διαφορά των δυο αυτών κατηγοριών είναι ότι στα διαστρωματικά δεδομένα για ένα συγκεκριμένο μέγεθος και για το ίδιο χρονικό διάστημα υπάρχουν πολλές παρατηρήσεις ενώ οι χρονοσειρές αποτελούνται από μια αλληλουχία διαχρονικών παρατηρήσεων του ίδιου μεγέθους. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής βασίζεται στη διαχείριση χρονοσειρών και για αυτό θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση των χαρακτηριστικών τους.

3.2.2. Ανάλυση έννοιας χρονοσειράς

Οι χρονοσειρές αποτελούν ένα σύνολο διαδοχικών παρατηρήσεων της τιμής κάποιου φυσικού ή άλλου μεγέθους ανηγμένες στο χρόνο. Βάσει της αλληλουχίας τιμών των διαδοχικών δεδομένων των χρονοσειρών μπορεί να γίνει και ο διαχωρισμός τους. Οι δυο βασικές κατηγορίες χρονοσειρών με βάση τον τρόπο προσδιορισμού των μελλοντικών δεδομένων είναι οι **ντετερμινιστικές** χρονοσειρές και οι **στοχαστικές** χρονοσειρές. Στις ντετερμινιστικές χρονοσειρές οι διαδοχικές παρατηρήσεις της χρονοσειράς δεν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και οι μελλοντικές τιμές μπορούν να υπολογιστούν από τις προηγούμενες. Αντίθετα, στις στοχαστικές χρονοσειρές, οι τιμές των μελλοντικών παρατηρήσεων προκύπτουν από μια στοχαστική διαδικασία και δεν περιγράφονται πλήρως από το παρελθόν των αντίστοιχων τιμών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρακολούθηση, η ανάλυση και η πρόβλεψη πραγματικών χρονοσειρών, καθώς η εξέλιξή τους είναι εν γένει άγνωστη και επιδέχεται πρόβλεψη. Στην πραγματικότητα όμως το μέλλον των πραγματικών χρονοσειρών καθορίζεται μερικώς μόνο από το παρελθόν, αφού η πλειοψηφία των χρονοσειρών που εμφανίζονται στον

πραγματικό κόσμο επηρεάζονται από κάποιο «τυχαίο παράγοντα». Έτσι, θεωρείται ότι οι χρονοσειρές αντιπροσωπεύουν κυρίως στοχαστικές διαδικασίες και όχι ντετερμινιστικά συστήματα.

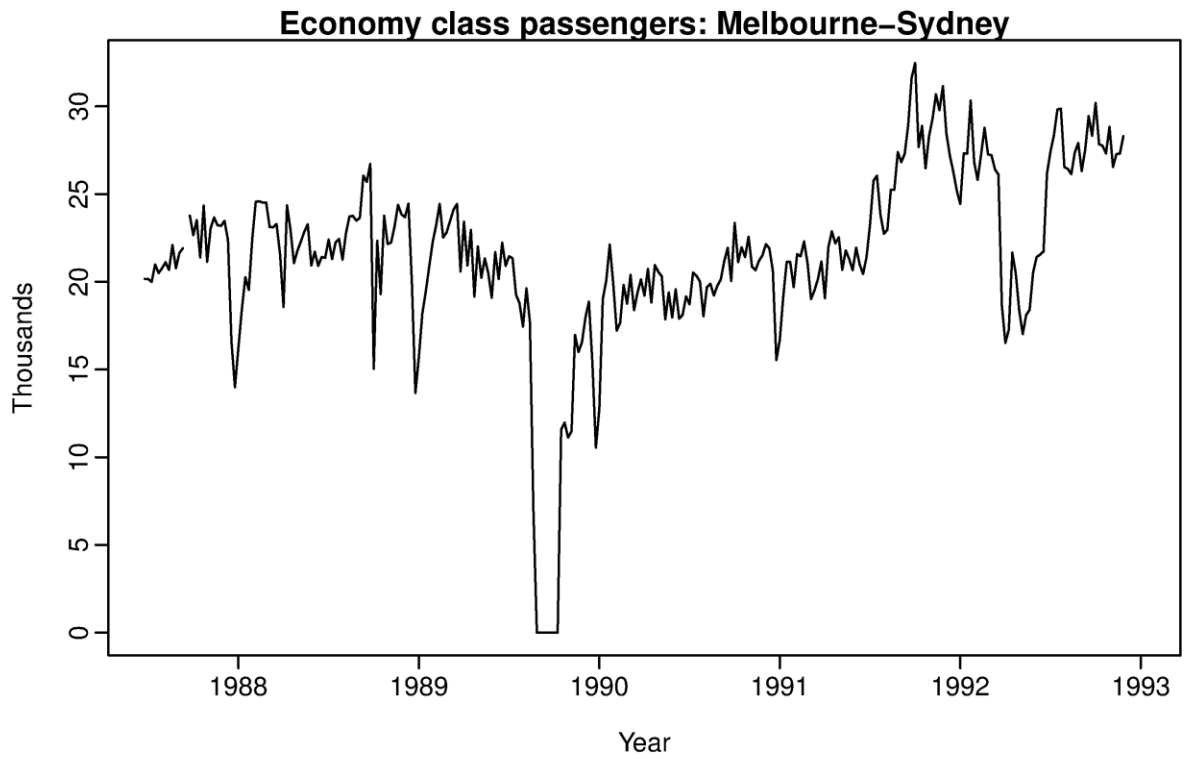
Ο διαχωρισμός των χρονοσειρών που αναφέρθηκε δεν είναι πάντα τόσο προφανής ώστε άμεσα να μπορούμε να χαρακτηρίσουμε μια χρονοσειρά. Παρόλα αυτά, η κατηγοριοποίηση είναι απαραίτητη για την αναγνώριση και την κατανόηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την εξέλιξη μιας χρονοσειράς ανεξάρτητα με το είδος των δεδομένων τους.

3.2.3. Αναπαράσταση χρονοσειρών

Όπως αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο η χρονοσειρά δεν είναι τίποτα παραπέρα από μια σειρά παρελθουσών τιμών για την περιγραφή ενός μεγέθους ή μιας μεταβλητής. Οι τιμές αυτές αποτελούν την ιστορική πληροφορία της χρονοσειράς ή όπως έχει επικρατήσει να ονομάζεται τα ιστορικά δεδομένα. Όταν τα ιστορικά δεδομένα αυτά αρχίζουν να μεγαλώνουν σε όγκο (πχ ιστορικά δεδομένα της τιμής μιας μετοχής του Χρηματιστηρίου ανά λεπτό από το 1990) ή ακόμα πιο σύνθετα όταν αρχίζουμε να μελετάμε αρκετά ομοειδή μεγέθη (πχ ιστορικά δεδομένα όλων των τιμών των μετοχών του Χρηματιστηρίου ανά λεπτό από το 1990) τότε το πρόβλημα αρχίζει να γίνεται εμφανές και ένας άνθρωπος αδυνατεί να ανταποκριθεί. Είναι λοιπόν προφανής η ανάγκη για μια πιο απτή αναπαράσταση των ιστορικών δεδομένων τόσο για την μελέτη της όσο και για την παρουσίασή της.

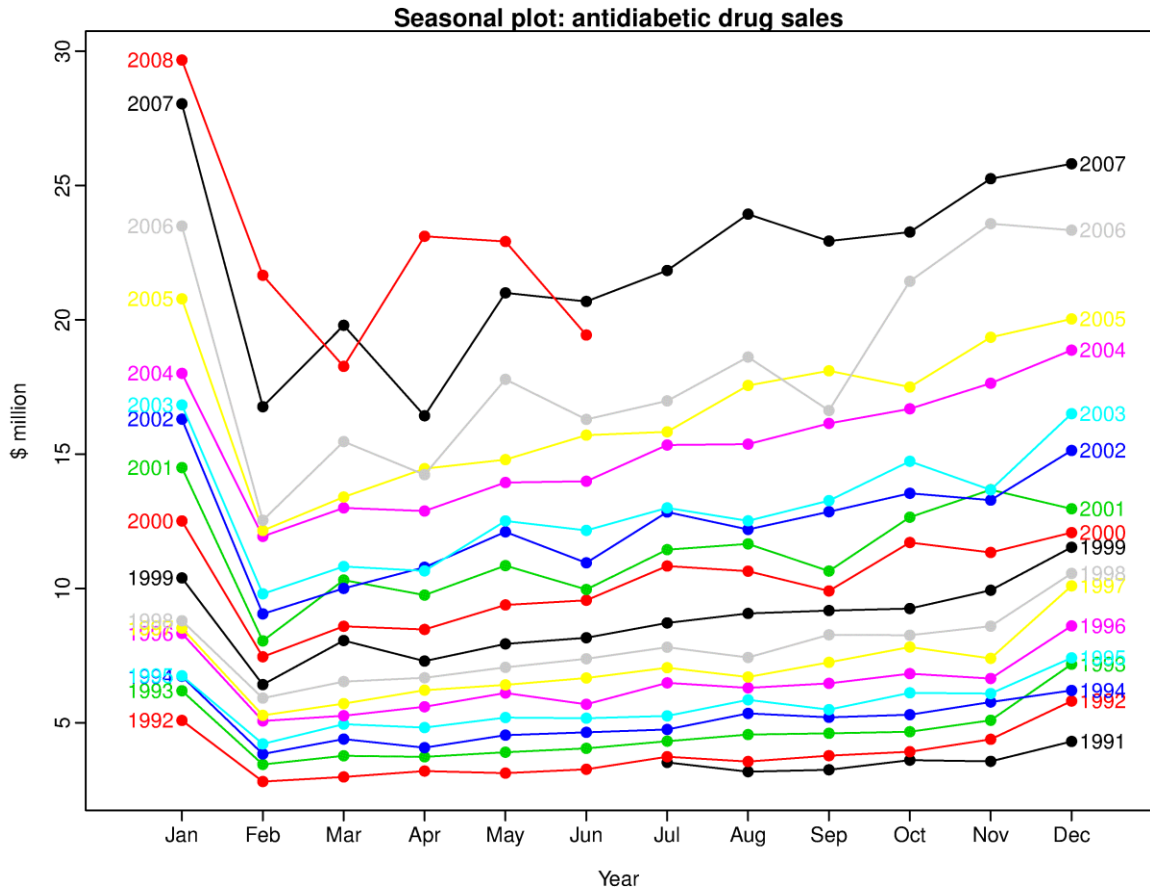
Η λύση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε με τη δισδιάστατη γραφική αναπαράσταση των ιστορικών δεδομένων κάθε χρονοσειράς. Οι κύριοι τύποι γραφημάτων που χρησιμοποιούνται για την γραφική αναπαράσταση χρονοσειρών είναι:

- 1 **Διαγράμματα Χρόνου** (time plots): Είναι το πλέον προφανές και χρησιμοποιούμενο διάγραμμα και αναπαριστά τα διαθέσιμα δεδομένα στην πάροδο του χρόνου. Μέσω των διαγραμμάτων αυτών γίνονται άμεσα αντιληπτά τα βασικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών όπως η τάση και η εποχιακότητα. Η χρήση των γραφημάτων αυτών είναι διαδεδομένη σε σχεδόν όλους τους τομείς των επιχειρήσεων αλλά και της καθημερινότητας (χρηματιστήρια, πωλήσεις προϊόντων, εισαγωγές-εξαγωγές προϊόντων, κοινωνικοπολιτικά στοιχεία, κα) καθώς η πλειοψηφία των ανθρώπων τα κατανοούν με ευκολία.



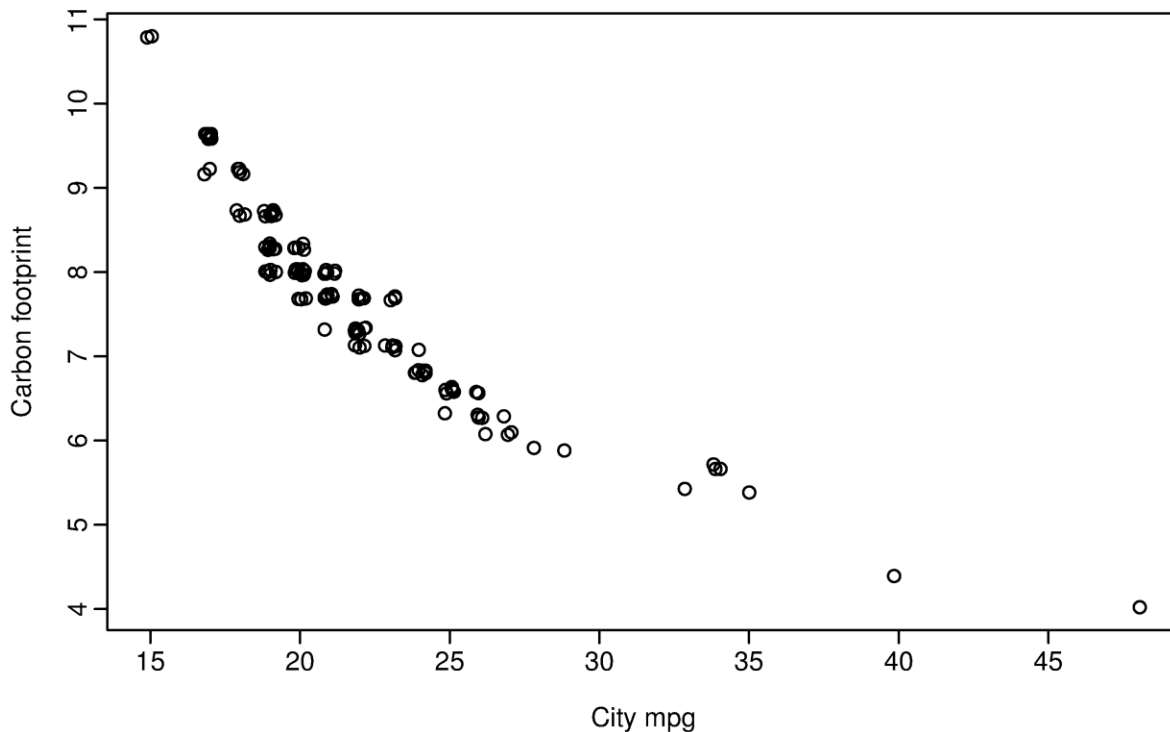
Εικόνα 3.2.3.1: Αριθμός επιβατών οικονομικής θέσης Μελβούρνη – Σύδνεϋ

- 2 **Εποχιακά Διαγράμματα** (seasonal plots): Τα διαγράμματα αυτά ενδείκνυνται για χρονοσειρές που εμφανίζουν έντονη εποχιακότητα.



Εικόνα 3.2.3.2: Μηνιαία πώληση φαρμάκων κατά του διαβήτη

- 3 **Διαγράμματα Διασποράς** (scatter plots): Η χρήση αυτού του τύπου γραφημάτων γίνεται κυρίως για σύγκριση μεταξύ διαφορετικών προϊόντων, υπηρεσιών ή οποιαδήποτε άλλη δυνατή σύγκριση. Το γράφημα παρουσιάζει τα διαφορετικά αυτά επιλεγμένα δεδομένα και αποτυπώνει την σύγκριση σε σχέση μεταξύ δύο διαφορετικών μεγεθών ή χαρακτηριστικών που αφορούν αυτά τα δεδομένα.



Εικόνα 3.2.3.3: Αποτύπωμα Άνθρακα – Εξοικονόμηση Καυσίμου

Από την γραφική αναπαράσταση και εν γένει την οπτικοποίηση των ιστορικών δεδομένων καθίσταται ευκολότερη η διαδικασία αναγνώρισης των βασικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς καθώς και η εύρεση ακραίων και ιδιαίτερων τιμών, των οποίων η διόρθωση ή η αντιμετώπιση είναι απόφαση του αναλυτή.

3.2.4. Ποιοτικά χαρακτηριστικά χρονοσειρών

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι χρονοσειρές δομούνται από κάποια βασικά χαρακτηριστικά και φυσικά με κατάλληλες τεχνικές μπορούν, υπό προϋποθέσεις, να αναλυθούν σε αυτά. Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάλυσης των χρονοσειρών ασχολούνται με την ανάλυση της διακύμανσης της χρονοσειράς σε τέσσερα βασικά συστατικά: την **τάση**, την **κυκλικότητα**, την **εποχιακότητα** και τις **μη κανονικές διακυμάνσεις**. Η προσέγγιση αυτή είναι χρήσιμη όχι μόνο για την εφαρμογή της κλασικής μεθόδου αποσύνθεσης, ένα μέρος της οποίας χρησιμοποιείται και από την εφαρμογή για την αποεποχικοποίηση των χρονοσειρών αλλά και για την ανάλυση κάθε χρονοσειράς σε επιμέρους στοιχεία ώστε ο αναλυτής να είναι σε θέση να χειριστεί την κάθε χρονοσειρά με την ενδεικνυόμενη για κάθε περίπτωση τεχνική ή μέθοδο.

Θα αναφερθούμε ξεχωριστά σε κάθε ένα από τα στοιχεία στα οποία μπορεί να αποσυντεθεί μια χρονοσειρά, καθώς θεωρούμε τις τέσσερις αυτές έννοιες απαραίτητη γνώση,

ειδικά για τους εξιδεικευμένους αναλυτές των επιχειρήσεων που θα ακολουθήσουν την προτεινόμενη μεθοδολογία.

Αρχικά η **τάση**, αποτελεί το πρώτο συστατικό μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως μια «μακροπρόθεσμη» μεταβολή του μέσου επιπέδου τιμών μιας χρονοσειράς. Ο ορισμός της τάσης, αν και κοινά αποδεκτός, δημιουργεί ένα πρόβλημα σχετικό με ποια μεταβολή θεωρείται μακροπρόθεσμη έτσι ώστε να μπορεί να εξεταστεί η αντίστοιχη αύξηση ή μείωση στο μέσο επίπεδο. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό ποικίλει ανάλογα με την φύση των εξεταζόμενων δεδομένων. Απαραίτητη σε κάθε περίπτωση είναι η ύπαρξη ικανοποιητικού όγκου ιστορικών δεδομένων έτσι ώστε να μπορεί με ασφάλεια να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα σχετικά με την τάση. Η τάση στην γενική της εικόνα μπορεί να είναι ανοδική, πτωτική ή σταθερή και μπορεί να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση με μια ευθεία γραμμή ή μια εκθετική καμπύλη ή άλλη οποιαδήποτε άλλη οικογένεια καμπυλών.

Η **κυκλικότητα** είναι το δεύτερο συστατικό μιας χρονοσειράς και αντιπροσωπεύει μια μεταβολή που εμφανίζεται κατά περιόδους. Η κυκλικότητα οφείλεται κατά κύριο λόγο σε εξωγενείς παράγοντες και το μήκος των περιόδων εμφάνισής της είναι πάντα μεγαλύτερο από ένα έτος (πενταετία, δεκαετία, κλπ). Στις γραφικές παραστάσεις των χρονοσειρών παρουσιάζεται ως μια κυματοειδής γραμμή η οποία κινείται ανάμεσα στις ακραίες στάθμες της χρονοσειράς. Κυκλικότητα εμφανίζεται κυρίως σε οικονομικές χρονοσειρές όπως το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν, οι τιμές μετοχών και αμοιβαίων κεφαλαίων και οι τιμές πετρελαίου και χρυσού. Αυτό οφείλεται στις γενικότερες οικονομικές συνθήκες που χαρακτηρίζονται από διαδοχικές ανόδους και υφέσεις των παγκόσμιων και εγχώριων οικονομιών και για αυτό οι μεταβολές στις οικονομικές χρονοσειρές είναι γνωστές με την ονομασία επιχειρηματικός κύκλος.

Η **εποχιακότητα** είναι το τρίτο ποιοτικό χαρακτηριστικό μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως μια περιοδική διακύμανση η οποία έχει σταθερό και μικρότερο ή ίσο μήκος από ένα έτος. Η εποχιακότητα είναι μετά την τάση το πιο εύκολα αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό μιας χρονοσειράς από την γραφική της αναπαράσταση. Επίσης εύκολος είναι και ο τρόπος αντιμετώπισης της επίδρασης της εποχιακότητας στα δεδομένα μιας χρονοσειράς καθώς οι αλλαγές που προκαλεί στα δεδομένα επαναλαμβάνονται κατά την πάροδο του χρόνου, στα ίδια χρονικά διαστήματα και με την ίδια ποσοστιαία αλλαγή. Η εποχικότητα ακριβώς λόγω της κανονικότητάς της, αντιμετωπίζεται με την εύρεση δεικτών εποχιακότητας για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα, η διαίρεση των οποίων με τα πραγματικά δεδομένα μας απαλλάσσει από την επίδραση της εποχιακότητας και μας επιτρέπει να παράγουμε μια νέα χρονοσειρά χωρίς εποχιακότητα που ονομάζεται αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά.

Παραδείγματα εποχιακών χρονοσειρών είναι οι πωλήσεις παγωτών που εκτοξεύονται το καλοκαίρι ή ο αριθμός επιβατών πλοίων και αεροπλάνων που πολλαπλασιάζονται κατά τις

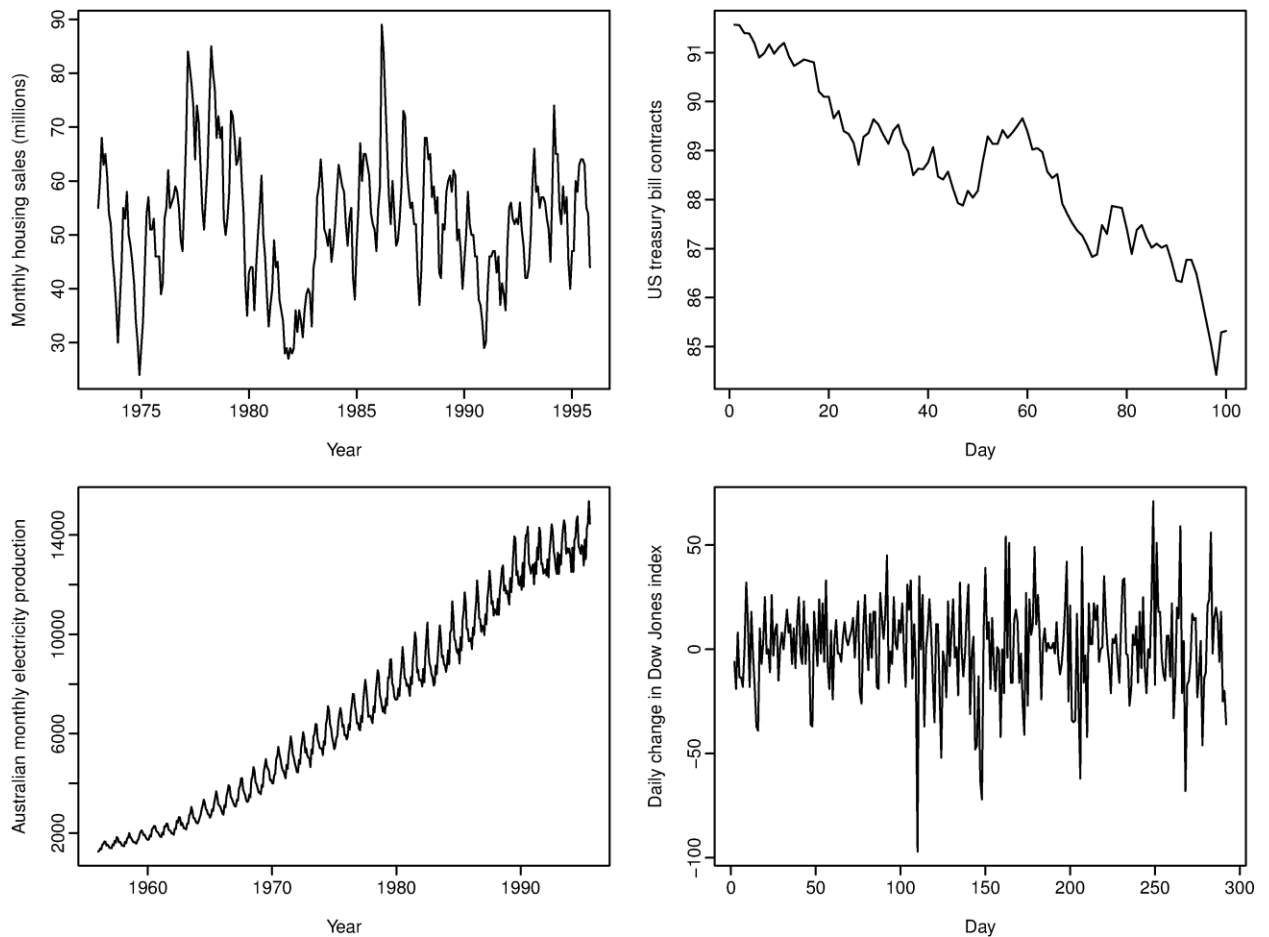
περιόδους των γιορτών. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η βασική διαφορά μεταξύ της εποχιακότητας και της κυκλικότητας ότι και τα δυο χαρακτηριστικά της χρονοσειράς μας δείχνουν επανάληψη κάποιου είδους μοτίβου, η μεν εποχιακότητα με συχνότητα μέρας, εβδομάδας ή μήνα ενώ η κυκλικότητα σε επίπεδο πενταετίας, δεκαετία ή ακόμα και αιώνα.

Οι **μη κανονικές διακυμάνσεις** ή αλλιώς **ασυνέχειες**, είναι εκείνες οι παρατηρήσεις που εμφανίζονται στην γραφική απεικόνιση της χρονοσειράς ως απότομες αλλαγές στο πρότυπο συμπεριφοράς της. Τέτοιες αλλαγές που έχουν είτε παροδικό είτε ακόμα και μόνιμο χαρακτήρα δε θα μπορούσαν να προβλεφθούν με χρήση αποκλειστικά των ιστορικών δεδομένων. Οι αλλαγές με παροδική διάρκεια που η επίδρασή τους διαρκεί για σύντομο χρονικό διάστημα ονομάζονται **outliers** ή **special events**. Η αναγνώριση τους δεν είναι μια απλή διαδικασία που θα μπορούσε να επιτύχει ένας απλός χρήστης καθώς απαιτείται τόσο θεωρητική γνώση του μελετώμενου μεγέθους όσο και κριτική ικανότητα από την πλευρά του αναλυτή. Ένα outlier αποτελεί μια ασυνήθιστη παρατήρηση της χρονοσειράς που οφείλεται σε κάποιο εξαιρετικό ή απρόβλεπτο γεγονός. Παραδείγματος χάρη, μια απεργία μπορεί να προκαλέσει δραματική μείωση των παραγόμενων προϊόντων μιας ενώ μια διαφημιστική εκστρατεία μπορεί να αυξήσει τις πωλήσεις προϊόντων της ίδιας επιχείρησης.

Από την άλλη πλευρά οι αλλαγές με μόνιμο χαρακτήρα στην χρονοσειρά που οι αλλαγές τους θα συνεχιστούν και στο μέλλον ονομάζονται **level shifts**. Ένα παράδειγμα αλλαγής level shift είναι η πτώση του επιπέδου των πωλήσεων μιας εταιρείας λόγω εισαγωγής στην αγορά μιας ανταγωνίστριας εταιρείας στον ίδιο κλάδο. Μετά από την απότομη μείωση των πωλήσεων κατά την είσοδο του ανταγωνισμού στην αγορά, οι πωλήσεις σταθεροποιούνται και πάλι απλά σε χαμηλότερο από το αρχικό επίπεδο.

Τέλος υπάρχει και η συνιστώσα της τυχαιότητας ή αλλιώς στοιχείο σφάλματος. Ως τυχαιότητα ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στην συνδυασμένη επίδραση των τριών πρώτων συνιστωσών των χρονοσειρών (τάση, κυκλικότητα και εποχιακότητα) και των πραγματικών δεδομένων.

Για να γίνει αντιληπτή πόσο σημαντική είναι η οπτικοποίηση των δεδομένων που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο αλλά και η εμφάνιση των βασικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών παρακάτω ακολουθούν τέσσερα παραδείγματα γραφημάτων χρονοσειρών (Εικόνα 3.2.4.1).



Εικόνα 3.2.4.1: Γραφήματα ποιοτικών χαρακτηριστικών χρονοσειρών

1. Μηνιαίες πωλήσεις ακινήτων (πάνω αριστερά) παρουσιάζεται εμφανής έντονη ετήσια εποχιακότητα, όπως επίσης και κυκλικότητα με μήκος περιόδων από 6-10 έτη. Δεν υπάρχει εμφανής τάση στα συγκεκριμένα δεδομένα.
2. Συμβόλαια Αμερικάνικων Ομολόγων (πάνω δεξιά) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Χρηματιστηρίου του Σικάγο για 100 συνεχόμενες ημέρες του 1981. Στην παρούσα χρονοσειρά δεν υπάρχει εποχιακότητα αλλά μια εμφανής πτωτική τάση. Πιθανότατα, εάν υπήρχαν περισσότερα ιστορικά δεδομένα στην χρονοσειρά να βλέπαμε ότι το πτωτικό αυτό κομμάτι να είναι τελικά ένα κομμάτι ενός μεγαλύτερου κύκλου, αλλά όταν παρατηρούμε μόνο αυτές τις 100 τιμές τις αναγνωρίζουμε απλά ως τάση.
3. Μηνιαία παραγωγή ενέργειας στην Αυστραλία (κάτω αριστερά). Στην παρούσα χρονοσειρά υπάρχει εμφανέστατη τάση καθώς και έντονη εποχιακότητα. Στην χρονοσειρά αυτή δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο που να δηλώνει κυκλικότητα.
4. Ημερήσια αλλαγή του χρηματιστηριακού δείκτη Dow Jones (κάτω δεξιά) στην οποία δεν υπάρχει κανένα από τα 3 βασικά χαρακτηριστικά (τάση, εποχιακότητα, κυκλικότητα).

Στην χρηματιστηριακή αυτή χρονοσειρά εντοπίζουμε μόνο δύσκολα προβλέψιμες τυχαίες μεταβολές καθώς και πολλές ακραίες τιμές.

3.3. Κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης

Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται οι τεχνικές προβλέψεων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

- **Ποσοτικές** (quantitative)
- **Κριτικές** (judgmental)
- **Τεχνολογικές** (technological)

Στα πλαίσια της διπλωματικής μας θα ασχοληθούμε με την εφαρμογή ποσοτικών μεθόδων και ειδικότερα μεθόδων χρονοσειρών, αλλά για χάρη πληρότητας πρέπει να αναφερθούν οι μέθοδοι προβλέψεων.

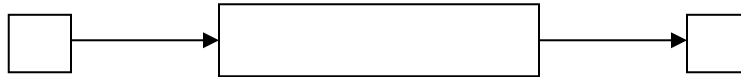
3.3.1. Ποσοτικές μέθοδοι

Για την εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων πρόβλεψης υπάρχει η απαίτηση η πληροφορία που θέλουμε να προβλέψουμε να ποσοτικοποιείται με την μορφή αριθμητικών δεδομένων και τα ιστορικά δεδομένα να διατηρούν το πρότυπο συμπεριφοράς τους στο μέλλον. Οι ποσοτικές μέθοδοι ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται μπορεί να ταξινομηθούν στα μοντέλα χρονοσειρών, τα οποία και χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή μας και τα αιτιοκρατικά μοντέλα. Για να κατανοήσουμε ευκολότερα τις βασικές υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται κάθε μια από τις δυο ποσοτικές μεθόδους καθώς και για να εντοπίσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους θα πρέπει να μελετήσουμε τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της καθεμίας.

3.3.1.1. Μέθοδοι χρονοσειρών

Οι μέθοδοι χρονοσειρών αποτελούν το πιο διαδομένο είδος ποσοτικού μοντέλου πρόβλεψης, ειδικά στον κλάδο των επιχειρήσεων. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι η μεταβολή της τιμής του μελετώμενου μεγέθους ακολουθεί ένα λανθάνον πρότυπο που επαναλαμβάνεται στο χρόνο και παραμένει όσο το δυνατόν πιο σταθερό χωρίς την εμφάνιση ασυνήθιστων τιμών. Το λανθάνον αυτό πρότυπο υποθέτουμε ότι αναγνωρίζεται μονοσήμαντα με βάση τα δεδομένα. Οι προβλέψεις λοιπόν παράγονται με την αναγνώριση του προτύπου αυτού και την προέκταση του στο μέλλον. Έτσι βασιζόμενοι στις παρελθούσες τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής, ανιχνεύουμε το πρότυπο το οποίο ακολουθούν και παράγουμε σημειακές προβλέψεις επεκτείνοντας το πρότυπο αυτό στο μέλλον. Για την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής πρέπει να έχουμε διαθέσιμα, ικανοποιητικά σε αριθμό ιστορικά στοιχεία της προς μελέτη μεταβλητής σε σταθερές χρονικές περιόδους. Όσο μεγαλύτερη ιστορικότητα έχουμε στην διάθεσή μας τόσο καλύτερα θα εντοπίσουμε το πρότυπο συμπεριφοράς της χρονοσειράς και θα παράγουμε ακριβέστερες προβλέψεις.

Το μοντέλο χρονοσειρών μπορεί να παρασταθεί σχηματικά με το απλό σχήμα της Εικόνας 3.3.1.1.1.



Εικόνα 3.3.1.1.1: Το μοντέλο χρονοσειρών

Στο παραπάνω σύστημα η είσοδος του συστήματος X_i (όπου i είναι η αντίστοιχη χρονική περίοδος) αναπαριστά τα ιστορικά δεδομένα της μελετώμενης μεταβλητής. Η έξοδος Y είναι η τελική παραγόμενη πρόβλεψη και η συνάρτηση f είναι το μοντέλο πρόβλεψης που χρησιμοποιούμε.

