



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΧΩΡΟΥ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΠΟ
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ**

ΔΡΑΓΑΤΙΔΗ ΑΣΠΑΣΙΑ-ΘΑΛΕΙΑ

A.M.: 2018050132

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΑΓΓΕΛΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΧΑΝΙΑ ΚΡΗΤΗΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2025

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία ασχολείται με τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων μέσω μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων. Χρησιμοποιείται η προσέγγιση state-space models για τη μοντελοποίηση του συστήματος και εφαρμόζονται τεχνικές βελτιστοποίησης για την εξεύρεση της βέλτιστης στρατηγικής παραγγελιών. Επιπλέον, αναλύονται διάφορα σενάρια ζήτησης (αισιόδοξα και μη), και τα αποτελέσματα αξιολογούνται μέσω δεικτών όπως το shortage και το profit. Η σύγκριση των σεναρίων γίνεται με το Pareto diagram, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τη βέλτιστη λήψη αποφάσεων στη διαχείριση αποθεμάτων.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο σε αυτήν την προσπάθεια. Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Νικόλαο Διαγγελάκη, για την ανεκτίμητη βοήθειά του, την καθοδήγησή του και τον χρόνο που αφιέρωσε για την υλοποίηση της εργασίας μου. Επίσης, εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στην οικογένειά μου και στους φίλους μου, που με υποστήριζαν και με ενθάρρυναν αδιάκοπα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου· η επιτυχία αυτή δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συμβολή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.9
Κεφάλαιο 1-Χρονοδρομολόγηση Συστημάτων (Sceduling).....	σελ.11
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	σελ.11
1.1 Εισαγωγή στην Αλληλουχία και την Χρονοδρομολόγηση.....	σελ.12
1.2 Θεωρία Χρονοδρομολόγησης.....	σελ.13
1.3 Λειτουργία Χρονοδρομολόγησης σε μια Επιχείρηση.....	σελ.15
1.3.1 Χρονοδρομολόγηση στη Βιομηχανία.....	σελ.16
1.3.2 Χρονοδρομολόγηση στις Υπηρεσίες.....	σελ.18
1.4 Χρονοδρομολόγηση δικτύων State-Task (STN).....	σελ.19
1.5 Προβλήματα και μοντέλα χρονοδρομολόγησης παραγωγής.....	σελ.21
1.6 Μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων χρονοδρομολόγησης στην πράξη.....	σελ.23
1.6.1 Χρονοδρομολόγηση προβλημάτων στην πράξη.....	σελ.24
1.7 Μια προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα (rolling horizon).....	σελ.28
1.7.1 Εισαγωγή στην μέθοδο του κυλιόμενου ορίζοντα.....	σελ.29
1.7.2 Ελεγκτής μείωσης ορίζοντα (recending horizon control).....	σελ.32
Κεφάλαιο 2- Πρόβλεψη της Ζήτησης.....	σελ.35
2.1 Γενικά για τις προβλέψεις.....	σελ.35
2.2 Μέθοδοι προβλέψεων.....	σελ.37
2.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι.....	σελ.38
2.2.1.1 Γνωμάτευση Στελεχών ή απλή κριτική πρόβλεψη.....	σελ.38
2.2.1.2 Έρευνα Αγοράς.....	σελ.39
2.2.1.3 Μέθοδος των Δελφών (μέθοδος επιτροπών).....	σελ.40
2.2.1.4 Μέθοδος Σεναρίων.....	σελ.40
2.2.1.5 Μέθοδος Grass roots.....	σελ.41
2.2.1.6 Μέθοδος ιστορικής αναλογίας.....	σελ.41
2.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι.....	σελ.42

2.2.2.1 Απλός κινητός μέσος όρος.....σελ.43	σελ.43
2.2.2.2 Σταθμισμένος κινητός μέσος όρος.....σελ.44	σελ.44
2.2.2.3 Εκθετική εξομάλυνση.....σελ.45	σελ.45
2.2.2.3.1 Εκθετική εξομάλυνση με τάση.....σελ.46	σελ.46
2.2.2.3.2 Εκθετική εξομάλυνση με εποχικότητα.....σελ.48	σελ.48
2.2.2.3.3 Εκθετική εξομάλυνση με τάση & εποχικότητα.....σελ.50	σελ.50
2.2.2.4 Διάσπαση χρονοσειρών.....σελ.51	σελ.51
2.2.2.5 Αιτιακές μέθοδοι.....σελ.54	σελ.54
2.2.2.5.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση.....σελ.55	σελ.55
2.2.3 Κριτικές μέθοδοι.....σελ.55	σελ.55
2.2.4 Τεχνολογικές μέθοδοι.....σελ.56	σελ.56
2.3 Αξιολόγηση/Επιλογή κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης.....σελ.56	σελ.56
2.3.1 Σφάλματα Πρόβλεψης.....σελ.56	σελ.56
2.4 Συνδυασμοί μεθόδων πρόβλεψης.....σελ.61	σελ.61
Κεφάλαιο 3- Αποθέματα.....σελ.62	σελ.62
3.1 Εισαγωγή-Ορισμός Αποθεμάτων.....σελ.62	σελ.62
3.1.2 Σκοπός αποθεμάτων.....σελ.63	σελ.63
3.1.3 Βασικοί Τύποι Αποθεμάτων.....σελ.65	σελ.65
3.1.3.1 Αποθέματα συνεχόμενης ροής (in-transit inventories).....σελ.66	σελ.66
3.1.3.2 Αποθέματα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας (cyclical inventories)σελ.66	σελ.66
3.1.3.3 Αποθέματα ασφαλείας (safety stocks).....σελ.67	σελ.67
3.1.3.4 Ανεξάρτητα αποθέματα διαφόρων σταδίων (decoupling inventories).σελ.67	σελ.67
3.1.3.5 Εποχικά αποθέματα (seasonal inventories).....σελ.68	σελ.68
3.1.3.6 Αποθέματα υψηλής απόδοσης κερδοφορίας (speculative inventories)σελ.68	σελ.68
3.1.3.7 Νεκρό απόθεμα (dead inventories).....σελ.69	σελ.69
3.1.3.8 Άλλοι τύποι Αποθεμάτων.....σελ.69	σελ.69
3.1.4 Στοιχεία Κόστους Αποθεμάτων.....σελ.70	σελ.70
3.1.5 Δείκτες Αποθεμάτων.....σελ.72	σελ.72
3.1.5.1 Δείκτης λόγου ανακύκλωσης αποθέματος.....σελ.72	σελ.72
3.1.5.2 Δείκτης αριθμού ημερών ζήτησης σε απόθεμα.....σελ.73	σελ.73
3.2 Διαχείριση Αποθεμάτων.....σελ.73	σελ.73
3.2.1 Πρόβλημα Διαχείρισης Αποθεμάτων.....σελ.74	σελ.74

3.2.2	Σημασία Διαχείρισης Αποθεμάτων.....σελ.	75
3.2.3	Συστήματα Διαχείρισης Αποθεμάτων.....σελ.	75
3.2.3.1	Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας.....σελ.	76
3.2.3.2	Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας.....σελ.	77
3.2.3.3	Μικτό σύστημα επιλεκτικής αναπλήρωσης.....σελ.	78
3.2.3.4	Σύστημα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας (ΟΠΠ).....σελ.	78
3.2.3.5	Σύστημα προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών (MRP).....σελ.	80
3.2.3.6	Σύστημα Just in Time (JIT).....σελ.	80
3.2.4	ABC Ταξινόμηση.....σελ.	81
3.3	Στόχοι και Συστατικά της στρατηγικής των logistics.....σελ.	82
3.3.1	Προσφερόμενες Υπηρεσίες των logistics.....σελ.	85
3.3.1.1	Εξυπηρέτηση πελατών.....σελ.	85
3.3.1.2	Χρόνος ολοκλήρωσης παραγγελίας.....σελ.	86
3.4	Σύστημα Αποθήκευσης και Διαχείρισης Υλικών.....σελ.	86
3.4.1	Λειτουργίες Αποθήκευσης.....σελ.	86
3.4.2	Εναλλακτικές Αποθήκευσης.....σελ.	88
3.4.3	Διαχείριση Υλικών.....σελ.	89
3.5	Ορισμός εφοδιαστικής αλυσίδας και Βασικές αρχές.....σελ.	91
3.5.1	Διεργασίες εφοδιαστικής αλυσίδας.....σελ.	93
3.5.2	Πλεονεκτήματα της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας.....σελ.	95
3.6	Μέθοδοι μείωσης παραγγελιών.....σελ.	96
3.6.1	Χρονική τοποθέτηση παραγγελίας.....σελ.	97
Κεφάλαιο 4- Προγραμματισμός σεναρίων/ Ερευνητικό Μέρος.....σελ.		100
4.1	Γενικά.....σελ.	100
4.2	Μέθοδοι Διαχείρισης της Αβεβαιότητας.....σελ.	100
4.2.1	Στοχαστική δύο σταδίων (Two-stage stochastic).....σελ.	102
4.2.2	State-space αναπαράσταση γραμμικών συστημάτων.....σελ.	106
4.3	Pyomo- Μοντελοποίηση βελτιστοποίησης στην Python.....σελ.	107
Κεφάλαιο 5- Αποτελέσματα και Συμπεράσματα.....σελ.		109
5.1	Δεδομένα.....σελ.	109
5.2	Πρακτικό Υπόβαθρο.....σελ.	110
5.2.1	Ένα παράδειγμα από την μηχανική διεργασιών.....σελ.	110
5.2.2	Μορφή Προβλήματος.....σελ.	111

5.2.2.1 Συνάρτηση $h_j(x)$σελ.113	σελ.113
5.2.2.2 Περιορισμοί προβλήματος.....σελ.113	σελ.113
5.2.3 Εύρεση συνολικού κέρδους.....σελ.114	σελ.114
5.3 Αποτελέσματα.....σελ.115	σελ.115
5.4 Συμπεράσματα.....σελ.140	σελ.140
Κεφάλαιο 6- Μελλοντικές Προεκτάσεις.....σελ. 143	σελ. 143
Βιβλιογραφία.....σελ.145	σελ.145

Λίστα Εικόνων

ΕΙΚΟΝΕΣ

<u>Εικόνα 1.1:</u> Διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα παραγωγής.....σελ.18	σελ.18
<u>Εικόνα 1.2:</u> Διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα υπηρεσιών.....σελ.19	σελ.19
<u>Εικόνα 1.3:</u> Δίκτυο state-task για την διαδικασία του παραδείγματος.....σελ.20	σελ.20
<u>Εικόνα 1.4.1:</u> Μία συνάρτηση κυρώσεων στην πράξη.....σελ.26	σελ.26
<u>Εικόνα 1.4.2:</u> Συναρτήσεις πυκνότητας στην πράξη.....σελ.28	σελ.28
<u>Εικόνα 1.5:</u> Σχηματική αναπαράσταση της βελτιστοποίησης του κυλιόμενου ορίζοντα από χρόνο t σε χρόνο $t + 1$σελ.32	σελ.32
<u>Εικόνα 2.1:</u> Στάδια εφαρμογής της πρόβλεψης.....σελ.35	σελ.35
<u>Εικόνα 2.2:</u> Αναπαράσταση σεναρίων πρόβλεψης σε αναλογία με το παρόν και το μέλλον.....σελ.41	σελ.41
<u>Εικόνα 2.3:</u> Μοντέλο χρονοσειρών.....σελ.52	σελ.52
<u>Εικόνα 3.1:</u> Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας.....σελ.76	σελ.76
<u>Εικόνα 3.2:</u> Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας.....σελ.77	σελ.77
<u>Εικόνα 3.3:</u> Σύστημα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας.....σελ.80	σελ.80
<u>Εικόνα 3.4:</u> ABC Analysis.....σελ.82	σελ.82
<u>Εικόνα 3.5:</u> Ένα σύστημα διαχείρισης Logistics.....σελ.82	σελ.82
<u>Εικόνα 3.6:</u> Τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας.....σελ.91	σελ.91
<u>Εικόνα 3.7:</u> Υποδιεργασίες σε κάθε κύκλο διαδικασίας της εφοδιαστικής αλυσίδας.....σελ.93	σελ.93
<u>Εικόνα 4.1:</u> Απεικόνιση στοχαστικού προγραμματισμού δύο σταδίων.....σελ.102	σελ.102
<u>Εικόνα 5.1:</u> Αναπαράσταση εισροών-εκροών σε μία δεξαμενή.....σελ.110	σελ.110

Λίστα Πινάκων

<u>Πίνακας 1:</u> Χαρακτηριστικά Προϊόντων.....σελ.109	σελ.109
<u>Πίνακας 2:</u> Μηνιαία Ζήτηση Προϊόντων.....σελ.109	σελ.109
<u>Πίνακας 3:</u> Πίνακας Πρόβλεψης Ζήτησης και Υπολογισμού Εύρους Διακύμανσης.....σελ.116	σελ.116
<u>Πίνακας 4:</u> Συνολικό αποτέλεσμα τιμών για shortages & profits ανά σενάριο.....σελ.141	σελ.141

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει την σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισης των αποθεμάτων μιας επιχείρησης μέσω της πρόβλεψης της ζήτησης. Η διαχείριση αποθεμάτων αποτελεί μία από τις πλέον κρίσιμες αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν από μια επιχείρηση, καθώς πρέπει να ισορροπήσει τη διατήρηση υψηλών αποθεμάτων με τον κίνδυνο έλλειψης, και συνεπώς την ανεπαρκή εξυπηρέτηση των πελατών. Η υπέρ-αποθεματοποίηση απαιτεί τη δέσμευση υψηλού κεφαλαίου το οποίο συνεπάγεται υπερβολικά κόστη, ενώ η έλλειψη αποθεμάτων δημιουργεί κινδύνους και επιπλέον κόστη.

Στη διαχείριση των αποθεμάτων καθορίζεται το "πότε" και το "πόση" ποσότητα πρέπει να προμηθευτεί η επιχείρηση προκειμένου να διασφαλίσει την απαιτούμενη εξυπηρέτηση των πελατών της, δηλαδή να ικανοποιεί την τρέχουσα ζήτηση μέσω της προσφοράς των προϊόντων της. Αυτός ο τομέας θεωρείται κρίσιμο "κομμάτι" της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς αντιμετωπίζεται ως επένδυση μέχρις ότου το προϊόν πωληθεί ή χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή. Παράλληλα, αυξάνει το κόστος για αποθήκευση, ασφάλιση και συντήρηση. Ως εκ τούτου, καθίσταται σαφές ότι η αναποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα για μια επιχείρηση. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ενδελεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος των αποθεμάτων.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα γίνει μια αναφορά στην λειτουργία του προγραμματισμού, και στη συνέχεια, με βάση αυτή, θα επεξεργαστούν και θα εφαρμοστούν στην πράξη, χρησιμοποιώντας δεδομένα από μία πραγματική εταιρεία. Αυτή η εταιρεία δραστηριοποιείται στον χώρο ανάπτυξης και παραγωγής προϊόντων λευκών ειδών (π.χ. πλυντήρια, ψυγεία κ.τλ.).

Στόχος αυτής της μελέτης είναι η λεπτομερής ανάλυση της βελτιστοποίησης συστημάτων που χαρακτηρίζονται από μερική αβεβαιότητα σε ένα χρονικό συνεχές, το οποίο χρησιμοποιείται για τη λήψη αποφάσεων σε θέματα που σχετίζονται άμεσα με τη διαχείριση των αποθεμάτων.

Η δομή της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει 6 κεφάλαια. Στην αρχή του κάθε κεφαλαίου γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του αντικειμένου που διερευνάται σε καθένα από αυτά.

Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο του προγραμματισμού καθώς και οι τρόποι λειτουργίας του που, στη συνέχεια, θα αναλυθούν στην πράξη χρησιμοποιώντας δεδομένα από το πραγματικό περιβάλλον.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται μερικές από τις σημαντικότερες τεχνικές πρόβλεψης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στην έννοια και τη σημασία του αποθέματος στη λειτουργία μιας επιχείρησης, στα είδη αποθέματος, στα κόστη που αυτό ενέχει, καθώς και στο πρόβλημα διαχείρισης των αποθεμάτων που εμφανίζεται σε πολλές επιχειρήσεις σε οποιοδήποτε κλάδο δραστηριοποιούνται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, εφαρμόζεται μέσω προγραμματισμού η βελτιστοποίηση ενός συστήματος παραγωγής προϊόντων με τα πραγματικά δεδομένα που αντλήθηκαν από μία εταιρεία παραγωγής λευκών ειδών και συγκρίνεται το σύστημα που ακολουθήθηκε από την εταιρεία με το βέλτιστο οικονομικά και περιβαλλοντικά σύστημα, που βγάλαμε.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο επισημαίνεται η σημασία των προβλέψεων σε συνδυασμό με τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Κεφάλαιο 1

Χρονοδρομολόγηση Συστημάτων (Sceduling)

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Σήμερα, οι επιχειρήσεις βρίσκονται σε έντονο ανταγωνισμό που αυξάνεται ανελλιπώς. Επομένως, είναι απαραίτητο να παρακολουθούν με ιδιαίτερη προσοχή τη διαδικασία εφοδιασμού τους. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή των προμηθευτών, τις μεθόδους και τα μέσα που χρησιμοποιούν για τη διανομή προϊόντων στους πελάτες, καθώς και τον έλεγχο της ποιότητας των υπηρεσιών σε σχέση με τις ανάγκες των πελατών.

Η κύρια στρατηγική είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και η ταυτόχρονη μεγιστοποίηση του κέρδους. Για να το επιτύχουν αυτό, επικεντρώνονται στην ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων και διαδικασιών για τη μείωση του κόστους διαχείρισης αποθεμάτων, είτε πρόκειται για προϊόντα είτε για πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Σύγχρονες επιχειρήσεις επεκτείνουν τις στρατηγικές τους πέρα από τη μείωση του κόστους λειτουργίας και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων τους. Αυτές περιλαμβάνουν την ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων παραγωγής, την αύξηση της παραγωγικής ικανότητάς τους και τη διεύρυνση της γκάμας των παραγωγικών διαδικασιών.

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, είναι αναγκαία η αποτελεσματική εφαρμογή κατάλληλων συστημάτων προγραμματισμού και ελέγχου παραγωγής (ΠΕΠ). Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος παραγωγής αναφέρονται στον υπολογισμό των ακριβών ποσοτήτων που πρέπει να παραχθούν και των ακριβών χρόνων παραγωγής. Ο έλεγχος αυτός προσδιορίζει τις κατάλληλες ποσότητες παραγγελίας για όλους τους τύπους προϊόντων που πωλούνται, καθώς και τα συστατικά εξαρτήματα και πρώτες ύλες που απαιτούνται για την παραγωγή τους. Επιπλέον, καθορίζει τον χρόνο έναρξης της παραγωγής προκειμένου να εξασφαλίσει την έγκαιρη παράδοση των παραγγελιών. Είναι προφανές ότι μια τόσο ακριβής διαδικασία είναι δύσκολο να επιτευχθεί με ανθρώπινους υπολογισμούς, και ακόμα και αν γίνει, θα είναι χρονοβόρα και αντιοικονομική. Συνεπώς, το συμπέρασμα είναι ότι ο προγραμματισμός και ο έλεγχος παραγωγής πρέπει να γίνονται μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος που θα είναι πολύ πιο ακριβές και αποδοτικό από τον ανθρώπινο υπολογισμό.

1.1 Εισαγωγή στην Αλληλουχία και την Χρονοδρομολόγηση

Ένα πρόγραμμα αποτελεί ένα λεπτομερές σχέδιο ή έγγραφο που, συνήθως, προδιαγράφει πότε πρέπει να λάβουν χώρα διάφορα γεγονότα. Παρέχει ένα χρονολόγιο για τις διάφορες δραστηριότητες. Ωστόσο, μια εξίσου χρήσιμη προσέγγιση είναι να εξετάζουμε τη σειρά των γεγονότων αντί για τον χρόνο. Συνεπώς, το ερώτημα "πότε" μπορεί να απαντηθεί είτε με πληροφορίες σχετικά με το χρονικό πλαίσιο είτε με πληροφορίες σχετικά με τη σειρά των συμβάντων που προκύπτουν από το πρόγραμμα. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι ορισμένα γεγονότα είναι απρόβλεπτα, και, συνεπώς, είναι αναπόφευκτο να υπάρξουν αλλαγές σε ένα πρόγραμμα. Ωστόσο, η χρήση ενός χρονικού αντισταθμιστικού (ή χρονικού περιθωρίου ασφαλείας) μας βοηθά να αντιμετωπίσουμε την αβεβαιότητα. Αυτό το επιπλέον χρονικό αντισταθμιστικό μας επιτρέπει να προσαρμοζόμαστε σε απροσδόκητες αλλαγές, διατηρώντας παράλληλα το συνολικό σχέδιο στον στόχο του.

Τον προγραμματισμό, συνήθως, τον αντιλαμβανόμαστε ως τη διαδικασία της δημιουργίας ενός προγράμματος, αν και σπανίως σταματάμε να σκεφτούμε ποιες είναι οι λεπτομέρειες αυτής της διαδικασίας. Πράγματι, αν και εξετάζουμε το πρόγραμμα ως κάτι υλικό, η διαδικασία του προγραμματισμού φαίνεται αρκετά αόριστη μέχρι να την εξετάσουμε λεπτομερώς. Το πρόβλημα, κανονικά, το προσεγγίζουμε σε δύο βήματα: την ακολουθία και τον προγραμματισμό. Στο πρώτο βήμα, σχεδιάζουμε μια ακολουθία ή αποφασίζουμε πώς να επιλέξουμε την επόμενη εργασία. Στο δεύτερο βήμα, σχεδιάζουμε τον χρόνο έναρξης, και ίσως τον χρόνο ολοκλήρωσης, κάθε εργασίας. Ο καθορισμός του χρόνου ασφαλείας αποτελεί μέρος του δεύτερου βήματος.

Τα προβλήματα προγραμματισμού στη βιομηχανία ακολουθούν μία συγκεκριμένη δομή. Αρχικά, περιλαμβάνουν ένα σύνολο εργασιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν και έπειτα ένα σύνολο πόρων που είναι διαθέσιμοι για την εκτέλεση αυτών των εργασιών. Δεδομένων των εργασιών και των πόρων, μαζί με ορισμένες πληροφορίες σχετικά με την αβεβαιότητα, το γενικό πρόβλημα είναι να καθοριστεί ο χρόνος των εργασιών λαμβάνοντας υπόψη την δυνατότητα των πόρων. Αυτό το πρόβλημα συνήθως προκύπτει σε ένα ιεραρχικό σύστημα λήψης αποφάσεων όπου ο προγραμματισμός ακολουθεί μερικές πιο πρώιμες, βασικές αποφάσεις. Κατά τη διαδικασία προγραμματισμού, χρειαζόμαστε πληροφορίες για τον τύπο και το ποσό κάθε πόρου, ώστε να καθορίσουμε πότε μπορούν να πραγματοποιηθούν οι εργασίες με οποιοδήποτε δυνατό τρόπο. Όταν καθορίζουμε τους πόρους, ουσιαστικά καθορίζουμε το πλαίσιο του προβλήματος του προγραμματισμού. Επιπλέον, περιγράφουμε κάθε εργασία με διάφορους όρους όπως οι απαιτήσεις

των πόρων, η διάρκειά της καθώς και την ώρα έναρξης και ολοκλήρωσης της. Γενικά, η διάρκεια της εργασίας είναι αβέβαιη, αλλά πολλές φορές επιθυμούμε να περιορίσουμε αυτήν την αβεβαιότητα κατά τη διατύπωση του προβλήματος. Επίσης, θα πρέπει να περιγράψουμε τυχόν τεχνολογικούς περιορισμούς (προτεραιότητες) που υπάρχουν ανάμεσα στις εργασίες. Οι πληροφορίες σχετικά με πόρους και εργασίες καθορίζουν ένα πρόβλημα προγραμματισμού. Ωστόσο, η εύρεση μιας λύσης είναι συχνά μια αρκετά πολύπλοκη υπόθεση, και οι επίσημες προσεγγίσεις επίλυσης προβλημάτων είναι χρήσιμες.

Τα επίσημα μοντέλα μας βοηθούν πρώτα να κατανοήσουμε το πρόβλημα του προγραμματισμού και μετά να βρούμε μια καλή λύση. Για παράδειγμα, ένα από τα πιο απλά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα, και επομένως αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε στην συγκεκριμένη εργασία, είναι η βελτιστοποίηση με τη χρήση της Pythοn και συγκεκριμένα του Pyomo. Το Pyomo είναι ένα πακέτο λογισμικού ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στην Pythοn που υποστηρίζει ένα ποικίλο σύνολο δυνατοτήτων βελτιστοποίησης για τη διαμόρφωση, την επίλυση και ανάλυση μοντέλων βελτιστοποίησης. Μια βασική ικανότητα της Pyomo είναι η μοντελοποίηση εφαρμογών δομημένης βελτιστοποίησης. Το Pyomo μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ορισμό γενικών συμβολικών προβλημάτων, τη δημιουργία συγκεκριμένων περιπτώσεων προβλημάτων και την επίλυση αυτών των περιπτώσεων χρησιμοποιώντας εμπορικούς λύτες και λύτες ανοιχτού κώδικα.

1.2 Θεωρία Χρονοδρομολόγησης

Η θεωρία του προγραμματισμού ασχολείται κυρίως με μαθηματικά μοντέλα που σχετίζονται με τη διαδικασία του προγραμματισμού. Η ανάπτυξη χρήσιμων μοντέλων, που οδηγεί σε τεχνικές λύσεις και πρακτικές γνώσεις, αποτελεί τη διαρκή διασύνδεση μεταξύ θεωρίας και πράξης. Η θεωρητική προοπτική είναι κυρίως μια ποσοτική προσέγγιση, που προσπαθεί να αναλύσει τη δομή του προβλήματος μαθηματικά. Συγκεκριμένα, αυτή η ποσοτική προσέγγιση ξεκινά με την περιγραφή των πόρων και των εργασιών και τη μεταφορά των στόχων λήψης αποφάσεων σε έναν σαφή στόχο (σκοπό).

Ιδανικά, η συνάρτηση στόχου πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα κόστη που εξαρτώνται από τις αποφάσεις σχετικά με τον προγραμματισμό. Ωστόσο, στην πράξη, τέτοια κόστη είναι συχνά δύσκολο να μετρηθούν, ή ακόμα και να αναγνωριστούν πλήρως. Τα βασικά λειτουργικά κόστη - και τα πιο εύκολα αναγνωρίσιμα - καθορίζονται από τη λειτουργία του σχεδιασμού, ενώ τα κόστη που

σχετίζονται με τον προγραμματισμό είναι δύσκολο να απομονωθούν και συχνά τείνουν να φαίνονται σταθερά. Ωστόσο, φαίνεται ότι τρία είδη στόχων λήψης αποφάσεων είναι κυρίαρχα στον προγραμματισμό: ο *χρόνος περιστροφής*, η *εγκυρότητα* και η *απόδοση*. Ο *χρόνος περιστροφής* μετρά τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας εργασίας. Η *εγκυρότητα* μετρά τη συμμόρφωση της ολοκλήρωσης μιας συγκεκριμένης εργασίας προς έναν δεδομένο καταληκτικό χρόνο. Η *απόδοση* μετρά τον όγκο της εργασίας που ολοκληρώνεται κατά τη διάρκεια ενός σταθερού χρονικού διαστήματος. Οι δύο πρώτοι στόχοι χρειάζονται περαιτέρω εξήγηση. Αν και μπορούμε να αναφερθούμε στον χρόνο περιστροφής ή την εγκυρότητα για μια συγκεκριμένη εργασία, τα προβλήματα προγραμματισμού απαιτούν ένα μέτρο απόδοσης για το σύνολο των εργασιών σε ένα πρόγραμμα. Αντίθετα, η απόδοση είναι ήδη ένα μέτρο που ισχύει για το σύνολο.

Τα κυριότερα μοντέλα προγραμματισμού κατηγοριοποιούνται με βάση τη διαμόρφωση των πόρων και τη φύση των εργασιών. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει ένα μηχάνημα ή πολλές μηχανές. Εάν περιλαμβάνει ένα μηχάνημα, οι εργασίες είναι πιθανό να είναι μονοσταδιακές, ενώ τα μοντέλα πολλαπλών μηχανών συνήθως περιλαμβάνουν εργασίες με πολλαπλά στάδια. Σε κάθε περίπτωση, οι μηχανές μπορεί να είναι διαθέσιμες σε μονάδες ή παράλληλα. Επιπλέον, αν το σύνολο των εργασιών που είναι διαθέσιμες για προγραμματισμό δεν αλλάζει με τον χρόνο, το σύστημα ονομάζεται *στατικό*, αντίθετα με τις περιπτώσεις στις οποίες νέες εργασίες εμφανίζονται με τον χρόνο, το σύστημα ονομάζεται *δυναμικό*. Παραδοσιακά, τα στατικά μοντέλα έχουν αποδειχθεί πιο εφικτά από τα δυναμικά μοντέλα και έχουν μελετηθεί εκτενέστερα. Παρόλο που τα δυναμικά μοντέλα φαίνεται να είναι πιο σημαντικά για πρακτικές εφαρμογές, τα στατικά μοντέλα συχνά αιχμαλωτίζουν την ουσία των δυναμικών συστημάτων, και η ανάλυση των στατικών προβλημάτων αποκαλύπτει συχνά χρήσιμες εισηγήσεις και αξιόπιστες αρχές που είναι χρήσιμες σε δυναμικές καταστάσεις. Τέλος, όταν υποθέτουμε ότι οι συνθήκες είναι γνωστές με βεβαιότητα, το μοντέλο ονομάζεται *προσδιορισμένο*. Αντίθετα, όταν αναγνωρίζουμε την αβεβαιότητα με σαφείς πιθανολογικές κατανομές, το μοντέλο ονομάζεται *στοχαστικό*.

Συνηθίζονται δύο είδη περιορισμών εφεκτικότητας στα προβλήματα προγραμματισμού. Πρώτον, υπάρχουν όρια χωρητικότητας των μηχανημάτων, και δεύτερον, υπάρχουν τεχνολογικοί περιορισμοί στη σειρά με την οποία ορισμένες εργασίες μπορούν να εκτελεστούν. Μια λύση σε ένα πρόβλημα προγραμματισμού αποτελείται από μια εφικτή αντιμετώπιση αυτών των δύο ειδών περιορισμών, ώστε ουσιαστικά "η επίλυση" ενός προβλήματος προγραμματισμού αποτελεί απάντηση σε δύο είδη ερωτήσεων:

- **Ποιοι** πόροι θα πρέπει να διατεθούν για την εκτέλεση κάθε εργασίας;

- **Πότε** θα πρέπει να εκτελεστεί κάθε εργασία;

Με άλλα λόγια, ένα πρόβλημα προγραμματισμού περιλαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τη διάθεση των πόρων και την καθοριστική σειρά των εργασιών. Από την αρχή, η βιβλιογραφία πάνω στον προγραμματισμό βασίστηκε σε μαθηματικά μοντέλα για αυτά τα δύο είδη προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Σε πιο πρόσφατες εξελίξεις, που αναφέρονται ως ασφαλής προγραμματισμός, τα μοντέλα αναγνωρίζουν επίσης τα επίπεδα εξυπηρέτησης. Ο ασφαλής προγραμματισμός μπορεί επίσης να συμπεριλαμβάνει την απόφαση για την αποδοχή ή την απόρριψη μιας εργασίας από την αρχή, έτσι ώστε, όταν αναλαμβάνουμε δεσμεύσεις προς τους πελάτες, μπορούμε να είμαστε βέβαιοι ότι οι εργασίες τους θα ολοκληρωθούν εντός του επιτρεπόμενου χρόνου. Μια εναλλακτική προσέγγιση, για τον ασφαλή προγραμματισμό, ελαχιστοποιεί τον αναμενόμενο οικονομικό κόστος ενός προγράμματος, συμπεριλαμβανομένου του κόστους καθυστέρησης και του κόστους ασφαλούς χρόνου. Αντί να καθορίσει εκ των προτέρων ένα επίπεδο εξυπηρέτησης, αυτή η προσέγγιση καθορίζει τα οικονομικά επίπεδα εξυπηρέτησης ως μέρος της λύσης.

Παραδοσιακά, πολλά προβλήματα προγραμματισμού έχουν αντιμετωπιστεί ως προβλήματα βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς - συγκεκριμένα, προβλήματα κατανομής και σειράς. Μερικές φορές, ο προγραμματισμός αφορά αποκλειστικά την κατανομή (π.χ. επιλογή του μείγματος προϊόντων με περιορισμένους πόρους), και σε τέτοιες περιπτώσεις, μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού είναι συνήθως κατάλληλα για τον καθορισμό των βέλτιστων αποφάσεων. Άλλες φορές, ο προγραμματισμός επικεντρώνεται αποκλειστικά στην σειρά των εργασιών.