3.3.1.2. Μέθοδοι αποσύνθεσης

Αντικείμενο των μεθόδων αποσύνθεσης είναι ο διαχωρισμός κύριων χαρακτηριστικών των χρονοσειρών και η απομόνωσή τους. Τα κύρια αυτά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών όπως έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 3.2.4 είναι: *η τάση, ο κύκλος, η εποχιακότητα και η τυχαιότητα*. Οι κυριότερες μέθοδοι αποσύνθεσης από τη βιβλιογραφία είναι:

- Fixed Additive Method – σταθερή προσθετική μέθοδος
- Fixed Multiplicative Method – σταθερή πολλαπλασιαστική μέθοδος ή Κλασσική Μέθοδος αποσύνθεσης.
- Moving Additive Method – κινητή προσθετική μέθοδος
- Moving Multiplicative Method – κινητή πολλαπλασιαστική μέθοδος
- Zaycoff's Method
- Μέθοδος Cwmsus X-II
- CPB Method
- KVF Method
- SABL Method

Στην μεθοδολογία έχουν ενσωματωθεί κάποια από τα βήματα της κλασσικής μεθόδου αποσύνθεσης, μέσω των έτοιμων βιβλιοθηκών της γλώσσας R, με σκοπό την εύρεση των δεικτών εποχιακότητας της χρονοσειράς και της αποεποχικοποίησής της. Αυτό γίνεται γιατί έχει δειχθεί ότι είναι πιο εύκολο και δίνει και πιο ακριβείς προβλέψεις η προέκταση μιας αποεποχικοποιημένης χρονοσειράς και έπειτα ή επαναεποχικοποίηση των παραγόμενων προβλέψεων ώστε να προκύψουν οι τελικές προβλέψεις.

Έτσι για παράδειγμα, όταν η είσοδος στον αλγόριθμο πρόβλεψης είναι μια χρονοσειρά με μηνιαία δεδομένα και με αριθμό παρατηρήσεων μεγαλύτερο από 48, δηλαδή 4 χρόνια

ιστορικών δεδομένων, τότε εκτελούνται αυτόματα από το πακέτο forecast της R τα παρακάτω βήματα της κλασσικής μεθόδου αποσύνθεσης για την αποεποχικοποίηση της χρονοσειράς.

- *Εκτίμηση τάσης.* Υπολογίζονται αρχικά οι κινητοί μέσοι όροι μήκους ίσου με την εποχιακότητα που παρουσιάζει η χρονοσειρά δηλαδή ΚΜΟ 12 και έπειτα υπολογίζονται στην σειρά των κινητών μέσων όρων 12 κινητός μέσος όρος 2. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η εκτίμηση της τάσης η οποία είναι οι κεντρικοί κινητοί μέσοι όροι (12x2).
- *Υπολογισμός Λόγων Εποχιακότητας (Λ.Ε.).* Υπολογίζονται ξεχωριστά ανά περίοδο ως ο λόγος της πραγματικής τιμής της χρονοσειράς προς την αντίστοιχη τιμή που έχει προκύψει από τους κεντρικούς κινητούς μέσους όρους. Οι υπολογιζόμενοι λόγοι εποχιακότητα περιέχουν ακόμα τον παράγοντα της τυχαιότητας και χρήζουν κανονικοποίησης.
- *Υπολογισμός Δεικτών Εποχιακότητας (Δ.Ε.).* Υπολογίζονται με την κανονικοποίηση των λόγων εποχιακότητας τόσο με το συνολικό άθροισμα όσο και με την αφαίρεση της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής για κάθε ομάδα αντίστοιχων περιόδων.
- *Υπολογισμός Αποεποχικοποιημένης Χρονοσειράς.* Η αποεποχικοποιημένη χρονοσειρά προκύπτει από την αρχική χρονοσειρά διαιρώντας με τον αντίστοιχο εποχιακό δείκτη την κάθε παρατήρηση.

Μετά από αυτή την διαδικασία έχουμε μια χρονοσειρά απαλλαγμένη από την συνιστώσα της εποχιακότητας. Σε αυτή εφαρμόζεται η κατάλληλη μέθοδος πρόβλεψης και οι προβλέψεις που παράγονται πολλαπλασιάζονται με τους αντίστοιχους δείκτες εποχιακότητας για να εισαχθεί εκ νέου στην τελική χρονοσειρά η συνιστώσα της εποχιακότητας.

3.3.1.3. Μέθοδοι εξομάλυνσης

Οι μέθοδοι εξομάλυνσης, χρησιμοποιούνται εν γένει για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις των μελλοντικών τιμών της σειράς και σκοπός των μεθόδων αυτών είναι να διακρίνουν το βασικό πρότυπο, εξομαλύνοντας τα ιστορικά δεδομένα. Οι μέθοδοι αυτοί διακρίνονται στις μεθόδους κινητού μέσου όρου, στις οποίες οι παρελθούσες τιμές της μεταβλητής συμμετέχουν με την ίδια βαρύτητα στον υπολογισμό της πρόβλεψης και στις μεθόδους εκθετικής εξομάλυνσης, όπου χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας για τα ιστορικά δεδομένα οι οποίοι φθίνουν με εκθετικό τρόπο από την πιο πρόσφατη τιμή των δεδομένων ως την πιο μακρινή.

3.3.1.4. Αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι κινητού μέσου όρου (ARIMA)

Οι αυτοπαλινδρομικές μέθοδοι κινητού μέσου όρου είναι στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της διαχρονικής εξέλιξης κάποιου φυσικού μεγέθους. Τα στοχαστικά μοντέλα περιέχουν το τυχαίο παράγοντα, τις τιμές του μεγέθους για τις προηγούμενες χρονικές στιγμές όπως και άλλους στοχαστικούς παράγοντες συνήθως. Το μοντέλο που προκύπτει τελικά είναι ένα γραμμικός συνδυασμός των παραπάνω ποσοτήτων. Τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα βασίζονται στην παραδοχή της αλληλεξάρτησης μεταξύ των τιμών που λαμβάνει η χρονοσειρά τις διάφορες χρονικές στιγμές.

3.3.1.5. Επεξηγηματικές (αιτιοκρατικές) μέθοδοι

Στις επεξηγηματικές μεθόδους αναγνωρίζονται μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με τη σειρά δεδομένων που υπάρχει και βάσει αυτών των μεταβλητών αναπτύσσεται κάποιο μοντέλο για να εκφράσει τη σχέση αυτή. Δεν είναι απαραίτητα κάποια χρονική εξάρτηση καθώς η πρόβλεψη εκφράζεται ως συνάρτηση του συγκεκριμένου αριθμού παραγόντων που έχει αναγνωριστεί ότι επηρεάζουν τις μελλοντικές τιμές. Η ανάπτυξη μία τέτοιας μεθόδου διευκολύνει την κατανόηση των συνθηκών και επιτρέπει τον πειραματισμό με διάφορους συνδυασμούς δεδομένων για τη βαθύτερη μελέτη των επιδράσεων τους στην τελική πρόβλεψη. Στις επεξηγηματικές μεθόδους ανήκουν οι μέθοδοι παλινδρόμησης όπως και οι οικονομετρικές μέθοδοι.

3.3.2. Κριτικές μέθοδοι

Οι στατιστικές μέθοδοι που εντάσσονται στην κατηγορία των ποσοτικών μεθόδων και επιτρέπουν γενικά την αναγνώριση κάποιων προτύπων ή σχέσεων που διακρίνονται στις χρονοσειρές με στόχο την προέκταση των χρονοσειρών αυτών για εύρεση μελλοντικών τους τιμών. Βασική υπόθεση που γίνεται όμως είναι ότι θα συνεχιστεί να ισχύει το συγκεκριμένο πρότυπο ή σχέση που έχει παρατηρηθεί. Όμως στην πραγματική ζωή, αλλαγές συμβαίνουν διαρκώς και όσο γρηγορότερα αναγνωριστούν τόσο πιο πιθανή είναι η αποφυγή μεγάλου και συχνά ακριβού λάθους στις προβλέψεις. Όταν λοιπόν τέτοιες αλλαγές αναγνωριστούν, τότε εισέρχεται στις μεθόδους πρόβλεψης η ανθρώπινη κριτική ικανότητα. Η ανθρώπινη κριτική ικανότητα είναι η μόνη βιώσιμη εναλλακτική για να προβλέπει και την έκταση αλλά και την επίδραση των αλλαγών αυτών στις προβλέψεις. Επίσης είναι απαραίτητη για να μπορεί να ενσωματωθεί στις πληροφορίες η εμπειρία και η γνώση των managers όπως επίσης και των experts. Συνοψίζοντας οι κριτικές μέθοδοι έχουν εν γένει ως δεδομένα προϊόντα διαίσθησης, κρίσης και συσσωρευμένης γνώσης και χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Η πρόβλεψη μπορεί να βασίζεται είτε στις γνώσεις και την κρίση ενός ατόμου (ατομικές μέθοδοι) είτε στο συνδυασμό απόψεων των μελών κάποιας επιτροπής (μέθοδοι επιτροπής).

3.3.3. Τεχνολογικές μέθοδοι

Οι τεχνολογικές μέθοδοι πρόβλεψης χρησιμοποιούνται για μακροπρόθεσμες προβλέψεις σχετικά με τεχνολογικά, οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά θέματα. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στις διερευνητικές (*exploratory*) και στις κανονιστικές (*normative*). Οι διερευνητικές μέθοδοι ξεκινούν από το παρελθόν ή το παρόν και εξετάζοντας όλες τις πιθανές περιπτώσεις οδηγούνται στο μέλλον. Στον αντίποδα, υπάρχουν οι κανονιστικές μέθοδοι που πρώτα καθορίζουν όλους τους μελλοντικούς στόχους και έπειτα εξετάζουν τη δυνατότητα επίτευξης τους λαμβάνοντας υπ όψιν τους περιορισμούς, τους διαθέσιμους πόρους αλλά και τις τεχνολογίες.

3.4. Κυριότερες μέθοδοι πρόβλεψης

Στην παρούσα διπλωματική, για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήσαμε διάφορες βασικές μεθόδους χρονοσειρών. Στην επιλογή αυτή μας οδήγησαν βασικές προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να διαθέτει μια μέθοδος ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί σε μια εφαρμογή:

- Η άρτια μαθηματική σχέση της μεθόδου να είναι καλά ορισμένη ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί με την μορφή κώδικα.
- Η πολυπλοκότητά της να είναι περιορισμένη έτσι ώστε οι πόροι της κινητής συσκευής στην οποία θα εγκατασταθεί η εφαρμογή να είναι επαρκείς. Ούτως οι άλλως οι διαγωνισμοί προβλέψεων έδειξαν ότι απλές μέθοδοι πηγαίνουν καλύτερα από τις πολύπλοκες.
- Να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όσο το δυνατόν ευρεία «γκάμα» χρονοσειρών από όσο το δυνατόν περισσότερα πεδία εφαρμογών προβλέψεων.

Είναι φανερό ότι στα πλαίσια μιας διπλωματικής δεν θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε όλες τις διαθέσιμες βιβλιογραφικά μεθόδους πρόβλεψης όπως επίσης είναι φανερό ότι δεν θα μπορούσαμε να μην χρησιμοποιήσουμε μεθόδους οι οποίες δίνουν εν γένει καλύτερα αποτελέσματα στο είδος των χρονοσειρών το οποίο μελετήσαμε και στο μεγαλύτερο πλήθος του αποτελούνταν από χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης. Το αποτέλεσμα της επιλογής των μεθόδων ήταν να αναπτύξουμε και να ενσωματώσουμε στην μεθοδολογία μας τις παρακάτω μεθόδους προβλέψεων:

- Naive ή Απλοϊκή Μέθοδο
- Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση – LRL
- Απλή Εκθετική Εξομάλυνση – SES
- Croston
- SBA (Syntetos and Boylan Approximation)
- ADIDA (Aggregate-Disaggregate Intermittent Demand Approach)
- Όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των παραπάνω

Στις παρακάτω παραγράφους θα αναπτυχθούν αναλυτικά τα μοντέλα αυτά, αλλά και για χάρη πληρότητας και μερικά άλλα τα οποία αποφασίσαμε να μην υλοποιήσουμε και ενσωματώσουμε στη μεθοδολογία μας, τουλάχιστον στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

3.4.1. Απλοϊκή Μέθοδος (Naive)

Η μέθοδος Naive αποτελεί την πιο απλή μέθοδο πρόβλεψης. Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει ως

πρόβλεψη για την επόμενη χρονική περίοδο την ίδια τιμή με την παρατήρηση που είχε σημειωθεί την προηγούμενη ακριβώς χρονική περίοδο. Έχει καλή απόδοση για προβλέψεις μίας περιόδου μπροστά σε αποεποχικοποιημένες χρονοσειρές καθώς η αναμενόμενη τιμή της πρόβλεψης δεν διαφέρει σημαντικά από την τελευταία παρατήρηση που είναι διαθέσιμη. Συνήθως όμως, δεν δίνει παράγει ακριβείς προβλέψεις με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται τόσο ως μέθοδος πρόβλεψης όσο ως σημείο αναφοράς (benchmark) για άλλες, πιο πολύπλοκες μεθόδους. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει αυτή τη μέθοδο πρόβλεψης είναι:

$$F_t = Y_{t-1}$$

3.4.2. Μέθοδοι μέσου όρου

Οι μέθοδοι μέσων όρων εκτός από την χρησιμότητά τους για την εξομάλυνση των ιστορικών δεδομένων και κατά συνέπεια την ομαλοποίηση των χρονοσειρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέθοδοι πρόβλεψης. Κάποιοι από τους μέσους όρους που χρησιμοποιούμε για την παραγωγή προβλέψεων είναι ο απλός μέσος όρος και κινητός μέσος όρος.

3.4.2.1. Απλός μέσος όρος

Η μέθοδος του απλού μέσου όρου στηρίζεται στην εύρεση του μέσου όρου όλων των παρατηρήσεων και στη χρήση αυτής της τιμής για πρόβλεψη. Συνεπώς η πρόβλεψη δίνεται βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$F_{t+1} = \frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Y_i$$

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται για περιπτώσεις που οι παρατηρήσεις δεν παρουσιάζουν τάση ή αξιοπρόσεκτη εποχιακότητα. Εν γένει προτείνεται για χρονοσειρές που παρουσιάζουν σταθερότητα στην πάροδο του χρόνου λόγω του μεγάλου όγκου ιστορικών δεδομένων που ισάξια συμπεριλαμβάνεται στον υπολογισμό της μεθόδου.

3.4.2.2. Κινητός Μέσος Όρος

Ένας τρόπος να διαχειριστεί η επιρροή των παρελθουσών παρατηρήσεων στην πρόβλεψη όταν έχει επιλεχθεί ως μέθοδος πρόβλεψης η μέθοδος των μέσων όρων είναι να καθοριστεί το μήκος του μέσου όρου των παρατηρήσεων που θα ληφθούν υπ' όψη στην

εξαγωγή της πρόβλεψης. Έτσι το μοντέλο καθώς μια νέα παρατήρηση γίνεται διαθέσιμη θα ανανεώνεται με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ακριβές αφού λαμβάνει υπόψη του δεδομένα κοντά στο παρόν. Η επιλογή του μήκους του μέσου όρου ο οποίος θα υπολογιστεί και η τιμή του θα οριστεί ως πρόβλεψη μετατρέπει τον απλό μέσο όρο σε κινητό μέσο όρο.

Ο όρος κινητός μέσος όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία καθώς όταν μία νέα παρατήρηση γίνεται διαθέσιμη, τότε υπολογίζεται ο νέος μέσος όρος των τελευταίων παρατηρήσεων του συγκεκριμένου μήκους που έχει επιλεγεί. Αυτός ο νέος μέσος όρος θα είναι η τιμή της πρόβλεψης που παράγεται από αυτήν την μέθοδο για την επόμενη χρονική περίοδο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το πλήθος των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του μέσου όρου παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διαδικασία πρόβλεψης και περιλαμβάνει πάντα τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Η σχέση που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή της μεθόδου του κινητού μέσου όρου, οποίος συμβολίζεται: ΚΜΟ(k) είναι:

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=t-k+1}^t Y_i$$

Μία ενδεχόμενη σύγκριση του κινητού μέσου όρου και του απλού μέσου όρου θα παρουσίαζε ενδιαφέρον για να γίνει αντιληπτή η διαφορά στην χρήση τους. Το πλεονέκτημα του κινητού μέσου όρου είναι η σημασία που δίνεται πάντα στις τελευταίες ίσου πλήθους παρατηρήσεις ενώ τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι ότι απαιτεί περισσότερο χώρο αποθήκευσης δεδομένων, διότι πρέπει να αποθηκευτούν όλες οι παρατηρήσεις από τις οποίες θα εξάγεται κάθε φορά ο μέσος όρος και όχι απλά η τιμή του μέσου όρου.

Το μειονέκτημα των μεθόδων μέσων όρων είναι ότι καμία από τις δύο μεθόδους δεν μπορεί να διαχειριστεί με επιτυχία κύρια χαρακτηριστικά των χρονοσειρών όπως είναι η τάση και η εποχιακότητα κατά την εφαρμογή τους για την παραγωγή προβλέψεων. Για αυτό το λόγο τα μοντέλα μέσων όρων χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξάλειψη της εποχιακότητας και της τυχαιότητας από τις χρονοσειρές, ώστε να προκύψει μια εκτίμηση της γραμμής τάσης-κύκλου. Έτσι λοιπόν τα μοντέλα αυτά θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι κατά κύριο λόγο, εργαλεία αποσύνθεσης και όχι εργαλεία πρόβλεψης.

3.4.3. Απλή γραμμική παλινδρόμηση

Η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται στην υπόθεση ύπαρξης σχέσης ανάμεσα στη μεταβλητή πρόβλεψης (εξαρτημένη μεταβλητή) και σε μια άλλη μεταβλητή (ανεξάρτητη μεταβλητή). Εκτός από την υπόθεση ότι υπάρχει μια τέτοια σχέση, υποθέτουμε ότι η σχέση αυτή είναι και γραμμική. Σκοπός λοιπόν της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η έκφραση της σχέσης της μεταβλητής Y από μία ανεξάρτητη μεταβλητή X με την εξίσωση μιας ευθείας γραμμής:

$$Y = a + bX + e$$

Όπου a είναι το αρχικό σημείο (για $b=0$) και b είναι η κλίση της ευθείας, ενώ ο όρος e , δηλώνει το σφάλμα, δηλαδή την απόκλιση της παρατήρησης από της ευθεία που παριστάνεται από την παραπάνω σχέση.

Στόχος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η εκτίμηση των παραμέτρων a και b έτσι ώστε η ευθεία:

$$Y = a + bX$$

Να αποτελεί τη "βέλτιστη", δηλαδή να προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στα δεδομένα. Το σφάλμα προσαρμογής μπορεί να θεωρηθεί σαν την κατακόρυφη απόκλιση της παρατήρησης από την ευθεία προσαρμογής και δίδεται ως εξής:

$$e_t = Y_i - \hat{Y}_i$$

Όπου η τιμή \hat{Y}_i αντιπροσωπεύει την εκτιμώμενη τιμή (από της ευθεία παλινδρόμησης) και η τιμή Y_i αντιστοιχεί στην πραγματική παρατήρηση. Σαν βέλτιστη ευθεία προσαρμογής, επιλέγεται αυτή για την οποία το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων γίνεται ελάχιστο. Η μέθοδος είναι γνωστή σαν μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων.

Η μαθηματική σχέση από την οποία προκύπτει το σφάλμα μπορεί να γραφτεί συναρτήσει των a και b ως εξής:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2$$

Οπότε και είναι δυνατός ο υπολογισμός των παραμέτρων a και b που δίνουν την εξίσωση βέλτιστης ευθείας.

Οι μαθηματικές σχέσεις που προκύπτουν είναι:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Όπου \bar{X} και \bar{Y} οι μέσες τιμές των διανυσμάτων X και Y και n ο αριθμός των παρατηρήσεων με βάση τις οποίες υπολογίζεται η ευθεία παλινδρόμησης.

3.4.4. Μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης

Μία επέκταση των μεθόδων μέσου όρου, είναι οι μέθοδοι πρόβλεψης με σταθμισμένο μέσο όρο. Δηλαδή όλες οι παρατηρήσεις να μην έχουν τη ίδια βαρύτητα για την εξαγωγή των προβλέψεων. Είναι συχνό φαινόμενο, οι πιο πρόσφατες παρατηρήσεις να είναι καλύτερος οδηγός για την πρόβλεψη της μελλοντικής τιμής. Γι' αυτόν τον λόγο, δημιουργήθηκε η ανάγκη για μοντέλα πρόβλεψης που θα χρησιμοποιούν τις παλαιότερες παρατηρήσεις με μειωμένη βαρύτητα συγκριτικά με τις πιο πρόσφατες.

Σε αυτήν την παράγραφο λοιπόν θα περιγραφούν μέθοδοι οι οποίοι εφαρμόζουν εκθετική μείωση του συντελεστή βαρύτητας όσο πιο παλαιά είναι μια παρατήρηση. Αυτός είναι και ο λόγος που αυτές οι μέθοδοι καλούνται μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης.

Γενικότερα, η εκθετική εξομάλυνση είναι μέθοδος πρόβλεψης, η οποία προεκτείνει στοιχεία του προτύπου των ιστορικών δεδομένων στο μέλλον. Το μοντέλο της αντίστοιχης πρόβλεψης εφαρμόζεται στη δοθείσα χρονοσειρά αφού πρώτα τα αντίστοιχα δεδομένα έχουν εξομαλυνθεί έτσι ώστε να απομονωθούν τα πραγματικά πρότυπα από τις καθαρά τυχαίες διακυμάνσεις.

Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά γύρω στο 1940 και η άνθισή τους ήρθε το 1960 μαζί με την άνθιση της επιστήμης της πληροφορικής. Οι μέθοδοι εκθετικής εξομάλυνσης είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στο πεδίο των προβλέψεων λόγω της απλότητάς τους, των περιορισμένων απαιτήσεων τους για αποθήκευση δεδομένων και του μειωμένου υπολογιστικού φόρτου που απαιτούν. Επίσης παρά την απλότητα που τις διακρίνει, σύμφωνα με αποτελέσματα πρακτικών μελετών, παρουσιάζουν ικανοποιητικά ποσοστά ακρίβειας σε σχέση με πιο πολύπλοκες μεθόδους, διότι δεν επηρεάζονται τις ιδιομορφίες των προτύπων των δεδομένων ούτε από τυχαία εμφανιζόμενες ακραίες τιμές. Βέβαια αντίθετα με την ακρίβεια των προβλέψεων, οι εμπειρικές μελέτες έδειξαν ότι τα μοντέλα γραμμικής και εκθετικής τάσης εμφανίζουν μια υπεραισιοδοξία με αποτέλεσμα να οδηγούν σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές προβλέψεων και κατ' επέκταση σε αυξημένες τιμές του στατιστικού δείκτη Mean Error.

Τα μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τη γενική μορφή της γραφικής παράστασης της χρονοσειράς. Σύμφωνα λοιπόν με την κατηγοριοποίηση

αυτή προκύπτουν τέσσερα μοντέλα τάσης: τα μοντέλα σταθερού επιπέδου, γραμμικής τάσης, εκθετικής τάσης και φθίνουσας τάσης.

Πριν την ανάλυση κάθε μοντέλου, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια γενικά χαρακτηριστικά τους συνοπτικά και για τα τέσσερα μοντέλα έτσι ώστε να υπάρχει μία γενική εικόνα για τη χρήση του καθενός.

Αρχικά λοιπόν, το μοντέλο σταθερού επιπέδου υποθέτει την απουσία τάσης από τα δεδομένα. Εν γένει χρησιμοποιείται για τις προβλέψεις ενός βήματος, διότι η πρόβλεψη για οποιαδήποτε μελλοντική χρονική στιγμή γίνεται με την προέκταση μιας οριζόντιας ευθείας γραμμής. Αντιθέτως, το μοντέλο γραμμικής τάσης είναι πρακτικά πιο διαδεδομένο διότι η πρόβλεψη γίνεται με προέκταση μιας ευθείας γραμμής συμπεριλαμβανομένης την ύπαρξης της τάσης με αυτόν τον τρόπο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα που ενδείκνυται η εφαρμογή μοντέλου εκθετικής τάσης είναι το ποσοστό αύξησης των πωλήσεων στην αρχή του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Λόγω του προβλήματος υπεραισιοδοξίας των μοντέλων γραμμικής και εκθετικής τάσης που αναφέραμε, προέκυψε η ανάγκη εφαρμογής ενός άλλου μοντέλου, όπως του μοντέλου φθίνουσας τάσης, το οποίο αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση σχετικά με τις μακροχρόνιες προβλέψεις, διότι μειώνεται σταδιακά το μέγεθος κατά το οποίο αυξάνονται οι τιμές της χρονοσειράς κάθε χρονική περίοδο. Πιο αναλυτικά ακολουθεί μελέτη και παρουσίαση κάθε μοντέλου για την καλύτερη κατανόηση του.

3.4.4.1. Μοντέλο Σταθερού Επιπέδου - Απλή Εκθετική Εξομάλυνση (Simple Exponential Smoothing)

Το μοντέλο σταθερού επιπέδου περιγράφεται από τις εξής εξισώσεις:

$$e_t = Y_t - F_t$$

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

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

Όπου e_t είναι το σφάλμα της πρόβλεψης το οποίο προκύπτει από τη διαφορά της πραγματικής τιμής της χρονοσειράς και της πρόβλεψης για την ίδια χρονική περίοδο t . Ο δείκτης t λοιπόν, αντιπροσωπεύει την χρονική περίοδο. Το S_t είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t και είναι το επίπεδο της προηγούμενης χρονικής περιόδου και ενός ποσοστού του σφάλματος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η τιμή του ποσοστού αυτού διότι αντιπροσωπεύει την τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Τέλος η τιμή $F_t(m)$ είναι η πρόβλεψη που πραγματοποιείται στο τέλος κάθε περιόδου t

και αναφέρεται σε m περιόδους μπροστά. Χαρακτηριστικό της μεθόδου σταθερού επιπέδου είναι ότι η πρόβλεψη για κάθε χρονική περίοδο είναι ίση με το επίπεδο S_t .

Αν θέλαμε να περιγράψουμε με λίγες λέξεις την λειτουργία του μοντέλου σταθερού επιπέδου θα είχαμε την παρακάτω διαδικασία. Σε κάθε χρονική στιγμή, υπολογίζεται το σφάλμα με σκοπό να κρατήσει την τιμή της πρόβλεψης αρκετά κοντά στο επίπεδο της πραγματικής χρονοσειράς. Για την παραγωγή της πρόβλεψης κάθε χρονική στιγμή, πρέπει να έχει υπολογιστεί η τιμή του επιπέδου από την πραγματική χρονοσειρά για την προηγούμενη χρονική στιγμή.

Η ερώτηση που προκύπτει από την λειτουργία του μοντέλου είναι, τι θα γίνει με την πρόβλεψη για την πρώτη χρονική περίοδο για την οποία δεν υπάρχουν ιστορικά δεδομένα. Η απάντηση δίνεται από το αρχικό επίπεδο, σαν πρώτη πρόβλεψη στο συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται το αρχικό επίπεδο. Είναι λοιπόν δεδομένη η σημασία της σωστής επιλογής του αρχικού επιπέδου του μοντέλου πρόβλεψης για την παραγωγή προβλέψεων με ακρίβεια.

Αρχικό Επίπεδο

Συνήθεις μεθοδολογίες για την πρώτη τιμή του επιπέδου της απλής εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου είναι:

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

Η τιμή της αρχικοποίησης του επιπέδου για την εφαρμογή του μοντέλου, αφήνεται στο ερευνητή και εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε χρονοσειράς.

Συντελεστής Εξομάλυνσης

Όπως αναφέραμε, η παράμετρος α αποτελεί το συντελεστή εξομάλυνσης της μεθόδου. Οι τιμές που λαμβάνει ανήκουν στο διάστημα 0 έως 1 και εν γένει το κριτήριο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της είναι η ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE). Το κριτήριο αυτό ως επικρατέστερο στην βιβλιογραφία, έχει χρησιμοποιηθεί και από εμάς κατά τα στάδια υλοποίησης της εφαρμογής. Βέβαια η τιμή της παραμέτρου δεν είναι μοναδική καθώς μπορεί να επιλεχθούν άλλα κριτήρια για την επιλογή της αντίστοιχης τιμής όπως είναι η ελαχιστοποίησης κάποιου άλλου σφάλματος.

Η εύρεση της τιμής της σταθεράς εξομάλυνσης βρίσκεται με αλγοριθμικό τρόπο είτε με γραμμική αναζήτηση ψάχνοντας το ελάχιστο σφάλμα είτε με κάποια άλλη βελτιστοποίηση. Η

γραμμική αναζήτηση εν γένει έχει το πρόβλημα χρόνου ιδιαίτερα όταν οι χρονοσειρές που αναφερόμαστε έχουν πολλά δεδομένα.

Ο βέλτιστος συντελεστής εξομάλυνσης καθορίζεται από δύο κύριους παράγοντες οι οποίοι αλληλοεξαρτώνται. Ο πρώτος είναι το ποσοστό θορύβου που υπάρχει στην χρονοσειρά. Όσο περισσότερος θόρυβος υπάρχει στα δεδομένα της χρονοσειράς τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης για να αποφευχθεί η υπερβολική αντίδραση στον θόρυβο. Ο άλλος παράγοντας είναι η σταθερότητα του μέσου όρου της χρονοσειράς. Αν ο μέσος όρος της χρονοσειράς μεταβάλλεται, ο συντελεστής εξομάλυνσης θα πρέπει να είναι μεγάλος έτσι ώστε οι προβλέψεις να παρακολουθούν τις αντίστοιχες μεταβολές των δεδομένων. Αντίθετα αν ο μέσος όρος είναι σχετικά σταθερός, τότε η τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης θα είναι μικρή.

Οι ακραίες τιμές του συντελεστή εξομάλυνσης έχουν καθοριστική σημασία για την παραγωγή της πρόβλεψης. Μηδενική τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης σημαίνει ότι η πρόβλεψη θα μείνει ίδια για όλες τις χρονικές περιόδους και ίση με το αρχικό επίπεδο. Γι αυτό εν γένει χρησιμοποιείται ένα κατώτατο όριο για την τιμή της παραμέτρου έτσι ώστε να αποφεύγεται η μηδενική τιμή. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης δηλαδή να είναι ίσος με τη μονάδα, οδηγεί την τιμή της πρόβλεψης να ταυτίζεται κάθε φορά με την τιμή της προηγούμενης χρονικής περιόδου, δηλαδή να είναι ίση με την τελευταία τιμή της χρονοσειράς και έτσι το μοντέλο μετατρέπεται στην απλοϊκή μέθοδο (Naive).

3.4.4.2. Μοντέλο Γραμμικής Τάσης (Holt Exponential Smoothing)

Το μοντέλο εξομάλυνσης γραμμικής τάσης επέκταση του μοντέλου απλής εκθετικής εξομάλυνσης η οποία μπορεί επιπρόσθετα να διαχειριστεί την συνιστώσα της τάσης που συχνά συναντάμε στις πραγματικές επιχειρησιακές χρονοσειρές. Παρουσιάζει ομοιότητες με το μοντέλο παλινδρόμησης, όμως σταδιακά αποδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα και το αρχικό σημείο και η κλίση επαναυπολογίζονται σε κάθε χρονική περίοδο. Πρακτικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι εξομαλυμένες τιμές του αρχικού σημείου και της κλίσης είναι πολύ πιο ακριβείς από τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται αν στα δεδομένα εφαρμοστεί απλή γραμμική παλινδρόμηση. Το μοντέλο της εξομάλυνσης γραμμικής τάσης (Holt Exponential Smoothing, λόγω της εισαγωγής του στην επιστήμη των προβλέψεων το 1957 από τον Holt) μαθηματικά περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$e_t = Y_t - F_t$$

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

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

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

Όπου e_t είναι το σφάλμα της πρόβλεψης το οποίο προκύπτει από τη διαφορά της πραγματικής τιμής της χρονοσειράς και της πρόβλεψης για την ίδια χρονική περίοδο t . Το S_t , είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t και είναι ίσο με το άθροισμα το επιπέδου της χρονικής περιόδου $t-1$, της τάσης την χρονική περίοδο $t-1$ και ενός ποσοστού το σφάλματος πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από τον συντελεστή a ο οποίος ορίζεται ως ο συντελεστής εξομάλυνσης του επιπέδου και το πεδίο τιμών του είναι από το 0 έως το 1. Η τάση T_t αντιπροσωπεύει την τάση που υπάρχει στην χρονοσειρά για την περίοδο t και είναι ίση με το άθροισμα της τάσης της χρονικής περιόδου $t-1$ και ενός ποσοστού του σφάλματος της πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό συμβολίζεται με τον συντελεστή b ο οποίος καλείται συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης και το πεδίο τιμών του είναι επίσης από το 0 έως το 1. Η ποσότητα F_{t+m} που υπάρχει στην τελευταία από τις σχέσεις που περιγράφουν το μοντέλο είναι η πρόβλεψη που πραγματοποιείται στο τέλος της περιόδου t και αναφέρεται σε m περιόδους μπροστά. Η πρόβλεψη είναι ίση με το άθροισμα του επιπέδου S_t και της τάσης T_t πολλαπλασιασμένη με τον αριθμό m περιόδων του ορίζοντα πρόβλεψης.

Από την ανάλυση των σχέσεων που προηγήθηκε, γίνονται εμφανείς και οι διαφορές μεταξύ του μοντέλου γραμμικής τάσης και μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης. Το επίπεδο στο μοντέλο γραμμικής τάσης είναι το αρχικό σημείο μίας γραμμής τάσης η οποία αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη μόνο χρονική περίοδο και μεταβάλλεται ανάλογα με τα δεδομένα κάθε χρονικής περιόδου.