Η θεωρία του προγραμματισμού περιλαμβάνει επίσης διάφορες μεθοδολογίες. Πράγματι, το πεδίο του προγραμματισμού έχει γίνει επίκεντρο για την ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση συνδυαστικών διαδικασιών, τεχνικών προσομοίωσης και ευρηματικών προσεγγίσεων λύσης. Η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τη φύση του μοντέλου και την επιλογή της συνάρτησης στόχου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έχει νόημα να εξετάζονται εναλλακτικές τεχνικές. Για αυτόν τον λόγο, είναι σημαντικό να μελετούνται οι μεθοδολογίες καθώς και τα μοντέλα.

1.3 Λειτουργία Χρονοδρομολόγησης σε μια Επιχείρηση

Η λειτουργία του προγραμματισμού σε ένα σύστημα παραγωγής ή οργανισμού υπηρεσιών πρέπει να αλληλεπιδρά με πολλές άλλες λειτουργίες. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις εξαρτώνται από το σύστημα και μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από μια κατάσταση σε μια άλλη. Συχνά

πραγματοποιούνται μέσα σε ένα σύστημα πληροφορικής που καλύπτει ολόκληρη την επιχείρηση. Μια σύγχρονη εργοστασιακή μονάδα ή ένας οργανισμός υπηρεσιών συνήθως διαθέτει ένα πολύπλοκο σύστημα πληροφορικής που περιλαμβάνει έναν κεντρικό υπολογιστή και μια βάση δεδομένων. Τοπικά δίκτυα προσωπικών υπολογιστών, σταθμών εργασίας και τερματικών εισαγωγής δεδομένων, που συνδέονται με αυτόν τον κεντρικό υπολογιστή, μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε για την ανάκτηση δεδομένων από τη βάση δεδομένων είτε για την εισαγωγή νέων δεδομένων. Το λογισμικό που ελέγχει ένα τόσο πολύπλοκο σύστημα πληροφορικής αναφέρεται συνήθως ως Σύστημα Σχεδιασμού Επιχειρησιακών Πόρων (ERP). Ένα τέτοιο ERP σύστημα λειτουργεί ως αυτοκινητόδρομος πληροφοριών που διασχίζει την επιχείρηση και, σε όλα τα οργανωτικά επίπεδα, συνδέεται με συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.

Ο προγραμματισμός συχνά γίνεται διαδραστικά μέσω ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων που είναι εγκατεστημένο σε έναν προσωπικό υπολογιστή ή σταθμό εργασίας που συνδέεται με το σύστημα ERP. Τα τερματικά, σε σημαντικά σημεία που συνδέονται με το σύστημα ERP, μπορούν να παρέχουν σε τμήματα, σε όλη την επιχείρηση, πρόσβαση σε όλες τις τρέχουσες πληροφορίες προγραμματισμού. Αυτά τα τμήματα, από την πλευρά τους, μπορούν να παρέχουν στο σύστημα προγραμματισμού πληροφορίες ενημέρωσης σχετικά με την κατάσταση των εργασιών και των μηχανημάτων.

Υπάρχουν, φυσικά, περιβάλλοντα όπου η επικοινωνία μεταξύ της λειτουργίας του προγραμματισμού και άλλων φορέων λήψης αποφάσεων γίνονται σε συναντήσεις ή μέσω υπομνημάτων.

1.3.1 Χρονοδρομολόγηση στη Βιομηχανία

Για την κατάλληλη κατανόηση, θα πρέπει να σκεφτούμε το ακόλουθο γενικό περιβάλλον παραγωγής και τον ρόλο του προγραμματισμού σε αυτό. Οι παραγγελίες που εκδίδονται σε ένα περιβάλλον παραγωγής πρέπει να μεταφραστούν σε εργασίες με σχετικές ημερομηνίες παράδοσης. Αυτές οι εργασίες πρέπει συχνά να επεξεργαστούν στις μηχανές σε ένα κέντρο εργασίας με μια δεδομένη σειρά ή ακολουθία. Η επεξεργασία των εργασιών μπορεί να καθυστερήσει μερικές φορές εάν κάποιες μηχανές είναι απασχολημένες, και ενδέχεται να υπάρξουν προτεραιότητες όταν επείγουσες εργασίες φθάσουν σε αυτές. Απρόβλεπτα γεγονότα στο εργοστάσιο, όπως βλάβες μηχανημάτων ή μεγαλύτερους από το αναμενόμενο χρόνους επεξεργασίας, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη, καθώς μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στο πρόγραμμα. Σε ένα τέτοιο

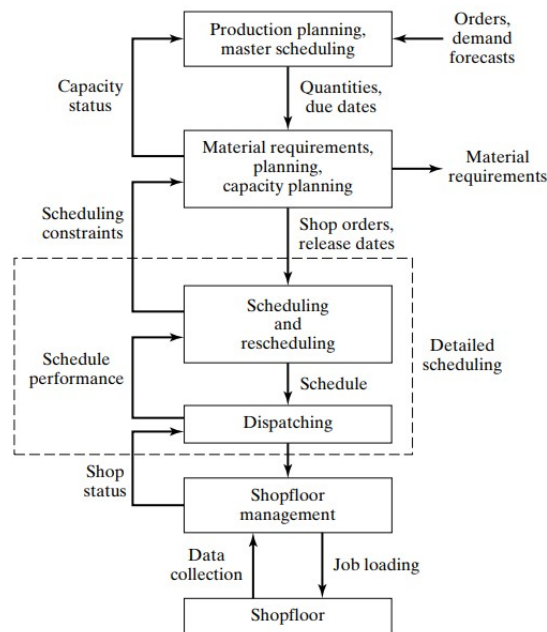
περιβάλλον, η ανάπτυξη λεπτομερούς προγράμματος εργασιών βοηθά στη διατήρηση της αποτελεσματικότητας και του έλεγχου των λειτουργιών.

Το εργοστάσιο δεν είναι το μόνο μέρος της οργάνωσης που επηρεάζει τη διαδικασία προγραμματισμού. Επηρεάζεται, επίσης, από τη διαδικασία παραγωγικού σχεδιασμού που ασχολείται με τον μεσοπρόθεσμο έως μακροπρόθεσμο σχεδιασμό για ολόκληρη την οργάνωση. Αυτή η διαδικασία προσπαθεί να βελτιστοποιήσει το συνολικό μείγμα προϊόντων της εταιρείας και την μακροπρόθεσμη διάθεση πόρων βασιζόμενη στα επίπεδα αποθεμάτων, τις προβλέψεις ζήτησης και τις ανάγκες πόρων. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το επίπεδο προγραμματισμού ενδέχεται να επηρεάσουν άμεσα τη διαδικασία αυτού.

Σε ένα περιβάλλον κατασκευής, η λειτουργία προγραμματισμού πρέπει να αλληλεπιδρά με άλλες λειτουργίες λήψης αποφάσεων. Ένα δημοφιλές σύστημα που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το Σύστημα Υπολογισμού Αναγκών Υλικών (Material Requirements Planning - MRP). Αφού έχει δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα, είναι αναγκαίο όλες οι πρώτες ύλες και οι πόροι να είναι διαθέσιμοι στους καθορισμένους χρόνους. Οι ημερομηνίες έναρξης όλων των εργασιών πρέπει να καθοριστούν κοινώς από το σύστημα παραγωγικού σχεδιασμού/προγραμματισμού και το σύστημα MRP.

Τα συστήματα MRP είναι συνήθως αρκετά περίπλοκα. Κάθε εργασία διαθέτει ένα Έντυπο Υλικών (Bill Of Materials - BOM) που καταγράφει τα αναγκαία αντικείμενα για την παραγωγή. Το σύστημα MRP παρακολουθεί το απόθεμα κάθε αντικειμένου και καθορίζει το χρονοδιάγραμμα των αγορών καθενός από τα υλικά. Κατά την εκτέλεση αυτού, χρησιμοποιεί τεχνικές όπως ορισμός και προγραμματισμός ποσότητας, παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται σε συστήματα προγραμματισμού. Υπάρχουν πολλά εμπορικά πακέτα λογισμικού MRP διαθέσιμα και, επομένως, υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις κατασκευής με συστήματα MRP. Στις περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση δεν διαθέτει ένα σύστημα προγραμματισμού, το σύστημα MRP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς σχεδιασμού παραγωγής. Ωστόσο, σε πολύπλοκα περιβάλλοντα, δεν είναι εύκολο για ένα σύστημα MRP να πραγματοποιήσει ικανοποιητικό αναλυτικό προγραμματισμό.

Στην παρακάτω *Εικόνα 1.1* απεικονίζεται ένα διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα παραγωγής.

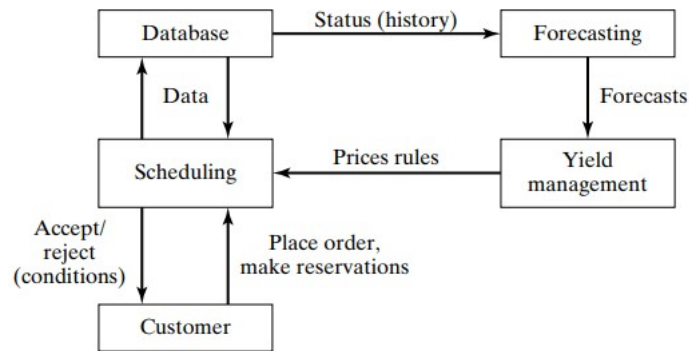


Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα παραγωγής
(Πηγή: Michael L. Pinedo Προγραμματισμός Θεωρία, Αλγόριθμοι και Συστήματα)

1.3.2 Χρονοδρομολόγηση στις Υπηρεσίες

Η περιγραφή μιας γενικής οργάνωσης υπηρεσιών και ενός τυπικού συστήματος προγραμματισμού δεν είναι τόσο εύκολη όσο η περιγραφή μιας γενικής οργάνωσης κατασκευής. Η λειτουργία του προγραμματισμού σε μια οργάνωση υπηρεσιών μπορεί να αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα. Ενδέχεται να πρέπει να ασχοληθεί με την κράτηση πόρων, όπως η εκχώρηση αεροσκαφών σε πύλες ή την κράτηση αιθουσών συνεδριάσεων ή άλλων εγκαταστάσεων. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι κατά καιρούς διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιούνται σε ρυθμίσεις κατασκευής. Ο προγραμματισμός σε ένα περιβάλλον υπηρεσιών πρέπει να συντονίζεται με άλλες λειτουργίες λήψης αποφάσεων, συνήθως εντός λεπτομερών συστημάτων πληροφοριών, με πολύ παρόμοιο τρόπο με τη λειτουργία προγραμματισμού σε ένα περιβάλλον κατασκευής. Αυτά τα συστήματα πληροφοριών στηρίζονται συνήθως σε εκτεταμένες βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν όλες τις σχετικές πληροφορίες όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των πόρων και των (πιθανών) πελατών. Το σύστημα προγραμματισμού αλληλεπιδρά συχνά με ενότητες πρόβλεψης και διαχείρισης αποδόσεων. Σε αντίθεση με τις ρυθμίσεις κατασκευής, συνήθως δεν υπάρχει σύστημα MRP σε ένα περιβάλλον υπηρεσιών.

Στην παρακάτω *Εικόνα 1.2* απεικονίζεται ένα διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα υπηρεσιών.



Εικόνα 1.2: Διάγραμμα ροής πληροφοριών σε ένα σύστημα υπηρεσιών

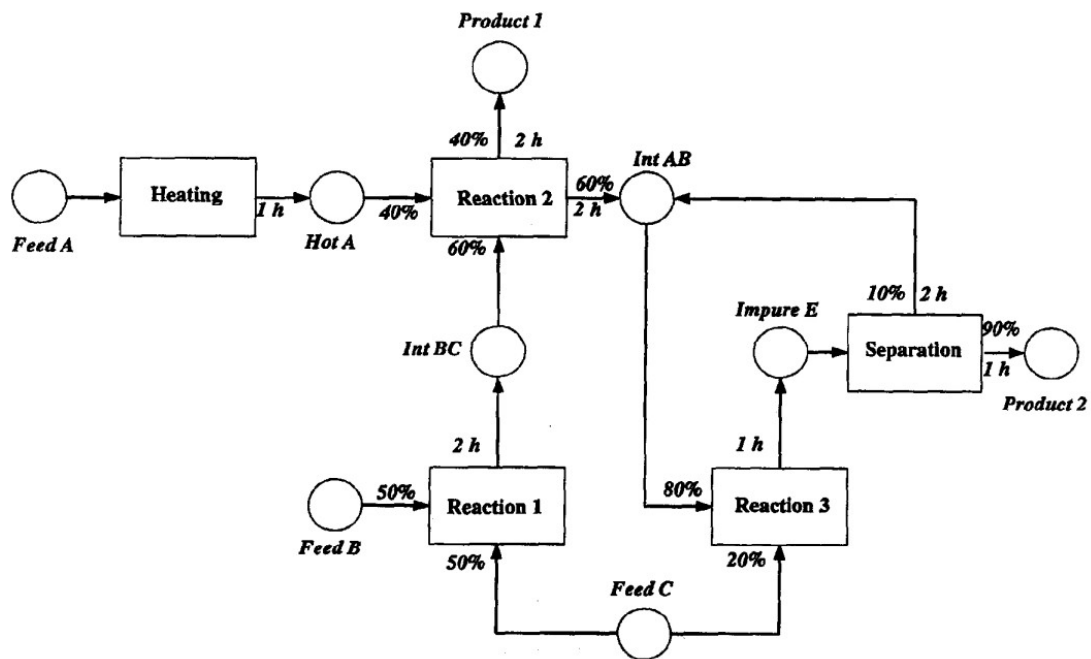
(Πηγή: Michael L. Pinedo Προγραμματισμός Θεωρία, Αλγόριθμοι και Συστήματα)

1.4 Χρονοδρομολόγηση δικτύων State-Task (STN)

Ένα δίκτυο state-task είναι μια γραφική αναπαράσταση των δραστηριοτήτων σε μια διαδικασία πολλαπλών προϊόντων παρτίδας. Η αναπαράσταση περιλαμβάνει τις ελάχιστες λεπτομέρειες που απαιτούνται για τον σύντομο χρονοπρογραμματισμό των λειτουργιών παρτίδας.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα καλά μελετημένο παράδειγμα το οποίο οφείλεται στην Kondili (1993):

Για τον καθορισμό των βέλτιστων χρονοδιαγραμμάτων για τις λειτουργίες παρτίδας, χρησιμοποιούμε ένα απλό μοντέλο για κάθε εργασία. Υποθέτουμε ότι κάθε εργασία λαμβάνει υλικό από τις καταστάσεις τροφοδοσίας σε σταθερές, εξ'αρχής γνωστές αναλογίες της ποσότητας της παρτίδας και ό,τι παράγει υλικό στις καταστάσεις εξόδου, επίσης σε σταθερές, γνωστές αναλογίες. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι οι χρόνοι επεξεργασίας, για κάθε προϊόν κάθε εργασίας, είναι ανεξάρτητοι από το μέγεθος της παρτίδας και γνωστοί. Ωστόσο, διάφορα προϊόντα μιας συγκεκριμένης εργασίας μπορεί να έχουν διάφορους χρόνους επεξεργασίας, προσθέτοντας μια λεπτομέρεια που είναι χρήσιμη. Για παράδειγμα, αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στη μοντελοποίηση των εργασιών παρασκευής παρτίδας που παράγουν διάφορα "κοψίματα" σε διάφορες χρονικές στιγμές. Το επόμενο παράδειγμα εξηγεί πώς δημιουργείται το δίκτυο State-Task (STN) για μια διαδικασία παρτίδας από τις πληροφορίες της συνταγής.



Εικόνα 1.3: Δίκτυο state-task για την διαδικασία του παραδείγματος

(Πηγή: E.Kondili – Ένας γενικός αλγόριθμος για βραχυπρόθεσμο προγραμματισμό λειτουργιών ανά παρτίδες)

Ανάλυση της Εικόνας 1.3:

Κάθε κυκλικός κόμβος στο διάγραμμα αναπαριστά υλικό σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, το οποίο συνήθως αποθηκεύεται σε κατάλληλα δοχεία με γνωστή χωρητικότητα. Τα σχετικά στοιχεία για κάθε κατάσταση περιλαμβάνουν το αρχικό απόθεμα, τη χωρητικότητα αποθήκευσης και τη μονάδα τιμής του υλικού σε αυτήν την κατάσταση. Για τα υλικά σε ενδιάμεσες καταστάσεις, οι τιμές ενδέχεται να φέρουν πρόστιμα για την ελαχιστοποίηση του όγκου των εκκρεμοτήτων εργασίας.

Οι ορθογώνιοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις εργασίες διεργασίας. Κατά τον προγραμματισμό για εκτέλεση, κάθε εργασία ανατίθεται σε κατάλληλο εξοπλισμό, ενώ μια παρτίδα υλικού ανατίθεται σύμφωνα με τις εισερχόμενες ακμές. Κάθε εισερχόμενη ακμή ξεκινά από μια κατάσταση όπου η σχετική ετικέτα υποδεικνύει το ποσοστό μάζας της παρτίδας που προέρχεται από αυτή την κατάσταση. Οι εξερχόμενες ακμές υποδεικνύουν τον προορισμό της παρτίδας του προϊόντος. Οι ετικέτες των εξερχομένων ακμών υποδεικνύουν το ποσοστό της παρτίδας που ανατίθεται σε κάθε προϊόν και τον απαιτούμενο χρόνο παραγωγής.

Στο διάγραμμα δεν περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των εργασιών. Γι' αυτό, υπάρχει ένας ξεχωριστός κατάλογος μονάδων διαδικασίας, όπου κάθε μονάδα χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητα και τη λίστα των εργασιών που εκτελεί.

Η αναπαράσταση της STN είναι κατάλληλη για δίκτυα όλων των τύπων εργασιών - συνεχούς, ημι-συνεχούς ή παρτίδας. Οι κανόνες που ακολουθούνται είναι:

1. Κάθε εργασία έχει όσες καταστάσεις εισόδου (εξόδου) όσες και οι διαφορετικοί τύποι εισόδου (εξόδου) του υλικού.
2. Δύο ή περισσότερα ρεύματα που εισέρχονται στην ίδια κατάσταση είναι απαραίτητα της ίδιας ποιότητας. Εάν στη διαδικασία εμπλέκεται η ανάμειξη διαφορετικών ρευμάτων, τότε αυτή η λειτουργία πρέπει να αποτελέσει ξεχωριστή εργασία.

Σημειώνεται ότι τα STN δεν απαιτούν απαραίτητα συνδεδεμένα γραφήματα. Πολλά προβλήματα προγραμματισμού μπορεί να αφορούν την παραγωγή πολλών προϊόντων που, ενώ είναι συνδεδεμένα με την κοινή χρήση πόρων, δεν μοιράζονται πρώτες ύλες ή ενδιάμεσα προϊόντα. Έτσι, το STN για τέτοιες διαδικασίες αποτελείται από απομονωμένα υπο-γραφήματα.

1.5 Προβλήματα και μοντέλα χρονοδρομολόγησης παραγωγής

Η αλυσίδα εφοδιασμού αποτελεί ένα σύνθετο σύστημα που περιλαμβάνει διάφορους παράγοντες και πτυχές. Στο πλαίσιο αυτό, η ροή των υλικών και η ροή των πληροφοριών αποτελούν θεμελιώδεις πτυχές ενώ τα υλικά διακινούνται από τους προμηθευτές έως τους τελικούς πελάτες, οι πληροφορίες, όπως οι απαιτήσεις και οι παραγγελίες, κινούνται από τους πελάτες προς τους προμηθευτές.

Οι αποφάσεις που λαμβάνονται για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού διακρίνονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες: *στρατηγικές*, *τακτικές* και *λειτουργικές*. Οι *στρατηγικές* αποφάσεις αναφέρονται σε μακροπρόθεσμες στρατηγικές προγραμματισμού, περιλαμβάνοντας τον καθορισμό της τοποθεσίας εγκαταστάσεων παραγωγής και αποθήκευσης, καθώς και των τεχνολογιών για επενδύσεις. Σε μεσοπρόθεσμο επίπεδο, οι *τακτικές* αποφάσεις περιλαμβάνουν την επιλογή συνεργατών όπως προμηθευτές υλικών και εταιρείες μεταφορών. Οι *λειτουργικές* αποφάσεις επικεντρώνονται στη βραχυπρόθεσμη βέλτιστη λειτουργία της αλυσίδας εφοδιασμού, περιλαμβάνοντας σχεδιασμό και

προγραμματισμό παραγωγικών εγκαταστάσεων, καθώς και αποφάσεις για τη διανομή, όπως η διαχείριση αποθεμάτων και πολιτικές παραγγελιών και αποστολών.

Οι σύγχρονες αλυσίδες εφοδιαστικής λειτουργούν σε πολλαπλές τοποθεσίες και προϊόντα όπου η σύνδεσή τους είναι στενή. Σε έναν ανταγωνιστικό οικονομικό περιβάλλον, η αμελητέα διαχείριση αυτών των αλληλεπιδράσεων μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένα κέρδη. Ένας κεντρικός συντονιστής που ελέγχει την αλυσίδα εφοδιαστικής μπορεί να λαμβάνει υπόψη αυτές τις αλληλεπιδράσεις και να παρέχει βέλτιστη λειτουργία. Ωστόσο, η κεντρική συντονισμένη διαχείριση δεν είναι πάντα εφικτή για μια αλυσίδα εφοδιαστικής, καθώς (i) διάφοροι κόμβοι μπορεί να ανήκουν σε διάφορες εταιρείες, (ii) ενδέχεται να υπάρχει σύγκρουση στόχων μεταξύ των κόμβων, (iii) η κοινοποίηση πληροφοριών ενδέχεται να μην είναι τέλεια και (iv) ένας κεντρικός λήπτης αποφάσεων αποτελεί τον πιο κρίσιμο κρίκο σε μια αλυσίδα εφοδιαστικής, με την αναποτελεσματικότητά του να έχει πιθανές καταστροφικές συνέπειες για την αλυσίδα. Επομένως, είναι απαραίτητες δομές κατανεμημένου συντονισμού για τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιαστικής.

Λεπτομερέστερα, ο σχεδιασμός μιας αλυσίδας εφοδιαστικής κατασκευής περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες, με τον προγραμματισμό παραγωγής να είναι μία εξ αυτών. Ο τρόπος που αλληλεπιδρά ο προγραμματισμός με άλλες λειτουργίες, σε συνδυασμό με τις σκέψεις για τη χωρητικότητα, καθορίζει τη φύση του προβλήματος προγραμματισμού. Η αλληλεπίδραση με τη ζήτηση και τον σχεδιασμό παραγωγής καθορίζει τον τύπο του προβλήματος προγραμματισμού που πρέπει να επιλυθεί (κυκλικός έναντι σύντομου χρονικού). Οι αποφάσεις στον προγραμματισμό εξαρτώνται από αποφάσεις που λαμβάνονται στον σχεδιασμό παραγωγής. Επιπλέον, οι περιορισμοί χωρητικότητας συχνά καθορίζουν τη λειτουργία στόχου (π.χ., μεγιστοποίηση ροής έναντι ελαχιστοποίησης κόστους). Τέλος, οι παράμετροι εισόδου στον προγραμματισμό (π.χ., διαθεσιμότητα πρώτων υλών) προέρχονται από άλλες λειτουργίες (Maravelias & Sung: 2009, Maravelias: 2012, Stadtler, 2005). Συνολικά, τα προβλήματα προγραμματισμού μπορούν να χωριστούν σε τριάδα $\alpha|\beta|\gamma$, όπου το α αναφέρεται στο περιβάλλον παραγωγής, το β αναφέρεται στα χαρακτηριστικά/περιορισμούς της επεξεργασίας, και το γ αναφέρεται στη συνάρτηση στόχου (Pinedo, 2008). Οι κύριες κατηγορίες περιβάλλοντος παραγωγής είναι *σειριακές*, *δικτυακές* και *υβριδικές* (Maravelias, 2012). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μπορεί να υπάρχουν διάφοροι τύποι επεξεργασίας στον ίδιο χώρο. Τα χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί της επεξεργασίας περιλαμβάνουν εργασίες προετοιμασίας, αλλαγές, χρονοδιαγράμματα αποστολής/ολοκλήρωσης, περιορισμούς αποθήκευσης, μεταφορές υλικού, κ.ά. Συνήθεις στόχοι περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του χρόνου κατασκευής, του κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της ροής

παραγωγής και την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης με βάρος. Οι προσεγγίσεις μοντελοποίησης για τον προγραμματισμό παραγωγής κατηγοριοποιούνται με βάση (Maravelias, 2012):

- α. τις αποφάσεις στον προγραμματισμό,
- β. τις οντότητες που χρησιμοποιούνται για την έκφραση του μοντέλου προγραμματισμού, και
- γ. τον τρόπο μοντελοποίησης του χρόνου.

Στην πιο γενική περίπτωση, ο προγραμματισμός περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες αποφάσεων: (i) διαμερισμός (πλήθος και μέγεθος των διαμερίσεων που απαιτούνται για να καλυφθεί η ζήτηση), (ii) ανάθεση των διαμερίσεων (ή εργασιών) σε μονάδες επεξεργασίας και (iii) σειρά και/ή χρονοδιακόπτηση (ο καθορισμός της σειράς και του χρόνου κατά τον οποίο οι διάφορες εργασίες ή δραστηριότητες πρέπει να εκτελεστούν) των διαμερίσεων (εργασιών) στις μονάδες επεξεργασίας. Εάν οι αποφάσεις διαμερισμού είναι σταθερές, τότε τα προβλήματα προγραμματισμού εκφράζονται με βάση τις διαμερίσεις (προσεγγίσεις με βάση τις διαμερίσεις). Εάν οι αποφάσεις διαμερισμού λαμβάνονται στο επίπεδο προγραμματισμού, τότε συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά και ποσότητες υλικού για τον σχηματισμό του μοντέλου προγραμματισμού (προσεγγίσεις με βάση το υλικό). Τέλος, η μοντελοποίηση του χρόνου περιλαμβάνει αποφάσεις σε τέσσερα επίπεδα: (i) επιλογή μεταξύ προσέγγισης βασισμένης σε προτεραιότητες και προσέγγισης βασισμένης σε πλέγματα, (ii) εάν είναι βασισμένη σε προτεραιότητες, επιλογή μεταξύ τοπικών και παγκόσμιων προτεραιοτήτων· εάν βασίζεται σε πλέγματα χρόνου, επιλογή μεταξύ κοινών και ειδικών πλεγμάτων, (iii) συγκεκριμένες υποθέσεις σχετικά με την προτεραιότητα μεταξύ δύο εργασιών και την αντιστοίχιση των εργασιών στον χρόνο και (iv) επιλογή μεταξύ διακριτού και συνεχούς αναπαράστασης του χρόνου (Maravelias, 2012).

1.6 Μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων χρονοδρομολόγησης στην πράξη

Τα ντετερμινιστικά μοντέλα έχουν οδηγήσει σε έναν αριθμό απλών κανόνων προτεραιότητας, καθώς και σε πολλές αλγοριθμικές τεχνικές και ευρετικές διαδικασίες. Τα αποτελέσματα για τα στοχαστικά μοντέλα οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι όσο περισσότερη “τυχασιότητα” υπάρχει σε ένα σύστημα, τόσο λιγότερο συμβουλεύεται να χρησιμοποιούνται πολύπλοκες τεχνικές βελτιστοποίησης. Ή, αντίστοιχα, όσο περισσότερη “τυχασιότητα” υφίσταται το σύστημα, τόσο απλούστεροι πρέπει να είναι οι κανόνες προγραμματισμού. Βέβαια, δεν είναι σαφές πώς όλη αυτή η γνώση μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικά προβλήματα προγραμματισμού. Τα τελευταία,

συνήθως, διαφέρουν σημαντικά από τα στυλιζαρισμένα μοντέλα που μελετούν οι ακαδημαϊκοί ερευνητές. Αυτό που θα αναλυθεί παρακάτω, επικεντρώνεται στις διαφορές μεταξύ των πραγματικών προβλημάτων και των θεωρητικών μοντέλων. Οι εφαρμογές που περιγράφονται αποδεικνύουν ότι οι κανόνες και οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν στον τομέα του προγραμματισμού μπορούν να είναι χρήσιμοι, αλλά πρέπει συχνά να ενσωματώνονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που λαμβάνει υπόψη όλες τις πτυχές του προβλήματος.

1.6.1 Χρονοδρομολόγηση προβλημάτων στην πράξη

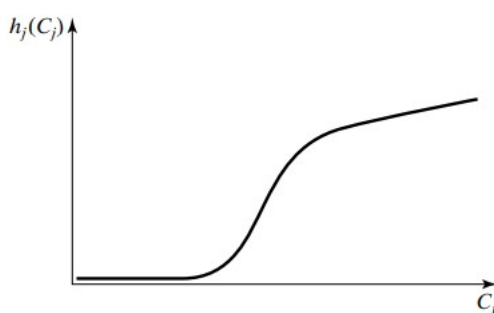
Στην πραγματικότητα τα προβλήματα του προγραμματισμού είναι συνήθως πολύ διαφορετικά από τα μαθηματικά μοντέλα που εξετάζονται από τους ερευνητές στο πεδίο της ακαδημαϊκής έρευνας. Όλες οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών προβλημάτων και των θεωρητικών μοντέλων δεν είναι εύκολο να αναφερθούν, καθώς κάθε πραγματικό πρόβλημα έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες κοινές διαφορές που είναι αξιόλογο να αναφερθούν:

- i. Τα θεωρητικά μοντέλα συνήθως υποθέτουν ότι υπάρχουν n εργασίες που πρέπει να προγραμματιστούν και ότι μετά τον προγραμματισμό αυτών των n εργασιών το πρόβλημα θεωρείται λυμένο. Στον πραγματικό κόσμο, μπορεί να υπάρχουν οποιαδήποτε στιγμή n εργασίες στο σύστημα, ενώ παράλληλα προστίθενται συνεχώς νέες εργασίες. Ο προγραμματισμός των τρεχουσών n εργασιών πρέπει να γίνει χωρίς την τέλεια γνώση του παρελθόντος. Επομένως, πρέπει να ληφθούν κάποιες προφυλάξεις προκειμένου να είμαστε προετοιμασμένοι για απρόβλεπτες καταστάσεις. Η δυναμική φύση του προβλήματος μπορεί, για παράδειγμα, να απαιτεί την ενσωμάτωση περιθωρίων χρόνου στο πρόγραμμα για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων καθυστερήσεων ή προβλημάτων μηχανημάτων.
- ii. Τα θεωρητικά μοντέλα συνήθως δεν δίνουν έμφαση στο πρόβλημα της αναδιάταξης. Στην πράξη, συχνά προκύπτει το εξής πρόβλημα: υπάρχει ένα πρόγραμμα, το οποίο καθορίστηκε νωρίτερα βάσει συγκεκριμένων υποθέσεων, και συμβαίνει ένα (απροσδόκητο) τυχαίο γεγονός που απαιτεί είτε σημαντικές είτε μικρές τροποποιήσεις στο υπάρχον πρόγραμμα. Η διαδικασία αναδιάταξης, ενίοτε αναφερόμενη ως αντιδραστικός προγραμματισμός, ενδέχεται να υπόκειται σε συγκεκριμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, ενδέχεται να επιθυμείτε η διατήρηση των αλλαγών στο υπάρχον πρόγραμμα σε ελάχιστο επίπεδο, ακόμη και αν δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί ένα βέλτιστο πρόγραμμα με αυτόν τον τρόπο. Αυτό

σημαίνει ότι είναι επικερδές να κατασκευάζονται προγράμματα που είναι κατά κάποιον τρόπο “ανθεκτικά”. Αυτό σημαίνει ότι η αναδιάταξη προκαλεί μόνο μικρές αλλαγές στο πρόγραμμα. Το αντίθετο της ανθεκτικότητας αναφέρεται συχνά ως “εύθραυστο”.