Αρχικό Επίπεδο και Αρχική Τάση

Η αρχικοποίηση τόσο του επιπέδου όσο και της τάσης είναι εξαιρετικά σημαντική και στο μοντέλο γραμμικής εξομάλυνσης. Το αρχικό επίπεδο υπολογίζεται όπως και στην απλή εκθετική εξομάλυνση. Ως αρχική τάση συνήθως χρησιμοποιείται:

- η διαφορά της δεύτερης και πρώτης παρατήρησης ($Y_2 - Y_1$)
- η διαφορά την v - οστής παρατήρησης και πρώτης διαιρεμένη με $v-1$
- η σταθερά κλίσης της κλίσης από το μοντέλο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η τελική επιλογή γίνεται πάντα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και το είδος της χρονοσειράς την οποία θέλουμε να μελετήσουμε. Επειδή όμως, η μεθοδολογία που χρησιμοποιούμε προορίζεται για χρήση σε οποιασδήποτε μορφής δεδομένα, για τον υπολογισμό τόσο του αρχικού επιπέδου όσο και της αρχικής κλίσης η επιλογή που έχουμε κάνει είναι η χρήση των παραμέτρων από το μοντέλο απλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Συντελεστές Εξομάλυνσης a και b

Σχετικά με τις τιμές των συντελεστών εξομάλυνσης, όπως και στο μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου, ποικίλουν οι τιμές τους στο εύρος από το 0 έως του 1, ανάλογα με το κριτήριο επιλογής που θα χρησιμοποιηθεί, όπως η ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος που συνηθίζεται ή η ελαχιστοποίηση του μέσου απόλυτου σφάλματος. Από την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προκύπτουν τιμές και για τα δύο παραμέτρους της μεθόδου. Ουσιαστικά προκύπτει ο καλύτερος συνδυασμός των παραμέτρων σχετικά με την ακρίβεια. Είναι προφανές πως λόγω ύπαρξης δύο παραμέτρων εξομάλυνσης, η εύρεση της καλύτερης τιμής τους γίνεται πιο πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί και περισσότερο χρόνο. Συνεπώς η χρήση αποτελεσματικού αλγορίθμου προς εύρεση αυτών των παραμέτρων κρίνεται πολύ σημαντική.

3.4.4.3. Μοντέλο Μη Γραμμικής Τάσης (Damped)

Το μοντέλο γραμμικής τάσης που περιγράψαμε παραπάνω, μπορεί να μεταβληθεί κατάλληλα ώστε να προσαρμόζεται και σε μη γραμμικές τάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση μιας παραμέτρου επιπλέον που ελέγχει τον ρυθμό αύξησης των τιμών των προβλέψεων. Αυτή ονομάζεται παράμετρος διόρθωσης της τάσης, συμβολίζεται με φ και περιγράφηκε το 1985 από τους Gardner και McKenzie. Το μοντέλο μη γραμμικής τάσης περιγράφεται μαθηματικά ως ακολούθως:

$$e_t = Y_t - F_t$$

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

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

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

Αρχικά, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, υπολογίζεται το σφάλμα της πρόβλεψης e_t το οποίο προκύπτει από τη διαφορά της πραγματικής τιμής της χρονοσειράς και της πρόβλεψης για την ίδια χρονική περίοδο t . Το S_t είναι το επίπεδο της χρονοσειράς στο τέλος της χρονικής περιόδου t και είναι ίσο με το άθροισμα του επιπέδου της χρονικής περιόδου $t-1$, της τάσης κατά την χρονική περίοδο $t-1$ και ενός ποσοστού το σφάλματος πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από τον συντελεστή a ο οποίος ορίζεται ως ο συντελεστής εξομάλυνσης του επιπέδου και το πεδίο τιμών του είναι από το 0 έως το 1. Η τάση T_t αντιπροσωπεύει την τάση που υπάρχει στην χρονοσειρά για την περίοδο t και είναι ίση με το άθροισμα της τάσης της χρονικής περιόδου $t-1$ και ενός ποσοστού του σφάλματος της πρόβλεψης. Το ποσοστό αυτό συμβολίζεται με τον συντελεστή b ο οποίος καλείται συντελεστής εξομάλυνσης της τάσης και το πεδίο τιμών του είναι επίσης από το 0 έως το 1. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, οι εξισώσεις αυτές είναι όμοιες με αυτές του γραμμικού μοντέλου. Η διαφορά

έγκειται στην τελευταία εξίσωση στην οποία αντί να υπολογίζεται μια γραμμική αύξηση της τάσης μέσω του ορίζοντα πρόβλεψης m , πραγματοποιείται ένας μη γραμμικός υπολογισμός αυτής μέσω της παραμέτρου εξομάλυνσης φ .

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον μελέτης παρουσιάζει η μελέτη της τιμής της νέας παραμέτρου φ που χρησιμοποιείται, η οποία δεν έχει κάποιο πάνω ή κάτω όριο και δύναται να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Αν η παράμετρος είναι μεγαλύτερη της μονάδας, τότε προκύπτει εκθετική τάση και το μέγεθος κατά το οποίο αυξάνει η τιμή των προβλέψεων μεγαλώνει κάθε φορά. Αν η τιμή του συντελεστή φ όμως είναι μικρότερη από την μονάδα τότε προκύπτει φθίνουσα τάση και το μέγεθος κατά το οποίο αυξάνει η τιμή των προβλέψεων μικραίνει κάθε χρονική περίοδο.

Αρχικό Επίπεδο και Αρχική Τάση

Όπως περιγράψαμε και στα δυο προηγούμενα μοντέλα, η αρχικοποίηση το μοντέλου γίνεται εν γένει με εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης στα ιστορικά δεδομένα όπου οι αρχικές τιμές του επιπέδου και της τάσης λαμβάνουν τις τιμές του αρχικού σημείου και της κλίσης της ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης αντίστοιχα. Επίσης είναι δυνατή και η χρήση και των άλλων τρόπων που έχουν ήδη περιγραφεί στη γραμμική εκθετική εξομάλυνση.

Συντελεστές Εξομάλυνσης a, b, φ

Σχετικά με τις τιμές των συντελεστών εξομάλυνσης και της παραμέτρου διόρθωσης της τάσης, ελέγχονται κάποιες δοκιμαστικές τιμές. Το κριτήριο επιλογής είναι στις περισσότερες περιπτώσεις η ελαχιστοποίηση το μέσου τετραγωνικού σφάλματος (MSE) αν και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη σφαλμάτων όπως είναι το ποσοστιαίο σφάλμα.

Βέβαια, όσο αυξάνεται το πλήθος των παραμέτρων, τόσο αυξάνεται και η υπολογιστική πολυπλοκότητα του προβλήματος άρα και του χρόνου που απαιτείται για την εύρεση των παραμέτρων. Οπότε η υλοποίηση ενός αποδοτικού αλγορίθμου που χρησιμοποιεί το κριτήριο της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ώστε να εξάγει το βέλτιστο δυνατό συνδυασμό πέρα από την γραμμική αναζήτηση η οποία είναι χρονοβόρα, κρίνεται επιτακτική.

Είναι σημαντικό να αναλυθεί περαιτέρω η φυσική σημασία της τιμής της παραμέτρου διόρθωσης και οι διαφορές που προκαλούν οι αλλαγές της τιμής της στο εν λόγω μοντέλο. Αρκετές φορές λοιπόν, οι προβλέψεις που προκύπτουν από το μοντέλο μη γραμμικής τάσης είναι ίδιες με αυτές του μοντέλου απλής εκθετικής εξομάλυνσης ή του μοντέλου γραμμικής τάσης. Για παράδειγμα αν στα δεδομένα μας δεν υπάρχει τάση και εφαρμοστεί το μοντέλο μη γραμμικής τάσης και το μοντέλο σταθερού επιπέδου, οι προβλέψεις που θα παραχθούν θα είναι κατά προσέγγιση ίσες. Αυτό γιατί η τιμή της παραμέτρου διόρθωσης της τάσης φ που θα προκύψει με την προαναφερόμενη διαδικασία εύρεσης της, θα είναι πολύ κοντά στο 0. Και πράγματι, αν στις μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του μοντέλου μη γραμμικής τάσης

εξαλείψουμε την παράμετρο φ (θεωρώντας την αμελητέα και άρα ίση με το 0) , προκύπτει το μοντέλο σταθερού επιπέδου συνεπώς οι προβλέψεις είναι ακριβώς οι ίδιες.

Από την παραπάνω διαπίστωση γίνεται φανερό ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο μη γραμμικής τάσης σαν ένα αυτόματο σύστημα πρόβλεψης για κάθε τύπο μη εποχιακής χρονοσειράς. Για κάθε τιμή της παραμέτρου διόρθωσης της τάσης φ έχουμε αντίστοιχη σε ένα από τα παρακάτω μοντέλα εξομάλυνσης:

- $\varphi = 0$, απλή εκθετική εξομάλυνση σταθερού επιπέδου
- $\varphi < 1$, μοντέλο φθίνουσας τάσης
- $\varphi = 1$, μοντέλο γραμμικής τάσης
- $\varphi > 1$, μοντέλο εκθετικής τάσης

Η ακρίβεια των προβλέψεων του μοντέλου μη γραμμικής τάσης είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες του μοντέλου γραμμικής τάσης. Γενικά το μοντέλο μη γραμμικής τάσης δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η εύρεση κάποιου συγκεκριμένου μοντέλου για την παραγωγή προβλέψεων κάποιας χρονοσειράς.

Άλλο ένα πλεονέκτημα του μοντέλου μη γραμμικής τάσης είναι η καταλληλότητα του για παραγωγή προβλέψεων μεγάλου χρονικού ορίζοντα. Πραγματικά οι πρακτικές έρευνες έχουν δείξει ότι όσο πιο μακρινός είναι ο ορίζοντας πρόβλεψης, τόσο πιο πολύ πλεονεκτεί το μοντέλο μη γραμμικής τάσης σε ακρίβεια έναντι των άλλων μοντέλων.

3.4.5. Μοντέλο Theta

Μια μέθοδος που ενσωματώθηκε στο σύστημα και αναπτύχθηκε από 2 μέλη της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής το 2000 είναι η μέθοδος Theta. Η μέθοδος Theta (Assimakorouλος και Νικολοπουλος, 2000; Νικολόπουλος, 2002) είναι μία μονοδιάστατη μέθοδος πρόβλεψης, η οποία βασίζεται στην μεταβολή των τοπικών καμπυλοτήτων μιας χρονοσειράς μέσα από την παράμετρο θ που εφαρμόζεται πολλαπλασιαστικά στις διαφορές δεύτερης τάξης των δεδομένων. Η καινούργια χρονοσειρά που δημιουργείται διατηρεί την μέση τιμή και κλίση της αρχικής χρονοσειράς αλλά όχι και τις τοπικές καμπυλότητες και τη διακύμανση. Οι χρονοσειρές που παράγονται με αυτή τη διαδικασία ονομάζονται γραμμές Theta. Βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό αυτών των γραμμών είναι η καλύτερη προσέγγιση της μακροπρόθεσμης συμπεριφοράς των δεδομένων ή ανάδειξη και τονισμός των βραχυπρόθεσμων χαρακτηριστικών, ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου θ (μικρότερη ή μεγαλύτερη της μονάδας αντίστοιχα).

Η μέθοδος αποσυνθέτει (διαχωρίζει) την αρχική χρονοσειρά σε δύο ή περισσότερες γραμμές Theta. Η κάθε γραμμή Theta προεκτείνεται στο μέλλον ξεχωριστά, με την ίδια ή και με διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης και οι παραγόμενες προβλέψεις συνδυάζονται για να προκύψει η τελική πρόβλεψη. Ο απλός συνδυασμός δύο γραμμών Theta, για $\theta=0$ (ευθεία γραμμή) και για $\theta=2$ (διπλασιασμός των τοπικών καμπυλοτήτων) χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή προβλέψεων για τις 3003 χρονοσειρές του διεθνούς διαγωνισμού προβλέψεων M3 και παρήγαγε πολύ καλά αποτελέσματα, με μικρά σφάλματα προβλεπτικής ακρίβειας.

Τα βήματα που ουσιαστικά περιγράφουν τη μεθοδολογία της κλασσικής μεθόδου theta είναι τα παρακάτω:

Βήμα 0. Έλεγχος εποχιακότητας. Ελέγχεται η κάθε χρονοσειρά για στατιστικά σημαντική εποχιακή συμπεριφορά.

Βήμα 1. Αποεποχικοποίηση. Μέσω της κλασσικής μεθόδου πολλαπλασιαστικής αποσύνθεσης, εφόσον αποδειχθεί ότι η χρονοσειρά έχει σημαντική εποχιακότητα.

Βήμα 2. Αποσύνθεση. Η κάθε χρονοσειρά αποσυντίθεται σε γραμμές Theta, την ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης ($\theta = 0$) και τη γραμμή Theta με παράμετρο $\theta = 2$.

Βήμα 3. Πρόβλεψη. Η γραμμή Theta με παράμετρο $\theta = 0$, που αναπαριστά την ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης, προεκτείνεται με τον συνηθισμένο τρόπο, ενώ η δεύτερη γραμμή προεκτείνεται μέσω της απλής γραμμικής εξομάλυνσης.

Βήμα 4. Συνδυασμός. Οι παραγόμενες προβλέψεις των δύο γραμμών Theta συνδυάζονται με ίσα βάρη.

Βήμα 5. Εποχικοποίηση. Οι τελικές προβλέψεις εποχικοποιούνται, χρησιμοποιώντας τους δείκτες εποχιακότητας που υπολογίστηκαν στο βήμα 1.

Ακολούθως περιγράφεται ο υπολογισμός των δύο γραμμών Theta που προτείνονται στην αναφερόμενη μεθοδολογία. Δεδομένου πως η Theta Line(0) ισοδυναμεί με την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (LRL) που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, απομένει ο υπολογισμός της Theta Line(2). Έτσι προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

$$Y_t = \frac{1}{2} (Y_t^{\theta=1-\alpha} + Y_t^{\theta=1-\alpha}) \stackrel{\alpha=1}{\iff}$$

$$Y_t = \frac{1}{2} (Y_t^{\theta=0} + Y_t^{\theta=2}) \stackrel{Y_t^{\theta=0}=LRL_t}{\iff}$$

$$Y_t^{\theta=2} = 2 \cdot Y_t - LRL_t$$

Η τελευταία εξίσωση οδηγεί σε έναν εναλλακτικό τρόπο παραγωγής της Theta Line(2) αφού η LRL μπορεί εύκολα να παραχθεί σύμφωνα με τη θεωρία της παλινδρόμησης. Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού οποιασδήποτε γραμμής Theta είναι σύμφωνα με τον Νικολόπουλο και του συνεργάτες το 2008 είναι:

$$Theta\ Line(\theta)_t = Y_t^\theta = LRL_t + \theta \cdot e_t$$

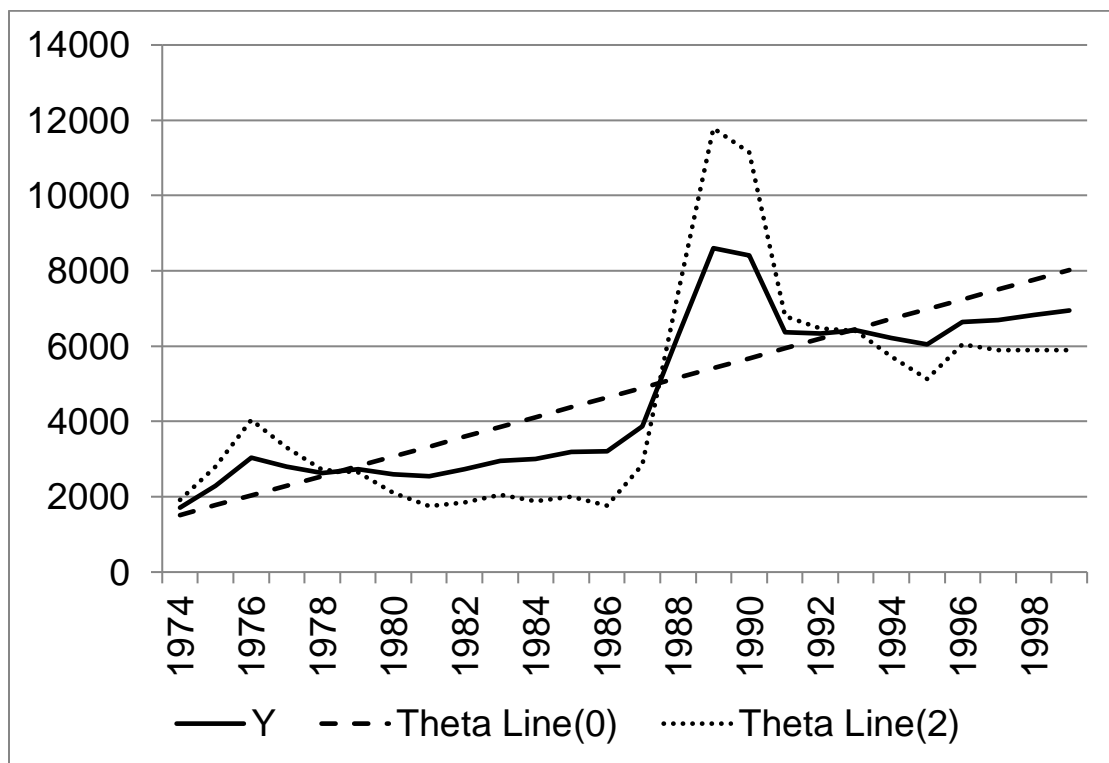
όπου:

$$e_t = Y_t - LRL_t$$

Ενώ οι Hyndman και Billah (2003) πρότειναν τον εξής τρόπο:

$$Y_t^\theta = \theta \cdot Y_t + \alpha_\theta + b_\theta \cdot (t - 1)$$

Στην μέθοδο Theta, η μακροπρόθεσμη τάση εξασφαλίζεται από της προέκταση της γραμμής $\theta = 0$. Ταυτόχρονα η ύπαρξη και της γραμμής $\theta=2$ λειτουργεί σαν αντίβαρο στην χρησιμοποίηση μόνο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης και εξασφαλίζει την αξιοποίηση και της βραχυπρόθεσμης πληροφορίας. Ως αποτέλεσμα, το σημείο εκκίνησης των προβλέψεων πετυχαίνει καλύτερη προσέγγιση του σωστού επιπέδου και εξασφαλίζει μία συντηρητική μεν αλλά σταθερή δε συνέχιση της μακροπρόθεσμης τάσης.



Εικόνα 3 Η Μέθοδος Theta

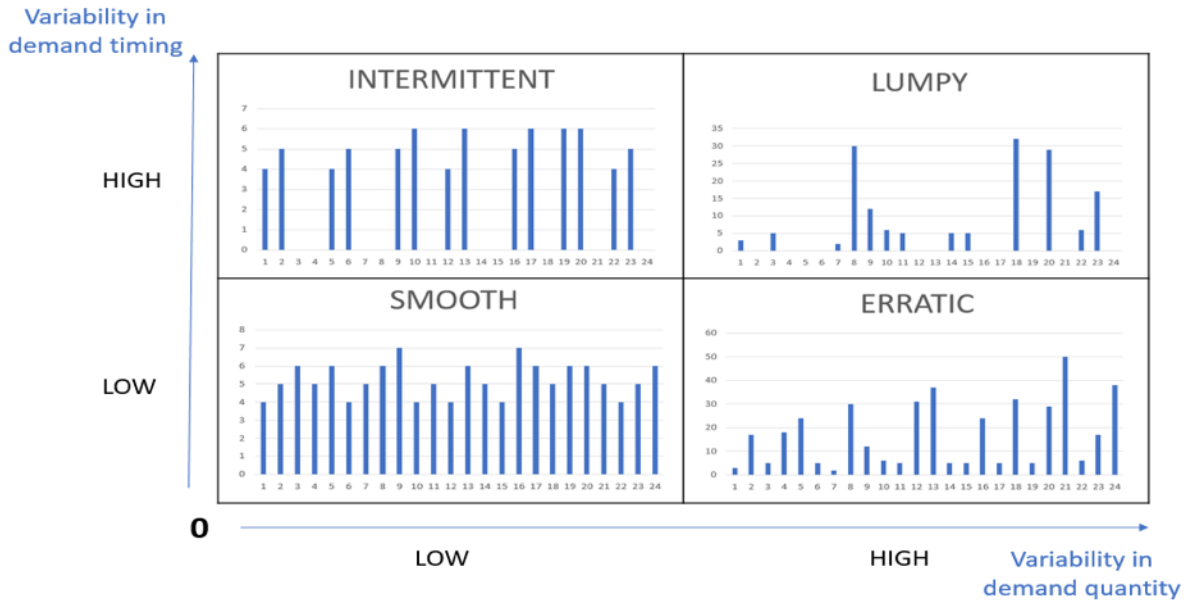
3.4.6. Μέθοδοι διακοπτόμενης ζήτησης

Η διακοπτόμενη ζήτηση (ή αλλιώς σποραδική ζήτηση) παρατηρείται όταν ένα προϊόν καταγράφει αρκετές περιόδους μηδενικής ζήτησης. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των περιπτώσεων διακοπτόμενης ζήτησης είναι η μεγάλη διακύμανση στις τιμές της ζήτησης καθώς και στα διαστήματα αυτής, όταν εμφανιστεί.

Η διακοπτόμενη ζήτηση είναι πολύ συχνή στα προϊόντα κλάδων όπως οι αυτοκινητοβιομηχανίες, τα αμυντικά συστήματα και η βαριά βιομηχανία γενικότερα. Συναντάται, επιπλέον, κατά κόρον σε μονάδες διαχείρισης αποθεμάτων και ανταλλακτικών (αποθήκες). Η διακοπτόμενη φύση των δεδομένων αυτών δημιουργεί σημαντικά προβλήματα τόσο στον έλεγχο των αποθεμάτων όσο και στη διαδικασία της πρόβλεψης. Η ανάγκη πρόβλεψης των δεδομένων αυτών είναι ιδιαίτερως σημαντική, καθώς μπορεί να εξασφαλίσει την ομαλότερη διάθεση των απαιτούμενων πόρων καθώς και τον βέλτιστο προγραμματισμό των απαιτούμενων διαδικασιών. Όλα αυτά μεταφράζονται σε τεράστια εξοικονόμηση του κόστους λειτουργίας μιας επιχείρησης, είτε ανήκει στον κλάδο της βιομηχανίας, είτε της παραγωγής.

Η δυσκολία, ωστόσο, της ζητούμενης πρόβλεψης είναι μεγάλη και προκύπτει τόσο από την ασυνέχεια των παρατηρήσεων αλλά από τη μεγάλη διακύμανση μεταξύ δύο μη μηδενικών παρατηρήσεων. Τα χαρακτηριστικά της διακοπτόμενης ζήτησης κάνουν αδύνατη την εφαρμογή των συνήθων μεθόδων πρόβλεψης χρονοσειρών.

Στην πράξη, οι μέθοδοι της εκθετικής εξομάλυνσης χρησιμοποιούνται συχνά όταν απαιτείται χειρισμός και πρόβλεψη δεδομένων διακοπτόμενης φύσης. Καθώς όμως οι μέθοδοι αυτοί αποδίδουν μεγαλύτερο βάρος στα πιο πρόσφατα δεδομένα, καταλήγουν σε ένα μοντέλο πρόβλεψης όπου οι εκτιμήσεις είναι μέγιστες έπειτα από μία εμφάνιση ζήτησης και ελάχιστες ακριβώς πριν από περίοδο μη μηδενικής ζήτησης. Η αδυναμία λοιπόν, των μοντέλων εξομάλυνσης οδήγησε τους ερευνητές στην αναζήτηση νέων μεθόδων και τεχνικών για την αποτελεσματική πρόβλεψη χρονοσειρών με έντονη παρουσία μηδενικών τιμών. Για την καλύτερη κατανόηση τόσο των δεδομένων διακοπτόμενης ζήτησης όσο και για γίνει αντιληπτή η ανάγκη προσέγγισης τέτοιας φύσης δεδομένων με διαφορετικό τρόπο παρουσιάζονται ακολούθως σχηματικά οι ταξινομήσεις της ζήτησης (demand classification).



Εικόνα 4 Κατηγορίες ταξινόμησης ζήτησης

Στις περιπτώσεις χρονοσειρών διακοπτόμενης ζήτησης, συνηθίζεται η εφαρμογή μίας μεθοδολογίας αποσύνθεσης που διαχωρίζει την χρονοσειρά σε δύο ξεχωριστές χρονοσειρές, έτσι ώστε η μία να περιέχει τις μη μηδενικές τιμές και η άλλη τον αριθμό των περιόδων μεταξύ των μη μηδενικών ζητήσεων. Με τη διαδικασία αυτή η οποία ονομάζεται αποσύνθεση κατά Croston (Croston Decomposition) μπορεί να υπολογιστεί και έχει φυσική σημασία η μέση τιμή των μη μηδενικών ζητήσεων:

$$\bar{Y}_{demands} \text{ (Demand Size)}$$

αλλά και η μέση τιμή του διαστήματος μεταξύ των ζητήσεων:

$$\bar{Y}_{intervals} \text{ (Intermittent Demand Intervals)}$$

ως απλοί μέσοι όροι.

Το νέο μέγεθος που εισάγεται και χρησιμοποιείται στις χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης είναι η υπολογιζόμενη μέση τιμή μεταξύ των ζητήσεων, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό μέτρο της ασυνέχειας των ζητήσεων (intermittency).

Τέλος, σημαντικός στατιστικός δείκτης επίσης χρήσιμος σε χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης, είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας των μη μηδενικών ζητήσεων. Υπολογίζεται ως εξής:

$$c_v = \frac{\sigma_{demands}}{\bar{Y}_{demands}} \cdot 100$$

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για την πρόβλεψη δεδομένων διακοπτόμενης φύσης παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι μέθοδοι διακοπτόμενης ζήτησης έχουν ευρεία χρήση στον τομέα των Fast Moving Consumer Goods λόγω της φύσης των δεδομένων της συγκεκριμένης αγοράς.

3.4.6.1. Μέθοδος Croston

Η ακανόνιστη και κυματοειδής φύση των δεδομένων διακοπτόμενης ζήτησης είναι η κύρια αιτία δυσκολίας εξαγωγής των προβλέψεων και ο λόγος ενασχόλησης της κοινότητας των προβλέψεων με αυτά. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μέθοδος που εν γένει χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη για τέτοια δεδομένα ήταν η μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης. Το 1972, ο Croston πρότεινε μία εναλλακτική μέθοδο, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο το μέγεθος της ζήτησης όσο και το χρόνο μεταξύ των ζητήσεων. Στην πράξη ο Croston εξήγαγε προβλέψεις εφαρμόζοντας ανεξάρτητα απλή εκθετική εξομάλυνση τόσο στις μη μηδενικές τιμές των χρονοσειρών όσο και στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μη μηδενικών τιμών των χρονοσειρών.

Πιο αναλυτικά, η μέθοδος που εισήγαγε ο Croston, διαχωρίζει αρχικά την χρονοσειρά των πραγματικών παρατηρήσεων σε δύο επιμέρους, όπου η μία αποτελείται από τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μη μηδενικών ζητήσεων (intervals) και η άλλη από το πλήθος των ανεξάρτητων μη μηδενικών ζητήσεων (demands). Οι δύο χρονοσειρές προεκτείνονται ανεξάρτητα με χρήση της μεθόδου εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου. Ως παράμετρος εξομάλυνσης στην εφαρμογή της μεθόδου είναι συνήθης στη βιβλιογραφία η χρήση της τιμής $\alpha=0,05$. Η προέκταση των χρονοσειρών ακολουθείται από τον υπολογισμό της πρόβλεψης Croston μέσω εύρεσης του πηλίκου των δύο ανεξάρτητων προβλέψεων ως εξής:

$$F_{Croston} = \frac{F_{demands}}{F_{intervals}}$$

Γενικά, η διακοπτόμενη ζήτηση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του επιπέδου προμήθειας αποθεμάτων επιφέροντας προκατάληψη (bias) στις εκτιμήσεις της μέσης ζήτησης. Ο Croston όμως υποστηρίζει πως η προσέγγιση των ξεχωριστών εκτιμήσεων για ζήτηση και χρόνο μεταξύ ζητήσεων, οδηγεί σε μείωση της προκατάληψης. Επίσης, η πρόσθετη συνιστώσα της συχνότητας μεταξύ των ζητήσεων επιτρέπει στον διαχειριστή των αποθεμάτων να καθορίσει τις παραγγελίες και το κόστος με μεγαλύτερη ακρίβεια, αποφεύγοντας της περίσσεια αποθεμάτων. Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και για δεδομένα συνεχούς ζήτησης, αφού πλέον συμπίπτει με απλή εφαρμογή της εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου. Στην περίπτωση όμως δεδομένων διακοπτόμενης ζήτησης ουσιαστικά αποτελεί μια παραλλαγή της απλής εκθετικής

εξομάλυνσης, με τις προβλέψεις να παραμένουν σταθερές και αμετάβλητες μεταξύ των μη μηδενικών ζητήσεων και να ανανεώνονται μόνο μετά την παρατήρηση νέας μη μηδενικής τιμής.

Η μέθοδος Croston εφαρμόζεται κατά κόρον με τον τρόπο που έχει ήδη περιγραφεί. Παρόλα αυτά έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορες παραλλαγές αυτής, όσον αφορά τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη. Έχει προταθεί για παράδειγμα η χρήση της μεθόδου Theta έναντι της εκθετικής εξομάλυνσης σταθερού επιπέδου (Nikolopoulos et al., 2007). Επίσης, έχει ελεγχθεί σε μεγάλο πλήθος χρονοσειρών η χρήση βελτιστοποιημένης παραμέτρου εκθετικής εξομάλυνσης έναντι σταθερής, ίσης με $\alpha=0,05$, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα (Petrooulos et al., 2008).

3.4.6.2. Μέθοδος SBA (Syntetos and Boylan Approximation)

Η μέθοδος Croston έχει αποδειχθεί μεγίστης αξίας για τους κατασκευαστές που αντιμετωπίζουν δεδομένα διακοπτόμενης φύσης. Παρά όμως τη σπουδαία θεωρητική ανωτερότητα αυτής της μεθόδου πρόβλεψης, οι εμπειρικές ενδείξεις δεν συμφωνούν με την εφαρμογή της, καθώς τα κέρδη από την αντίστοιχη εφαρμογή είναι χειρότερα του αναμενόμενου, συγκρινόμενη με απλούστερες τεχνικές πρόβλεψης. Μετά από αυτήν τη διαπίστωση, ο Συντετός και Boylan (2001), προσπαθώντας να εντοπίσουν το αίτιο αυτής της απροσδόκητης συμπεριφοράς, διαπίστωσαν ότι η μέθοδος Croston είναι μια θετικά προκατειλημμένη μέθοδος (positively biased), παρουσιάζει, δηλαδή, μια αισιόδοξη τάση στα αποτελέσματα των προβλέψεων της. Ένα άλλο σημαντικό επίσης επίτευγμα της έρευνας τους ήταν η σύνδεση του επιπέδου της αισιόδοξης τάσης της μεθόδου με την τιμή της παραμέτρου εξομάλυνσης α που χρησιμοποιείται για την προέκταση των δύο αποσυντιθέμενων χρονοσειρών. Η μέγιστη προκατάληψη μάλιστα παρατηρήθηκε όταν η παράμετρος εξομάλυνσης α λάβει τη μέγιστη τιμή της δηλαδή $\alpha=1$. Γενικά παρατηρήθηκε μία αναλογία της θετικής προκατάληψης της μεθόδου με τις μεγάλες τιμές της παραμέτρου α , και η μέθοδος Croston να ενδείκνυται μόνο όταν το α είναι μικρότερο του 0,15.

Η μέθοδος λοιπόν που αναπτύχθηκε, πήρε το όνομά της από τους προαναφερόμενους. Ονομάζεται SBA (Syntetos and Boylan Approximation) και αποτελεί μία τροποποίηση της Croston, στην οποία η πρόβλεψη υπολογίζεται από τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο:

$$F_{SBA} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{F_{demands}}{F_{intervals}}$$

Μεταγενέστερες εμπειρικές μελέτες και μελέτες προσομοίωσης (Syntetos & Boylan, 2005; Teunter & Sani, 2009) έδειξαν πως η αρχική μέθοδος Croston παρουσιάζει μικρότερη θετική προκατάληψη εάν υπάρχουν λίγες μη μηδενικές τιμές στη ζήτηση ενώ η τροποποιημένη

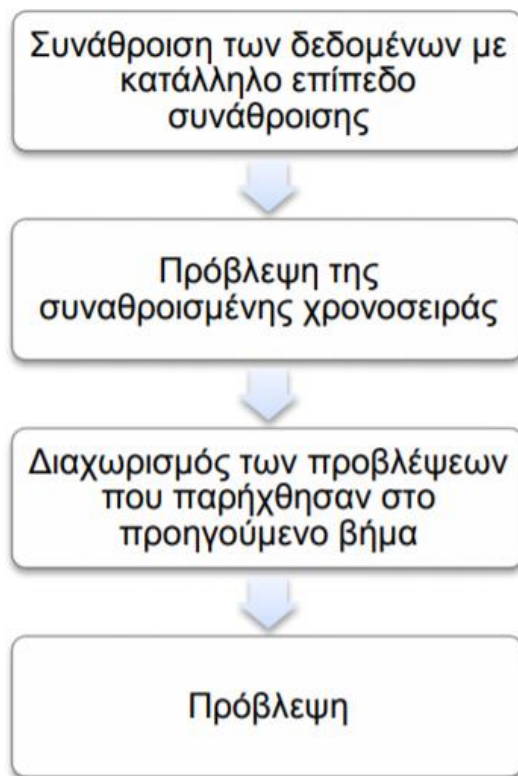
μέθοδος των Σύντετου και Boylan έχει μικρότερη προκατάληψη εάν παρατηρούνται περισσότερες μηδενικές τιμές στη ζήτηση.