- iii. Τα περιβάλλοντα μηχανών στον πραγματικό κόσμο συχνά είναι πιο πολύπλοκα από εκείνα που έχουν εξεταστεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Οι περιορισμοί και οι περιορισμοί στην επεξεργασία, επίσης, μπορεί να είναι πιο περίπλοκοι, καθώς μπορεί να εξαρτώνται είτε από τη μηχανή, είτε από την εργασία, είτε από το χρόνο.
- iv. Στα μαθηματικά μοντέλα, υποθέτουμε ότι οι συντελεστές (προτεραιότητες) των εργασιών παραμένουν σταθεροί, δηλαδή δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο. Στην πράξη, ο συντελεστής μιας εργασίας συχνά διακυμαίνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου, με την πιθανότητα να είναι τυχαία συνάρτηση. Μια εργασία που έχει χαμηλή προτεραιότητα μπορεί απροσδόκητα να αποκτήσει υψηλή προτεραιότητα.
- v. Τα μαθηματικά μοντέλα συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη τις προτιμήσεις. Σε ένα μοντέλο, μια εργασία μπορεί είτε να εκτελεστεί είτε όχι σε μια συγκεκριμένη μηχανή. Αυτό σημαίνει ότι είτε μια εργασία μπορεί να προγραμματιστεί σε μια μηχανή (1), είτε όχι (0). Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί μία δυαδική πρόταση. Στην πραγματικότητα, αυτό που συχνά συμβαίνει είναι ότι μια εργασία μπορεί να προγραμματιστεί σε μια συγκεκριμένη μηχανή, αλλά για κάποιον λόγο υπάρχει προτίμηση να εκτελεστεί σε μια διαφορετική. Ο προγραμματισμός της στην πρώτη μηχανή θα γίνεται μόνο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και το οποίο μπορεί να συνεπάγεται επιπλέον κόστη.
- vi. Τα περισσότερα θεωρητικά μοντέλα συνήθως δεν λαμβάνουν υπόψη τους περιορισμούς σχετικά με τη διαθεσιμότητα των μηχανών. Συνήθως υποθέτουν ότι οι μηχανές είναι διαθέσιμες σε όλους τους χρόνους. Ωστόσο, αυτό δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους οι μηχανές ενδέχεται να μην είναι σε λειτουργία. Ορισμένοι από αυτούς τους λόγους βασίζονται σε έναν προσδιορισμένο διακριτικό διαδικαστικό, ενώ άλλοι σε έναν τυχαίο διαδικαστικό. Το πρόγραμμα βάρδιας της εγκατάστασης μπορεί να ορίζει ότι η εγκατάσταση δεν είναι σε λειτουργία καθ' όλη τη διάρκεια. Κατά καιρούς, ενδέχεται να προγραμματίζεται προληπτική συντήρηση. Επιπλέον, οι μηχανές ενδέχεται να υπόκεινται σε τυχαία διαδικασία βλάβης και επισκευής.

vii. Οι περισσότερες συναρτήσεις κυρώσεων που εξετάζονται στην έρευνα είναι τμηματικά γραμμικές, όπως η καθυστέρηση μιας εργασίας, η κύρωση ανά μονάδα, κ.λπ. Ωστόσο, στην πράξη, συνήθως υπάρχει μια προσδιορισμένη ημερομηνία αποστολής ή προθεσμία. Εντούτοις, η συνάρτηση κυρώσεων συνήθως δεν είναι τμηματικά γραμμική. Στην πράξη, μπορεί να λάβει, για παράδειγμα, το σχήμα ενός "S" (βλ. Εικόνα 1.4). Μια συνάρτηση τέτοιας μορφής μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνάρτηση που βρίσκεται κάπου ανάμεσα στη συνάρτηση καθυστέρησης και τη συνάρτηση κυρώσεων ανά μονάδα.



Εικόνα 1.4.1: Μία συνάρτηση κυρώσεων στην πράξη

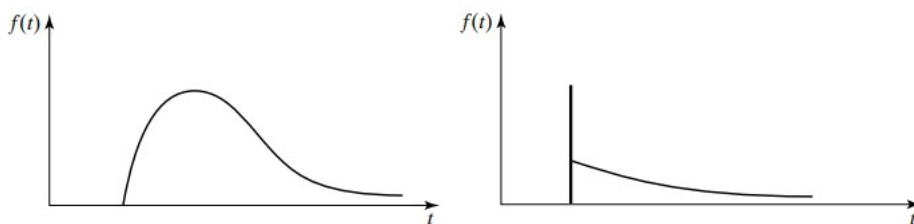
(Πηγή: Michael L. Pinedo Προγραμματισμός Θεωρία, Αλγόριθμοι και Συστήματα)

viii. Η πλειονότητα της θεωρητικής έρευνας έχει επικεντρωθεί σε μοντέλα με έναν μόνο στόχο. Στον πραγματικό κόσμο, υπάρχουν συνήθως πολλοί στόχοι. Όχι μόνο υπάρχουν πολλοί στόχοι, αλλά τα βάρη τους μπορεί να διαφέρουν με τον χρόνο και μπορεί ακόμη να εξαρτώνται από τον συγκεκριμένο χειριστή. Ένας συνήθης συνδυασμός στόχων, ειδικά στη βιομηχανία επεξεργασίας, είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού ζυγισμένου χρόνου καθυστέρησης και η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων ρύθμισης που εξαρτώνται από τη σειρά (κυρίως σε μηχανές φραγμού). Η ελαχιστοποίηση του συνολικού ζυγισμένου χρόνου καθυστέρησης είναι σημαντική, καθώς η διατήρηση της ποιότητας της εξυπηρέτησης είναι συνήθως ένας σημαντικός στόχος. Η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων ρύθμισης που εξαρτώνται από τη σειρά είναι σημαντική, καθώς, σε μεγάλο βαθμό, αυξάνει την παραγωγικότητα. Όταν αυτή η συνδυασμένη προσέγγιση είναι ο συνολικός στόχος, τα βάρη που αποδίδονται στους δύο στόχους μπορεί να μην είναι σταθερά, εξαρτώμενα τόσο από τον χρόνο όσο και από την τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος παραγωγής. Αν ο φόρτος εργασίας είναι σχετικά υψηλός, τότε η ελαχιστοποίηση των χρόνων ρύθμισης που εξαρτώνται από τη σειρά είναι πιο σημαντική.

εάν ο φόρτος εργασίας είναι σχετικά χαμηλός, η ελαχιστοποίηση του συνολικού ζυγισμένου χρόνου καθυστέρησης είναι πιο σημαντική.

- ix. Η διαδικασία του προγραμματισμού στην πράξη συνδέεται στενά με τον καθορισμό των βαρδιών και τον προγραμματισμό των υπερωριών. Σε περιπτώσεις όπου η φόρτωση φαίνεται υπερβολική και οι προθεσμίες φαίνονται πολύ πιεστικές, ο λήπτης αποφάσεων έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον προγραμματισμό υπερωριών ή την ενσωμάτωση επιπλέον βαρδιών, προκειμένου να εξασφαλίσει την εκπλήρωση των προκαθορισμένων ημερομηνιών αποστολής.
- x. Τα στοχαστικά μοντέλα που εξετάζονται στη βιβλιογραφία συνήθως βασίζονται σε εξαιρετικά ειδικές κατανομές των χρόνων επεξεργασίας. Για παράδειγμα, η εκθετική κατανομή είναι μια κατανομή που έχει ερευνηθεί εκτενώς. Στην πραγματικότητα, οι χρόνοι επεξεργασίας, συνήθως, δεν ακολουθούν εκθετική κατανομή. Κάποιες μετρήσεις έχουν δείξει ότι οι χρόνοι επεξεργασίας μπορεί να έχουν μια συνάρτηση πυκνότητας όπως αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 1.4.2.α. Μπορούμε να φανταστούμε αυτή τη συνάρτηση πυκνότητας ως το γινόμενο ενός προσδιορισμένου (σταθερού) αριθμού και ενός Erlang(k, λ). Ο αριθμός των φάσεων του Erlang(k, λ) τείνει να είναι χαμηλός, π.χ. 2 ή 3. Αυτή η συνάρτηση πυκνότητας φαίνεται να εμφανίζεται συχνά στην περίπτωση χειροκίνητης εκτέλεσης μιας συγκεκριμένης εργασίας. Είναι πιθανό οι χρόνοι επεξεργασίας να ακολουθούν αυτή τη συνάρτηση πυκνότητας. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας. Ακόμη και ο πιο έμπειρος εργάτης δεν μπορεί να υπερβεί αυτό το ελάχιστο χρονικό διάστημα (που είναι ίσο με τη σταθερή τιμή). Ωστόσο, υπάρχει κάποια διακύμανση στους χρόνους επεξεργασίας που μπορεί να εξαρτάται από το άτομο που εκτελεί την εργασία. Η συνάρτηση πυκνότητας μπορεί να έχει μια ουρά στα δεξιά που αντιπροσωπεύει τους χρόνους επεξεργασίας κατά τους οποίους κάτι δεν πήγε καλά. Μπορούμε εύκολα να δείξουμε ότι αυτή η συνάρτηση πυκνότητας έχει αυξανόμενο ρυθμό ολοκλήρωσης. Ένας άλλος τύπος συνάρτησης πυκνότητας που συναντάται στην πράξη είναι αυτός που φαίνεται στην Εικόνα 1.4.β. Ο χρόνος επεξεργασίας είναι μια σταθερή τιμή με πολύ υψηλή πιθανότητα, π.χ. .98, και με πολύ χαμηλή πιθανότητα, π.χ. .02, είναι μια επιπλέον τυχαία χρονική διάρκεια που ακολουθεί εκθετική κατανομή με πολύ μεγάλο μέσο όρο. Αυτή η συνάρτηση πυκνότητας εμφανίζεται συχνά στην αυτοματοποιημένη κατασκευή ή συναρμολόγηση. Εάν ένα ρομπότ εκτελεί μια εργασία, ο χρόνος επεξεργασίας είναι πάντα

σταθερός (προσδιορισμένος), ωστόσο, εάν κατά λάθος κάτι πάει στραβά, ο χρόνος επεξεργασίας γίνεται αμέσως σημαντικά μεγαλύτερος.



Εικόνα 1.4.2: Συναρτήσεις πυκνότητας στην πράξη

(Πηγή: Michael L. Pinedo Προγραμματισμός Θεωρία, Αλγόριθμοι και Συστήματα)

- xi. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό των τυχαίων χρόνων επεξεργασίας είναι η συσχέτιση. Οι διαδοχικοί χρόνοι επεξεργασίας στην ίδια μηχανή τείνουν να είναι υψηλά θετικά συσχετισμένοι στην πράξη. Στα στοχαστικά μοντέλα που μελετώνται στη βιβλιογραφία, συνήθως υποθέτουμε ότι όλοι οι χρόνοι επεξεργασίας είναι ανεξάρτητες επιλογές από μια δεδομένη κατανομή. Ένα από τα αποτελέσματα της θετικής συσχέτισης είναι η αύξηση της διακύμανσης των μετρήσεων απόδοσης.
- xii. Οι κατανομές χρόνων επεξεργασίας ενδέχεται να υπόκεινται σε μεταβολές λόγω μάθησης ή επιδείνωσης. Στην περίπτωση όπου η κατανομή αντιστοιχεί σε μια χειροκίνητη λειτουργία, υπάρχει η δυνατότητα μάθησης. Ο άνθρωπος που εκτελεί τη λειτουργία μπορεί να μειώσει τον μέσο χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση της. Στην περίπτωση όπου η κατανομή αντιστοιχεί σε λειτουργία με συμμετοχή μηχανής, η γήρανση της μηχανής ενδέχεται να επιφέρει αύξηση του μέσου χρόνου επεξεργασίας.

1.7 Μια προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα (rolling horizon)

Ορισμένα προβλήματα βελτιστοποίησης στον τομέα των μαθηματικών περιλαμβάνουν και την παράμετρο του χρόνου. Για παράδειγμα, καταστάσεις όπως η λογιστική, η βελτιστοποίηση διαδικασιών και ο σχεδιασμός παραγωγής πρέπει συχνά να προσαρμόζονται για μια σειρά χρονικών διαστημάτων. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτά τα προβλήματα, που περιλαμβάνουν τη διάσταση του χρόνου, είναι πολύπλοκα και δεν είναι δυνατόν να επιλυθούν από σύγχρονα εργαλεία βελτιστοποίησης με εγγυημένη παγκόσμια βέλτιστη λύση μέσα σε λογικό χρονικό διάστημα. Γι' αυτό, πολλές φορές υιοθετείται η στρατηγική του "κυλιόμενου ορίζοντα". Σύμφωνα με αυτήν, το πρόβλημα επιλύεται τακτικά, συμπεριλαμβάνοντας επιπλέον πληροφορίες από προσεχείς

περιόδους. Κατ' αποτέλεσμα, προσαρμόζεται η μεθοδολογία ανάλυσης με κυλιόμενο ορίζοντα, επιτρέποντας την αποτελεσματική επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης με μεγάλη εκτίμηση.

1.7.1 Εισαγωγή στην μέθοδο του κυλιόμενου ορίζοντα

Πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης στην πραγματικότητα περιλαμβάνουν περίπλοκες συνδεδεμένες αποφάσεις κατά μήκος ενός εκτενούς χρονικού διαστήματος, συχνά με περιοδικές ιδιότητες. Εδώ, το χρονικό διάστημα δεν χρησιμοποιείται κυριολεκτικά, αλλά λειτουργεί ως αντιπρόσωπος για αποφάσεις που επαναλαμβάνονται με παρόμοιο, αν και συνήθως όχι ακριβώς ίδιο, τρόπο. Για μεγάλα χρονικά διαστήματα, το πλήρες πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να περιλαμβάνει έναν αστρονομικό αριθμό μεταβλητών και περιορισμών και, κατά κανόνα, δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί ενιαία με ενσωματωμένο τρόπο εντός λογικού χρονικού πλαισίου. Πέραν της αξιοποίησης των ειδικών χαρακτηριστικών του προβλήματος, μια συχνή μεθοδολογία λύσης είναι να αξιοποιηθεί η υποκείμενη χρονική δομή μέσω προσεγγίσεων αποσύνθεσης.

Πρόσφατα, μερικοί συγγραφείς ανέπτυξαν και συνέκριναν προσεγγιστικές μεθόδους λύσης που βασίζονται σε ανάλυση που λαμβάνει υπόψη την πλήρη σειρά του προβλήματος ταυτόχρονα. Αυτές είναι ικανές να υπολογίζουν λύσεις που είναι είτε εφικτές είτε βέλτιστες, καθώς και να παρέχουν έγκυρα όρια. Πολλές από αυτές τις προσεγγίσεις αναπτύσσονται και δοκιμάζονται σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα προβλημάτων, αλλά ουσιαστικά πολλές από τις αρχές που χρησιμοποιούνται θα μπορούσαν να μεταφερθούν σε διάφορα προβλήματα βελτιστοποίησης.

Αν και αυτά αποτελούν ισχυρά εργαλεία, υπάρχουν περιβάλλοντα όπου οι προαναφερόμενες προσεγγίσεις ανάλυσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Συχνά, οι πληροφορίες για το πρόβλημα είναι διαθέσιμες μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα εκ των προτέρων. Αυτή η κατάσταση φυσικά οδηγεί σε μια προσέγγιση που αποκαλείται "κυλιόμενος ορίζοντας". Το βασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης μοντελοποιείται επανειλημμένα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (ορίζοντας των προβλέψεων), ανάλογα με το πόσα δεδομένα είναι διαθέσιμα. Στη συνέχεια, επιλύεται και μετακινείται προς τα εμπρός για ένα σύντομο χρονικό διάστημα (ορίζοντας των αποφάσεων), ενώ όλες οι μεταβλητές που ξεπερνούν τον ορίζοντα προβλέψεων θεωρούνται σταθερές στις επόμενες επαναλήψεις. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι για προκλητικές εφαρμογές, οι υποδειγματικές μέθοδοι οδηγούν σε αποτελεσματικούς αλγορίθμους, επιτυγχάνοντας υψηλής ποιότητας λύσεις για τεράστια προβλήματα που διαφορετικά θα ήταν ανέφικτα.

Η προσέγγιση με τον "κυλιόμενο ορίζοντα" έχει πρόσφατα εφαρμοστεί σε πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης. Αυτά περιλαμβάνουν προβλήματα καθορισμού ποσοτήτων (Mohammadi & Poursabzi, 2014), προγραμματισμός λειτουργιών αιθουσών (Addis, Carello, Grosso, & Tànfani, 2016), διαχείριση ενέργειας αποθήκευσης (Cruise, Flatley, Gibbens, & Zachary, 2019), στοχαστική διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού (Fattahi & Govindan, 2020), διαχείριση διαταραχών σε σιδηροδρομικά δίκτυα (Nielsen, Kroon, & Maróti, 2012) και διαχείριση διαδικασιών μεταφοράς εμπορευμάτων (Bertazzi & Maggioni, 2018). Όπως προαναφέρθηκε, ορισμένοι μελλοντικοί παράμετροι μπορεί να μην είναι γνωστοί με ακρίβεια. Η προσέγγιση με τον "κυλιόμενο ορίζοντα" μπορεί συχνά να θεωρηθεί ως μια παραλλαγή μιας ευέλικτης και σταθεροποιούσας ευριστικής μεθόδου, όπως περιγράφεται στο Stadtler (2003), όπου εφαρμόστηκε σε μια απαιτητική παραλλαγή του προβλήματος καθορισμού ποσοτήτων.

Αρχικά αναπτύχθηκε ως μια βασική ευρετική λύση για την εύρεση εφικτών λύσεων σε προβλήματα (μικτής) ακέрайας βελτιστοποίησης, το *relax-and-fix* σχετίζεται στενά με την ευρετική προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα όταν εφαρμόζεται σε προγράμματα μεικτής ακέрайας βελτιστοποίησης με χρονική δομή. Στην απλούστερη του μορφή (Wolsey, 1998), η μέθοδος επιλέγει ένα υποσύνολο των ακέрайων μεταβλητών του προβλήματος, χαλαρώνει τους περιορισμούς ακεραιότητας για τις υπόλοιπες ακέрайες μεταβλητές, λύνει το πρόβλημα και σταθεροποιεί τις μεταβλητές στο υποσύνολο στις τιμές της λύσης που προέκυψε. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι την επίλυση του προβλήματος ή τον εντοπισμό της μη εφικτότητας. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί σε πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης που προκύπτουν στην πράξη: προβλήματα διαμόρφωσης ποσοτήτων με δυσκολία (Mohammadi, Ghomi, Karimi, & Torabi, 2010), διαχείριση συστημάτων ενέργειας (Yilmaz, Mainzer, & Keles, 2020), περιοδική δρομολόγηση τόξων χωρητικότητας (Oliveira & Scarpin, 2020), προγραμματισμός πληρώματος για δίκτυα γρήγορων μετακινήσεων (Fuentes, Cadarso, & Marín, 2018), διαχείριση δικτύου έξυπνων οχημάτων επικοινωνίας (Ribeiro, Santos, & de Souza, 2019), προγραμματισμός κλειστής εργασίας (Kelly & Mann, 2004), εφαρμογές ασφάλειας δεδομένων (Baena, Castro, & González, 2015) και ασύρματες επικοινωνίες (Malandrino, Casetti, & Chiasserini, 2013).

Παρόλο που για ορισμένες ρυθμίσεις προβλημάτων φαίνονται παρόμοιες, οι δύο προσεγγίσεις διαφέρουν. Δομημένη ως μια ευρετική προσέγγιση για τη γρήγορη εύρεση εφικτών λύσεων για προβλήματα (μικτής) ακεραιοποίησης, η μοναδική απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της ευρετικής χαλάρωσης και σταθεροποίησης (*relax-and-fix*) είναι η ύπαρξη ακεραίων μεταβλητών, ενώ οι ευρετικές χαλαρώσεις με κυλιόμενο ορίζοντα εφαρμόζονται σε πιθανώς μη-ακέрайα προβλήματα με χρονική δομή. Μια προσέγγιση χαλάρωσης και σταθεροποίησης συνήθως λαμβάνει

υπόψη της περισσότερες πληροφορίες από έναν αλγόριθμο κυλιόμενου ορίζοντα, όπως περιορισμούς και συνεχείς, καθώς και χαλαρωμένες ακέραιες μεταβλητές μετά τον συγκεκριμένο προς εξέταση ορίζοντα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες λύσεις, αλλά επίσης σε πιθανώς πολύ μεγαλύτερα υποπροβλήματα, διότι πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι μεταβλητές στο σύνολο του χρονικού ορίζοντα, παρόλο που οι περιορισμοί ακεραιότητας είναι χαλαρωμένοι. Στη συνέχεια, αυτά τα προβλήματα μπορεί να είναι πολύ πιο δύσκολο να λυθούν από τα αντίστοιχα υποπροβλήματα κυλιόμενου ορίζοντα. Μια πρόσθετη επιπλέον συνέπεια είναι ότι η ποιότητα των λύσεων που προκύπτουν από μεθόδους χαλάρωσης και σταθεροποίησης εξαρτάται σημαντικά από τη διατύπωση του προβλήματος. Σφιχτές διατυπώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε λύσεις υψηλής ποιότητας, αλλά χαλαρές διατυπώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε τυχαίες κακές αναθέσεις στις ακέραιες μεταβλητές σε κάθε βήμα. Οι λύσεις που προκύπτουν από την προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα εξαρτώνται από την ανάλυση σε υποπροβλήματα, αλλά όχι από τη διατύπωση, παρέχοντας ότι οι ίδιες μεταβλητές σύνδεσης εμφανίζονται στις διατυπώσεις. Συνεπώς, μια χαλαρή διατύπωση μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερο χρόνο εκτέλεσης για την προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα, χωρίς να οδηγεί σε χειρότερες λύσεις. Συνεπώς, η επιλογή της προσέγγισης εξαρτάται από την εφαρμογή, μερικά προβλήματα επιλύονται αποτελεσματικότερα με χαλάρωση και σταθεροποίηση, ενώ άλλα με κυλιόμενο ορίζοντα. Λόγω της ανεξαρτησίας από τη διατύπωση, η προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα είναι ευκολότερο να αναλυθεί από τις μεθόδους χαλάρωσης και σταθεροποίησης, καθώς δεν απαιτείται να καθοριστεί μια συγκεκριμένη διατύπωση για το πρόβλημα που εξετάζεται. Οι συνεισφορές στη χρήση των προσεγγίσεων κυλιόμενου ορίζοντα και χαλάρωσης και σταθεροποίησης είναι πολυάριθμες. Συνήθως, οι θεωρητικές εξελίξεις σχετικά με τη συμπεριφορά των ευρετικών βασίζονται σε συγκεκριμένες δομές του βασικού προβλήματος, και γνωρίζουμε ελάχιστα για τις θεωρητικές ιδιότητες γενικών αλγορίθμων αποσύνθεσης.

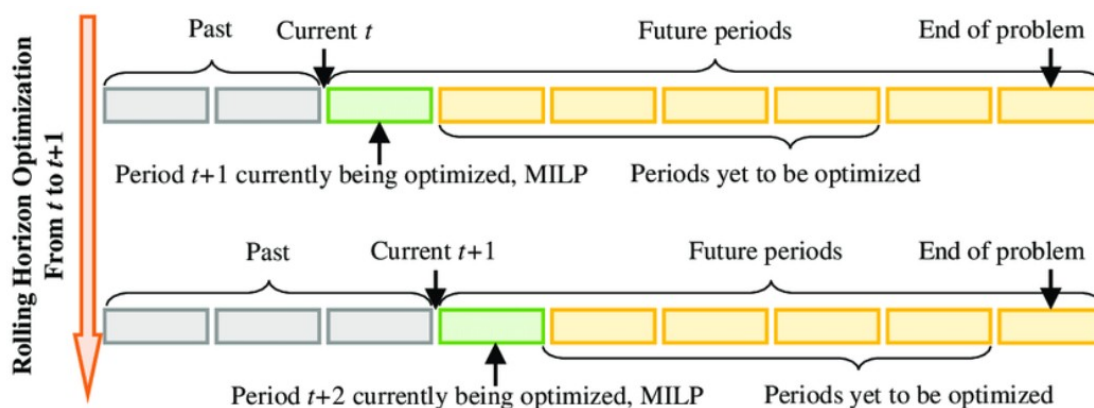
Ορισμένες προηγούμενες εργασίες εστιάζουν σε θεωρητικά αποτελέσματα για τις προσεγγίσεις κυλιόμενου ορίζοντα και παρουσιάζουν αποτελέσματα που προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων. Για παράδειγμα, οι έρευνες των Chand, Sethi & Proth (1990) και Bylka & Sethi (1992) απέδειξαν την ακρίβεια της προσέγγισης κυλιόμενου ορίζοντα για την έκδοση ενός μοντέλου σταθερού, μη έκπτωτου καθορισμού ποσοτήτων.

Ένα πιο γενικό αποτέλεσμα σχετικά με τις προσεγγίσεις κυλιόμενου ορίζοντα περιγράφεται στο έργο των Bean & Smith (1984). Οι ερευνητές απέδειξαν την ύπαρξη συνόλων χρονικών περιόδων όπου οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών μπορούν να προσδιοριστούν παρατηρώντας έναν πεπερασμένο αριθμό συνεχόμενων χρονικών περιόδων. Δύο προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται:

ένας πεπερασμένος αριθμός πολιτικών για μονοατομικές περιόδους και μια συνάρτηση στόχου που έχει έκπτωση με υψηλότερο ρυθμό από την ομοιόμορφα εκθετικά περιορισμένη ανάπτυξή της.

Στο έργο των Sethi & Sorger (1991), προτείνεται ένα πλαίσιο για την επίλυση γενικών προβλημάτων βελτιστοποίησης με χρονική δομή, χρησιμοποιώντας προσέγγιση κυλιόμενου ορίζοντα και λαμβάνοντας υπόψη το κόστος που προκύπτει από την προμήθεια πληροφοριών. Αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος δυναμικού προγραμματισμού για την επίλυση των σχετικών προβλημάτων ελέγχου.

Τέλος, πιο πρόσφατα, στη μελέτη των Absi & van den Heuvel (2019), πραγματοποιείται ανάλυση της χειρότερης περίπτωσης για μια προσέγγιση χαλάρωσης και σταθεροποίησης που εφαρμόζεται σε ένα πρόβλημα καθορισμού ποσοτήτων για ένα μη ανεκτικό είδος. Εφόσον η σταθεροποίηση των ακεραίων μεταβλητών γίνεται με χρονολογική σειρά, η προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως ευρετική κυλιόμενου ορίζοντα. Προκύπτει ότι δεν είναι εφικτό να παρέχονται εγγυήσεις για τα αποτελέσματα. Τα θεωρήματα της μελέτης των Absi & van den Heuvel (2019) διατυπώνονται ειδικά για τη μέθοδο χαλάρωσης και σταθεροποίησης, επιτρέποντας την προσαρμογή των συνεχών μεταβλητών περιόδων με ήδη σταθεροποιημένες ακέραιες μεταβλητές.



Εικόνα 1.5: Σχηματική αναπαράσταση της βελτιστοποίησης του κυλιόμενου ορίζοντα από χρόνο t σε χρόνο $t + 1$

(Πηγή: Πλαίσιο βελτιστοποίησης κυλιόμενου ορίζοντα για ανθεκτική αποκατάσταση ενεργών συστημάτων διανομής)

1.7.2 Ελεγκτής μείωσης ορίζοντα (receding horizon control)

Οι αλγόριθμοι ελέγχου προβλεπτικού μοντέλου (Model Predictive Control - MPC) δεν καθορίζουν μια συγκεκριμένη μεθοδολογία ελέγχου, αλλά ανήκουν σε μια κατηγορία στρατηγικών για τον έλεγχο διεργασιών υπό περιορισμούς. Η βασική ιδέα του MPC είναι να δημιουργήσει έναν ελεγκτή μέσω επαναληπτικής βελτιστοποίησης ενός μοντέλου του συστήματος σε ένα περιορισμένο

χρονικό διάστημα στο μέλλον, γνωστό ως ορίζοντας πρόβλεψης. Ο ορίζοντας πρόβλεψης κινείται συνεχώς προς τα εμπρός, επομένως το MPC γνωστοποιείται επίσης ως ελεγκτής μείωσης ορίζοντα. Το πρόβλημα MPC είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μείωσης ορίζοντα, με σκληρούς περιορισμούς, το οποίο λύνεται συνήθως με χρήση μεθόδων τετραγωνικού προγραμματισμού. Στην προσέγγιση του MPC, η τρέχουσα ελεγκτική ενέργεια υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο, αντί να χρησιμοποιεί έναν προ-υπολογισμένο (offline) νόμο ελέγχου. Αυτή η προσέγγιση εισήχθη στις δεκαετίες του '70 και του '80, κυρίως στους χημικούς και πετρελαϊκούς κλάδους, όπου οι περιορισμοί απαιτούνται σε πολλές περιπτώσεις. Έκτοτε, επεκτάθηκε ευρέως στα συστήματα ενέργειας και, περιστασιακά, προτάθηκε ακόμη και στην πυρηνική βιομηχανία.

Συνήθως, η προσέγγιση του MPC είναι επίκαιρη για εγκαταστάσεις όπου τα σχετικά αργά χρονοσειριακά μοντέλα επιτρέπουν διαρκή βελτιστοποίηση. Οι βασικές αρχές του MPC περιλαμβάνουν:

- a) ένα μοντέλο που έχει τη δυνατότητα να προβλέπει την εξέλιξη της διεργασίας σε κάποιο μέλλον (ορίζοντας την περίοδο πρόβλεψης),
- b) μια ακολουθία ελέγχου που ελαχιστοποιεί μια συνάρτηση στόχου, και
- c) μια στρατηγική μείωσης ορίζοντα, η οποία προαγάγει τον ορίζοντα σε κάθε διαδοχική στιγμή.

Καθώς το MPC δίνει τη δυνατότητα για τη βελτιστοποίηση ενός πεπερασμένου χρονικού ορίζοντα, εστιάζοντας μόνο στον τρέχοντα χρονικό διάστημα και εφαρμόζοντας επανειλημμένα τη βελτιστοποίηση, έχει τη δυνατότητα να προβλέπει μελλοντικά γεγονότα και να λαμβάνει αντίστοιχες ελεγκτικές ενέργειες, κάτι που δεν επιτυγχάνεται εύκολα με τους συνηθισμένους PID ελεγκτές. Συνήθως, το MPC υλοποιείται ως ψηφιακός έλεγχος, αν και έχουν παρουσιαστεί και κάποιες αναλογικές εφαρμογές.

Τα τελευταία χρόνια, το MPC και οι στρατηγικές κατά της υπερχειλίσης εξετάζονται όλο και περισσότερο ως σχήματα που συνδέονται στενά. Τα κύρια πλεονεκτήματα του MPC περιλαμβάνουν:

- a) πολύ εύκολη θεωρία και ρύθμιση,
- b) ευρύ φάσμα εφαρμογών, από απλούς ελεγκτικούς βρόχους έως πολύπλοκες δυναμικές,
- c) πολυμεταβλητικές περιπτώσεις και αντιστάθμιση για νεκρούς χρόνους, και
- d) μεγάλη modularidad και επεκτασιμότητα για νέες εφαρμογές.

Φυσικά, υπάρχουν αδυναμίες, ιδίως όσον αφορά τον καθορισμό του μοντέλου της διαδικασίας, που ενδέχεται να οδηγήσουν σε χαμηλή απόδοση σε περίπτωση σημαντικών αποκλίσεων από την πραγματική διαδικασία. Επιπλέον, σε σύγκριση με τον PID, ενδέχεται να απαιτεί μεγαλύτερη υπολογιστική προσπάθεια, ειδικά όταν υπάρχουν έντονοι περιορισμοί. Συνολικά, το Μοντέλο Προσδιοριστικού Ελέγχου (ΜΠΕ) μπορεί να αποτελέσει μια λογική στρατηγική για τον βιομηχανικό έλεγχο, παρά την αρχική έλλειψη ενός αξιόπιστου υποβάθρου σε θέματα σταθερότητας και ανθεκτικότητας.