3.4.6.3. Μέθοδος ADIDA (Aggregate-Disaggregate Intermittent Demand Approach)

Μία άλλη διαδικασία αντιμετώπισης των χρονοσειρών διακοπτόμενης ζήτησης που μπορεί να ακολουθηθεί προκειμένου να αποφεύγεται η ασυνέχεια των δεδομένων όσων αφορά τις μηδενικές τιμές, είναι η μη επικαλυπτόμενη συνάθροιση (aggregation) των δεδομένων σε περιόδους μικρότερης συχνότητας. Αν για παράδειγμα υπάρχουν μηνιαία δεδομένα, και σε κάποιους μήνες η ζήτηση ήταν μηδενική τότε θα μπορούσε να εφαρμοστεί η συνάθροιση σε τριμηνιαίο επίπεδο, θέτοντας το επίπεδο συνάθροισης ίσο με τρεις περιόδους. Με μία τέτοια συνάρτηση, ενδέχεται να μειωθεί, αν όχι επαλειφθεί, η ασυνέχεια λόγω ύπαρξης μηδενικών παρατηρήσεων. Επίσης η διακύμανση της προκύπτουσας νέας χρονοσειράς αναμένεται να είναι μικρότερη, έχοντας χρησιμοποιήσει ουσιαστικά μη επικαλυπτόμενο κινητό μέσο όρο για εξομάλυνση. Ο κατάλληλος καθορισμός του επιπέδου συνάθροισης (aggregation level) θα οδηγήσει σε χρονοσειρά συνεχούς ζήτησης, χωρίς μηδενικές τιμές, στην οποία θα μπορεί πλέον να εφαρμοστεί οποιαδήποτε τεχνική πρόβλεψης δεδομένων κατάλληλη για συνεχή ζήτηση για την παραγωγή προβλέψεων στο επίπεδο συνάθροισης. Εντούτοις, η χρησιμότητα των εξαγομένων συναθροισμένων προβλέψεων μπορεί να αμφισβητηθεί, καθώς τα δεδομένα παρακολουθούνται και ελέγχονται σε υψηλότερη χρονική συχνότητα, με σκοπό την εξυπηρέτηση διαφόρων λειτουργικών αναγκών. Κρίνεται λοιπόν αναγκαία η διάσπαση (disaggregation) των υπολογισμένων προβλέψεων ώστε να υπολογιστούν οι τελικές προβλέψεις χρονικής συχνότητας ίσης με του αρχικού επιπέδου.

Όντας αυτή η θεμελιώδης σκέψη, παρήχθη μία νέα μέθοδος η οποία ονομάζεται ADIDA (Nikolopoulos et al.,2010) και η οποία προτείνει τη συνάθροιση δεδομένων σε ένα υψηλότερο χρονικά επίπεδο όπου έχει αποφευχθεί η ασυνέχεια των δεδομένων. Σε αυτήν μπορούν πλέον να εφαρμοστούν μέθοδοι πρόβλεψης για δεδομένα συνεχούς ζήτησης πέραν των μεθόδων που εφαρμόζονται ως επί τω πλείστω σε δεδομένα διακοπτόμενης ζήτησης. Ύστερα από το στάδιο παραγωγής των προβλέψεων, απαιτείται ο διαχωρισμός των προβλέψεων στα αρχικά επίπεδα των χρονοσειρών, χρησιμοποιώντας εμπειρικές τεχνικές. Το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθείται ολοκληρώνεται στα στάδια που αναπαρίστανται στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 5).

Δύο βασικές έννοιες χρησιμοποιεί η μέθοδος ADIDA οι οποίες επηρεάζουν ιδιαίτερα τα αποτελέσματα της: το επίπεδο συνάθροισης και η μέθοδος διαχωρισμού. Και οι δύο αυτές παράμετροι έχουν μεγάλη επίδραση στα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου και αυτός είναι και ο λόγος που αποτελούν πεδίο έρευνας και μελέτης.



Εικόνα 5 Μεθοδολογία ADIDA

Η κατάλληλη επιλογή του επιπέδου συνάθροισης είναι πολύ σημαντική διαδικασία στην ορθή επιλογή του μοντέλου ADIDA. Η δυσκολία στην επιλογή του επιπέδου συνάθροισης έγκειται στο ότι από την μία πλευρά το επίπεδο συνάθροισης πρέπει να είναι ικανοποιητικά μεγάλο έτσι ώστε να εξαλείφεται πλήρως το φαινόμενο της διακοπτόμενης ζήτησης ενώ από την άλλη, δεν πρέπει να οδηγεί σε μία χρονοσειρά εξαιρετικά λίγων παρατηρήσεων όπου πλέον μεγάλο πλήθος πληροφορίας έχει πια χαθεί. Σε ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων θα είχε απόλυτο νόημα ο ορισμός του επιπέδου συνάθροισης ως τον αριθμό των περιόδων που χρειάζεται κάθε SKU (Stock Keeping Unit) από τη στιγμή που θα γίνει η παραγγελία νέας παρτίδας μέχρι τη στιγμή που θα γίνουν αυτά διαθέσιμα (lead time) συν μία περίοδο. Ο Νικολόπουλος έδειξε ότι ο ορισμός αυτός επιφέρει στατιστικά σημαντική μείωση των δεικτών σφάλματος που με τη σειρά τους θα οδηγούσαν σε σημαντική μείωση του κόστους διαχείρισης των αποθεμάτων.

Σχετικά τώρα με τις μεθόδους διαχωρισμού της παραχθείσας πρόβλεψης στο συναθροισμένο επίπεδο μπορεί να γίνει με χρήση διαφόρων εμπειρικών μεθόδων που έχουν προταθεί από τους συγγραφείς της μεθόδου ADIDA.

Οι μέθοδοι αυτοί είναι:

- Equal Weights. Απλός ισοβαρής διαχωρισμός και ενδείκνυται για χρονοσειρές με μεγάλη τυχαιότητα και χωρίς εποχιακή συμπεριφορά.
- Previous Weights. Εφαρμογή βαρών που έχουν οι m προηγούμενες παρατηρήσεις, όπου m είναι ισούται με το επίπεδο συνάθροισης.
- Average Weights. Υπολογισμός των μέσων βαρών που υπολογίζονται αν χωρίσουμε τις παρατηρήσεις σε k ομάδες m παρατηρήσεων η κάθε μία, όπου $(k \times m)$ είναι το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων και m είναι το επίπεδο της συνάθροισης. ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου η συνιστώσα της εποχιακότητας είναι έντονη.

Συνοψίζοντας, η μέθοδος ADIDA μοιάζει να είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου προστίθεται και η δυνατότητα που παρέχεται από τα περισσότερα πακέτα λογισμικού προβλέψεων όσων αφορά τη συνάθροιση των δεδομένων σε υψηλότερα χρονικά επίπεδα. Τέλος, η μέθοδος ADIDA, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης σε σχέση με μεμονωμένες μεθόδους, γεγονός που την καθιστά μηχανισμό "αυτό-βελτίωσης".

3.5. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης

Η εξαγωγή των προβλέψεων λόγω της μεγάλης τεχνολογικής εξέλιξης που υπάρχει, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία δύσκολη διαδικασία, οι απαιτούμενοι υπολογισμοί μπορούν να υλοποιηθούν σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού και συνήθως σε λίγα δευτερόλεπτα να μας δώσουν προβλέψεις. Όμως η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς αυτούς δεν είναι μια εύκολη διαδικασία που μπορεί να γίνει από απλούς χρήστες ενός προγράμματος. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι μέθοδοι πρόβλεψης κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις εφαρμογές τους αλλά και τα κύρια χαρακτηριστικά τους, έτσι ώστε να γίνει η διαδικασία της επιλογής τους ανά περίπτωση πιο εύκολη διαδικασία. Κινούμενοι προς αυτήν την κατεύθυνση θα αναφερθούν κάποιοι βασικοί παράγοντες που αντικατοπτρίζουν τις δυνατότητες εφαρμογής των διαθέσιμων μεθόδων. Οι κυριότεροι λοιπόν παράγοντες είναι:

- *Χρονικός ορίζοντας.* Ανάλογα το χρονικό διάστημα στο μέλλον στο οποίο θα αναφέρεται η πρόβλεψη συχνά επιλέγεται και η αντίστοιχη μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί. Οι ποσοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται περισσότερο για μακροπρόθεσμες προβλέψεις ενώ οι ποσοτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται περισσότερο για μεσοπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες προβλέψεις. Επίσης σημαντικό στοιχείο είναι και το πλήθος των περιόδων για το οποίο απαιτείται πρόβλεψη.
- *Πρότυπο συμπεριφοράς των δεδομένων.* Δεν είναι δυνατή η εφαρμογή κανενός μοντέλου πρόβλεψης αν πρώτα δεν αναγνωρισθεί ένα βασικό πρότυπο συμπεριφοράς των δεδομένων, το οποίο θα αποτελέσει βάση της τεχνικής πρόβλεψης που θα

εφαρμοστεί. Τα τέσσερα βασικά πρότυπα που συμπεριφοράς που συχνά εμφανίζονται στις χρονοσειρές και τις περισσότερες φορές συνυπάρχουν είναι το σταθερό πρότυπο, το πρότυπο της τάσης, το εποχιακό και το κυκλικό πρότυπο.

- *Κόστος.* Αναφερόμενοι σε μία μέθοδο πρόβλεψης, το κόστος της σχετίζεται άμεσα με τον όγκο των δεδομένων που αποτελούν τα ιστορικά στοιχεία και από την πολυπλοκότητα κατά την εφαρμογή της. Το κόστος μπορεί να αναφέρεται τόσο σε υπολογιστικό όσο και σε χρηματικό κόστος για την υλοποίηση των μεθόδων.
- *Αξιοπιστία.* Η αξιοπιστία σχετικά με τις προβλέψεις, συνδέεται με το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται στην αντίστοιχη περίπτωση. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένα ποσοστό ακρίβεια της πρόβλεψης 10% είναι ικανοποιητικό ενώ άλλες που ακόμα και το μισό ποσοστό από το προαναφερόμενο μπορεί να αποδειχθεί καταστροφικό.
- *Απλότητα και ευκολία στην εφαρμογή της.* Απλές και εύληπτες μέθοδοι εν γένει προτιμώνται καθώς είναι και πιο εύκολες στην εφαρμογή τους. Από την μία μπορεί ο συνδυασμός μεθόδων μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα από την άλλη έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι απλές μέθοδοι πηγαίνουν καλύτερα σε σύγκριση με πολύπλοκες μεθόδους.

Η μελέτη για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης είναι ένα θέμα το οποίο έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητά, και έχει μελετηθεί από πάρα πολλούς ερευνητές με κυριότερα αποτελέσματα να προέρχονται από τον Davis Wright και τους συνεργάτες του (1986), τον Yokum, J. T. και τον Armstrong, J. S. (1995) καθώς και τον Tashman, L.J. (1991, 2000). Για τον λόγο αυτό έχουμε ενσωματώσει ένα μηχανισμό αυτόματης επιλογής της βέλτιστης μεθόδου και χρήση της για την παραγωγή των εξαγόμενων προβλέψεων ή αλλιώς έχουμε υλοποιήσει έναν διαγωνισμό προβλέψεων. Βέβαια, σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η μέθοδος η οποία ονομάζουμε κατάλληλη για κάθε χρονοσειρά βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην φύση των δεδομένων και όχι σε κάποια άλλη παρατήρηση. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του sMSE και πλήρης περιγραφή του γίνεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

3.6. Συνδυασμοί μεθόδων πρόβλεψης

Ανάλογα με τις συνθήκες και τα κύρια χαρακτηριστικά που εμφανίζονται γίνεται και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Εντούτοις, η αναγνώριση των χαρακτηριστικών και των συνθηκών που επικρατούν δεν είναι εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις ακόμα και να αναγνωριστούν σωστά οι διάφοροι παράγοντες, είναι δύσκολη η εύρεση μίας μεθόδου αποκλειστικά που να ικανοποιεί πλήρως όλες τις απαιτήσεις του προβλήματος για την πρόβλεψη. Παρατηρήθηκε ότι ένας τρόπος αύξησης της ακρίβειας των προβλέψεων, είναι ο συνδυασμός διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης. Διαφορετικές μέθοδοι πρόβλεψης, εφαρμοζόμενες στις ίδιες χρονοσειρές, παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα καθώς η κάθε πρόβλεψη παρέχει και διαφορετική πληροφορία. Ο συνδυασμός τους παράγει προβλέψεις, αξιοποιώντας περισσότερη πληροφορία στην ίδια τιμή, γεγονός που ενισχύει την ακρίβεια της πρόβλεψης καθώς προσεγγίζεται καλύτερα η πραγματικότητα. Αξιοπρόσεχτο όμως σε αυτό το σημείο είναι να αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο γίνεται να πραγματοποιηθεί ο συνδυασμός των μεθόδων πρόβλεψης. Δύο βασικές τεχνικές επικρατούν για την υλοποίηση του εν λόγω συνδυασμού. Ο απλός μέσος όρων όλων των προβλέψεων των μεθόδων που θα επιλεγούν είναι η πρώτη τεχνική ενώ ο υπολογισμός του μέσου όρου αλλά με χρήση συντελεστών βαρύτητας είναι η δεύτερη. Σχετικά με τη δεύτερη τεχνική, οι συντελεστές βαρύτητας που γενικά χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από την σχετική ακρίβεια της μεθόδου και από την συνδιακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης. Το μέγεθος της ανομοιότητας των μεθόδων όπως επίσης και το μέτρο της σχετικής ακρίβειας κάθε μεθόδου σε μια συγκεκριμένη περίπτωση είναι δείκτες για την τιμή των συντελεστών βαρύτητας. Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν αποδείξει ότι ο υπολογισμός του απλού μέσου όρου προβλέψεων οδηγεί σε αποτελέσματα το ίδιο ικανοποιητικά με αυτά το πολύπλοκων τεχνικών συνδυασμού.

Πάντως γενικότερα η στρατηγική του συνδυασμού των διαφορετικών προβλέψεων, είναι εξαιρετικά εποικοδομητική καθώς από έρευνες και μελέτες όπως αυτές του Clemens (1989) και του Armstrong (2001) που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα αποδεικνύεται μείωση του μεγέθους του σφάλματος έως και 6%. Όπως έχουμε αναφέρει, στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο μεμονωμένες στατιστικές μέθοδοι πρόβλεψης όσο και ο συνδυασμός αυτών ώστε να λάβουμε τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα.

3.7. Δείκτες αξιολόγησης προβλέψεων

Η στατιστική ανάλυση είναι ουσιαστικά η εύρεση βασικών στατιστικών δεικτών και αποτελεί και την διαδικασία ανάλυσης κάθε χρονοσειράς για την μετέπειτα ορθότερη αντιμετώπιση της. Επιτρέπει στους αναλυτές, να έχουν μια γρήγορη, δομημένη και ταυτόχρονα συνολική εικόνα για το σύνολο της χρονοσειράς και για αυτό η στατιστική ανάλυση τόσο των χρονοσειρών, όσο και των προβλέψεων και κατ' επέκταση και των μοντέλων πρόβλεψης έχει

αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνητών του τομέα των προβλέψεων, Makridakis (1993) και Armstrong (2001). Σε συνδυασμό με την γραφική αναπαράσταση της χρονοσειράς, είναι δυνατή η επιλογή ακολούθως των κατάλληλων μεθοδολογιών και διαδικασιών πρόβλεψης. Η στατιστική ανάλυση αποτελείται από τρεις κατηγορίες που αναλύονται ακολούθως.

3.7.1. Βασική στατιστική ανάλυση

Αποτελείται από βασικούς στατιστικούς δείκτες όπως:

- Μέση τιμή:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_i$$

- Μέγιστη και Ελάχιστη τιμή (Maximum and Minimum) της χρονοσειράς

- Τυπική απόκλιση (Standard Deviation):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n}}$$

- Διακύμανση (Variance) : ορίζεται ως το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης

- Συνδιακύμανση (Covariance):

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]$$

$Cov(X, Y) > 0$: μεταβάλλονται ανάλογα τα δύο μεγέθη

$Cov(X, Y) < 0$: μεταβάλλονται ντιστρόφως ανάλογα τα δύο μεγέθη

$Cov(X, Y) = 0$: τα δύο μεγέθη είναι ασυσχέτιστα

- Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (Linear Correlation Coefficient):

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^2]} \sqrt{\sum_{i=1}^n [(Y_i - \bar{Y})^2]}}$$

$r_{XY} = \pm 1$: τέλεια γραμμική συσχέτιση

$-0,3 < r_{XY} < 0,3$: δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση

- Συντελεστής αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation Coefficient):

$$ACK_k = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(Y_i - \bar{Y})^2]}}$$

$ACK_k = 0$: μηδενική συσχέτιση των παρατηρήσεων χρονικής υστέρησης k

$ACK_k = 1$: μεγάλη συσχέτιση των παρατηρήσεων χρονικής υστέρησης k

- Συντελεστής Μεταβλητότητας (Coefficient of Variation):

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{Y}} \cdot 100(\%)$$

3.7.2. Στατιστική ανάλυσης ακρίβειας προβλέψεων

Σε αυτήν την κατηγορία πέρα από την πραγματική σειρά των παρατηρήσεων που είναι αναγκαία όπως και στην βασική στατιστική ανάλυση, απαιτείται και μία δεύτερη σειρά πρόβλεψης που προκύπτει από την εφαρμογή κάποιας κατάλληλης μεθόδου επί της πραγματικής χρονοσειράς. Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε ανάλυση τόσο των μεθόδων πρόβλεψης όσο και της μεθοδολογίας επιλογής της καταλληλότερης μεθόδου, με βάση την πραγματική σειρά των δεδομένων και την επιλεγμένη μέθοδο πρόβλεψης μπορούν να υπολογιστούν οι δείκτες ακρίβειας των προβλέψεων.

Η σημασία της συγκεκριμένης κατηγορίας της στατιστικής ανάλυσης στον κλάδο των προβλέψεων είναι καίριας σημασίας καθώς αποτελεί βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση μεθόδων αλλά και για τον χαρακτηρισμό τους σχετικά με τον τρόπο προσέγγισης την μεθοδολογία πρόβλεψης και την πραγματική χρονοσειράς.

Κύρια έννοια για να οριστούν οι μετέπειτα δείκτες της στατιστικής ακρίβειας προβλέψεων αποτελεί το σφάλμα, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της πρόβλεψης για μία περίοδο, το οποίο ορίζεται ως εξής:

$$e_i = Y_i - F_i$$

Είναι προφανές πως η τιμή του σφάλματος δεν μπορεί να υπολογιστεί αν δεν υπάρχουν για την ίδια χρονική περίοδο τόσο οι πραγματικές τιμές της χρονοσειράς όσο επίσης και οι τιμές πρόβλεψης. Οπότε μπορεί να γίνει διαχωρισμός των σφαλμάτων, σε σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης (*in - sample error*) το οποίο προκύπτει από τις διαφορές των πραγματικών τιμών της χρονοσειράς που είναι ήδη διαθέσιμες και των τιμών του μοντέλου πρόβλεψης για αυτές τις χρονικές περιόδους και στο πραγματικό σφάλμα (*out - of - sample error*) που προκύπτει από τη διαφορά της πραγματικής μελλοντικής τιμής της χρονοσειράς που θα γίνει γνωστή μετά από το αντίστοιχο χρονικό διάστημα και τις πρόβλεψης που έχει παραχθεί από το αντίστοιχο μοντέλο για εκείνη τη χρονική περίοδο.

Οι δείκτες που ακολουθούν είναι ορισμένοι έτσι ώστε να εκφράζουν το σφάλμα της μεθόδου πρόβλεψης για n περιόδους, αλλά με κατάλληλες αλλαγές στις περιόδους που αναφέρονται μπορεί να εκφράσουν και το πραγματικό σφάλμα της πρόβλεψης. Παρακάτω γίνεται παράθεση των βασικότερων δεικτών:

- Μέσο σφάλμα (Mean Error):

$$ME = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)$$

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (Mean Absolute Error):

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|$$

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2$$

- Κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (scaled Mean Square Error):

$$sMSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - F_i)^2}{\bar{Y}^2}$$

- Ρίζα Μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2}$$

- Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| \cdot 100 (\%)$$

- Συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (Symmetric Mean Absolute Percentage Error):

$$sMAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{\left(\frac{Y_i + F_i}{2}\right)} \right| \cdot 100 (\%) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{2 \cdot (Y_i - F_i)}{Y_i + F_i} \right| \cdot 100 (\%)$$

- Μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (Mean Absolute Scaled Error):

$$MAS E = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|}{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n |Y_i - Y_{i-1}|}$$

3.7.3. Ρυθμός ανάπτυξης

Για λόγους πληρότητας των δεικτών στατιστικής ανάλυσης κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί και ο ρυθμός ανάπτυξης. Ο δείκτης του ρυθμού ανάπτυξης είναι ένα ποσοστό που εκφράζει το μέτρο της αυξητικής ή φθίνουσας πορείας μίας σειράς δεδομένων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ορίζεται ως εξής:

$$Growth Rate = \frac{\frac{1}{ppy} \cdot \sum_{i=n-ppy+1}^n Y_i - \frac{1}{n-ppy} \cdot \sum_{i=1}^{n-ppy} Y_i}{\frac{1}{n-ppy} \cdot \sum_{i=1}^{n-ppy} Y_i} \cdot 100(\%)$$

Όπου Y είναι το διάνυσμα των n παρατηρήσεων και ppy είναι το πλήθος των περιόδων στο μήκος ενός έτους.

4. Συστήματα λογισμικού

Η πολυπλοκότητα εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες όλων των μεθόδων που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, τόσο στον τομέα των αποθεμάτων όσο και των προβλέψεων, οδήγησε στην ανάγκη αξιοποίησης της σύγχρονης τεχνολογίας για τη δημιουργία συστημάτων λογισμικού, κατάλληλων για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων που θα βοηθήσουν τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς να πάρουν σωστές και ολοκληρωμένες αποφάσεις και να οργανώσουν αποτελεσματικά τις εσωτερικές τους διαδικασίες.

4.1. Συστήματα προβλέψεων

Οι εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας δεν αφήνουν ανεπηρέαστο το πεδίο των προβλέψεων, αντίθετα, έχουν ισχυρό αντίκτυπο σε αυτό. Ιδιαίτερα την τελευταία 20ετία, παρατηρείται μια ισχυρή τάση σχεδιασμού και δημιουργίας καινοτόμων πληροφοριακών συστημάτων, ικανών να ενσωματώσουν όχι μόνο τη στατιστική γνώση, αλλά και την κριτική ικανότητα που απαιτεί η πραγματοποίηση προβλέψεων, όπως αναφέρουν και οι Gottinger, H.W. και Weinmann, P. (1992). Απόδειξη του φαινομένου αυτού αποτελεί η έρευνα του Νικολόπουλου και των συνεργατών του (2003) πάνω στην μελέτη συστημάτων προβλέψεων καθώς και η πρόσφατη ερευνητική πρόσκληση των καθηγητών Robert Fildes και Paul Goodwin (2009) για την ανάπτυξη μεθοδολογίας και υλοποίησης ολοκληρωμένων λύσεων πληροφοριακών συστημάτων παραγωγής και υποστήριξης προβλέψεων (Forecasting Support Systems - FSS). Στην ενότητα αυτή παρατίθενται τα σημαντικότερα από τα συστήματα που είναι γνωστά στις μέρες μας.

ΠΥΘΙΑ (www.fsu.gr/pythia)

Το Πληροφοριακό Σύστημα Παραγωγής Επιχειρηματικών Προβλέψεων ΠΥΘΙΑ (Makridakis et al., 2008; Assimakopoulos et al., 2008; Pagourtzi et al., 2008) είναι ένα σύστημα υποστήριξης επιχειρηματικών προβλέψεων που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια από τη Μονάδα Προβλέψεων και Στρατηγικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, σε συνεργασία των καθηγητών Σ. Μακρυδάκη και Β. Ασημακόπουλου. Το λογισμικό υποστηρίζει τόσο στατιστικά μοντέλα προβλέψεων και ανάλυσης χρονοσειρών όσο και συνδυασμό τους με την επίδραση κριτικής πρόβλεψης. Παράλληλα ενσωματώνει τη μέθοδο στατιστικής πρόβλεψης Theta, η οποία σημειώνει πολύ καλή απόδοση σε μεγάλο εύρος δεδομένων, γεγονός που έχει αποδειχθεί και από την επιτυχία της στον παγκόσμιο διαγωνισμό προβλέψεων M3, καθώς και τη μέθοδο ADIDA, η οποία παρουσιάστηκε από τους Nikolopoulos K., Syntetos A., Boylan J., Petropoulos F., and Assimakopoulos V. (2011), προσανατολισμένη σε δεδομένα διακοπτόμενης ζήτησης. Στόχος του λογισμικού είναι η λειτουργικότητά του να επιτρέπει τη χρήση του από

στελέχη που δεν είναι εξοικειωμένα με τον κλάδο των προβλέψεων, χωρίς να αφαιρεί τίποτα από το εύρος των δυνατοτήτων που ο κλάδος προσφέρει.

Forecast Pro (www.forecastpro.com)

Το *Forecast Pro* είναι λογισμικό προβλέψεων που απευθύνεται σε επαγγελματίες επιχειρηματίες. Ο χρήστης παρέχει τα ιστορικά δεδομένα για τα αντικείμενα προς πρόβλεψη, ώστε το λογισμικό ύστερα από ανάλυση, να επιλέξει την κατάλληλη τεχνική πρόβλεψης και να υπολογίσει τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας αποδεδειγμένες στατιστικές μεθόδους. Το *Forecast Pro* παράγει επίσης reports και γραφήματα.

ForecastX (<http://www.forecastxperttoolkit.com>)

Το *ForecastX Wizard* είναι ένα Excel πρόσθετο, σχεδιασμένο για μη στατιστικούς, αλλά και με λειτουργίες για έμπειρους χρήστες, που παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- Εκτέλεση στατιστικών προβλέψεων (εποχιακές, μη εποχιακές, growth, slow-moving items, event modeling)
- Υπολογισμός αποθέματος ασφαλείας
- Κατασκευή σχεδίων απογραφής
- Εισαγωγή νέων προϊόντων, εκδηλώσεις και προωθήσεις

Autobox (www.autobox.com)

Πρόκειται για ένα σύστημα πρόβλεψης που συνδυάζει την προσέγγιση μοντελοποίησης Box-Jenkins με ευριστικές μεθόδους με μονομεταβλητό και αιτιοκρατικό μοντέλο χρονοσειρών. Τέσσερις τύποι παρεμβάσεων αναζητούνται και προστίθενται στο μοντέλο εφόσον κρίνεται απαραίτητο. Η σχέση κυριαρχίας/υστέρησης των αιτίων επίσης αναγνωρίζεται και προστίθεται στο μοντέλο. Το σύστημα μπορεί να μοντελοποιήσει δεδομένα σε επίπεδο ημιώρου και είναι διαθέσιμο σε διαδραστική διεπαφή χρήστη, αλλά και σε βιβλιοθήκες (DLL) για χρήση από άλλα προγράμματα.

Alyuda Forecaster (www.alyuda.com/forecasting-software.htm)

Το *Alyuda Forecaster* διαθέτει interface που παραπέμπει σε οδηγό (wizard) και δεν απαιτεί τεχνικό υπόβαθρο σε νευρωνικά δίκτυα ή στατιστική. Πρόκειται για ένα λογισμικό προβλέψεων για Windows, που επιτρέπει την πραγματοποίηση επιχειρηματικών και οικονομικών προβλέψεων και την ανάλυση δεδομένων μέσω της τεχνολογίας νευρωνικών δικτύων. Επίσης, εξασφαλίζει:

- Μείωση του χρόνου, αφού δεν απαιτείται εκμάθηση της θεωρίας νευρωνικών δικτύων από το χρήστη.

- Αυτόματη προετοιμασία των δεδομένων, που περιλαμβάνει ανάλυση και μετατροπή τους, ώστε να είναι κατάλληλα για ένα νευρωνικό δίκτυο.
- Αυτόματο εντοπισμό του καλύτερου νευρωνικού δικτύου.

PEER Planner (www.delphus.com)

Το λογισμικό πρόβλεψης ζήτησης και ανατροφοδότησης σχεδιασμού *PEER Planner* υποστηρίζεται από το Web και τρέχει σε περιβάλλον Windows. Το σύστημα παρέχει τους απαραίτητους πίνακες για τη διαχείριση των πλάνων ζήτησης και την ανάπτυξη αξιόπιστων προβλέψεων, καθώς επίσης και επιχειρησιακές προβλέψεις (*operational forecasts*), αποτελέσματα προϋπολογισμού (*budgeting results*) και πληροφορίες στρατηγικής marketing (*strategic marketing information*), διαδραστικά ή μέσω Excel reports. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος περιλαμβάνουν:

- Αυτόματες προβλέψεις, κεντρικά ανεπτυγμένες και καταχωρημένες ανά πελάτη, λογαριασμό, περιοχή ή λογαριασμό.
- Παρακολούθηση σφαλμάτων πρόβλεψης για πολλαπλές προβολές, μέσω της συνοπτικής ("at a glance") γραφικής προβολής.
- Κριτικές προσαρμογές των μονάδων και/ή των εσόδων, μέσω της διαδραστικής λειτουργίας Eyeball ή μέσω χειροκίνητων αλλαγών.
- Εισαγωγή νέων προϊόντων που βοηθούν τις προβλέψεις όταν δεν υπάρχει ιστορικό.
- *Promotion* και *Event management* για τον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων της προώθησης.
- Στατιστικά αποθεμάτων ασφαλείας που βοηθούν στη μείωση της απογραφής εμπορευμάτων.
- Σχεδιασμός εφοδιασμού για έγκαιρη διαχείριση αποθεμάτων.

DTREG (www.dtreg.com)

Το *DTREG* αποτελεί εργαλείο για επιχειρηματικά μοντέλα και δεν απαιτεί μαθηματική εξειδίκευση, αφού χρησιμοποιεί δέντρα αποφάσεων, μοντέλο λογικό και εύκολα κατανοητό. Τα χαρακτηριστικά του *DTREG* συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Ευκολία στη χρήση
- Δέντρα Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης
- Single-tree, TreeBoost, Decision Tree Forests, Support Vector Machine, K-Means clustering, Linear Discriminant Analysis, Linear Regression and Logistic Regression
- Διαχωριστές-Υποκατάστατα για δεδομένα που λείπουν
- Οπτική απεικόνιση του δέντρου
- Το *DTREG* δέχεται τόσο κείμενο όσο και αριθμητικά δεδομένα
- Γλώσσα Μετασχηματισμού Δεδομένων (Data Transformation Language-DTL)
- Βαθμολόγηση για την πρόβλεψη τιμών
- Πηγαίος κώδικας παραγωγής βαθμολόγησης
- Δυνατότητα για βαριά επαγγελματική χρήση
- *DTREG* COM Library

Retail Intelligence (www.rmsa.com)

Η *Retail Intelligence*[™] της *RMS*, που προορίζεται για λιανική χρήση, αποτελεί ένα σύνολο από ιδιόκτητους αλγορίθμους και σχετικές βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση λιανικής απόδοσης και τη δημιουργία ενός σχεδίου πρόβλεψης απογραφής. Προβλέπει πωλήσεις, αποθέματα, έσοδα και μελλοντικές παραδόσεις και αναγνωρίζει τα μοναδικά πρότυπα πωλήσεων κάθε ταξινόμησης, το δυναμικό του κύκλου εργασιών και τη βέλτιστη ροή παραλαβής για κάθε κατάσταση λιανικής πώλησης στο δίκτυο.

Quantrix (www.quantrix.com)

Το *Quantrix* επιτρέπει τη γρήγορη πραγματοποίηση αλλαγών, την προσθήκη νέων διαστάσεων (όπως Μήνες, Περιοχές, Συνάλλαγμα, Επιχειρηματικές Μονάδες, Προϊόντα κτλ) και την προβολή απεριόριστων "What if" σεναρίων χωρίς την ανακατασκευή των μοντέλων. Τα μοντέλα απαιτούν εκθετικά λιγότερους τύπους από τα λογιστικά φύλλα, μειώνοντας την πολυπλοκότητα και τον απαιτούμενο χρόνο. Το σύστημα επιτρέπει επίσης τη δημιουργία τύπων σε απλή γλώσσα, κάνοντας τα μοντέλα περισσότερο κατανοητά, καθώς και διαδραστικών παρουσιάσεων και πινάκων για επιχειρηματική χρήση.

NCSS (www.ncss.com)

Το *NCSS* παρέχει αρκετές μεθόδους πρόβλεψης και ανάλυσης χρονοσειρών. Για τις προβλέψεις, παρέχει κλασικά μοντέλα βασισμένα στην εκθετική εξομάλυνση, την αποσύνθεση τάσης-εποχιακότητας-κύκλου (όπως *X11*) και την *ARIMA* (*Box-Jenkins*). Για την ανάλυση

χρονοσειρών, παρέχει φασματική ανάλυση, ARIMA και ανάλυση αυτοσυσχέτισης. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει και μία θεωρητική διαδικασία παραγωγής μονομεταβλητών χρονοσειρών από ένα συγκεκριμένο μοντέλο.

PowerOLAP (www.paristech.com/solutions)

Το *PowerOLAP*® χρησιμοποιείται από τις επιχειρήσεις για προβλέψεις βασισμένες σε αριθμητικά στοιχεία της ίδιας ημέρας, ικανά να αντικατοπτρίσουν τις τρέχουσες συνθήκες της επιχείρησης και να συνδυαστούν με την προσωπική διορατικότητα. Οι προβλέψεις σχεδιάζονται ώστε να αντανακλούν μεταβαλλόμενες συνθήκες στο επιχειρησιακό περιβάλλον: ανταγωνιστικές πρωτοβουλίες, εναλλαγές του καιρού, επίπεδο της οικονομίας κτλ. Μετά τον ορισμό των τύπων από το χρήστη, το πρόγραμμα τους εφαρμόζει σε όλους τους τομείς για άμεσες προβλέψεις.

KXEN (www.kxen.com)

Η εφαρμογή *KXEN Ultimate* ενδείκνυται για την εξόρυξη δεδομένων σε μεγάλες οργανώσεις με εξειδικευμένες ομάδες αναλυτών που εργάζονται σε ολόκληρη την επιχείρηση. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα ταξινόμησης, ανάλυση της σημαντικότητας των μεταβλητών παλινδρόμησης, τμηματοποίησης/ομαδοποίησης, βαθμολόγησης και λειτουργιών πρόβλεψης σε συνδυασμό με ένα σταθερό και ολοκληρωμένο περιβάλλον συγχώνευσης δεδομένων.