Κατά βάση, τα μοντέλα του Μοντέλου Προσδιοριστικού Ελέγχου (ΜΠΕ) είναι σε θέση να προβλέπουν την εξέλιξη των εξαρτημένων μεταβλητών του συστήματος, προκειμένου να αντιδράσουν σε μελλοντικές αλλαγές στις ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως ένας οδηγός προβλέπει την μελλοντική κατεύθυνση του ταξιδιού με βάση την παρούσα κατάσταση του αυτοκινήτου. Σε μια διεργασία, οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να είναι οι τιμές-στόχοι των ρυθμιστικών ελεγκτών PID (θερμοκρασία, πίεση, ροή, κλπ.) ή οι μεταβλητές των ενεργοποιητών (βαλβίδες, κινητήρες, κλπ.). Εάν μια μεταβλητή δεν μπορεί να ρυθμιστεί από τον ελεγκτή, θεωρείται ως διαταραχή. Η κύρια επιδίωξη της προσέγγισης ΜΠΕ είναι να επιλύσει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης για τον χρονικό ορίζοντα στον τρέχοντα χρόνο και να υλοποιήσει την τρέχουσα ελεγκτική είσοδο χρησιμοποιώντας μόνο την πρώτη βέλτιστη λύση ελέγχου. Η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος βελτιστοποίησης επαναλαμβάνεται στη συνέχεια χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η δεύτερη βέλτιστη είσοδος ελέγχου. Δεδομένου ότι πολλές πραγματικές διαδικασίες δεν είναι γραμμικές, συχνά θεωρούνται περίπου γραμμικές σε ένα στενό εύρος λειτουργίας. Σε αυτήν την περίπτωση, το ΜΠΕ ονομάζεται *γραμμικό* και χρησιμοποιεί την αρχή της υπερθετικότητας για να προβλέψει τις επιπτώσεις των αλλαγών σε πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές στην αντίδραση των εξαρτημένων μεταβλητών, με μια αλγεβρική απλοποίηση σε μια σειρά από άμεσες πίνακες που είναι ταχείες και αξιόπιστοι. Όταν τα γραμμικά μοντέλα δεν είναι αρκετά ακριβή για να αντιπροσωπεύσουν τις πραγματικές μη γραμμικότητες της διαδικασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν μη γραμμικές μεθόδους, και το αντίστοιχο ΜΠΕ ονομάζεται *μη γραμμικό*.

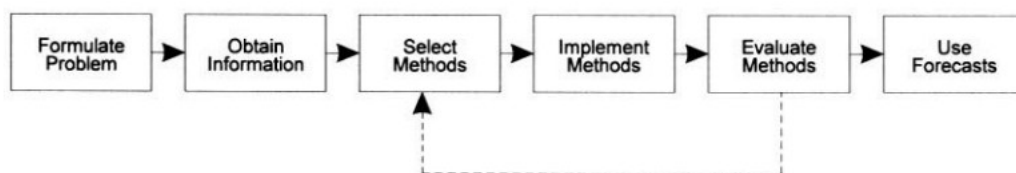
Κεφάλαιο 2

Πρόβλεψη της Ζήτησης

2.1 Γενικά για τις προβλέψεις

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το πλαίσιο για τον προγραμματισμό των προβλέψεων ζήτησης, αναδεικνύοντας τις εφαρμογές του και τη σχέση του με τον σχεδιασμό. Ταυτόχρονα, αναλύονται οι βασικές αρχές που καλύπτουν όλες τις πτυχές των προβλέψεων, από τον καθορισμό του προβλήματος έως την εφαρμογή τους. Επιπλέον, δίνεται εξήγηση για την προέλευση αυτών των βασικών αρχών.

Οι προβλέψεις αποτελούν κρίσιμο στοιχείο σε διάφορους τομείς της ζωής. Στην προσωπική μας πορεία, προβλέπουμε την επιτυχία στον γάμο, την εξέλιξη της επαγγελματικής μας πορείας, καθώς και τις χρηματοοικονομικές μας επενδύσεις. Οι επιχειρήσεις καταβάλλουν σημαντικά κεφάλαια βασιζόμενες σε προβλέψεις για νέα προϊόντα, εγκαταστάσεις, λιανικά καταστήματα, καθώς και συμβάσεις με στελέχη. Οι δημόσιοι φορείς χρειάζονται προβλέψεις για την οικονομία, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, νέα αθλητικά στάδια, και τις επιπτώσεις προτεινόμενων κοινωνικών προγραμμάτων. Αν και ελλιπείς προβλέψεις μπορεί να οδηγήσουν σε δυσμενείς αποφάσεις, παρατηρείται σημαντική πρόοδος και βελτίωση στη διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα, τα σφάλματα σε πολιτικές δημοσκοπήσεις έχουν μειωθεί από το 1936, και οι προβλέψεις του καιρού έχουν επίσης βελτιωθεί, με σημαντικά οικονομικά οφέλη (π.χ., Craft 1998). Επομένως, είναι ασφαλές να πούμε ότι οι γνώσεις σε αυτόν τον τομέα έχουν προχωρήσει με ταχείς ρυθμούς.



Εικόνα 2.1: Στάδια εφαρμογής της πρόβλεψης

(Πηγή: Principles of forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners του J. Scott Armstrong)

Οι προβλέψεις πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των δραστηριοτήτων λήψης αποφάσεων της διοίκησης, καθώς μπορούν να διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο σε πολλούς τομείς της επιχείρησης. Οι σύγχρονες οργανώσεις απαιτούν προβλέψεις σε *βραχυπρόθεσμο*, *μεσοπρόθεσμο* και *μακροπρόθεσμο* ορίζοντα, ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι προβλέψεις σε

βραχυπρόθεσμο ορίζοντα απαιτούνται για τον προγραμματισμό προσωπικού, παραγωγής και μεταφορών. Συχνά, ως μέρος της διαδικασίας προγραμματισμού, απαιτούνται επίσης προβλέψεις της ζήτησης. Οι προβλέψεις σε *μεσοπρόθεσμο* ορίζοντα χρειάζονται για τον καθορισμό μελλοντικών αναγκών πόρων, ώστε να αγοραστούν πρώτες ύλες, να προσληφθεί προσωπικό ή να αγοραστούν μηχανήματα και εξοπλισμός, ενώ οι προβλέψεις σε *μακροπρόθεσμο* ορίζοντα χρησιμοποιούνται στη στρατηγική σχεδίαση. Σε τέτοιες αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ευκαιρίες στην αγορά, περιβαλλοντικοί παράγοντες και εσωτερικοί πόροι.

Μια εταιρεία πρέπει να αναπτύξει ένα σύστημα πρόβλεψης που ενσωματώνει πολλές προσεγγίσεις για την πρόβλεψη αβέβαιων γεγονότων. Τα τέτοια συστήματα πρόβλεψης απαιτούν την ανάπτυξη εμπειρογνωμοσύνης στον εντοπισμό προβλημάτων πρόβλεψης, την εφαρμογή μιας ποικιλίας μεθόδων πρόβλεψης, την επιλογή κατάλληλων μεθόδων για κάθε πρόβλημα, και την αξιολόγηση και βελτίωση των μεθόδων πρόβλεψης με την πάροδο του χρόνου. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας να υπάρχει ισχυρή οργανωτική υποστήριξη για τη χρήση τυπικών μεθόδων πρόβλεψης, αν αυτές πρόκειται να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία.

Ο προγραμματισμός των προβλέψεων αποτελεί έναν πολύπλοκο τομέα που παρέχει ευρύ φάσμα ευκαιριών για την ανάπτυξη γνωστικών τεχνικών. Αν και ο ειδικός στον προγραμματισμό των προβλέψεων ωφελείται από υπάρχοντα λογισμικά για την επιλογή κατάλληλων προδιαγραφών μοντέλου, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κρίση του βασίζεται ουσιαστικά στη δική του εμπειρογνωμοσύνη και συνείδηση. Συγκεκριμένα, τα θέματα που αντιμετωπίζονται περιλαμβάνουν:

- Συγκρίσεις, μετασχηματίσεις και οπτικοποίηση δεδομένων για τον εντοπισμό ανωμαλιών και διακυμάνσεων κατά την αρχική ανάλυση δεδομένων.
- Εξέταση πολλαπλών μεθόδων και διαφορετικών κριτηρίων προσαρμογής κατά τη διαδικασία επιλογής μεθόδου.
- Προσοχή σε κρίσιμα θέματα αξιολόγησης μεθόδου, όπως η μέτρηση των παρεκκλίσεων στις προβλέψεις και οι προσομοιώσεις μετά το δείγμα.
- Ανάγκη για εφαρμογή παράλληλων και/ή συνδυαστικών μεθόδων πρόβλεψης, κ.ά.

Από τις προηγούμενες αυτές σκέψεις, προκύπτει η πρόταση ενίσχυσης της εργασίας των ειδικών προβλέψεων με τη χρήση έξυπνης υποστήριξης από τα υπολογιστικά συστήματα, με στόχο τα εξής:

- Θέσπιση μιας συστηματικής και μεθοδικής προσέγγισης στη διαδικασία πρόβλεψης,

- Κατανόηση των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών μεθόδων και των επιπτώσεών τους στην ακρίβεια των προβλέψεων,
- Κατανόηση των επιπτώσεων προηγούμενων ενεργειών/συμβάντων και των συνεπειών τους στην πρόκληση αλλαγών στα ήδη καθιερωμένα πρότυπα ή σχέσεις και
- Κριτική προσαρμογή των αποτελεσμάτων πρόβλεψης, υιοθετώντας στρατηγικές μάθησης και ενσωματώνοντας γνώση από ιστορικές εμπειρίες και παρόμοιες περιπτώσεις.

2.2 Μέθοδοι προβλέψεων

Στην ουσία, η έννοια του συστήματος πρόβλεψης ζήτησης συνδέεται άμεσα με το σύνολο των μεθόδων ή τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των δεδομένων και την "ανάκτηση" χρήσιμης γνώσης μέσω αυτών. Ωστόσο, οι μέθοδοι πρόβλεψης αποτελούν μόνο ένα τμήμα του συνολικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στη διοίκηση για την πραγματοποίηση προβλέψεων εισέρχονται στο σύστημα. Από εκεί, για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης ακολουθούνται κριτήρια επιλογής και αξιολόγησης με βάση την απόδοση αυτής και ύστερα εξέρχονται, από το σύστημα, χρήσιμες πληροφορίες για την επιχείριση.

Όπως αναφερθήκαμε και στην εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου, ανάλογα με το είδος των πληροφοριών που λαμβάνει η επιχείριση οι προβλέψεις κατατάσσονται σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Ειδικότερα, αν αποσκοπούμε βραχυπρόθεσμες προβλέψεις θα πρέπει να παρέχουμε εσωτερικές πηγές πληροφόρησης από τις οποίες λαμβάνουμε αρχεία με δεδομένα προηγούμενων παραγγελιών και πωλήσεων, εκτιμήσεις εμπειρών στελεχών της διοίκησης, αποτελέσματα ερευνών αγοράς κ.ά. Από την άλλη, αν λαμβάνουμε εξωτερικές πηγές πληροφόρησης, οι οποίες παρέχουν δεδομένα σχετικά με το οικονομικό, πολιτικό και τεχνολογικό περιβάλλον της επιχείρισης, το αποτέλεσμα θα είναι μακροπρόθεσμες προβλέψεις. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί πως το είδος της πληροφορίας αλλάζει ανάλογα με το τμήμα της επιχείρισης (π.χ. παραγωγής, marketing, προσωπικού) που θα τη χρησιμοποιήσει. Καταληκτικά, η έννοια του “βραχυπρόθεσμου”, “μεσοπρόθεσμου” και “μακροπρόθεσμου” είναι σχετική. Αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το περιβάλλον της αγοράς, το είδος του προϊόντος και τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Οι τεχνικές προβλέψεων που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- i. **Ποιοτικές** (qualitative),
- ii. **Ποσοτικές** (quantitative),
- iii. **Κριτικές** (judgmental), και
- iv. **Τεχνολογικές** (technological)

Η ανάλυση αυτών θα γίνει διεξοδικά στα επακόλουθα υποκεφάλαια.

2.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι

Στην κατηγορία των ποιοτικών μεθόδων πρόβλεψης περιλαμβάνονται μέθοδοι όπου η πρόβλεψη προέρχεται από έναν ή περισσότερους ειδικούς, βασιζόμενη στη γνώση, την εμπειρία και το ένστικτό τους. Τέτοιου είδους προβλέψεις είναι υποκειμενικές και περιλαμβάνουν τον παράγοντα της προκατάληψης (bias). Οι ποιοτικές μέθοδοι δεν περιλαμβάνουν μαθηματικές σχέσεις αλλά δίνεται άμεση δυνατότητα προσθήκης νέων πληροφοριών, και το κυριότερο πλεονέκτημα των ποιοτικών μεθόδων είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να αντιληφθούν αλλαγές στην αγορά.

Τα στοιχεία για τις βασικές ποιοτικές μεθόδους πρόβλεψης είναι:

- 1. Γνωμάτευση Στελεχών ή απλή κριτική πρόβλεψη,
- 2. Έρευνα Αγοράς,
- 3. Μέθοδος των Δελφών (μέθοδος επιτροπών),
- 4. Μέθοδος Σεναρίων,
- 5. Μέθοδος Grass roots, και
- 6. Μέθοδος ιστορικής αναλογίας.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τις βασικές ποιοτικές μεθόδους πρόβλεψης.

2.2.1.1 Γνωμάτευση Στελεχών ή απλή κριτική πρόβλεψη

Σε μια συνεδρίαση στελεχών, τα μέλη μιας ειδικευμένης ομάδας συζητούν ελεύθερα για να συγκλίνουν σε μια κοινή πρόβλεψη σχετικά με το μελλοντικό επίπεδο του προβλεπόμενου μεγέθους (Anbuvelan, 2007). Η ομάδα περιλαμβάνει στελέχη από διάφορα επίπεδα της επιχείρησης, από το προσωπικό πωλήσεων έως τον γενικό διευθυντή. Ένα κεντρικό αδύναμο

σημείο, ωστόσο, είναι ότι η άποψη ορισμένων μελών που είναι πιο κοντά στον καταναλωτή και στο αντικείμενο πρόβλεψης (όπως οι πωλητές) ενδέχεται να μην έχει καθοριστική επιρροή έναντι εκείνων των υψηλότερων στελεχών, ή ακόμα και να εκφράζεται με προσοχή προς τους ανωτέρους τους.

2.2.1.2 Έρευνα Αγοράς

Η έρευνα αγοράς αποτελεί μια σύνθετη προσπάθεια για τη συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με το ενδιαφέρον των καταναλωτών για ένα προϊόν ή μια υπηρεσία, καθώς και για τον έλεγχο υποθέσεων στην αγορά. Εδράζεται στη χρήση ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων προκειμένου να αναδείξει τις ανάγκες, τις προτιμήσεις και τις επιλογές μιας συγκεκριμένης ομάδας στόχου. Ευρέως χρησιμοποιείται για τη βελτίωση υπάρχοντων προϊόντων και τη δημιουργία νέων.

Λεπτομερώς, η διεξαγωγή μιας έρευνας αγοράς συνήθως περιλαμβάνει (Naryan & Jaya, 2008):

- Καταρτισμό ενός ερωτηματολογίου με σκοπό τη συλλογή οικονομικών και δημογραφικών στοιχείων για τον καταναλωτή, καθώς και το ενδιαφέρον του για το προϊόν ή την υπηρεσία,
- Λήψη αποφάσεων σχετικά με τον τρόπο διεξαγωγής της έρευνας, είτε μέσω τηλεφωνικής συνέντευξης, αποστολής ερωτηματολογίου μέσω ταχυδρομείου ή προσωπικής συνέντευξης,
- Επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος καταναλωτών ή νοικοκυριών, το οποίο θα αποτελέσει μια τυχαία επιλογή από το σύνολο της αγοράς του προϊόντος ή της υπηρεσίας προς έρευνα,
- Ανάλυση πληροφοριών χρησιμοποιώντας στατιστικά εργαλεία και μεθόδους αξιολόγησης για την ερμηνεία των απαντήσεων, την πληρότητά τους και τη σύνδεσή τους με δημογραφικούς, οικονομικούς ή ανταγωνιστικούς παράγοντες.

Η διεξαγωγή έρευνας αγοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ζήτησης σε διάφορα χρονικά πλαίσια, είτε πρόκειται για μικρό, μεσαίο ή μακροπρόθεσμο διάστημα. Ωστόσο, η ακρίβεια των προβλέψεων είναι καλύτερη όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα που καλύπτεται. Παρ'όλη τη σημασία των πληροφοριών που συλλέγονται, η προβλεπτική δύναμη δεν μπορεί πάντοτε να εκτιμήσει με ακρίβεια τη μακροπρόθεσμη πορεία ενός προϊόντος, ιδίως σε συνδυασμό με την εμφάνιση άλλων ανταγωνιστικών προϊόντων. Άλλα προβλήματα περιλαμβάνουν τη χαμηλή ανταπόκριση των ερωτηθέντων, ιδίως όταν προσεγγίζονται απρόσωπα μέσω ηλεκτρονικών μέσων,

όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, και τη μεγάλη πιθανότητα να αποτύχει να αποτυπώσει ακριβώς τις απόψεις της αγοράς, λόγω ψευδών στοιχείων, δυσκολίας στον εντοπισμό επαρκούς κοινού στόχου, καθώς και άλλων παραμέτρων. Συνήθως, η έρευνα αγοράς χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό νέων ιδεών προκειμένου να διαμορφωθεί ο σχεδιασμός προϊόντων.