Advanced Analytics Group (aag-auguri.com)

Το *Auguri* είναι ένα γενικού σκοπού εργαλείο για εξερεύνηση δεδομένων, ανάλυση και πρόβλεψη, με έμφαση σε μη γραμμικές μεθόδους. Παρέχει εργαλεία για το χειρισμό και την ανάλυση δεδομένων μέσω της διαδικασίας εξόρυξης δεδομένων.

IBM Cognos & Planning (www.cognos.com)

Το *IBM Cognos & Planning* είναι μία χρηματοοικονομικού προσανατολισμού εφαρμογή που παρέχει σε πραγματικό χρόνο ορατότητα σε απαιτήσεις πόρων και προβλεπόμενα επιχειρηματικά μοντέλα, υποστηρίζοντας κυλιόμενες προβλέψεις. Μερικά από τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας είναι:

- Εύκολη γλώσσα μοντελοποίησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οικονομικούς αναλυτές χωρίς IT εμπλοκή.
- Δυνατότητα σύνδεσης πολλών χρηστών και υποστήριξη του top-down και bottom-up σχεδιασμού και πρόβλεψης.
- Μία ξεχωριστή συνιστώσα του IBM Cognos 8 Performance Management Platform παρέχει σχεδιασμό, reporting, πίνακες, ανάλυση και οικονομική ενοποίηση σε όλο το σύστημα διαχείρισης της απόδοσης.

- Διανεμημένη διαχείριση μοιράζει την ευθύνη για τον προγραμματισμό των διαδικασιών.
- Ευέλικτη ανάπτυξη με πρόγραμμα περιήγησης Web ή Microsoft Excel interface.
- Ευέλικτη ασφάλεια με single sign-on παρέχει κατάλληλη πρόσβαση σε κάθε χρήστη.
- Προηγμένες ενσωματωμένες λειτουργίες διευκολύνουν τη δημιουργία ασφαλών μοντέλων και υπολογισμών.

SPSS (www.spss.com)

Το σύστημα αυτό παρέχει τον «What If?» Web Server, που διευκολύνει κατά τη λήψη αποφάσεων τη δημιουργία σεναρίων και τον εντοπισμό των επιπτώσεων των πιθανών αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας σε οποιονδήποτε εμπλέκεται στη διαδικασία πρόβλεψης να αλληλεπιδρά με προβλέψεις στο Web. Συνδυαζόμενο επίσης με τον Decision Time Server, λογισμικό πρόβλεψης της SPSS, αποτελεί εφαρμογή προβλέψεων για επιχειρήσεις σε διαδικτυακό περιβάλλον.

Time Trends (www.alt-c.com/eforecst.html)

Το *TimeTrends*® e-Forecasting module επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδρά από απόσταση με τη βάση δεδομένων της *TimeTrends*®, μέσω dial-up σύνδεσης στο Internet. Το *TimeTrends* έχει σχεδιαστεί για περιβάλλοντα αυτοματισμού πωλήσεων, ώστε να καθίσταται δυνατή η αλληλεπίδραση των χρηστών πωλήσεων, marketing και άλλων απομακρυσμένων χρηστών με τη βάση από το σημείο όπου βρίσκονται. Πρόκειται για ένα τυπικό interface πλοηγού σχεδιασμένο για να λειτουργεί με τα περισσότερα είδη λογισμικού. Δεν απαιτείται εξειδικευμένο λογισμικό, παρά μόνο λειτουργικό σύστημα Windows και ένας πλοηγός για τη σύνδεση του χρήστη στη Web server address της εταιρείας (FTP, IP κτλ).

Enterprise (www.statsoft.com/products/enterprise.htm)

Η σειρά προϊόντων *Enterprise* της STATISTICA απευθύνεται σε πολλούς χρήστες για συλλογικές αναλυτικές εφαρμογές. Οι αναλυτικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται έχουν αναπτυχθεί σε έναν κεντρικό υπολογιστή και ενδείκνυνται για ταυτόχρονη χρήση από δεκάδες ή εκατοντάδες χρήστες. Η εταιρεία παρέχει στον πελάτη-χρήστη Windows έναν πλοηγό Web-πελάτη, για πλήρη πρόσβαση στις δυνατότητες και τα reports της, μέσω ενός προγράμματος περιήγησης Web σε πρότυπο βιομηχανίας και επιλογές ανάπτυξης για thin-client πρόσβαση στη STATISTICA μέσω ενός Δικτύου Ευρείας Περιοχής (WAN).

Vanguard Software (www.vanguardsw.com)

Το λογισμικό *Vanguard* προσφέρει μια ολοκληρωμένη σειρά λύσεων για τη βελτίωση της ποιότητας, της αξιοπιστίας και της ταχύτητας του προϋπολογισμού και την πρόβλεψη των δραστηριοτήτων στην εταιρεία, διευκολύνοντας τη διαδικασία πρόβλεψης. Χρησιμοποιεί Wizard-style οδηγούς, εύκολα στη συναρμολόγηση μοντέλα και διαδραστικά Web reports. Το *Vanguard* συνδυάζει τις τρεις παρακάτω αποδεδειγμένες μεθόδους πρόβλεψης σε μια ενοποιημένη εφαρμογή:

- Πρόβλεψη χρονοσειρών
- Προσομοίωση με βάση τις προβλέψεις
- Στατιστική πρόβλεψη

Κάθε προϊόν αναπτύσσεται ως desktop εφαρμογή για ένα χρήστη. Το σύστημα υποστηρίζει όλες τις δυνατότητες αυτών, αλλά αναπτύσσεται ως Web-based, server εφαρμογή που υποστηρίζει πολλούς χρήστες. Ο server-based διακομιστής καθιστά δυνατή τη συνεργασία σε μεγάλα έργα διαμόρφωσης και επιτρέπει τη σύνδεση των μοντέλων με εσωτερικές εφαρμογές.

Clarity Systems (www.claritysystems.com/)

Το λογισμικό *Clarity* επιτρέπει τη γρήγορη αντίδραση των χρηστών στο ταχέως μεταβαλλόμενο ανταγωνιστικό πεδίο. Τα χαρακτηριστικά του *Clarity 6 Forecasting* περιλαμβάνουν:

- Εμφάνιση και αίσθηση Excel στο Web
- Ασφαλής κεντρική βάση δεδομένων
- Πολλαπλές εκδόσεις
- Κυλιόμενη πρόβλεψη
- «What if» ερωτήσεις

Intelligent Forecaster (www.bis-lab.com/)

Το Intelligent Forecaster έχει αναπτυχθεί αποκλειστικά και ειδικά για την πρόβλεψη χρονοσειρών με τις πιο προηγμένες μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης. Υποστηρίζει μεθόδους όπως Support Vector Regression (SVR) και τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (NN). Επίσης, το λογισμικό παρέχει διάφορα ειδικά χαρακτηριστικά (παραδείγματος χάρη, δυνατότητα παραμετροποίησης μεταβλητών συστήματος, Αναγνώριση χρονικής καθυστέρησης δεδομένων, προεπεξεργασία δεδομένων και άλλα). Τέλος υποστηρίζει τόσο σταθερό ορίζοντα πρόβλεψης όσο και πολλαπλούς ορίζοντες πρόβλεψης καθώς και η αξιολόγηση των παραγόμενων προβλέψεων γίνεται με τη χρήση ενός μεγάλου συνόλου δεικτών.

Εκτός από τα ολοκληρωμένα λογισμικά προβλέψεων τα οποία περιγράψαμε παραπάνω υπάρχουν και κάποιες ερευνητικές προσπάθειες για κατασκευή συστημάτων οι οποίες δεν αποτελούν καθολικές λύσεις αλλά εστιάζονται κυρίως σε συγκεκριμένα δεδομένα. Ενδεικτικά έχουμε:

- An expert system for new product development projects, Balachandra (2000)
- Theta Intelligent Forecasting Information System, Νικολόπουλος και Ασημακόπουλος (2003)
- eTIFIS: Πρότυπη διαδικτυακή εφαρμογή για παραγωγή προβλέψεων, Ταβανίδου και συνεργάτες (2003)
- Σύστημα για παραγωγή προβλέψεων αμοιβαίων κεφαλαίων, Πετρόπουλος, Νικολόπουλος και Ασημακόπουλος (2008)
- Διαδικτυακό σύστημα για παραγωγή προβλέψεων σχετικών με επιχειρησιακά προγράμματα στήριξης και την διάχυσή τους, Νικολόπουλος και συνεργάτες (2011).

4.2. Συστήματα επιχειρησιακού λογισμικού

Στη σύγχρονη ιστορία των επιχειρήσεων, η πληροφορική είναι αναπόσπαστο κομμάτι της εύρυθμης λειτουργίας τους και, πολλές φορές, ο παράγοντας που καθορίζει την πορεία μιας επιχείρησης σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό και απαιτητικό περιβάλλον. Για τις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης, έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί πολλών ειδών συστήματα, τα οποία περιλαμβάνονται στον γενικότερο όρο των συστημάτων επιχειρησιακού λογισμικού (enterprise software). Οι δύο υποκατηγορίες που θα εξεταστούν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι τα συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων και τα συστήματα διαχείρισης αποθηκών.

4.2.1. Συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resource Planning - ERP)

Ο ορισμός των ERP συστημάτων, κατά τον Gable, είναι «ολοκληρωμένα πακέτα λύσεων λογισμικού, που προσπαθούν να ενσωματώσουν όλο το εύρος των επιχειρησιακών διαδικασιών και λειτουργιών ώστε να παρουσιάσουν μια ολιστική εικόνα της επιχείρησης μέσω μιας μοναδικής αρχιτεκτονικής πληροφορικής». Ήδη μέσα από τον ορισμό των ERP συστημάτων είναι ξεκάθαρη η ανάγκη των επιχειρήσεων για την απόκτηση και τη χρήση τους.

Από την πρώτη δειλή εμφάνισή τους τη δεκαετία του '60, μέσω μιας προσπάθειας της IBM για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης πρώτων υλών (raw materials) για τις ανάγκες του κλάδου της βιομηχανίας, μέχρι και σήμερα η εξέλιξη των ERP συστημάτων είναι αλματώδης και οι δυνατότητές τους αυξάνονται συνεχώς, ενσωματώνοντας κάθε νέα τεχνολογία για να καλύψουν πλέον τις ανάγκες των εταιριών στα πλαίσια της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Μέσω ενός ERP, η επιχείρηση έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται όλες τις βασικές της λειτουργίες και διαδικασίες, από τη λογιστική μέχρι την παραγωγή, την εφοδιαστική της αλυσίδα, τις πωλήσεις και τη διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού, ενώ έχει ανά πάσα στιγμή συγκεντρωμένη όλη την πληροφορία που χρειάζεται για να λάβει αποφάσεις για μελλοντικές κινήσεις, να καθορίσει τη στρατηγική της και βελτιώσει τη θέση της στην αγορά.

Ένα ERP σύστημα αποτελεί τον συνδετικό κρίκο για κάθε επιπλέον σύστημα ή λύση που μπορεί να διαθέτει μια επιχείρηση για να καλύψει τις ανάγκες διαχείρισης της λειτουργίας και των πόρων της. Όσο μεγαλώνει μια επιχείρηση τόσο πληθαίνουν αυτές οι ανάγκες, με αποτέλεσμα πολλές φορές να χρειάζεται περισσότερες από μία λύσεις για να τις καλύψει. Πάντα, όμως, με γνώμονα τη σωστή επικοινωνία με το ERP της.



Εικόνα 6 Βασικές λειτουργίες και δυνατότητες ενός ERP συστήματος

4.2.1.1. Τα πιο γνωστά συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται οι πιο γνωστοί προμηθευτές ERP συστημάτων στην ελληνική αγορά.

SAP SE (S/4HANA, SAP R3, SAP Business One): Η εταιρεία ιδρύθηκε τον Απρίλιο 1972 στην πόλη Mannheim της Γερμανίας με την επωνυμία System Analyse und Programmentwicklung από πέντε συμβούλους και προγραμματιστές που παλιότερα δούλευαν στην IBM της Γερμανίας. Σκοπός της ίδρυσης της εταιρείας ήταν η ανάπτυξη ενός τυποποιημένου πακέτου λογισμικού καθώς ολοένα και αυξανόταν η ζήτηση από τους πελάτες τους, που ήταν κυρίως μεγάλες Γερμανικές επιχειρήσεις, οι οποίες όλες ζητούσαν σχεδόν ίδια προγράμματα. Η εταιρεία ήθελε να κάνει χρήση της τεχνολογίας έτσι ώστε τα δεδομένα του συγκεκριμένου πακέτου να καταχωρούνται μια φορά και να είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο στους χρήστες αμέσως μόλις καταχωρηθούν. Η πραγματοποίηση αυτού του στόχου έκανε τη SAP τον μεγαλύτερο προμηθευτή επιχειρησιακού λογισμικού παγκοσμίως, με 440.000 πελάτες σε 180 χώρες και περισσότερους από 18.000 συνεργάτες παγκοσμίως.

Οι ERP λύσεις της εταιρίας απευθύνονται τόσο σε μεγάλες επιχειρήσεις (S/4HANA) όσο και σε μεσαίες επιχειρήσεις (SAP Business One) και είναι οι πιο γνωστές και διαδεδομένες παγκοσμίως. Η στροφή των εταιριών κατασκευής λογισμικού τα τελευταία χρόνια στο cloud computing έχει αναγκάσει όλους τους μεγάλους προμηθευτές λογισμικού να προσαρμόσουν τις λύσεις τους στην νέα πραγματικότητα. Η SAP ανέπτυξε τη σουίτα εφαρμογών S/4HANA, που αποτελεί ουσιαστικά την εξέλιξη του SAP R3, ενός ERP που απευθυνόταν αποκλειστικά σε μεγάλες επιχειρήσεις και οργανισμούς. Το S/4HANA είναι μια cloud σουίτα εφαρμογών που ενοποιεί όλα τα τμήματα μίας μεγάλης επιχείρησης σε μία ενιαία πλατφόρμα, δίνοντας τη δυνατότητα στους οργανισμούς να έχουν ανά πάσα στιγμή πλήρη και έγκαιρη πληροφόρηση για όλες τις διαδικασίες και τις λειτουργίες τους.

Oracle Corporation (JD Edwards, Oracle ERP Cloud, E-Business Suite): Στην ίδια κατηγορία προμηθευτών ανήκει και η Oracle, η αμερικάνικη πολυεθνική που ιδρύθηκε το 1977 με το όνομα Software Development Laboratories (SDL) από τους Larry Ellison, Bob Miner και Ed Oates. Η εταιρία μετονομάστηκε σε Oracle Systems Corporation το 1982, για να συμβαδίσει περισσότερο με το βασικό προϊόν της, Oracle Database (Oracle RDBMS), λογισμικό διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (database management system). Η επιτυχία της εταιρίας βασίστηκε εν μέρει και στη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C, που διευκόλυνε τη χρήση των προϊόντων της από διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, αφού τα περισσότερα υποστήριζαν τη C.

Αν και η εταιρία δεν έχει ως κύριο προϊόν της τις εφαρμογές ERP, έχει καταφέρει να κατέχει το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς σε αυτή την κατηγορία παγκοσμίως, και να είναι ο κύριος ανταγωνιστής της SAP εδώ και πάνω από μία δεκαετία. Η νέα σουίτα εφαρμογών της Oracle ERP Cloud απευθύνεται σε όλες τις επιχειρήσεις και προσαρμόζεται στο μέγεθος και τις ανάγκες τους ενώ, ακολουθώντας τη σύγχρονη τάση στα ERP συστήματα, προσφέρει κάθε λύση σε μορφή εφαρμογών που η καθεμία εξυπηρετεί συγκεκριμένη λειτουργία και τμήμα του οργανισμού αλλά ενσωματώνονται απόλυτα μεταξύ τους ώστε να προσφέρουν στο χρήστη μια απρόσκοπτη και ενιαία εμπειρία χρήσης.

Microsoft Corporation (Dynamics 365 Suite): Ίσως ο πιο γνωστός προμηθευτής λογισμικού και προϊόντων πληροφορικής παγκοσμίως, η Microsoft ιδρύθηκε το 1975 από τους Bill Gates και Paul Allen, όταν ανέπτυξαν έναν διερμηνευτή (interpreter) για τη γλώσσα προγραμματισμού BASIC και τον πούλησαν στην αμερικάνικη εταιρία MITS που κατασκεύαζε τους υπολογιστές Altair. Το 1980 η εταιρία μπήκε στην αγορά των λειτουργικών συστημάτων, και καθιερώθηκε με το MS-DOS που την έφερε στην πρώτη θέση, ξεπερνώντας όλους τους

ανταγωνιστές της. Η επανάσταση ήρθε το 1985, με την κυκλοφορία των Microsoft Windows, του πρώτου λειτουργικού συστήματος με γραφικό περιβάλλον, που πλέον είναι ο απόλυτος ηγέτης στην κατηγορία του με μερίδιο αγοράς 77,7% στους σταθερούς υπολογιστές παγκοσμίως. Άλλο ένα προϊόν που έφερε την Microsoft σχεδόν μέσα σε κάθε σπίτι και κάθε επιχείρηση είναι το Microsoft Office, μια σουίτα ανεξάρτητων εφαρμογών για επεξεργασία κειμένου και άλλων δεδομένων, που κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1990.

Αν και η Microsoft έχει επενδύσει σε πολλούς τομείς της πληροφορικής από την ίδρυσή της και μετά, τόσο σε λογισμικό όσο και σε εξοπλισμό (υπολογιστές, περιφερειακά υπολογιστών, κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών, κλπ.), στην αγορά των ERP μπήκε μόλις το 2002, όταν εξαγόρασε την εταιρία Navision A/S, αποτέλεσμα της συγχώνευσης των εταιριών Damgaard Data και Navision Software A/S, που είχαν αναπτύξει το Axapta και Navision αντίστοιχα. Το 2011 η Microsoft κυκλοφόρησε το Dynamics AX 2012, ένα ERP που απευθυνόταν σε μεγάλες και πολύ μεγάλες επιχειρήσεις και οργανισμούς. Το 2016 η εταιρία έβγαλε την νέα έκδοση του προϊόντος, επανασχεδιάζοντάς το ουσιαστικά ώστε να είναι πλήρως λειτουργικό ως cloud εφαρμογή με νέο UI. Η νέα έκδοση μετονομάστηκε σύντομα σε Dynamics 365 for Finance & Operations και αποτέλεσε τη ναυαρχίδα της εταιρίας στο επιχειρησιακό λογισμικό, δημιουργώντας μία σειρά από cloud εφαρμογές, ανεξάρτητες αλλά πλήρως διασυνδεδεμένες και με κοινό περιβάλλον χρήστη. Πλέον το Dynamics 365 έχει μπει δυναμικά στο παιχνίδι της αγοράς ERP, κατακτώντας την έκτη θέση στην παγκόσμια κατάταξη, ενώ το 80% των νέων πελατών επιλέγει την υλοποίηση του ERP στο cloud.

Entersoft A.E. (Entersoft Business Suite): Πρόκειται για μία αμιγώς ελληνική εταιρία. Ιδρύθηκε το 2002 από στελέχη που ήταν βασικοί μέτοχοι και ιδρυτές της εταιρείας Computer Logic. Η εταιρεία εξαρχής επένδυσε στο τεχνολογικό περιβάλλον Microsoft .NET για τον σχεδιασμό ολοκληρωμένης σουίτας εφαρμογών για επιχειρήσεις. Μέσα σε έναν μόλις χρόνο, η ολοκληρωμένη σουίτα εφαρμογών Entersoft Business Suite για μεσαίες και μεγάλες επιχειρήσεις, είναι πλέον διαθέσιμη. Το προϊόν σημειώνει εντυπωσιακή αποδοχή από τις επιχειρήσεις και στους δύο πρώτους μήνες εμπορικής εκμετάλλευσής του το επιλέγουν 30 πελάτες. Σταδιακά, η εταιρία εισέρχεται και στις αγορές περισσότερων επιχειρησιακών εφαρμογών και μέχρι σήμερα έχει εδραιωθεί στην Ελλάδα ως ένας από τους κυριότερους παίκτες της αγοράς πληροφορικής.

Το Entersoft Business Suite είναι η ολοκληρωμένη και ενοποιημένη σουίτα επιχειρηματικού λογισμικού της Entersoft για ERP, CRM, Retail, Mobile, E-Commerce και Business Intelligence εφαρμογές. Παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης και παρακολούθησης πολλαπλών εταιρικών διαστάσεων και υποστηρίζει πολυεταιρική οργάνωση σε ενιαία Βάση Δεδομένων.

SingularLogic A.E. (Galaxy Enterprise Suite, CompakWin): Η εταιρία είναι αποτέλεσμα πολλαπλών συγχωνεύσεων, ανακατατάξεων και αποσχίσεων και η ιστορία της ξεκινά από τα μέσα της δεκαετίας του '80 και τις πρώτες εταιρίες πληροφορικής στην Ελλάδα που διέγνωσαν την ανάγκη σχεδιασμού ενός ελληνικού λογισμικού επιχειρησιακών εφαρμογών και το πραγματοποίησαν. Το 2000, αποφασίζεται η συγχώνευση των εταιριών Computer Logic A.E. και DIS A.E. και το σχηματισμός της LogicDIS, μιας εταιρίας που μεσουράνησε στην ελληνική αγορά των ERP με το LogicDIS Solution ERP (ComPak WIN), με περισσότερους από 1000 πελάτες σε μεγάλες και μεσαίες επιχειρήσεις. Το 2006, αποφασίστηκε η συγχώνευση της εταιρίας με την Singular και, μετά από εσωτερικές ανακατατάξεις και αποσχίσεις, η δημιουργία του τελικού σχήματος της SingularLogic, που σήμερα απασχολεί περίπου 500 υπαλλήλους και ανήκει κατά 85.7% στην Marfin Investment Group.

Η εταιρεία συνεχίζει την δράση της στον τομέα των επιχειρησιακών εφαρμογών στην Ελλάδα με την πλατφόρμα Galaxy Enterprise Suite αλλά και λύσεις της SAP, ενώ είναι πανελληνίως γνωστή για την καταμέτρηση των αποτελεσμάτων στις εθνικές εκλογές. Η SingularLogic έχει πέντε θυγατρικές και τρεις χώρες.

SoftOne Technologies A.E. (Cloud ERP, Atlantis ERP): Άλλη μία εταιρία που δημιουργήθηκε μέσα από τις μεγάλες ανακατατάξεις στην ελληνική πληροφορική τις δεκαετίες του '90 και '00. Ιδρύθηκε το 2002 και δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη συστημάτων ERP και CRM, καθώς και στην παροχή cloud υπηρεσιών. Η SoftOne δραστηριοποιείται στην Ελλάδα αλλά και επιλεγμένες διεθνείς αγορές (Κύπρος, Ρουμανία, Βουλγαρία), αριθμώντας ήδη ένα πελατολόγιο που υπερβαίνει τις 18.000 επιχειρήσεις, ενώ διαθέτει δίκτυο 300 και πλέον συνεργατών. Έχει αναπτύξει τη σειρά λύσεων λογισμικού Soft1, που ενσωματώνουν το σύνολο των επιχειρησιακών λειτουργιών μιας μικρής και μεσαίας επιχείρησης. Σήμερα, κατέχει ηγετική θέση στην εγχώρια αγορά ERP, με περισσότερες από 3.500 εγκαταστάσεις. Το 2016 η SoftOne έγινε μέλος του Ομίλου Εταιρειών Olympra, ενός εκ των μεγαλύτερων ελληνικών επιχειρηματικών ομίλων, με περισσότερους από 5.800 εργαζόμενους στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

4.2.2. Συστήματα διαχείρισης αποθήκης (Warehouse Management Systems – WMS)

Για όλες τις εταιρίες παγκοσμίως που διαθέτουν αποθήκες κριτικής σημασίας για τη λειτουργία τους, όπως οι μεγάλες αλυσίδες λιανικού εμπορίου, το σύστημα διαχείρισης της

αποθήκης τους είναι ίσως πιο σημαντικό και από το ίδιο το ERP τους. Τα συστήματα διαχείρισης αποθήκης είναι εφαρμογές λογισμικού, σχεδιασμένες για την υποστήριξη και την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των αποθηκών και των κέντρων διανομής προϊόντων. Μέσα στις λειτουργίες μιας αποθήκης συμπεριλαμβάνονται η διαχείριση αποθέματος (inventory management), η διαδικασία συλλογής (picking process) και ο έλεγχος (auditing). Μέσα από ένα WMS, οι επιχειρήσεις μπορούν, για παράδειγμα, να έχουν πλήρη εικόνα του αποθέματός του ανά πάσα στιγμή, είτε είναι εντός των εγκαταστάσεών τους είτε βρίσκεται σε μεταφορά. Μπορούν, επίσης, να διαχειρίζονται τις διαδικασίες της εφοδιαστικής τους αλυσίδας, από τον παραγωγό ή τον χονδρέμπορα μέχρι την αποθήκη, κι από εκεί μέχρι το κέντρο διανομής ή το κατάστημα λιανικής.

Τα συστήματα διαχείρισης αποθήκης είναι διαφόρων τύπων, ανάλογα με το μέγεθος και τη πολυπλοκότητα της επιχείρησης που καλούνται να εξυπηρετήσουν. Πολλές φορές είναι αυτόνομες εφαρμογές, ενώ άλλες είναι τμήματα ενός μεγαλύτερου ERP συστήματος ή μιας εφαρμογής σχεδιασμού και εκτέλεσης της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain execution suite). Επιπλέον διαφορές προκύπτουν και σε κάθετες λύσεις που απευθύνονται σε πολύ συγκεκριμένους κλάδους. Έτσι, μία εταιρία ηλεκτρονικού εμπορίου μπορεί να χρησιμοποιεί ένα WMS με διαφορετική λειτουργικότητα από το WMS μιας εταιρίας που εμπορεύεται οικοδομικά υλικά.

Παρά το κόστος και το χρόνο που απαιτεί η υλοποίηση ενός συστήματος WMS, τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση του είναι σημαντικά και προσθέτουν ιδιαίτερη αξία στην επιχείρηση που το χρησιμοποιεί. Ένα σωστά σχεδιασμένο και στημένο WMS βοηθά τους οργανισμούς να μειώσουν το εργασιακό κόστος, να βελτιώσουν την ακρίβεια του αποθέματός τους, την ευελιξία και την έγκαιρη ανταπόκρισή τους, και να αυξήσουν τα κέρδη τους, μειώνοντας λάθη σε παραλαβές και αποστολές και βελτιώνοντας την ικανοποίηση των πελατών τους. Τα σύγχρονα συστήματα WMS λειτουργούν με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους οργανισμούς να διαχειρίζονται την πιο πρόσφατη πληροφορία σχετικά με ενέργειες που αφορούν παραγγελίες, αποστολές, αποδείξεις, κ.λπ.

Η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας έχει προσθέσει στη φαρέτρα των συστημάτων αυτών νέα όπλα που προσφέρουν στις επιχειρήσεις που τα επιλέγουν επιπλέον πλεονεκτήματα έναντι του ανταγωνισμού τους. Τέτοια εργαλεία είναι οι συνδεδεμένες συσκευές και διαφόρων τύπων αισθητήρες, τα οποία υπάγονται στην κατηγορία «Internet of Things (IoT)». Σκοπός τους είναι η συλλογή δεδομένων που είναι κρίσιμης σημασίας για τον οργανισμό, παρέχοντάς του πληροφόρηση για την ακριβή κατάσταση της αποθήκης και του αποθέματός του σε πραγματικό χρόνο. Όλα αυτά τα δεδομένα συγχρονίζονται με το WMS του οργανισμού και βοηθούν στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών και της ολικής οργάνωσης της αποθήκης, των δρομολογίων, των βαρδιών, κ.λπ.

4.2.2.1. Λειτουργίες των συστημάτων διαχείρισης αποθήκης

Πολλές λειτουργίες είναι κοινό χαρακτηριστικό των διάφορων συστημάτων διαχείρισης αποθήκης. Οι βασικότερες από αυτές είναι οι παρακάτω.

Σχεδιασμός αποθήκης (design). Η λειτουργικότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να προσαρμόζουν τη λογική των ροών εργασίας και της συλλογής ανάλογα με τις δικές τους ανάγκες, έτσι ώστε να σχεδιαστεί η αποθήκη για τη βέλτιστη κατανομή αποθέματος.

Παρακολούθηση αποθέματος (tracking). Με αυτή τη λειτουργικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης, όπως είναι τα συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητων (Radiofrequency Identification – RFID), αυτόματης αναγνώρισης στοιχείων και κτήσης δεδομένων (Automatic Identification and Data Capture - AIDC) αλλά και σαρωτές γραμμοκώδικα (barcode scanner), Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται ο εύκολος εντοπισμών των αγαθών, όταν αυτά θα χρειαστεί να μετακινηθούν.

Παραλαβή και αποθήκευση (putaway). Επιτρέπει την αποθήκευση και την ανεύρεση του αποθέματος, συχνά με τη χρήση συστημάτων PTL (Pick-to-Light) ή PTV (Pick-to Voice) για την ευκολότερη ανεύρεση των αγαθών μέσα στην αποθήκη από τους εργάτες.

Συλλογή και συσκευασία αγαθών (picking and packaging). Η συλλογή γίνεται με διάφορες μεθόδους, όπως ανά ζώνες (zone picking), ανά κύματα (wave picking) ή ομαδοποιημένη (batch picking). Η χρήση τεχνολογιών IoT στις ζώνες ή εφαρμογή πολυπλεξίας εργασιών (task interleaving) αυξάνει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης διαδικασίας.

Αποστολή. Το σύστημα στέλνει δελτία αποστολής, κιβωτολόγια (packing list) αλλά και τιμολόγια που αφορούν την εκάστοτε αποστολή. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να αποστέλλει εξελιγμένες ενημερώσεις στους παραλήπτες.

Διαχείριση εργασίας (labor management). Μέσω αυτής της λειτουργικότητας, οι υπεύθυνοι της αποθήκης μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση των υπαλλήλων τους μέσω καίριων δεικτών απόδοσης (key performance indicators – KPIs).

Διαχείριση εξωτερικού χώρου (yard and dock management). Η λειτουργικότητα αυτή διαχειρίζεται τον εξωτερικό χώρο της αποθήκης και οργανώνει τις εισερχόμενες και εξερχόμενες ροές των φορτηγών, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα συνωστισμού και να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας παραλαβής ή μιας αποστολής.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων (reporting). Κάθε σύστημα διαχείρισης αποθήκης παρέχει λειτουργίες παρουσίασης αποτελεσμάτων, ώστε να έχουν τη δυνατότητα οι υπεύθυνοι να

αναλύουν αποτελεσματικά τη λειτουργία των αποθηκών και των διαδικασιών τους και να εντοπίζουν τα σημεία που χρίζουν βελτίωσης.



Εικόνα 7 Βασικές λειτουργίες και δυνατότητες ενός WMS συστήματος

4.2.2.2. Τα πιο γνωστά συστήματα διαχείρισης αποθήκης

Στην ενότητα αυτή παρατίθενται οι πιο γνωστές λύσεις WMS στην παγκόσμια, αλλά και την ελληνική αγορά.

NetSuite WMS (Oracle Corporation). Η λύση NetSuite WMS βοηθά στον εξορθολογισμό της αποθήκης και των λειτουργιών της παραγωγής. Βοηθά τους χρήστες να πραγματοποιούν

σημαντικές διαδικασίες της αποθήκης, όπως την παραλαβή, την αποθήκευση και την αποστολή των προϊόντων. Η σουίτα NetSuite δημιουργήθηκε από την ομώνυμη εταιρία το 1998, ενώ το 2016 η NetSuite Inc. εξαγοράστηκε από την Oracle Corporation.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Σάρωση RF barcode μέσω κινητής συσκευής
- Σχεδιασμός στρατηγικής για την αποθήκευση και τη συλλογή
- Διαχείριση εργασιών
- Εκτύπωση απόδειξης επιστροφών
- Πρόγραμμα περιοδικών ελέγχων αποθέματος
- Διαχείριση παραγγελιών, αποθέματος, αποστολών
- Τιμολόγηση
- Χάρτης αποθήκης

Πλεονεκτήματα:

- Απλό και εύκολο στη χρήση
- Εγγύηση χρήσης
- Διασύνδεση με συστήματα τρίτων προμηθευτών
- Ασύρματη λειτουργία αποθήκης

Infor SCM (Infor). Κυκλοφόρησε το 2002 με την ονομασία Agilsys και ξεκίνησε με 1300 πελάτες. Στόχος της εφαρμογής είναι να δώσει λύση στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι επαγγελματίες του χώρου. Είναι προϊόν της Infor, πολυεθνικής εταιρίας λογισμικού με έδρα στη Νέα Υόρκη και πάνω από 17.000 υπαλλήλους παγκοσμίως.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Για την διαχείριση αποθήκης παρέχει πολλά εργαλεία, όπως βασικές αλλά και εξελιγμένες δυνατότητες αποθηκών, τρισδιάστατη απεικόνιση αποθήκης, εκτέλεση μεταφορών, προγραμματισμός εργασίας, διαχείριση αποθέματος, βελτιστοποίηση χώρων, κ.λπ.
- Για τις μεταφορές, μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλές στάσεις. Επίσης, παρακολουθεί προϊόντα που βρίσκονται εν κινήσει.
- Κεντρική παρακολούθηση αποστολών
- Προκαταβολές, οικονομική διαχείριση πριν και μετά τις εξαγωγές, κονδύλια τρίτων
- Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας, σχεδιασμός πωλήσεων, κ.λπ.

Πλεονεκτήματα:

- Υποστήριξη καθιερωμένων λειτουργιών ανά κλάδο.

- Βοηθά σε διαδικασίες αγορών

Manhattan WMS (Manhattan Associates Inc.). Η εταιρία ιδρύθηκε το 1990 και έχει έδρα την Ατλάντα των Ηνωμένων Πολιτειών. Έχει πάνω από 1200 πελάτες και έχει κερδίσει πολλά βραβεία για τις λύσεις της.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Διασύνδεση με εξοπλισμό διαχείρισης υλικών (Material Handling Equipment)
- Υποστήριξη κινητών συσκευών
- Προγραμματισμός ραντεβού
- Διαχείριση εξωτερικού χώρου
- Διαχείριση εργασίας
- Cross-docking
- Έλεγχος ποιότητας

Πλεονεκτήματα:

- Συλλέγει δεδομένα αυτόματα, καθώς συνδέεται με κινητές συσκευές και εξοπλισμό διαχείρισης υλικών
- Έχει πολλές επιλογές ασφαλείας

LOGON WMS (Logon A.E). Η εταιρία ιδρύθηκε με πυρήνα την ολιστική και αξιόπιστη παροχή κάθε είδους λύσεων υψηλής τεχνολογίας, πληροφορικής και επικοινωνίας της σύγχρονης επιχείρησης. Η Logon A.E. διαθέτει ένα από τα πιο εύχρηστα και ευέλικτα WMS της αγοράς, το Logon Stock Manager που καλύπτει με ταχύτητα, ασφάλεια και αξιοπιστία, ένα μεγάλο μέρος των αναγκών των σύγχρονων επιχειρήσεων. Αποτελείται από την εφαρμογή back office, που διαχειρίζεται τα είδη, παραγγελίες, λίστες συλλογής, ανάθεση εργασιών και την εφαρμογή στα φορητά τερματικά (PDA), όπου γίνεται η εργασία από τους χειριστές της αποθήκης με την χρήση barcode ή χειριστικά.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Απογραφή
- Παραλαβή
- Αποθήκευση
- Διακίνηση μεταξύ θέσεων αποθήκευσης ή/και αποθηκευτικών χώρων
- Παραγωγή – ανάλυση
- Συλλογή (picking)
- Έλεγχος - πακετάρισμα (packing)

Πλεονεκτήματα:

- Εξάλειψη λαθών σε παραλαβές και παραδόσεις
- Ακριβή γνώση του αποθέματος, των χαρακτηριστικών του και της θέσης του
- Γρήγορη και αξιόπιστη απογραφή και διακίνηση
- Πλήρης καταγραφή και έλεγχος της αποθήκης

ViewPoint WMS (AgroSoft E.Π.Ε.). Η εταιρία ιδρύθηκε το 2005. Έχει σχεδιάσει το ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποθήκης ViewPoint και απευθύνεται σε εταιρίες με αποθήκες κάθε μορφής και μεγέθους. Είναι εύκολο και φιλικό στη χρήση του, ενώ μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα είτε σε συνεργασία με εμπορικά πακέτα και ERP συστήματα.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Διαχείριση παραγγελιών πελατών/προμηθευτών
- Ταυτοποίηση εμπορικών μονάδων
- Διαχείριση αποθηκευτικών χώρων
- Απογραφή
- Αποστολές-παραλαβές-δρομολόγηση-φορτώσεις
- Ειδικές συμφωνίες πελατών/προμηθευτών
- Ποιοτικός έλεγχος
- Ιχνηλασιμότητα
- Ανάκληση παρτίδων

Πλεονεκτήματα:

- Ακριβής γνώση του αποθέματος
- Ελαχιστοποίηση των λαθών κατά την εκτέλεση των παραγγελιών
- Ηλεκτρονική ενημέρωση κάθε διαδικασίας και, κατ'επέκταση, καθολική εικόνα της αποθήκης
- Αύξηση της παραγωγικότητας του προσωπικού των αποθηκών
- Βελτίωση της αξιοποίησης του αποθηκευτικού χώρου
- Μείωση των επιπέδων των αποθεμάτων και των απαιτήσεων διακίνησής τους.

Aberon WMS (Optimum A.E.). Η εταιρεία εξειδικεύεται στην αγορά των WMS και έχει διαγράψει ήδη σημαντική πορεία στην ελληνική αγορά αλλά και στην αγορά της Αμερικής, όπου διαθέτει θυγατρική εταιρεία με αρκετές εγκαταστάσεις στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Το Aberon WMS είναι λύση που απευθύνεται στον τομέα των logistics. Αποτελεί μια εξειδικευμένη εφαρμογή λογισμικού η οποία καλύπτει όλες τις λειτουργικές και διαχειριστικές ανάγκες ενός κέντρου διανομής. Καλύπτει όλες τις λειτουργίες της αποθήκης, από την είσοδο των εμπορευμάτων μέχρι την έξοδό τους από αυτή. Απευθύνεται εξίσου και σε βιομηχανικές

εταιρείες, όπου καλύπτει τις ανάγκες που προκύπτουν απ' το πρώτο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας μέχρι την έξοδο και δρομολόγηση των έτοιμων προϊόντων.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Διαχείριση εισαγωγών
- Διαχείριση παραγγελιών/διακινήσεων
- Εσωτερικές διακινήσεις
- Διαχείριση αποστολών
- Απογραφές
- Διαχείριση ασύρματου δικτύου
- Διασύνδεση με άλλα συστήματα

Πλεονεκτήματα:

- Βελτίωση παραγωγικότητας
- Αύξηση βαθμού εξυπηρέτησης πελατών
- Μείωση κόστους λειτουργίας
- Αύξηση παραγωγικότητας και ευελιξίας
- Ποιοτική αναβάθμιση εκτελούμενων εργασιών

Warehouse Vision (Mantis Πληροφορική Α.Ε.). Η εταιρία ιδρύθηκε το 1996 στην Αθήνα και είναι κατασκευαστής πληροφοριακών συστημάτων logistics με ηγετική θέση στην Ελλάδα, Κύπρο, Τουρκία, Βουλγαρία και Ρουμανία. Πρόσφατα έχει αναπτύξει σημαντική παρουσία και στις αγορές της Κεντρικής Ανατολικής Ευρώπης, Ρωσίας/CIS και Μέσης Ανατολής. Τέλος ειδικά για την Ελληνική αγορά, η Mantis αναπτύσσει και διαθέτει πληροφοριακά συστήματα εξυπηρέτησης και διαχείρισης σχέσεων πελατών με βάση τεχνολογίες Fax/ Messaging & Call/Contact Centers. Το Warehouse Vision είναι ένα ολοκληρωμένο WMS σύστημα που καλύπτει όλες τις βασικές λειτουργίες μέσα σε μία αποθήκη.

Βασικά εργαλεία συστήματος:

- Διαχείριση παραγγελιών προμηθευτών και δελτίων αποστολής
- Σχεδιασμός και εκτέλεση παραλαβών και αποθήκευσης
- Επιστροφές
- Ποιοτικός έλεγχος
- Διαχείριση παραγγελιών πελατών/έλεγχος αποθέματος
- Συσκευασία και παλετοποίηση
- Συλλογή
- Ανεφοδιασμός
- Cross-docking

- Διαχείριση αποθέματος
- Απογραφές
- Εξελιγμένη διαχείριση εργασιών
- Reporting

Πλεονεκτήματα:

- Το Warehouse Vision διαθέτει ευέλικτο περιβάλλον που προσαρμόζεται στις ανάγκες κάθε πελάτη.
- Διαθέτει εξελιγμένο σύστημα διασύνδεσης με συστήματα τρίτων προμηθευτών (ERP, MRP, κ.λπ.)

5. Μεθοδολογία και αρχιτεκτονική συστήματος

Όπως είναι εμφανές από τη φύση του προβλήματος, η επίλυσή του με κλασικές μεθόδους και χωρίς τη χρήση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος δεν είναι εφικτή. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η δική μας προσέγγιση και μεθοδολογία απέναντι στο πρόβλημα, θα αναλυθούν τα επιμέρους βήματα που σχεδιάσαμε καθώς και πώς αυτή επετεύχθη με τη χρήση προγραμματιστικών εργαλείων τα οποία επιτρέπουν την αυτοματοποίηση των διαδικασιών και την ενσωμάτωσή τους σε συστήματα όπως αυτά που αναφέρθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια. Επίσης, θα παρουσιαστεί και μία απλουστευμένη προσέγγιση της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε θα πρέπει να αναφερθούμε στο είδος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Τα στοιχεία που αντλήσαμε από τα συστήματα της επιχείρησης αφορούν 13372 χρονοσειρές κωδικών προϊόντων οι οποίες είχαν επαρκή αριθμό παρατηρήσεων ώστε να μπορούν να θεωρηθούν «προϊόντα προς πώληση» και όχι δείγματα ή άλλα υλικά της αποθήκης. Οι κωδικοί προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν ξηρό φορτίο (συσκευασμένα τρόφιμα), απορρυπαντικά, αλλαντικά, τυριά και προϊόντα ψυγείου και κατάψυξης. Γενικότερα, καλύπτονται τα περισσότερα από τα είδη που διαθέτει ένα super market πέρα των φρέσκων προϊόντων, όπως μαναβική και νωπά κρέατα καθώς και των εποχιακών ειδών στα οποία λόγω της φύσης τους δεν μπορεί να επέλθει βελτίωση από ένα σύστημα σαν αυτό που περιγράφεται στην εργασία.

Καθώς οι κωδικοί προϊόντων στη λιανική αγορά τρόφιμου μεταβάλλονται συνεχώς, δεν υφίστανται προϊόντα με μεγάλη διαθεσιμότητα δεδομένων αφού ακόμα και προϊόντα με πολύ μεγάλο κύκλο ζωής πιθανώς να αλλάζουν συχνά κωδικό, π.χ. λόγω αλλαγής συσκευασίας. Τα δεδομένα που είχαμε στην κατοχή μας στα πλαίσια της εργασίας αφορούν περίοδο ενός έτους και εκτός από τις ποσότητες του διαθέσιμου αποθέματος εμπεριείχαν πληροφορίες σχετικά με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, τον προμηθευτή τους, τις διαστάσεις τους, το βάρος τους, την ημερομηνία λήξης καθώς και την τιμή τους.

5.1. Ανάλυση ABC-XYZ

Για να επιτύχουμε υψηλά ποσοστά εξυπηρέτησης των πελατών στα καταστήματα και να μην υπάρχει έλλειψη προϊόντων, πρέπει, ουσιαστικά, να καλύψουμε τη ζήτησή τους από τα σημεία εξυπηρέτησης, που δεν είναι άλλα από τα καταστήματα super market, για κάθε κωδικό προϊόντος. Καθημερινά όλα τα καταστήματα της αλυσίδας αποστέλλουν στην κεντρική αποθήκη την αναμενόμενη ζήτηση των κωδικών προϊόντων, όπως αυτή προκύπτει από τις

ελλείψεις που έχουν καταγραφεί την προηγούμενη ημέρα, ώστε με τη σειρά τους να καλύψουν τη ζήτηση από την πλευρά των καταναλωτών. Έτσι, τελικά, οι χρονοσειρές οι οποίες πρέπει να προβλεφθούν είναι η ζήτηση ανά κωδικό προϊόντος ώστε να γίνει η σωστή παραγγελία στον κάθε προμηθευτή για να καλύψει την συνολική ζήτηση όλων των σημείων εξυπηρέτησης και να μην υπάρχουν ελλείψεις. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε όλη αυτή τη διαδικασία θα πρέπει, εκτός από τη συνολική ζήτηση ανά προϊόν, να λάβουμε υπόψη μας και άλλα στοιχεία για την παραγγελία, όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 5.3.

Καθώς δεν είναι ούτε εφικτό ούτε έχει υψηλή σημαντικότητα για τη λειτουργία της επιχείρησης να γίνεται πρόβλεψη για το σύνολο των προϊόντων που αυτή προμηθεύεται, απαραίτητη είναι η εύρεση των κωδικών εκείνων που θα συμπεριληφθούν στην διαδικασία της πρόβλεψης και αυτοματοποίησης της παραγγελίας τους. Για να προσδιοριστούν οι κωδικοί αυτοί χρησιμοποιείται η ABC-XYZ ανάλυση.

Το ABC κομμάτι της ανάλυσης ταξινομεί τους κωδικούς προϊόντων βάσει της σημασίας τους για την επιχείρηση. Οι κωδικοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, ως εξής:

- **Κατηγορία A:** περιλαμβάνει τους πιο σημαντικούς κωδικούς προϊόντων για την επιχείρηση. Συνήθως αποτελεί περίπου το 20% του συνόλου.
- **Κατηγορία B:** περιλαμβάνει τους κωδικούς μεσαίας σημαντικότητας. Συνήθως αποτελεί περίπου το 30% του συνόλου.
- **Κατηγορία C:** περιλαμβάνει τους λιγότερο σημαντικούς κωδικούς. Συνήθως αποτελεί το υπόλοιπο 50% του συνόλου.

Η σημασία των κωδικών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και διαφέρει ανά επιχείρηση. Το δε τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης διαφέρει ανάλογα με το πλήθος και το είδος των κωδικών που επιλέγονται για την αρχική μελέτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ελήφθησαν υπόψιν οι παρακάτω δείκτες για κάθε κωδικό προϊόντος, από τους οποίους ο κάθε δείκτης είχε το δικό του ειδικό βάρος για τον υπολογισμό του στο τελικό αποτέλεσμα:

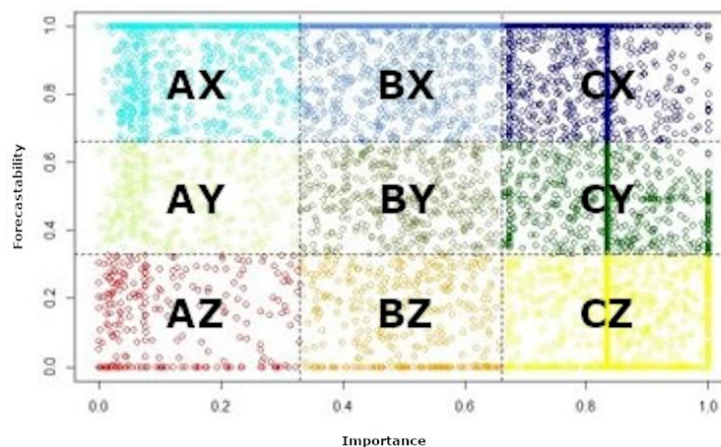
- **Αξία προϊόντος (€):** ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της σημασίας ενός κωδικού είναι, φυσικά, το κόστος απόκτησής του. Όσο μεγαλύτερο είναι το κόστος, τόσο μεγαλώνει και το κεφάλαιο που δεσμεύεται για την αποθήκευσή του, καθώς και η ζημιά στην επιχείρηση από τυχόν κακοδιαχείριση του προϊόντος στην αποθήκη.
- **Όγκος πωλήσεων:** ο παράγοντας που καθορίζει τον τζίρο που προέρχεται από κάθε κωδικό. Είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της σημασίας των κωδικών, καθώς ένας κωδικός με μεγάλο περιθώριο κέρδους αλλά μικρό όγκο πωλήσεων μπορεί να θεωρείται μικρότερης σημασίας για την επιχείρηση από έναν κωδικό με πολύ μικρό περιθώριο κέρδους αλλά πολύ μεγάλο όγκο πωλήσεων.

- **Αποθηκομέρες (τεμάχια*ημέρες):** το μέγεθος αυτό ορίζει το συνολικό χρόνο που παραμένει ένας κωδικός μέσα στην αποθήκη μέχρι να διανεμηθεί στα supermarket. Εάν κάποιος κωδικός είναι παράλογα πολλές ημέρες μέσα στην αποθήκη, αυξάνει το παθητικό απόθεμα και πρέπει να διανεμηθεί καλύτερα.
- **Συχνότητα παραγγελίας (ημέρες):** εάν ο συγκεκριμένος κωδικός έχει μικρή συχνότητα παραγγελίας, τότε είναι πιο «ευπαθής» σε σφάλμα στην πρόβλεψη και θα πρέπει να έχει μεγαλύτερη σημαντικότητα.
- **Ισχύουσες ημέρες αποθεματοποίησης vs. Μέγιστες δυνατές ημέρες αποθήκευσης**
- **Μέρες έως την ημερομηνία λήξης:** ένας επιπλέον παράγοντας που ζητήθηκε από την επιχείρηση. Εάν κάποιος κωδικός έχει περιθώριο μέχρι την ημερομηνία λήξης μικρότερο από το διάστημα που όρισε η επιχείρηση, τότε μπαίνει αυτομάτως στην κατηγορία A.

Αφού ταξινομηθούν οι κωδικοί στις τρεις κατηγορίες βάσει της σημασίας τους, ταξινομούνται εκ νέου βάσει της ικανότητας του μοντέλου πρόβλεψης να εκτιμήσει τη μελλοντική ζήτηση του προϊόντος, όπως αυτή αποτυπώνεται συγκριτικά με την ισχύουσα προβλεπτική ικανότητα των στελεχών της επιχείρησης που χειρίζονται τις παραγγελίες. Αυτό αποτελεί και το XYZ κομμάτι της ανάλυσης. Η XYZ ανάλυση χωρίζεται επίσης σε τρεις κατηγορίες, ως εξής:

- **Κατηγορία X:** περιλαμβάνει τους κωδικούς για τους οποίους είναι πιο εύκολο να προβλεφθεί η ζήτησή τους.
- **Κατηγορία Y:** περιλαμβάνει τους κωδικούς μεσαίας δυσκολίας στην πρόβλεψη της ζήτησής τους.
- **Κατηγορία Z:** περιλαμβάνει τους κωδικούς με τη μεγαλύτερη δυσκολία πρόβλεψης.

Ο συνδυασμός της ABC-XYZ ανάλυσης μας δίνει ένα αποτέλεσμα που συνήθως μοιάζει με την Εικόνα 8.



Εικόνα 8 ABC-XYZ ταξινόμηση των κωδικών προϊόντων της αποθήκης

5.2. Διαγωνισμός προβλέψεων

Για την εκτέλεση και την ολοκλήρωση της ABC-XYZ ανάλυσης η οποία ως αποτελέσματα θα έχει κάθε φορά την ταξινόμηση των δεδομένων εκείνων με τα οποία έχει νόημα να ασχοληθούμε, καθώς τα αντίστοιχα προϊόντα έχουν την απαιτούμενη σημαντικότητα ως προς τις παραμέτρους που έχουμε ορίσει, θα πρέπει να ακολουθήσουμε μια διαδικασία για την παραγωγή των απαιτούμενων προβλέψεων. Για την παραγωγή έγκυρων προβλέψεων θα εκτελέσουμε έναν διαγωνισμό προβλέψεων, ο οποίος μας επιτρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα και, κατά συνέπεια, πιο ακριβείς προβλέψεις.

Βήμα 1: Διαχείριση κενών τιμών

Η συλλογή και διαχείριση των δεδομένων που αποτελούν τις χρονοσειρές, ίσως η βασικότερη πηγή πληροφοριών για την επιστήμη των προβλέψεων, δεν είναι πάντα εύκολη υπόθεση. Υπάρχουν περιπτώσεις ελλειπουσών τιμών οι οποίες δημιουργούν προβλήματα στην εφαρμογή των περισσότερων στατιστικών μεθόδων πρόβλεψης και επομένως χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Όπως έχουμε αναφέρει ως χρονοσειρές που έχουμε ως προς πρόβλεψη είναι η ζήτηση ανά κωδικό προϊόντος. Κάθε τέτοια χρονοσειρά δεν έχει πάντα συμπληρωμένες όλες τις παρελθούσες τιμές για διάφορους λόγους, όπως η αδυναμία παροχής τους από τα super market, λάθη λόγω χειροκίνητης καταγραφής τους κατά παρελθόντα χρόνο, κλπ. Επίσης, κάποιες τιμές των χρονοσειρών αυτών μπορεί να είναι λανθασμένα μηδενικές για διάφορους λόγους, όπως λανθασμένη πληκτρολόγηση από τους χειριστές του super market ή της αποθήκης ή ακόμα και σύμβαση ανάμεσα στους παραπάνω για συγκεκριμένα προϊόντα για τα οποία η ένδειξη «0» μπορεί να σημαίνει κάτι διαφορετικό.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την διαχείριση τους ήταν η εξής:

- Η τιμή προς αντικατάσταση της κενής τιμή ορίζεται ως το ημίθροισμα της προηγούμενης και της επόμενης παρατήρησης, όταν η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται από στασιμότητα και δεν έχει εποχιακή συμπεριφορά.
- Αν η χρονοσειρά παρουσιάζει εποχικότητα, τότε η κενή τιμή ορίζεται ως η μέση τιμή των παρελθοντικών ή/και μελλοντικών τιμών των αντίστοιχων περιόδων.

Διαφορετική αντιμετώπιση χρήζουν οι μηδενικές τιμές οι οποίες αποτελούν μία διαφορετική κατηγορία των «ιδιόρρυθμων» τιμών μιας χρονοσειράς. Αυτές οι τιμές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Αρχικά, είναι οι μηδενικές τιμές που καταγράφηκαν ως μηδενικές λόγω σφάλματος του πληροφοριακού συστήματος και δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Αυτές οι τιμές ουσιαστικά δε διαφέρουν από τις προαναφερθείσες ελλείπουσες τιμές και είναι όμοιος και ο τρόπος αντιμετώπισης τους. Η δεύτερη κατηγορία των

μηδενικών τιμών είναι οι πραγματικά μηδενικές τιμές οι οποίες αναφέρονται σε χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης. Αυτές οι τιμές προφανώς δεν μπορούν να συμπληρωθούν με κάποιο από τους προηγούμενους τρόπους καθώς είναι πραγματικές καταγεγραμμένες μηδενικές τιμές. Οπότε είναι εμφανής η ανάγκη εύρεσης κάποιου διαφορετικού τρόπου αντιμετώπισης τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εμφάνισης μηδενικών τιμών είναι οι χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης, οι οποίες εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς απαιτούν την προσέγγιση βάσει διαφορετικής μεθοδολογίας, στην οποία προφανώς και δεν εμπλέκεται η μεταβολή των τιμών τους αλλά η αξιοποίηση της πληροφορίας που λαμβάνεται από τη μηδενική τιμή. Στα δεδομένα της διπλωματικής μας, οι μηδενικές τιμές οι οποίες οφείλονται σε χρονοσειρές διακοπτόμενης ζήτησης ήταν αρκετές, καθώς αναφέρονται σε προϊόντα για τα οποία δεν υπάρχει συνεχής ζήτηση (π.χ. φρέσκο γάλα) αλλά έχουν διακοπτόμενη ζήτηση (π.χ. εποχιακές συσκευασίες προϊόντων). Αυτές οι τιμές δε συμπληρώνονται, αλλά οι χρονοσειρές αντιμετωπίζονται με τις κατάλληλες μεθόδους πρόβλεψης οι οποίες είναι σχεδιασμένες για πρόβλεψη χρονοσειρών διακοπτόμενης ζήτησης.

Βήμα 2: Διαχείριση ακραίων τιμών (outliers)

Τα δεδομένα των χρονοσειρών συχνά υφίστανται ξαφνικές αλλαγές που επηρεάζουν τη δυναμική των δεδομένων σε παροδική ή μόνιμη βάση. Μερικές φορές, αυτός που διαχειρίζεται τα δεδομένα μπορεί να έχει κάποια πληροφορία για την ύπαρξη αυτών των επιδράσεων, σε περιπτώσεις όπως απεργίες, διαφημιστικές καμπάνιες της εταιρείας ή του ανταγωνισμού, καιρικά φαινόμενα, κ.α. Σε άλλες όμως περιπτώσεις, τέτοιες πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες και αυτό δε μας επιτρέπει να ξέρουμε το λόγο των ανεξήγητων αυτών τιμών. Ανεξάρτητα από την τυχόν γνωστή ή άγνωστη πηγή τους, οι αλλαγές αυτές είναι συνήθως μη συστηματικές και δεν μπορούν να συλληφθούν από τα συνήθη μοντέλα χρονοσειρών.

Μια ανάλυση των δεδομένων μπορεί να αποκαλύψει την ύπαρξη έκτακτων γεγονότων που δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα που μπορούν να γίνουν αντιληπτά και να διαχειριστούν αυτόματα από τα μοντέλα χρονοσειρών, δηλαδή επιδράσεις που είναι εξωγενείς στο μοντέλο. Όταν αυτή η εξωγενής επίδραση δε σχετίζεται με οποιοδήποτε γνωστό συμβάν, τότε την αναγνωρίζουμε ως μια ακραία τιμή (outlier) της χρονοσειράς. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία έχουμε πέντε είδη των ακραίων τιμών: innovation outlier, additive outlier, level shift, temporary change και seasonal level shift.

Ο εντοπισμός και η απαλοιφή της επίδρασης των ακραίων τιμών είναι σημαντική, επειδή έχουν επίπτωση στην επιλογή του μοντέλου, την εκτίμηση των παραμέτρων και, κατά συνέπεια, στις προβλέψεις και τα άλλα αποτελέσματα που επιδιώκονται με την ανάλυση, όπως την εποχική προσαρμογή. Στα πλαίσια της διπλωματικής, το φιλτράρισμα των αρχικών

παρατηρήσεων από ακραίες τιμές πραγματοποιήθηκε με αυτόματο τρόπο με τη χρήση του πακέτου `tsoutliers` και συγκεκριμένα της συνάρτησης `tso`. Η συνάρτηση `tso` υλοποιεί εσωτερικά τον αλγόριθμο εντοπισμού και διόρθωσης των ακραίων τιμών με βάση τα παρακάτω βήματα:

1. Εντοπισμός ακραίων τιμών. Δεδομένου ενός μοντέλου πρόβλεψης, οι ακραίες τιμές εντοπίζονται ελέγχοντας την σημαντικότητα όλων των τύπων των ακραίων τιμών.

2. Απαλοιφή ακραίων τιμών. Δεδομένου ενός συνόλου πιθανόν ακραίων τιμών, ένα μοντέλο πρόβλεψης προσαρμόζεται στα δεδομένα. Η σημαντικότητα των ακραίων τιμών επαναπροσδιορίζεται με βάση το νέο μοντέλο που προσαρμόστηκε, και αν χρειάζεται κάποια αφαιρούνται από το σύνολο των ακραίων τιμών.

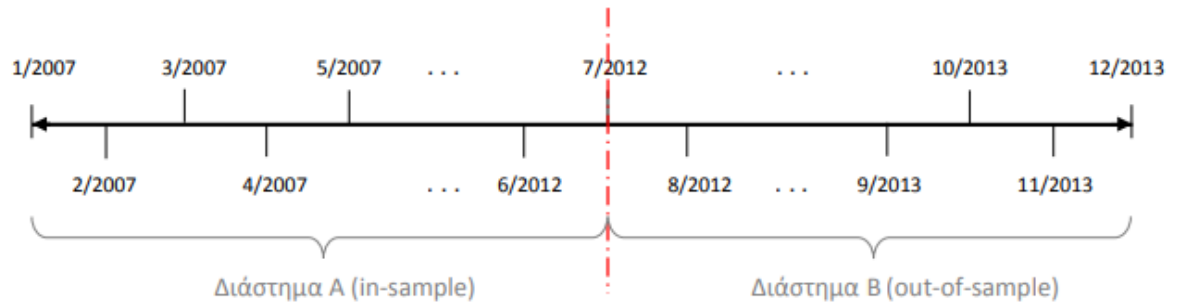
3. Επανάληψη των βημάτων 1 και 2 πρώτα για την αρχική χρονοσειρά και έπειτα για την προσαρμοσμένη.

Βήμα 3: Παραγωγή προβλέψεων

Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας, αφού έχουμε διορθώσει κενές και ακραίες τιμές είναι η παραγωγή προβλέψεων. Ο στόχος μας είναι η παραγωγή όσο το δυνατόν ακριβέστερων προβλέψεων για το σύνολο των κωδικών προϊόντων και για να είμαστε σε θέση να απαντήσουμε στο ερώτημα της ακρίβειας, θα πρέπει οι προβλέψεις οι οποίες θα παράγουμε να αξιολογηθούν σε χρονικές περιόδους για τις οποίες έχουμε τα πραγματικά δεδομένα. Ως εκ τούτου, αποφασίσαμε να χωρίσουμε για κάθε χρονοσειρά την χρονική περίοδο των δεδομένων σε δύο διαστήματα. Όπως είναι προφανές, για κάθε χρονοσειρά έχουμε διαφορετικό «μήκος» για κάθε διάστημα και αυτό οφείλεται στην «παλαιότητα» του κάθε κωδικού και στον αριθμό των παρατηρήσεων που είναι διαθέσιμες για αυτόν.

Διάστημα A: Το διάστημα αυτό αποτελεί το 80% των συνολικών δεδομένων. Σε αυτό το διάστημα γίνεται η «εκπαίδευση» του κάθε στατιστικού μοντέλου πρόβλεψης (*model fitting*) όπου προσδιορίζονται οι βέλτιστες παράμετροι ώστε το παραγόμενο μοντέλο να ταιριάζει όσο το δυνατόν καλύτερα σε αυτά τα δεδομένα.

Διάστημα B: Αφού προσδιοριστούν μοναδικά οι παράμετροι για κάθε μοντέλο, τα χρησιμοποιούμε για την παραγωγή προβλέψεων στο διάστημα B (*out-of-sample forecasting*). Θεωρούμε δηλαδή ότι «κρύβουμε» τα δεδομένα μας στο διάστημα αυτό το οποίο αποτελεί το 20% των συνολικών δεδομένων και παράγουμε προβλέψεις για το διάστημα για το οποίο έχουμε και πραγματικές τιμές. Η ακρίβεια των προβλέψεων εξετάζεται στο διάστημα B με βάση το κριτήριο *sMSE* και το μοντέλο με την βέλτιστη ακρίβεια χρησιμοποιείται για την επέκταση της χρονοσειράς στο μέλλον για το οποίο και δεν υπάρχουν πραγματικές τιμές.



Εικόνα 9 Παράδειγμα διαχωρισμού χρονικού εύρους δεδομένων για την διαδικασία παραγωγής προβλέψεων

5.3. Αλγόριθμος παραγγελίας και προσαρμογές

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στόχος μας είναι η βελτιστοποίηση του αποθέματος στην κεντρική αποθήκη της επιχείρησης, χωρίς βέβαια να επηρεάζεται η εύρυθμη λειτουργία της από πιθανά stock-out ή από μεγάλη αύξηση του χρόνου ανατροφοδότησης των καταστημάτων. Αφού έχουμε παράξει τις προβλέψεις για το σύνολο των κωδικών των προϊόντων το επόμενο βήμα είναι η υλοποίηση του αλγορίθμου παραγγελίας των προϊόντων, ο οποίος ενσωματώνει προσαρμογές στα αποτελέσματα των προαναφερόμενων διαδικασιών και έχει ως αποτέλεσμα τα τελικά τεμάχια προς παραγγελία για κάθε κωδικό προϊόντος.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να ορίσουμε κάποια μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούμε για την ολοκλήρωση της παραγγελίας των προϊόντων στους προμηθευτές.

- **Απόθεμα ασφαλείας:** Το απόθεμα ασφαλείας, ορίζεται με βάση την πρόβλεψη για κάθε κωδικό καθώς και των σφαλμάτων πρόβλεψης. Έτσι, για το ύψος του αποθέματος ασφαλείας για κάθε κωδικό έχουμε: $Απόθεμα\ ασφαλείας = προβλεπόμενη\ ζήτηση + μέσο\ απόλυτο\ σφάλμα\ πρόβλεψης$.
- **Επίπεδο αναπαραγγελίας:** Το επίπεδο αναπαραγγελίας μας ορίζει τη χρονική στιγμή κατά την οποία θα πρέπει να γίνει η νέα παραγγελία για κάθε κωδικό. Ορίζουμε λοιπόν: $Επίπεδο\ αναπαραγγελίας = απόθεμα\ ασφαλείας + προβλεπόμενη\ ζήτηση\ για\ τη\ χρονική\ περίοδο\ ανάμεσα\ στην\ ημερομηνία\ παραγγελίας\ και\ την\ ημερομηνία\ παράδοσης$
- **Ποσότητα παραγγελίας:** Κατά τη χρονική περίοδο της αναπαραγγελίας πρέπει να ξέρουμε και την ποσότητα που θα πρέπει να παραγγελθεί ανά κωδικό. Για αυτό το λόγο έχουμε ορίσει την $Ποσότητα\ παραγγελίας = απόθεμα\ ασφαλείας * χρόνο\ παράδοσης$

Σε ιδανικές συνθήκες, με τη χρήση των αποτελεσμάτων του διαγωνισμού προβλέψεων καθώς και των παραπάνω ορισμών θα προχωρούσαμε στις παραγγελίες προς τους προμηθευτές και, εκτός απροόπτων, μετά τον προκαθορισμένο χρόνο παράδοσης αυτά θα έφθαναν στις αποθήκες τις επιχείρησης. Δυστυχώς, όμως, για να προχωρήσουμε στις παραγγελίες θα πρέπει να λάβουμε υπόψη διάφορους περιορισμούς οι οποίοι προέρχονται από τους προμηθευτές και είναι διαφορετικοί για κάθε έναν από αυτούς. Το πρώτο βήμα που ακολουθούμε για να συμπεριλάβουμε τους περιορισμούς στη διαδικασία παραγγελίας είναι ο διαχωρισμός των κωδικών ανά προμηθευτή και φυσικά η στρογγυλοποίηση των αποτελεσμάτων των μεθόδων πρόβλεψης σε ακέραιους αριθμούς χωρίς δεκαδικά ψηφία.

Οι περιορισμοί οι οποίοι λαμβάνουμε υπόψη μας κατά την παραγγελία από τον κάθε προμηθευτή είναι οι παρακάτω:

- **Περιορισμοί ως προς τον χρόνο παράδοσης.** Οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να αναφέρονται στο σύνολο των κωδικών που προμηθευόμαστε από κάθε προμηθευτή, μια οικογένεια προϊόντων ή ακόμα και μεμονωμένους κωδικούς. Επιπλέον, μπορεί να αναφέρονται στον απαιτούμενο χρόνο παράδοσης (π.χ. χρόνος παράδοσης 10 ημέρες από την παραγγελία) ή να αναφέρονται σε συγκεκριμένες ημέρες παράδοσης μέσα στην εβδομάδα (π.χ. παράδοση κάθε Τρίτη και Πέμπτη).
- **Περιορισμοί ως προς την αποστολή προϊόντων.** Και αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να αναφέρονται στο σύνολο των κωδικών, σε οικογένεια προϊόντων και σε μεμονωμένα προϊόντα ενός προμηθευτή. Ο περιορισμός της αποστολής αναφέρεται στην ελάχιστη ποσότητα η οποία πρέπει να παραγγελθεί ώστε να μπορεί να εκτελεστεί η παραγγελία. Τα προϊόντα, δύναται να παραδίδονται σε τεμάχιο, συσκευασία πολλών τεμαχίων, κούτα πολλών συσκευασιών, παλέτα με πολλές κούτες ή σε ολόκληρο φορτηγό το οποίο χωρά κατά μέσο όρο 35 παλέτες. Πολλοί από τους προμηθευτές έχουν διαφορετικά ελάχιστα τεμάχια παραγγελίας αλλά οι περισσότεροι επιτρέπουν και πολλές φορές δίνουν και επιβραβεύσεις στις παραγγελίες ολόκληρων φορτηγών τα οποία περιέχουν έναν ή περισσότερους κωδικούς από τα προϊόντα που προμηθεύονται.

Για να καλυφθούν οι παραπάνω περιορισμοί των προμηθευτών, τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε προϊόν, όπως οι διαστάσεις και το βάρος του, ο τρόπος συσκευασίας του (συσκευασία, κούτα, παλέτα), ο χρόνος παράδοσης καθώς και η ελάχιστη ποσότητα παραγγελίας έχουν εισαχθεί στο σύστημα ώστε να γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί και να λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις. Οι βασικοί κανόνες οι οποίοι ακολουθούνται για την λήψη της τελικής απόφασης για την παραγγελία για κάθε κωδικό προϊόντος είναι:

- Η στρογγυλοποίηση γίνεται πάντα προς το μεγαλύτερο μέγεθος, παραδείγματος χάρη αν με την ελάχιστη ποσότητα παραγγελίας για κάθε κωδικό συμπληρώνουμε το 85% ενός φορτηγού και η ελάχιστη παραγγελία για τον συγκεκριμένο προμηθευτή είναι 1 φορτηγό τότε συμπληρώνουμε προϊόντα ώστε να γεμίσουμε το φορτηγό.
- Για τη συμπλήρωση των προϊόντων, ανεξάρτητα αν αυτή είναι πρόσθεση ή αφαίρεση, χρησιμοποιούμε τα κριτήρια της ABC ανάλυσης καθώς και τον τρόπο συσκευασίας τους. Δηλαδή αν χρειαζόμαστε μισή παλέτα για να γεμίσουμε ένα φορτηγό δεν μπορούμε να προσθέσουμε προϊόντα που είναι συσκευασμένα αποκλειστικά σε παλέτες αλλά ούτε προϊόντα με σύντομη ημερομηνία λήξης και μεγάλο κόστος.

5.4. Αρχιτεκτονική συστήματος

Με στόχο την αυτοματοποίηση των παραπάνω διαδικασιών, η υλοποίηση ενός συστήματος προβλέψεων ήταν επιβεβλημένη. Το σύστημα ενσωματώνει όλες τις παραπάνω διαδικασίες και συγκεκριμένα, το διαγωνισμό μεθόδων πρόβλεψης για την παραγωγή προβλέψεων, την προσαρμογή των τελικών προβλέψεων ώστε αυτές να μετατραπούν σε παραγγελίες προς τους προμηθευτές βάσει των απαιτήσεων ανά τύπο και είδος προϊόντος προς παραγγελία και τέλος της εξαγωγή των αποτελεσμάτων της ABC-XYZ ανάλυσης για τον προσδιορισμό των βελτιστοποιημένων κωδικών. Στις παρακάτω παραγράφους θα γίνει μια ανάλυση των δομικών υποσυστημάτων της εφαρμογής καθώς και των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία της και ανταλλάσσονται με τα συστήματα της επιχείρησης.

Αρχικά θα πρέπει να αναφερθούμε στα δεδομένα που χρησιμοποιεί η εφαρμογή για τη λειτουργία της καθώς και τα δεδομένα που παράγει και είναι απαραίτητα για τη περαιτέρω λειτουργία της επιχείρησης. Θεωρούμε ότι είναι πιο πρακτικό τα δεδομένα αυτά να αναφέρονται ως «Δεδομένα εισόδου» τα οποία περιγράφουν όλα τα απαραίτητα για τη λειτουργία της εφαρμογής δεδομένα και τα «Δεδομένα εξόδου» τα οποία περιγράφουν τα τελικά αποτελέσματα της εφαρμογής τα οποία και τροφοδοτούν τρίτα συστήματα όπως το σύστημα παραγγελιοδότησης και το σύστημα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων.

Στα δεδομένα εισόδου μπορούμε να διακρίνουμε δύο βασικές πηγές. Η πρώτη πηγή αφορά τα δεδομένα του συστήματος WMS, στο οποίο διατηρούνται όλα τα στοιχεία του αποθέματος της αποθήκης ανά κωδικό προϊόντος. Μέσω του συστήματος WMS διατίθενται στην εφαρμογή όλα τα ιστορικά δεδομένα για τα αποθέματα της κεντρικής αποθήκης τα οποία είναι απαραίτητα για τη λήψη απόφασης για το χρόνο καθώς και το ύψος της παραγγελίας. Η δεύτερη πηγή δεδομένων αφορά τη ζήτηση προϊόντων από τα καταστήματα (super market) ανά κωδικό προϊόντος. Πάνω στις χρονοσειρές της ζήτησης εφαρμόζονται και όλες οι διαδικασίες οι οποίες έχουν περιγραφεί για να λάβουμε την απόφαση της παραγγελίας.

Εκτός από τα δεδομένα εισόδου τα οποία χρησιμοποιεί η εφαρμογή για την παραγωγή των προβλέψεων και τη λήψη αποφάσεων για παραγγελία των αντίστοιχων προϊόντων υπάρχουν και τα δεδομένα εξόδου. Τα δεδομένα εξόδου δεν είναι τίποτα άλλο παρά τιμές οι οποίες παράγονται από το σύστημα και αφορούν τις παραγγελίες οι οποίες πρέπει να γίνουν σε διαφορετικούς προμηθευτές για το σύνολο των προϊόντων που εξετάζονται από το σύστημα.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι για το σύνολο σχεδόν των προϊόντων υπάρχουν και άλλα περιγραφικά στοιχεία που επηρεάζουν τη συνολική διαδικασία καθώς και την τελική απόφαση. Για παράδειγμα, υπάρχουν στοιχεία κόστους ανά κωδικό προϊόντος, δεδομένα σχετικά με την πακετοποίηση των προϊόντων, περιγραφή για την ευαισθησία του

κάθε προϊόντος και την ημερομηνία λήξης του, καθώς και ο τρόπος παραγγελίας του κάθε κωδικού από τον προμηθευτή του (απαιτούμενη ελάχιστη ποσότητα ή συγκεκριμένες μέρες της εβδομάδας).

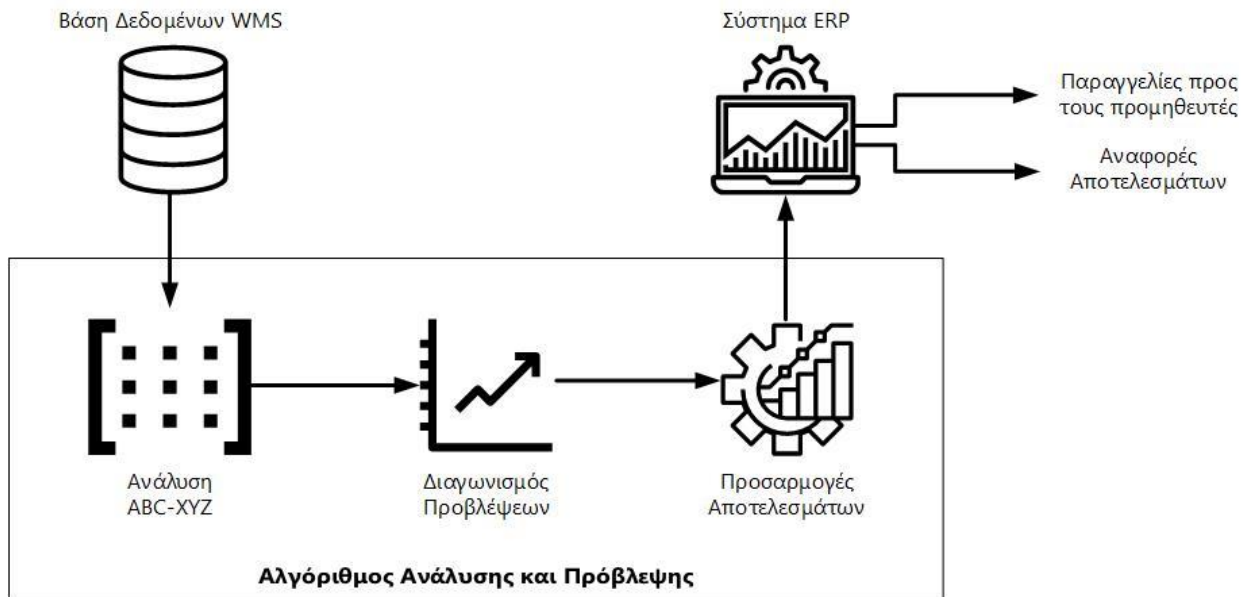
Η εφαρμογή έχει αναπτυχθεί εξ ολοκλήρου με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R. Η R αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες γλώσσες στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων, της στατιστικής και των προβλέψεων. Η R παρέχει μεγάλη ποικιλία στατιστικών και γραφικών τεχνικών και έχει υψηλή επεκτασιμότητα ο οποίος ήταν ένας από τους πιο σημαντικούς λόγους για τον οποίο επιλέχθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Στο κομμάτι των στατιστικών τεχνικών εντάσσονται γραμμική και μη γραμμική μοντελοποίηση, κλασικοί στατιστικοί έλεγχοι, ανάλυση χρονοσειρών, κατάταξη (classification) και ομαδοποίηση (clustering).

Για τις ανάγκες της εφαρμογής, η R χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των χρονοσειρών και την παραγωγή προβλέψεων, για τον υπολογισμό σφαλμάτων και στατιστικών καθώς και για την απαραίτητη αναπροσαρμογή των αποτελεσμάτων. Ενδεικτικά, αξιοποιήθηκαν διάφορες ευρέως διαδεδομένες βιβλιοθήκες όπως:

- `tsoutliers`: Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη μας επιτρέπει να εντοπίζουμε με διάφορες τεχνικές ακραίων και ασυνήθιστων τιμών στις χρονοσειρές αξιοποιώντας τη διαδικασία που πρότειναν οι Chen και Liu (1993).
- `forecast`: Το συγκεκριμένο πακέτο είναι το πιο γνωστό R package στον τομέα των προβλέψεων χρονοσειρών. Ενσωματώνει εργαλεία για ανάλυση χρονοσειρών καθώς και πολυάριθμες μεθόδους πρόβλεψης από τις πιο απλές, μέθοδος Naïve, έως και τα μοντέλα ARIMA (Hyndman 2008).
- `forecTheta`: Μέσω του συγκεκριμένου πακέτου έχουν υλοποιηθεί τόσο η κλασική όσο και η βελτιστοποιημένη μέθοδος Theta (Fiorucci, Louzada, & Yiqi, 2016).
- `metrics`: Πακέτο στο οποίο έχουν αναπτυχθεί οι σημαντικότερες τεχνικές αξιολόγησης καθώς και τα πιο δημοφιλή σφάλματα όπως τα RMSE, sMAPE, κ.α. (Hamner & Frasco, 2017).
- `stats`: Το συγκεκριμένο πακέτο αποτελεί ένα από τα βασικά πακέτα του πυρήνα της γλώσσας R και ενσωματώνει μεθόδους, συναρτήσεις και αλγορίθμους απαραίτητες για τη στατιστική ανάλυση (R Core Team, 2017).

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η εφαρμογή δε διαθέτει γραφική διεπαφή χρήστη καθώς η όλη διαδικασία έχει αυτοματοποιηθεί και δεν απαιτεί την εισαγωγή οποιασδήποτε πληροφορίας από τον χρήστη. Επιπλέον, η έλλειψη διεπαφής αποτρέπει τους χρήστες από το να παρεμβάλλονται στη διαδικασία και αποτρέπει τα λάθη που μπορεί να συμβούν. Για το λόγο αυτό δεν έχουν χρησιμοποιηθεί πακέτα της R τα οποία επιτρέπουν τη δημιουργία γραφικής διεπαφής, όπως το R Shiny, ή τη δημιουργία γραφημάτων, όπως το ggplot.

Για να έχει ο αναγνώστης μια εποπτική εικόνα του συστήματος, στην παρακάτω εικόνα έχει συμπεριληφθεί ένα γενικό Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής του συστήματος στο οποίο φαίνεται η διασύνδεση με τα τρίτα συστήματα, καθώς και η ροή της πληροφορίας από τη μια διαδικασία στην επόμενη -από την εισαγωγή των στοιχείων στο σύστημα έως την παραγωγή των τελικών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 10 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής συστήματος

6. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του συστήματός μας. Για την καλύτερη και αντικειμενικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του, διεξήχθησαν τρεις προσομοιώσεις διαφορετικών χρονικών διαστημάτων, και στη συνέχεια τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές που παρήγαγε το χειροκίνητο σύστημα παραγγελιοδότησης που χρησιμοποιούσε η επιχείρηση, βάσει συγκεκριμένων δεικτών.

Τα διαφορετικά διαστήματα των προσομοιώσεων ήταν τα παρακάτω:

- 60 ημέρες
- 80 ημέρες
- 120 ημέρες

Αρχικά, από τα διαθέσιμα δεδομένα του ενός έτους που είχαμε για το σύνολο των κωδικών, και για τις τρεις προσομοιώσεις, χρησιμοποιήθηκε το διάστημα των τελευταίων 30 ημερών για την εκπαίδευση των μοντέλων. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος ξεκίνησε η εκάστοτε προσομοίωση. Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων και σε καθημερινή βάση εξήχθησαν προβλέψεις για το σύνολο των κωδικών της αποθήκης. Οι προβλέψεις αυτές αξιολογούνταν, συγκρινόμενες με την πραγματική λειτουργία της αποθήκης που έτρεχε παράλληλα.

Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της ικανότητας του μοντέλου πρόβλεψης να εκτιμήσει τη μελλοντική ζήτηση του προϊόντος (forecastability) καθώς και της σημασίας τους για την επιχείρηση (importance) ακολουθήσαμε την παρακάτω διαδικασία.

Προκειμένου να υπολογιστεί το forecastability, τρέξαμε την προσομοίωση για όλα τα προϊόντα που είναι διαθέσιμα για το κάθε διάστημα αντίστοιχα, και εξάγαμε την κλάση του κάθε κωδικού, συγκρίνοντας την απόδοσή της μεθοδολογίας μας με τις πραγματικές ενέργειες της αποθήκης. Η βαθμολόγηση (score model) του μοντέλου υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω σχέση:

$$\text{Score_model}=0,5*\text{Απόθεμα}+0,5*\text{ServiceLevel}$$

Αντίστοιχα, η αξιολόγηση των πραγματικών ενεργειών της αποθήκης υπολογίστηκε ως Score_actual. Η κατηγοριοποίηση έγινε συγκρίνοντας το Score_model με το αντίστοιχο Score_actual (benchmark) που πέτυχε η αποθήκη. Εάν ο δείκτης αυτός είναι μικρότερος της μονάδας υποδηλώνει καλύτερη εξυπηρέτηση και μικρότερο απόθεμα στα αποτελέσματα του μοντέλου μας, ενώ αν είναι μεγαλύτερος της μονάδας υποδεικνύει ότι η πραγματική λειτουργία της αποθήκης δίνει καλύτερα αποτελέσματα από το μοντέλο.

Τα εν λόγω πηλίκα κανονικοποιούνται σε κλίμακα 0-1 και σε κάθε μία από τις γραμμές της XYZ ανάλυσης μπαίνουν όσοι κωδικοί έχουν αποτέλεσμα 0-0,33, 0,33-0,66, και 0,66-1 αντίστοιχα, με την κατηγορία X να περιέχει τους κωδικούς στο διάστημα 0,66-1.

Με την ίδια λογική υπολογίζεται και το importance, χρησιμοποιώντας στο Score_model τα υπόλοιπα κριτήρια που έχουμε αναφέρει παραπάνω, πιο συγκεκριμένα την τιμή, τις αποθηκομέρες και τη διάρκεια ζωής, με ίσα βάρη. Τα αποτελέσματα αυτού του υπολογισμού κατηγοριοποιούνται αντίστοιχα στις στήλες της ABC ανάλυσης.

Λόγω της μικρότερης αβεβαιότητας της κατηγορίας X, αποφασίσαμε να βελτιστοποιήσουμε τις κατηγορίες AX, BX και CX, από την ABC-XYZ ανάλυση. Τα αποτελέσματα εξήχθησαν τόσο για το σύνολο των κωδικών της γραμμής X, οι οποίοι βελτιστοποιήθηκαν, όσο και για το σύνολο των κωδικών της αποθήκης, ώστε να αποκτήσουμε μια εικόνα για το συνολικό αντίκτυπο των αποτελεσμάτων του συστήματος.

Οι δείκτες που ελήφθησαν υπόψη για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ήταν οι παρακάτω:

- **Απόθεμα:** ο μέσος όρος των ποσοτήτων των προϊόντων που βρίσκονταν στην αποθήκη κάθε χρονική στιγμή κατά το διάστημα της προσομοίωσης.
- **Ποσοστό εξυπηρέτησης:** το ποσοστό των ζητήσεων από τα super market που ήταν ικανή να εξυπηρετήσει η αποθήκη, βάσει του διαθέσιμου αποθέματος κάθε στιγμή.
- **Κόστος:** το μέσο δεσμευμένο κεφάλαιο που απαιτείται για το απόθεμα που διατηρείται στην αποθήκη κάθε χρονική στιγμή κατά το διάστημα της προσομοίωσης.
- **Αποθηκομέρες:** η μέση χρονική διάρκεια παραμονής ενός κωδικού στην αποθήκη.

Στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, καθώς και η ανάλυση αυτών.

Πίνακας 2 Αποτελέσματα προσομοίωσης 60 ημερών

Βελτιστοποιήθηκαν: 6.547 προϊόντα (53,2%) από τα 12.314 προϊόντα									
Αποθήκη									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	1.095.939	10.001.294	12.761.191,10	95,76	99,10	19.816.047	26.564.400,8	9,13	11,64
Διαφορά		-2.759.897		-3,34%		-6.748.354		-2,51	
Διαφορά %		21,63%		-3,37%		25,4%		21,56%	
Γραμμή Χ									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	475.163,6	5.406.213	8.166.110,4	93,40	99,69	12.017.232	18.765.586,21	11,38	17,19
Διαφορά		-2,759,897		-6,29%		-6.748.354		-5,81	
Διαφορά %		33,8%		-6,31%		35,96%		33,80%	

Πίνακας 3 Αποτελέσματα προσομοίωσης 80 ημερών

Βελτιστοποιήθηκαν: 6.354 προϊόντα (50,8%) από τα 12.508 προϊόντα									
Αποθήκη									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	1.245.944	9.721.051	12.934.718,17	93,68	99,38	18.265.425	26.838.242,46	7,80	10,38
Διαφορά		-3.213.667		-5,70%		-8.572.817		-2,58	
Διαφορά %		24,85%		-5,74%		31,94%		24,86%	
Γραμμή Χ									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	514.919,2	4.827.505	8.041.172,26	88,60	99,83	9.582.366	18.155.183,01	9,38	15,62
Διαφορά		-3.213.667		-11,23%		8.572.817		-6,24	
Διαφορά %		39,97%		-11,25%		47,22%		39,95%	

Πίνακας 4 Αποτελέσματα προσομοίωσης 120 ημερών

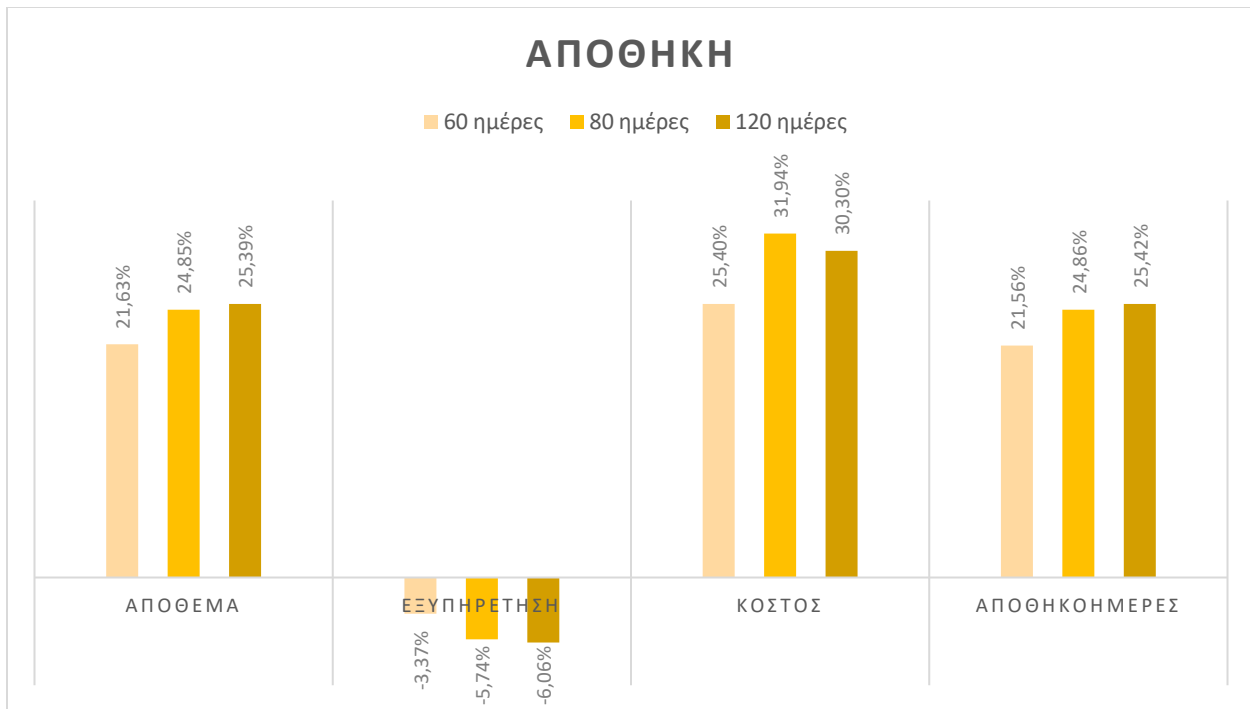
Βελτιστοποιήθηκαν: 6.029 προϊόντα (46,8%) από τα 12.889 προϊόντα									
Αποθήκη									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	1.131.148	9.491.004	12.721.104,52	93,37	99,39	18.087.599	25.952.357,3	8,39	11,25
Διαφορά		-3.230.101		-6,02%		-7.864.758		-2,86	
Διαφορά %		25,39%		-6,06%		30,3%		25,42%	
Γραμμή Χ									
		Απόθεμα (SKU)		Εξυπηρέτηση (%)		Κόστος (ευρώ)		Αποθηκομήρες	
	Ζήτηση	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό	Πρόταση	Πραγματικό
Τιμή	459.158,2	4.240.745	7.470.845,23	86,94	99,81	8.699.227	16.563.985,09	9,24	16,27
Διαφορά		-3.230.101		-12,87%		-7.864.758		-7,03	
Διαφορά %		43,24%		-12,89%		47,48%		43,21%	

Μετά το πέρας των προσομοιώσεων και των τελικών προσαρμογών του συστήματος, οι βελτιστοποιημένοι κωδικοί προϊόντων προβλέπονται και παραγγέλλονται αυτόματα από το σύστημα. Οι υπόλοιποι κωδικοί, οι οποίοι δεν προωθούνται για αυτόματη πρόβλεψη μέσω του συστήματος, συνεχίζουν είτε να προβλέπονται από την χειροκίνητη διαδικασία κατά την οποία ένας υπάλληλος της επιχείρησης αποφασίζει για το ύψος της επόμενης παραγγελίας και άρα του συνολικού αποθέματος είτε μέσω της απλουστευμένης μεθόδου πρόβλεψης κατά την οποία η επόμενη παραγγελία ισούται με την προηγούμενη συνολική ζήτηση από τα σημεία πώλησης.

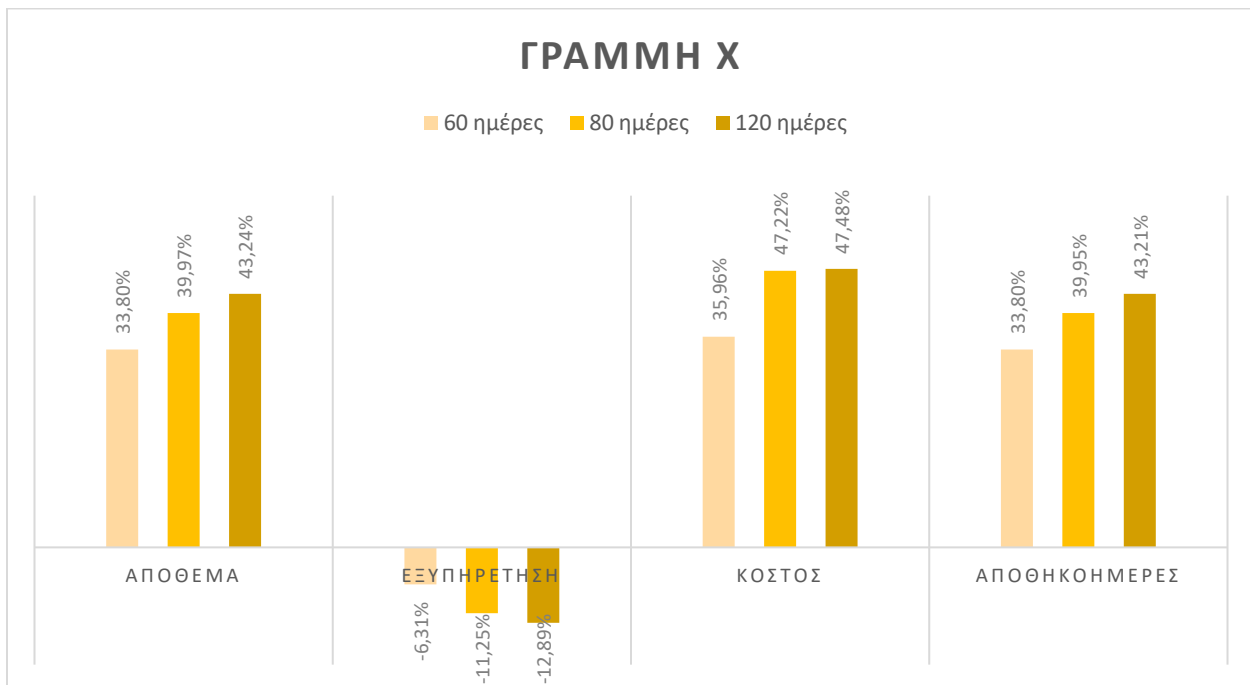
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε κάποιες γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν στους παραπάνω πίνακες.

- Όσο μεγαλώνει το διάστημα της προσομοίωσης, αυξάνεται το σύνολο των κωδικών της αποθήκης και μειώνεται αντίστοιχα το ποσοστό των κωδικών που έχουν συμπεριληφθεί στην βελτιστοποίηση. Αυτό συμβαίνει καθώς στα μεγαλύτερα διαστήματα περιλαμβάνονται και κωδικοί που ενδεχομένως παρουσιάζουν εποχική συμπεριφορά, προϊόντα προσφορών ή πολύ-συσκευασιών που αποτελούν ξεχωριστούς κωδικούς ή νέα προϊόντα. Όπως είναι λογικό, αυτοί οι κωδικοί δεν περιλαμβάνονται στην γραμμή X της ABC-XYZ ανάλυσης που έχουμε ορίσει παραπάνω και γι' αυτό μειώνεται το ποσοστό της.
- Είναι εμφανές ότι όλοι οι δείκτες που ορίστηκαν για την αξιολόγηση των προσομοιώσεων έχουν σημαντικό θετικό πρόσημο με διψήφια ποσοστά, πλην της εξυπηρέτησης των καταστημάτων, η οποία μάλιστα μειώνεται όσο αυξάνεται το διάστημα της προσομοίωσης. Αυτό, όμως, παραμένει πάντοτε μέσα στα αποδεκτά από την επιχείρηση επίπεδα εξυπηρέτησης στο σύνολο των κωδικών της αποθήκης. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η μικρή μείωση του ποσοστού εξυπηρέτησης των καταστημάτων δεν οδηγεί και σε stock-out κωδικών σε αυτά, καθώς οι παραγγελίες προέρχονται από τα ίδια τα καταστήματα και εμπεριέχουν πάντοτε ένα σφάλμα θετικής προκατάληψης.
- Η βελτιστοποίηση όλων των υπόλοιπων δεικτών για τους κωδικούς της γραμμής X κινείται πάνω από το 30%, με αποκορύφωμα το διάστημα 120 ημερών που ξεπερνούν το 40%. Αυτή η βελτιστοποίηση έχει αντίκτυπο στο σύνολο της αποθήκης άνω του 20%, με το διάστημα των 120 ημερών να εμφανίζει βελτίωση της τάξης του 25%-30%. Ειδικά για τον δείκτη του κόστους, η εξοικονόμηση αποθεματικού κυμαίνεται από 6,8 εκ. € έως 8,5 εκ. €, ποσά που έως τώρα δεσμεύονταν για την απόκτηση πλεονάζοντος αποθέματος, και τα οποία τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες λειτουργίες και επενδύσεις της επιχείρησης.

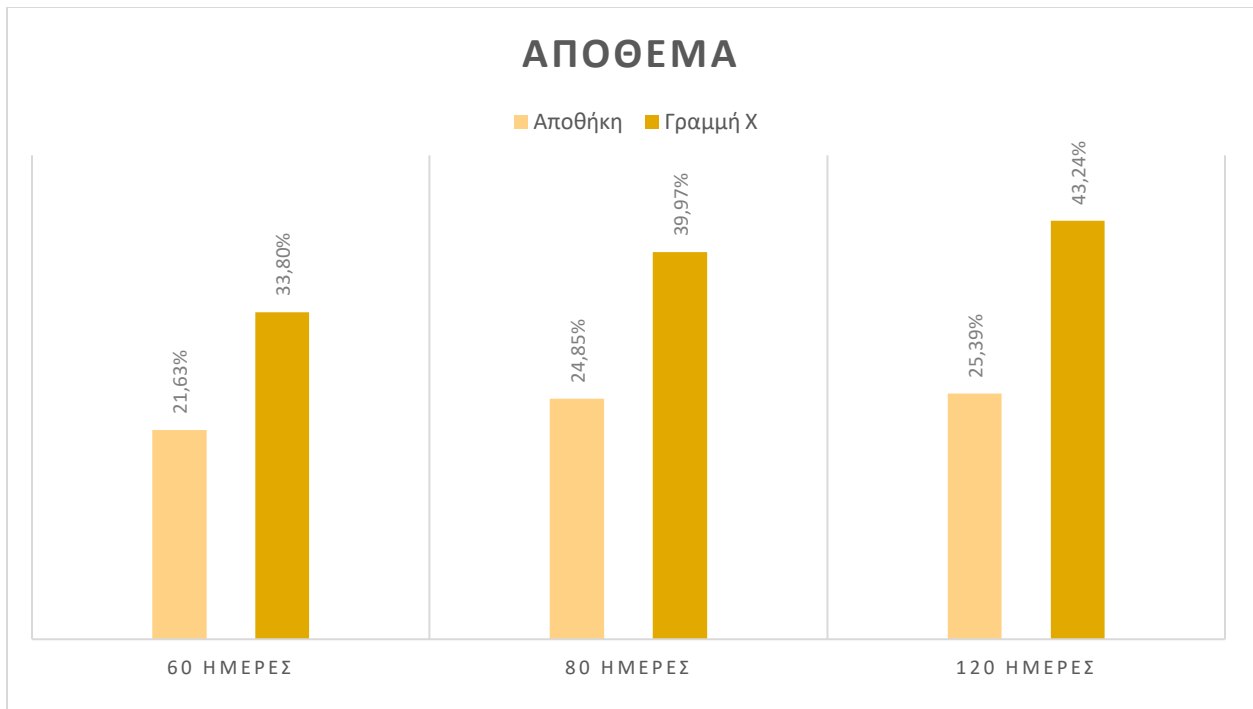
- Μία επιπλέον παράμετρος εξοικονόμησης, η οποία δεν έχει υπολογιστεί στον δείκτη του κόστους, είναι το έμμεσο οικονομικό όφελος, το οποίο προκύπτει από την σημαντικότερη μείωση των απαιτούμενων αποθηκομηρών. Με τη μείωση του διαστήματος παραμονής των κωδικών στην αποθήκη δεν απαιτείται πλέον η καταστροφή ή επιστροφή προϊόντων στους προμηθευτές λόγω επικείμενης λήξης ή αλλοίωσής τους, διακοπής της προσφοράς τους ή γενικότερης απόσυρσής τους.
- Επιπρόσθετα, με τη σημαντική μείωση του συνολικού αποθέματος στην αποθήκη, της τάξεως των 3 εκατομμυρίων τεμαχίων, έχουμε άλλο ένα σημαντικό οικονομικό όφελος για την επιχείρηση, καθώς για τη διαχείρισή τους απαιτείται λιγότερος χώρος, λιγότερο εργατικό δυναμικό, και λιγότερα δρομολόγια των προμηθευτών προς την αποθήκη.
- Παρατηρούμε, επίσης, ότι οι περισσότεροι δείκτες εμφανίζουν θετικότερο πρόσημο στο διάστημα των 120 ημερών, καθώς μεγαλώνει το όφελος ανάλογα με τις ημέρες που επεξεργάζεται ο κάθε κωδικός. Αυτό είναι συνέπεια λαθών που έχουν γίνει από την χειροκίνητη διαδικασία, με αποτέλεσμα να υπάρχουν υπερβολικά μεγάλα αποθέματα για κάποιους κωδικούς, τα οποία αργούν να πωληθούν ώστε να ξεκινήσει η πραγματική βελτιστοποίηση των κωδικών αυτών. Έτσι, τα αποτελέσματα είναι εμφανή στα μεγαλύτερα διαστήματα της προσομοίωσης.
- Τέλος, παρατηρούμε ότι, σε αντίθεση με την παραπάνω παρατήρηση, ο δείκτης του κόστους εμφανίζει μέγιστη απόδοση στο διάστημα των 80 ημερών. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, παρότι το κόστος που εξήγαγε η προσομοίωση και στα δύο διαστήματα ήταν σταθερό, το πραγματικό κόστος αυξήθηκε στο διάστημα των 80 ημερών, πιθανώς λόγω των λαθών που αναφέρθηκαν και παραπάνω, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μεγαλύτερο ποσοστό βελτιστοποίησης.



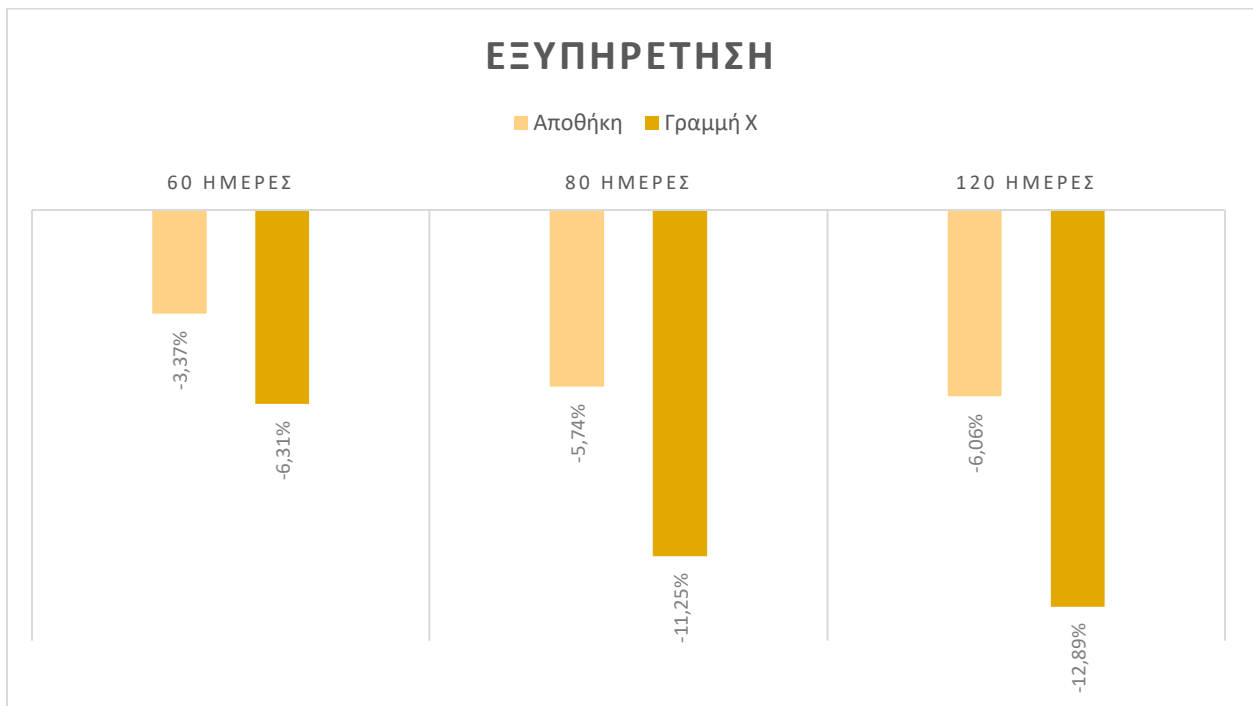
Εικόνα 11 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για το σύνολο της αποθήκης



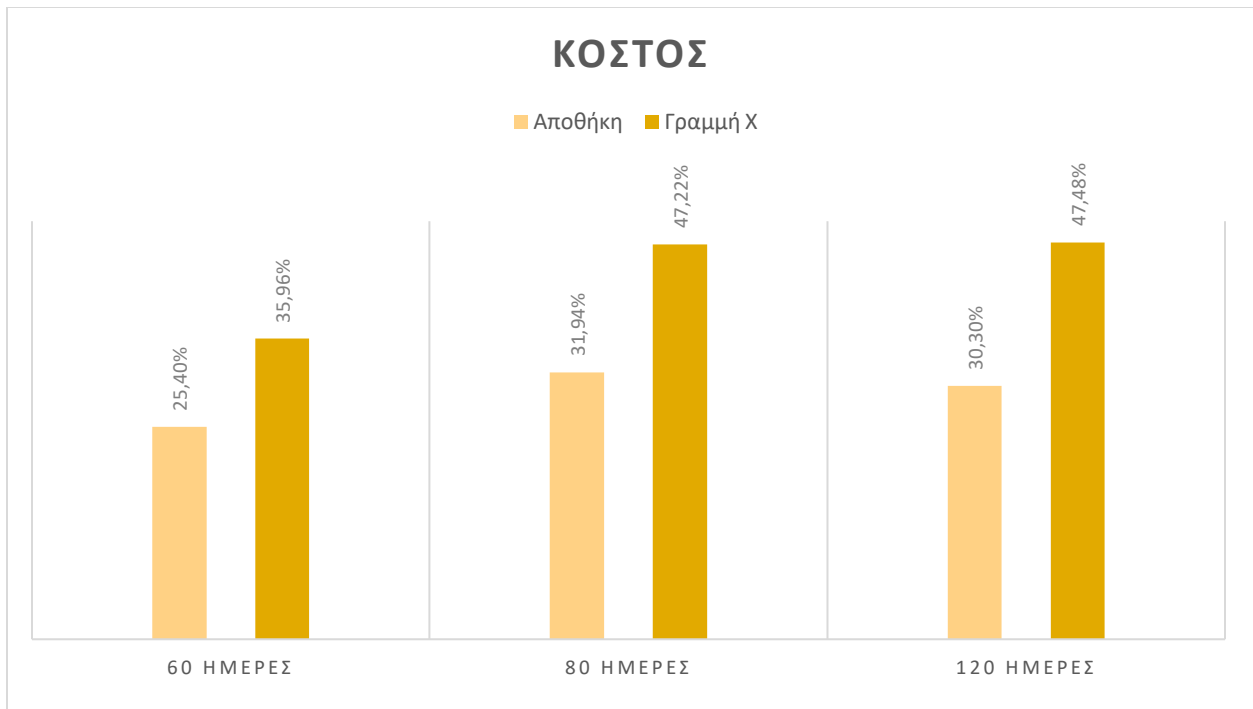
Εικόνα 12 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για το σύνολο των κωδικών της γραμμής Χ



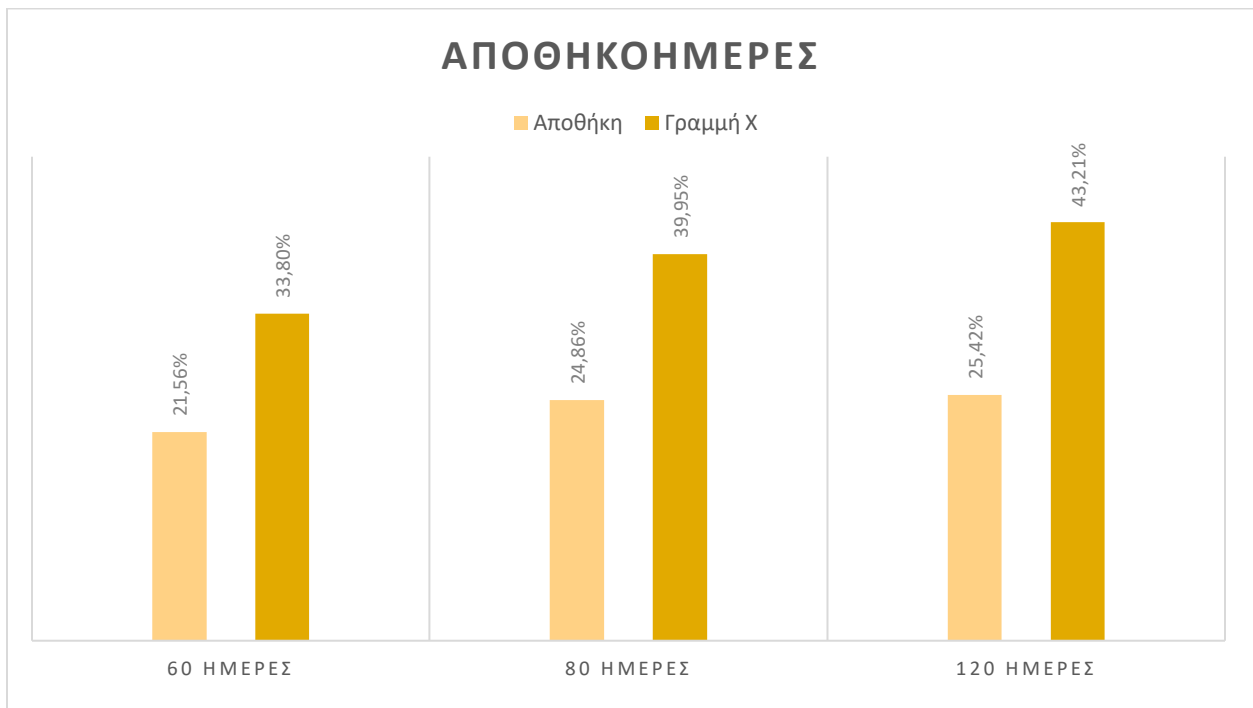
Εικόνα 13 Γραφική απεικόνιση του δείκτη αποθέματος



Εικόνα 14 Γραφική απεικόνιση του δείκτη εξυπηρέτησης



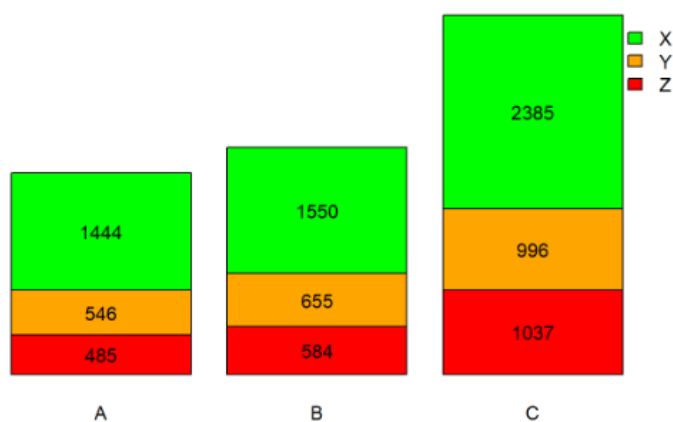
Εικόνα 15 Γραφική απεικόνιση του δείκτη κόστους



Εικόνα 16 Γραφική απεικόνιση του δείκτη αποθηκοημερών

Εκτός από τις παραπάνω αναφορές και τα αποτελέσματα, έχουμε δύο ακόμη τύπους εξόδου του συστήματος. Ο πρώτος τύπος είναι μια αναλυτική αναφορά με στοιχεία όμοια με τα παραπάνω, τα οποία ομαδοποιούνται ανά προμηθευτή, ανά οικογένεια προϊόντος και ανά προϊόν. Δείγμα αυτής της αναλυτικής αναφοράς παρατίθεται στις παρακάτω εικόνες. Καθώς τα δεδομένα αποτελούν κρίσιμες πληροφορίες για την επιχειρησιακή λειτουργία και στρατηγική, δεν είναι δυνατόν να επισυναφθεί το σύνολο της αναφοράς.

Τέλος, εκτός από την επιτελική και αναλυτική αναφορά, μία ακόμη έξοδος του συστήματος αποτελεί ένα αναλυτικό αρχείο με το σύνολο των κωδικών της αποθήκης συνοδευόμενο με την αντίστοιχη ποσότητα προς παραγγελία. Το αρχείο αυτό αποστέλλεται απευθείας στο ERP της επιχείρησης για να δρομολογηθούν οι παραγγελίες προς τους προμηθευτές.



Zone	Products		Inventory (SKU)			Service Ratio (%)		Cost (euro)		Inventory Days	
			Demand	Suggestion	Actual	Suggestion	Actual	Suggestion	Actual	Suggestion	Actual
C	2119	Value	21,720.61	335,073.10	434,342.46	0.81	0.74	1,176,837	1,471,522.07	15.43	20.00
		Change		(99,269.36)	22.86%	(0.07%)	10.10%	(294,685)	20.03%	(4.57)	22.86%
D	1862	Value	73,865.62	1,159,103.4	1,556,921.23	0.84	0.74	2,938,037.4	3,686,774.91	15.69	21.08
		Change		(397,817.8)	25.55%	(0.09%)	12.55%	(748,737.6)	20.31%	(5.39)	25.55%
F	448	Value	22,202.04	264,662.69	311,278.62	0.78	0.73	858,682.5	978,926.93	11.92	14.02
		Change		(46,615.93)	14.98%	(0.05%)	6.44%	(120,244.4)	12.28%	(2.10)	14.98%

Εικόνα 17 Δείγμα αναλυτικής αναφοράς ανά οικογένεια προϊόντων

Supplier	Products		Demand	Inventory (SKU)		Service Ratio (%)		Cost (euro)		Inventory Days	
				Suggestion	Actual	Suggestion	Actual	Suggestion	Actual	Suggestion	Actual
0200	10	Value	8.53	987.7	987.7	0.58	0.58	1,992.46	1,992.46	115.86	115.86
		Change		(0.0)	0.0%	(0.00%)	0.00%	(0.00)	0.00%	(0.00)	0.00%
0295	3	Value	1.29	49.75	49.75	0.98	0.98	1,188.49	1,188.49	38.64	38.64
		Change		(0.00)	0.00%	(0.00%)	0.00%	(0.00)	0.00%	(0.00)	0.00%
0312	4	Value	1.52	644.9	644.9	0.5	0.5	4,462.52	4,462.52	422.89	422.89
		Change		(0.0)	0.0%	(0.0%)	0.0%	(0.00)	0.00%	(0.00)	0.00%
0324	4	Value	576.5	9,224.98	10,594.06	0.83	0.75	840.4	981.00	16.00	18.38
		Change		(1,369.08)	12.92%	(0.08%)	10.68%	(140.6)	14.33%	(2.37)	12.92%
0369	3	Value	5.21	1,312.44	1,312.44	0.95	0.95	3,281.09	3,281.09	251.79	251.79
		Change		(0.00)	0.00%	(0.00%)	0.00%	(0.00)	0.00%	(0.00)	0.00%
0427	1	Value	2.77	94.84	94.84	1	1	398.32	398.32	34.18	34.18
		Change		(0.00)	0.00%	(0%)	0%	(0.00)	0.00%	(0.00)	0.00%

Εικόνα 18 Δείγμα αναλυτικής αναφοράς ανά προμηθευτή

7. Επίλογος

Όπως έχουμε τονίσει στην συγκεκριμένη διπλωματική, η διατήρηση του αποθέματος καθώς και η σωστή πρόβλεψη αυτού είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του λιανεμπορίου και θα μπορούσα να πούμε ότι είναι και το στοιχείο εκείνο που διαχωρίζει τις κερδοφόρες από της ζημιολύγες επιχειρήσεις. Είναι λοιπόν σημαντικό τεχνικές στατιστικών προβλέψεων να ενσωματωθούν σε όλα τα συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων και στα συστήματα διαχείρισης αποθηκών ώστε να βελτιστοποιήσουν της διαδικασίες της επιχείρησης και ως εκ τούτου και τη λειτουργία της.

Στην παρούσα διπλωματική, έγινε μια καταγραφή του συγκεκριμένου προβλήματος, των βασικών ορισμών για τις κατηγορίες αποθεμάτων και τους τρόπους διαχείρισης των αποθεμάτων στις επιχειρήσεις. Επιπλέον έγινε αναλυτική καταγραφή των τεχνικών προβλέψεων καθώς και συστημάτων προβλέψεων καθώς και συστημάτων διαχείρισης επιχειρησιακών λειτουργιών. Τέλος έγινε μια μελέτη περίπτωσης για τη πρόβλεψη και διαχείριση των αποθεμάτων σε μια αλυσίδα supermarket της οποίας τα αποτελέσματα έδειξαν τη βελτίωση στην εφοδιαστική της αλυσίδα και στα κεφάλαιά της με τη χρήση τεχνικών προβλέψεων στη διαδικασία διαχείρισης των αποθεμάτων της.

Στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας είναι αδύνατο, τόσο χρονικά όσο και λόγω της περιορισμένης πρόσβασης στα εταιρικά ευαίσθητα δεδομένα, να εξεταστούν όλες οι πτυχές του προβλήματος και να δοθεί μια ολοκληρωμένη λύση η οποία καλύπτει το σύνολο των επιμέρους θεμάτων στη διαχείριση αποθεμάτων. Κατά την υλοποίηση της εργασίας εντοπίστηκαν τα παρακάτω θέματα τα οποία θεωρούμε ότι χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και θα μπορέσουν να βελτιώσουν τα συνολικά αποτελέσματα.

7.1. Μελλοντικές προεκτάσεις

Με στόχο τη διευκόλυνση του αναγνώστη και του ερευνητή ο οποίος πιθανώς να θελήσει να επεκτείνει την συγκεκριμένη έρευνα, θεωρήσαμε κρίσιμο να διαχωριστούν οι μελλοντικές προεκτάσεις της εργασίας σε τρεις πυλώνες, ανάλογα με το περιεχόμενό τους.

Ο πρώτος πυλώνας των προεκτάσεων αφορά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τις μεθόδους οι οποίες εφαρμόστηκαν σε αυτά. Όπως έχουμε αναφέρει οι προβλέψεις έχουν βασιστεί στις χρονοσειρές ζήτησης προϊόντων από τα σημεία εξυπηρέτησης. Σε αυτές τις χρονοσειρές έχει ήδη συμπεριληφθεί ο ανθρώπινος παράγοντας καθώς τα δεδομένα δεν προέρχονται από τις πραγματικές πωλήσεις του κάθε καταστήματος αλλά από τις ζητήσεις για την αναπλήρωση των συγκεκριμένων πωλήσεων. Όπως είναι κατανοητό οι πωλήσεις και οι ζητήσεις δεν είναι απαραίτητα το ίδιο τελικό μέγεθος καθώς ο κάθε υπεύθυνος καταστήματος μπορεί να βάλει την προσωπική του κρίση καθώς μπορεί να επηρεαστεί από τις εξωτερικές συνθήκες και το περιβάλλον (αργίες, εποχιακή ζήτηση, κλπ.). Για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα θα πρέπει να αφαιρεθεί, τουλάχιστον από τα αρχικά πρωτογενή δεδομένα, και θα πρέπει να προστεθεί σε επόμενο βήμα πιθανά με την υλοποίηση κάποιου μηχανισμού κριτικών προβλέψεων (Judgmental Forecasting). Τα πρωτογενή δεδομένα θα πρέπει να είναι οι καθημερινές πωλήσεις ανά κωδικό ανά κατάστημα ώστε αυτά να μπορούν να επεξεργαστούν στατιστικά με το σύνολο των μεθόδων που διαθέτουμε.

Έχοντας τα δεδομένα πωλήσεων ανά κατάστημα, θα είναι εύκολο να υλοποιηθούν και τεχνικές Top-Down, Bottom-Up οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων ειδικά σε προϊόντα με πολλαπλούς κωδικούς συσκευασιών (π.χ. αναψυκτικά). Επιπλέον, έχει ήδη αναφερθεί ότι στα πλαίσια της διπλωματικής έχουν χρησιμοποιηθεί στατιστικές τεχνικές προβλέψεων οι οποίες όμως δεν είναι απαραίτητο ότι δίνουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Θεωρούμε ότι μια επέκταση της εργασίας θα ήταν η εφαρμογή και άλλων τεχνικών προβλέψεων όπως τα νευρωνικά δίκτυα και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης ώστε να γίνει και η σύγκρισή τους με τις κλασσικές τεχνικές.

Επεκτάσεις της συγκεκριμένης διπλωματικής θα πρέπει να αναζητηθούν και σε μια δεύτερη κατηγορία, η οποία αποτελεί την ενσωμάτωση της γνώσης και των πληροφοριών του εξωτερικού περιβάλλοντος και την ενσωμάτωση δεδομένων από τρίτες πηγές. Εκτός από τα δεδομένα πωλήσεων τα οποία χρησιμοποιήσαμε και μπορούν σε όλες τις περιπτώσεις να ποσοτικοποιηθούν, υπάρχουν και άλλα δεδομένα τα οποία τις περισσότερες φορές είναι πληροφορίες και είναι περιγραφικά δεδομένα.

Περιγραφικά δεδομένα μπορεί να προέρχονται τόσο από το εσωτερικό της επιχείρησης όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον. Τα δεδομένα που προέρχονται από το εσωτερικό της

επιχείρησης είναι πιο απλό τόσο στο να συλλεχθούν όσο και να ποσοτικοποιηθεί η επίδρασή τους στα τελικά αποτελέσματα. Τέτοια δεδομένα μπορεί να είναι προωθητικές ενέργειες, οι οποίες μπορεί να γίνονται για συγκεκριμένους κωδικούς προϊόντων και να διαρκούν για λίγες ημέρες (π.χ. τηλεοπτικές διαφημίσεις) ή για μεγαλύτερη ομάδα προϊόντων (π.χ. προωθητικό φυλλάδιο) και να διαρκούν για περισσότερες μέρες ή ακόμα και για εβδομάδες. Επιπλέον, δεδομένα από το εσωτερικό της επιχείρησης μπορούν να αποτελέσουν προωθητικές ενέργειες από την πλευρά των προμηθευτών (π.χ. προσφορές τύπου «1+1» ή έκπτωτικά κουπόνια) ή ακόμα και ειδικές συμφωνίες οι οποίες μπορούν να αλλάζουν την τιμή ή την έκπτωση των προϊόντων ανάλογα με το ύψος της παραγγελίας ή το συνολικό όγκο του τζίρου.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και δεδομένα τα οποία είναι μεν περιγραφικά αλλά δεν προέρχονται από το εσωτερικό της επιχείρησης αλλά από το περιβάλλον δραστηριοποίησής της. Τέτοια δεδομένα θα πρέπει να συλλέγονται, να αναλύονται και η επίδρασή τους να καταγράφεται, ώστε να μπορεί να ενσωματωθεί σε αντίστοιχες μελλοντικές περιπτώσεις. Περιγραφικά δεδομένα τα οποία επηρεάζουν τις πωλήσεις των σημείων εξυπηρέτησης μπορούν να αφορούν ανταγωνιστικές εταιρείες (π.χ. προσφορές σε συγκεκριμένους κωδικούς), δεδομένα του γενικού οικονομικού περιβάλλοντος (π.χ. έκτακτη κρίση, έκτακτη ζήτηση συγκεκριμένου προϊόντος, κλπ.) ή ακόμα και αναφορές, οι οποίες μπορούν να έχουν θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο στη ζήτηση, για συγκεκριμένα προϊόντα ή ομάδες προϊόντων από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης ή στα social media από ομάδες ανθρώπων.

Τέλος, η τελευταία κατηγορία προεκτάσεων της συγκεκριμένης εργασίας, έχει να κάνει με τα ζητούμενα αποτελέσματα. Όπως έχουμε αναφέρει, στόχος της διπλωματικής ήταν η πρόβλεψη της ζήτησης ανά κωδικό προϊόντος και η αντίστοιχη παραγγελία στον προμηθευτή. Μια προέκταση θα μπορούσε να είναι, η επίτευξη του μέγιστου ποσοστού εξυπηρέτησης, δηλαδή πρόβλεψης της ζήτησης και εξυπηρέτησής της, όχι σε επίπεδο προϊόντος αλλά σε επίπεδο κατηγορίας προϊόντων. Για να επιτευχθεί το παραπάνω θα πρέπει να γίνει μια ομαδοποίηση των προϊόντων και να σχηματιστούν ιεραρχίες προϊόντων και οικογένειες ομοειδών κωδικών.

8. Βιβλιογραφία

- Armstrong, J. S. (2001a). "Evaluating forecasting methods", In: J. S. Armstrong (Ed.), Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners, Boston, MA: Kluwer Academic Publishing, pp. 443 – 472.
- Armstrong, J. S. (2001b). "Combining forecasts", In: J. S. Armstrong (Ed.), Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners, Boston, MA: Kluwer Academic Publishing, pp. 417 – 439.
- Assimakopoulos, V. and Mentzas, G. (1994), "An architecture for intelligence assistance in the forecasting process", Proceedings of the International Symposium on Forecasting, June.
- Assimakopoulos, V. (1995) "A Successive Filtering Technique for identifying long-term trends", Journal of Forecasting, Vol. 14, pp. 35-43.
- Assimakopoulos, V. and Nikolopoulos, N. (2000) "The theta model: a decomposition approach to forecasting", International Journal of Forecasting, Vol. 16, No. 4, pp. 521-530.
- Axsäter, S. (2006) "Inventory control". 2nd ed., New York: Springer Science + Business Media.
- Brownlie, D.T. (1992), "The role of technology forecasting and planning: formulating business strategy", Industrial Management & Data Systems, Vol. 92 No. 2.
- Chatfield, C. (1988) "Apples, Oranges and Mean Square Error", International Journal of Forecasting, Vol. 4, pp. 515-518.
- Chung Chen and Lon-Mu Liu. (1993) "Joint Estimation of Model Parameters and Outlier Effects in Time Series", Journal of the American Statistical Association, 88(421):284- 297.
- Clemen, R.T. (1989) "Combining forecasts: A review and annotated biography (with discussion)" International Journal of Forecasting, Vol. 5, pp. 559-583.
- De Gooijer, J. G. and Hyndman, R. J. (2006) "25 years of time series forecasting", International Journal of Forecasting, Vol. 22, pp. 443-473.
- Eom, S.B. (1999), "Decision support systems research: current state and trends", Industrial Management & Data Systems, Vol. 99 No. 5.
- Essays, UK. (November 2018). "Advantages and Disadvantages of Inventory Management Systems". Retrieved from <https://www.ukessays.com/essays/management/approaches-to-inventory-management-and-re-ordering.php?vref=1>
- Fildes, R. and Beard, C. (1992), "Forecasting systems for production and inventory control", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 12 No. 5.
- Fildes, R., Goowin, P., Lawrence, M. and Nikolopoulos, K. (2009) "Effective forecasting and judgmental adjustments: an empirical evaluation and strategies for improvement in supply-chain planning", International Journal of Forecasting, Vol. 25, pp. 3-23.

- Forecttheta: forecasting time series by theta models. JA Fiorucci, F Louzada, B Yiqi. R package version 2, 2016
- Gardner, E.S. (1985) "Exponential Smoothing: The State of the Art" *Journal of Forecasting*, Vol. 4, pp. 1-28.
- Gardner, Jr. E. S., Jr., & McKenzie, E. (1985). Forecasting trends in time series. *Management Science*, 31, 1237-1246.
- Gardner, E.S. (2006) "Exponential Smoothing: The State of the Art – Part II", *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 637-666.
- Goodwin, P. and Lawton, R. (1999) "On the asymmetry of the symmetric MAPE", *International Journal of Forecasting*, Vol. 15, pp. 405-408.
- Gottinger, H.W. and Weinmann, P. (1992), "Intelligent decision support systems", *Decision Support Systems*, Vol. 8 No. 4, pp. 317-32.
- Holt, C. C. (1957). "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted averages". O. N. R. Memorandum 52/1957. Pittsburgh: Carnegie Institute of Technology. Reprinted with discussion in 2004. *International Journal of Forecasting*, 20, 5-13.
- Hyndman, R.J. and Khandakar, Y (2008) "Automatic time series forecasting: the forecast package for R", *Journal of Statistical Software* 27(3)
- Hyndman, R.J. and Koehler, A.B. (2006) "Another look at measures of forecast accuracy", *International Journal of Forecasting*, Vol. 22, pp. 679-688.
- Klaus, Helmut & Rosemann, Michael & Gable, Guy. (2000). "What is erp?". *Information Systems Frontiers*. 2. 141-162.
- Makridakis, S. (1993) "Accuracy measures - theoretical and practical concerns", *International Journal of Forecasting*, Vol. 9, pp. 527-529.
- Makridakis, S. (1996) "Forecasting: its role and value for planning and strategy", *International Journal of Forecasting*, Vol. 12, pp. 513-537.
- Makridakis, S. and Hibon, M. (2000) "The M3-Competition: Results, conclusions and implications", *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, No. 4, pp. 451-476.
- Metrics: An R package for common supervised machine learning metrics. Hamner & Frasco, 2017
- Nikolopoulos, K. and Assimakopoulos, V. (2003) "Theta Intelligent Forecasting Information System", *Industrial Management and Data Systems*, Vol.103, No.9, pp.711-726
- Nikolopoulos, K., Assimakopoulos, V., Bougioukos, N. and Petropoulos F. (2008) "Advances in Theta model", Working Paper No. 0023, University of Peloponnese, Department of Economics.
- Nikolopoulos K., Syntetos A., Boylan J., Petropoulos F., and Assimakopoulos V. (2011) "An Aggregate - Disaggregate Intermittent Demand Approach (ADIDA) to Forecasting: An Empirical Proposition and Analysis", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 62, pp. 544-554

- Pagourtzi, E., Makridakis, S., Assimakopoulos, V. and Litsa, A. (2008) "The advanced Forecasting Information System PYTHIA: an application in Real Estate time series", *Journal of European Real Estate Research*, Vol. 1, No. 2, pp. 114-138.
- Petropoulos, Fotios and Kourentzes, Nikos (2015) "Forecast combinations for intermittent demand", *Journal of the Operational Research Society*, 66 (6). pp. 914-924.
- Tashman L. J. (2000) "Out-of-sample tests of forecasting accuracy: an analysis and review", *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, No. 4, pp. 437-450.
- Toelle, R. A & Tersine, R. J. A (1984) "Optimum Stock Levels for Excess inventory items", *Journal of Operations Management*, 4(3), pp. 245-258.
- Wright, D.J., Capon, G., Page, R., Quiroga, J., Taseen, A.A. and Tomasini, F. (1986) "Evaluation of forecasting methods for decision support", *International Journal of Forecasting*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–153.
- Yokum, J. T. and Armstrong, J. S. (1995) "Beyond accuracy: Comparison of criteria used to select forecasting methods", *International Journal of Forecasting*, Vol. 11, pp. 591-597.
- Βλάχος, Δ. (2005) «Διαχείριση αποθεμάτων, Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση Αποθεμάτων και Διανομή Προϊόντων». Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Παππής, Κ. (1999). «Εισαγωγή στη Διοικητική Επιχειρήσεων και Οργανισμών». Διδακτικό υλικό
στο μάθημα Διοίκηση Παραγωγής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Κεραμύδας, Χ. (2012). «ABC ανάλυση, Προβλέψεις και Μοντέλα Διαχείρισης Αποθεμάτων». Σεμινάριο "Business Logistics". Θεσσαλονίκη: 7 - 11 Μαΐου.

Βιβλία – Διπλωματικές Εργασίες

- Hadley, G. and Whitin, T. (1963) *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., and Hyndman, R.J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications* (3rd ed.), New York: John Wiley and Sons
- Makridakis, S., Hogarth R. and Gaba A. (2010). *Dance with Chance: Making Luck Work for You*, Oneworld Publications
- Ιωάννου Γεώργιος (2005) «Διοίκηση παραγωγής και υπηρεσιών». Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα
- Ζαφειρίου Γεώργιος & Τύπας Γεώργιος (2011) «Χρηματοοικονομική Λογιστική». ΥΠΕΠΘ, Αθήνα
- Παππής, Κ. (2006). *Προγραμματισμός Παραγωγής* (2^η έκδοση). Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, Αθήνα

- Πετρόπουλος Φ., Ασημακόπουλος Β., (2011). «Επιχειρησιακές Προβλέψεις». Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Γιανέλλος Κ., (2004). «Πληροφοριακό Σύστημα Υποστήριξης Κριτικών Επεμβάσεων Σε Στατιστικές Προβλέψεις».
- Γρηγοριάδης Α., (2004). «Πληροφοριακό Σύστημα Διοίκησης του ΥΜΕ - Πιλοτική Εφαρμογή».
- Πετρίδου, Κ. (2014). «Ποσοτική ανάλυση συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων στη Δ.Ε.Θ. – HELEXPO Α.Ε.».
- Θεοδοσίου, Δ. (2008). «Μελέτη της οργάνωσης και ανάλυση μεθοδολογίας για την πρόβλεψη ζήτησης προϊόντων στον συνεταιρισμό φαρμακοποιών Περίας».
- Κασάι, Γ. (2017). «Διαχείριση αποθεμάτων από τον προμηθευτή (VMI) και μείωση του φαινομένου του μαστιγίου (Bullwhipeffect)».
- Κτενάς, Γ. (2015). «Διαχείριση αποθεμάτων».
- Μπερμπέρης, Α. (2010). Συστήματα αποθήκης και ελέγχου αποθεμάτων. Επισκόπηση της περιοχής διαχείρισης αποθεμάτων, μελέτη και περιγραφή των μαθηματικών τεχνικών, ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης με την βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης SIMUL8».
- Νταγολούδη, Α. (2009). «Συστήματα Διαχείρισης Αποθεμάτων Case Study "Δόμηση Ρόδου"».
- Ντζιαχρήστος, Κ. (2018). «Διαχείριση παραγγελιών αγορών στο χονδρεμπόριο βιβλίου».
- Σκιαδά, Φ., Ράπτης, Α. (2013). «ForeDroid: Ανάπτυξη Εφαρμογής Προβλέψεων Χρονοσειρών για Φορητές Συσκευές».
- Σταματόπουλος, Α. (2018). «Ο ρόλος και η εφαρμογή σύγχρονων συστημάτων διαχείρισης στόλου και κέντρων διανομής».