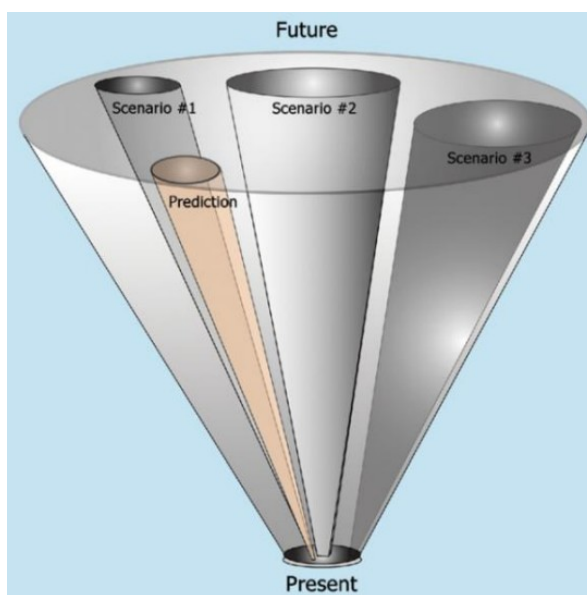
2.2.1.3 Μέθοδος των Δελφών (μέθοδος επιτροπών)

Μέσω της διατήρησης ανωνυμίας των ειδικών που συμμετέχουν σε μια ομάδα, αυτή η μέθοδος στοχεύει στην επίτευξη συμφωνίας μεταξύ τους. Ο ερευνητής δημιουργεί ένα εικονικό πλαίσιο συζήτησης με ένα συγκεκριμένο θέμα, στο οποίο συμμετέχουν άτομα που ενδέχεται να μην εργάζονται στην ίδια εταιρεία, να βρίσκονται σε διάφορες χώρες, και φυσικά να μην έχουν πληροφορίες για τους υπόλοιπους συνομιλητές. Η διαδικασία ξεκινά με τη σύνταξη και αποστολή ερωτηματολογίων, στη συνέχεια εξάγονται τα αποτελέσματα και αποστέλλεται νέο ερωτηματολόγιο, συμπεριλαμβάνοντας τα ευρήματα του προηγούμενου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί συναίνεση. Η φιλοσοφία της βασίζεται στην ιδέα ότι, αν και οι συμμετέχοντες δεν συμφωνούν σε όλα τα θέματα, είναι πολύ πιθανό να υπάρχει συμφωνία σε εκείνα που έχουν κοινό. Σε αντίθεση με τη γνώμη των στελεχών, σε αυτήν τη μέθοδο, καμία άποψη δεν κυριαρχεί έναντι των υπολοίπων. Η μέθοδος των Δελφών μπορεί να επιτύχει ικανοποιητικά αποτελέσματα μετά από τρεις γύρους. Ο χρόνος που απαιτείται εξαρτάται από τον αριθμό των συμμετεχόντων, τον χρόνο και την προσπάθεια που απαιτείται για τη διαμόρφωση των προβλέψεών τους (Chase et al., 2005).

2.2.1.4 Μέθοδος Σεναρίων

Η τεχνική της σεναριογραφίας ανήκει στον τομέα του στρατηγικού σχεδιασμού και εφαρμόζεται σε ποικίλα πεδία της στρατηγικής, όπως η γεωπολιτική, η εταιρική, η ανταγωνιστική, και η τεχνολογική στρατηγική. Αυτή η προσέγγιση ξεχωρίζεται από τα απλά νοητικά σενάρια, καθώς συστηματοποιεί ολόκληρη τη διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, προβαίνουμε σε αναθεώρηση των διανοητικών μοντέλων που έχουμε για το παρόν και το μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη πτυχές που, από μια πρώτη ματιά, ενδέχεται να μην έχουμε συνειδητοποιήσει. Ο στόχος είναι να αντιμετωπίσουμε τα δύο κοινά λάθη στη λήψη αποφάσεων, την "υποπρόβλεψη" και την "υπερπρόβλεψη". Η βασική προσέγγιση της μεθόδου δεν επικεντρώνεται στην πρόβλεψη του μέλλοντος, αλλά στην κατανόηση και τη δημιουργία μιας πιθανής δομής. Επομένως, δεν αποβλέπει

στην πρόβλεψη ενός μέλλοντος (του πιο πιθανού), αλλά στην κατασκευή και "επίσκεψη" πολλών διαφορετικών μελλόντων.



Εικόνα 2.2: Αναπαράσταση σεναρίων πρόβλεψης σε αναλογία με το παρόν και το μέλλον

(Πηγή: Προβλέποντας την καινοτομία: Η μέθοδος της κατασκευής σεναρίων, Εμμανουήλ Δ. Αδαμίδης)

Κάθε σενάριο αναφέρει μια αφήγηση για έναν κόσμο που προκύπτει από τον αλληλεπίδραση διάφορων πιθανών και λιγότερο πιθανών παραγόντων. Σε αντίθεση με άλλες προσεγγίσεις, εξετάζει ταυτόχρονα πολλές αβεβαιότητες, οι οποίες είτε μπορούν να μετρηθούν ποσοτικά είτε όχι. Ενώ, τέλος, μπορεί να ενσωματωθεί με άλλες μεθόδους, όπως για παράδειγμα η προσομοίωση, προκειμένου να δώσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του σεναρίου.

2.2.1.5 Μέθοδος Grass roots

Σε αυτήν την προσέγγιση, η πρόβλεψη βασίζεται σε δεδομένα που συλλέγονται από εκείνους που έρχονται σε άμεση επαφή με τους πελάτες και τους καταναλωτές στην αγορά. Κάθε εκπρόσωπος πωλήσεων συλλέγει δεδομένα και παρατηρεί τις τάσεις στην περιοχή του. Ένα από τα πλεονεκτήματά της είναι ότι λαμβάνει υπόψη τις περιφερειακές διακυμάνσεις στις αγοραστικές τάσεις και τις προτιμήσεις των πελατών/καταναλωτών (Chase et al., 2005).

2.2.1.6 Μέθοδος ιστορικής αναλογίας

Η μέθοδος της ιστορικής αναλογίας αποτελεί έναν τρόπο πρόβλεψης που βασίζεται στην ανάλυση των ιστορικών στοιχείων για να αναδείξει τα μοτίβα του παρελθόντος και να προβλέψει το μέλλον.

Στην ουσία, προσπαθεί να μεταφέρει την εξέλιξη του παρελθόντος στο μέλλον ή ακόμα και να διαμορφώσει το ιστορικό αποτύπωμα όπως θα εξελιχθεί στο μέλλον. Για να επιτύχει, χρειάζεται να υπάρχει επαναληψιμότητα στο αντικείμενο ανάλυσης και πρόβλεψης, δηλαδή να επαναλαμβάνεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, η μέθοδος παρουσιάζει περιορισμούς, μεταξύ των οποίων την αμφισβητήσιμη υπόθεση της ομοιότητας των συμπεριφορών της ζήτησης και της θέσης στην αγορά (Naryan & Jaya, 2008).

2.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι

Η ποσοτική πρόβλεψη μπορεί να εφαρμοστεί όταν πληρούνται δύο συνθήκες:

- i. υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα για το παρελθόν,
- ii. είναι λογικό να υποθέσουμε ότι κάποιες πτυχές των προηγούμενων προτύπων θα συνεχίσουν στο μέλλον.

Υπάρχει ευρύ φάσμα ποσοτικών μεθόδων πρόβλεψης, συχνά αναπτυγμένων σε ειδικούς τομείς για συγκεκριμένους σκοπούς. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, ακρίβειες και κόστη που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου. Στα περισσότερα προβλήματα ποσοτικής πρόβλεψης χρησιμοποιούνται είτε δεδομένα χρονοσειράς (συλλέγονται σε τακτικά χρονικά διαστήματα) είτε δεδομένα εγχρονικής διάστασης (συλλέγονται σε ένα μόνο σημείο του χρόνου).

Κάποια είδη ποσοτικών προβλέψεων είναι τα εξής:

1. Απλός κινητός μέσος όρος,
2. Σταθμισμένος κινητός μέσος όρος,
3. Εκθετική εξομάλυνση (τάση, εποχικότητα),
4. Διάσπαση χρονοσειρών, και
5. Αιτιακές μέθοδοι (Απλή γραμμική παλινδρόμηση)

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα στοιχεία σχετικά με τις βασικές ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης.

2.2.2.1 Απλός κινητός μέσος όρος

Πρόκειται για την πιο απλή προσέγγιση πρόβλεψης, και χρησιμοποιείται όταν η ζήτηση δεν εμφανίζει διακυμάνσεις στις παρατηρήσεις καθώς και στην εποχικότητα. Κατά βάση, αντιπροσωπεύει το μέσο όρο της πραγματικής ζήτησης για ένα διάστημα N περιόδων:

$$F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{k=t-1}^{t-N} D_k \quad (1)$$

όπου:

- F_t = Αναπαριστά την προϋπολογιζόμενη ζήτηση για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή t ,
- N = Ο αριθμός παρατηρήσεων που λαμβάνονται υπόψη,
- D_{t-1} = Η πραγματική ζήτηση της προηγούμενης περιόδου, και
- D_{t-N} = Η πραγματική ζήτηση πριν δύο περιόδους, πριν τρεις περιόδους και μέχρι πριν N περιόδους.

Για την υλοποίηση αυτής της προσέγγισης, αρχικά καθορίζεται ο αριθμός των περιόδων N που ελαχιστοποιεί το σφάλμα πρόβλεψης, και βασιζόμενος σε αυτόν υπολογίζεται ο κινούμενος μέσος όρος. Όσο αυξάνεται το N , τόσο μεγαλύτερη είναι η εξομάλυνση των τυχαίων διακυμάνσεων στην τιμή της μεταβλητής. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση τυχόν έκτοπων τιμών μειώνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των παρατηρήσεων που λαμβάνονται υπόψη.

Ο όρος "κινούμενος" χρησιμοποιείται επειδή, με κάθε νέα παρατήρηση που προστίθεται στη χρονοσειρά, αντικαθιστά την παλαιότερη παρατήρηση στην εξίσωση, και υπολογίζεται ένας νέος μέσος (Anderson et al., 2011).

Η πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο προκύπτει με τον υπολογισμό της χρονοσειράς, όπου προστίθεται η πιο πρόσφατη τιμή της μεταβλητής και αφαιρείται η παλαιότερη τιμή. Συνεπώς, η σχέση (1) παίρνει τη μορφή:

$$F_{t+1} = F_t + \frac{D_t - D_{t-N}}{N} \quad (2)$$

Έτσι, βασιζόμενοι στη σχέση (2), για την περίοδο $t+1$, μπορούμε να υπολογίσουμε την πρόβλεψη F_{t+1} . Αυτό είναι εφικτό με βάση την προηγούμενη πρόβλεψη της περιόδου (F_t) και τις τιμές της μεταβλητής για τις περιόδους t και $t - N$.

Όταν η ζήτηση δεν εμφανίζει τάση και εποχικότητα, η χρήση του απλού κινητού μέσου όρου αποτελεί χρήσιμη πρακτική για την εξομάλυνση της τυχαίας μεταβλητότητας στις προβλέψεις. Επομένως, είναι κρίσιμο να καθοριστεί προσεκτικά το κατάλληλο χρονικό παράθυρο για την εφαρμογή του. Όσο μεγαλύτερο είναι το παράθυρο αυτό, τόσο περισσότερο εξομαλύνεται η τυχαία διακύμανση και μειώνεται η επίδραση τυχόν ακραίων τιμών στην πρόβλεψη. Σε περίπτωση όμως που παρατηρείται τάση στη ζήτηση, δηλαδή η ζήτηση αυξομειώνεται με τον χρόνο, ο κινητός μέσος όρος μεγάλου παραθύρου θα εξομαλύνει και την τάση. Αυτό συμβαίνει διότι προσδίδει ίση βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση του N . Ως αποτέλεσμα, ένα μικρότερο χρονικό παράθυρο, παρά την υψηλότερη διακύμανση, παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια στην παρακολούθηση της ζήτησης. Το αρνητικό στοιχείο αυτής της μεθόδου είναι η ανάγκη συχνών προβλέψεων για πολλές μεταβλητές, προκαλώντας αυξημένες απαιτήσεις αποθήκευσης δεδομένων.

2.2.2.2 Σταθμισμένος κινητός μέσος όρος

Εναντίον του απλού κινητού μέσου όρου που αναθέτει ίση σημασία σε κάθε παρατήρηση, ο σταθμισμένος κινητός μέσος όρος επιτρέπει τη σταθμισμένη αξιολόγηση κάθε ιστορικού στοιχείου με διαφορετικό βάρος. Το άθροισμα όλων των σταθμίσεων (βαρών) πρέπει να είναι ίσο με 1. Ο σταθμισμένος κινητός μέσος όρος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (3):

$$F_t = w_1 \cdot Y_{t-1} + w_2 \cdot Y_{t-2} + \dots + w_n \cdot Y_{t-n} \quad (3)$$

όπου:

- F_t = Αναπαριστά την προϋπολογιζόμενη ζήτηση για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή t ,
- n = Ο αριθμός παρατηρήσεων που λαμβάνονται υπόψη,
- Y_{t-i} = Η ζήτηση που παρατηρήθηκε την χρονική στιγμή $t-i$ για $i=1, \dots, n$, και
- w_i = Το βάρος της χρονικής στιγμής $t-i$.

Σε πολλές περιπτώσεις, η πιο πρόσφατη παρατήρηση έχει υψηλότερο βάρος, ενώ η σημασία μειώνεται όσο αναφερόμαστε σε παλαιότερες τιμές δεδομένων (Stevenson, 2007).

2.2.2.3 Εκθετική εξομάλυνση

Γενικά, οι τεχνικές εξομάλυνσης εφαρμόζονται κυρίως για την πρόβλεψη βραχυπρόθεσμων τιμών σε μια σειρά και έχουν ως στόχο να αναδείξουν το βασικό πρότυπο, διαγράφοντας τις ακραίες διακυμάνσεις των ιστορικών δεδομένων. Οι προσεγγίσεις αυτές διαφέρουν μεταξύ τους, αλλά κατά κύριο λόγο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις μεθόδους κινητού μέσου όρου, όπου οι προηγούμενες τιμές συνυπολογίζονται με ίσο βάρος στον υπολογισμό της πρόβλεψης, και τις μεθόδους εκθετικής εξομάλυνσης, όπου χρησιμοποιούνται βάρη που μειώνονται εκθετικά από την πιο πρόσφατη παρατήρηση προς τις πιο παλιές.

Η εξομάλυνση με εκθετικό τρόπο αποτελεί μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές πρόβλεψης (σύμφωνα με τον τύπο (4)). Βασίζεται στην ιδέα ότι τα πιο πρόσφατα δεδομένα έχουν μεγαλύτερη σημασία, ενώ τα παλαιότερα δεδομένα (των προηγούμενων περιόδων) έχουν μικρότερη σημασία. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε προβλήματα βραχυπρόθεσμου προγραμματισμού και γενικά σε περιπτώσεις όπου ο χρονικός ορίζοντας της πρόβλεψης είναι σχετικά μικρός και δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για ενδεχόμενη αιτιοκρατική σχέση μεταξύ της μεταβλητής που πρόκειται να προβλεφθεί και ανεξάρτητων παραγόντων που την επηρεάζουν. Η δημοφιλία της οφείλεται στην ευκολία εφαρμογής της, ενώ οι απαιτήσεις υπολογιστικού χρόνου και αποθήκευσης δεδομένων για την εφαρμογή της είναι περιορισμένες (Reid and Sanders, 2002).

Βασίζεται στην χρήση της πρόβλεψης σε συνδυασμό με την αντίστοιχη πραγματική τιμή της μεταβλητής κατά την τρέχουσα περίοδο, με σκοπό την πρόβλεψη της τιμής της μεταβλητής για τις επόμενες περιόδους. Η σχέση (4) παρέχει την εν λόγω πρόβλεψη και εκφράζεται ως εξής:

$$F_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot F_t \quad (4)$$

όπου:

- F_{t+1} = Η προβλεπόμενη ζήτηση για την επόμενη περίοδο,
- F_t = Η πρόσφατη πρόβλεψη (τιμή της προηγούμενης περιόδου),
- D_t = Η πραγματική ζήτηση την χρονική περίοδο t , και
- α = Σταθερά εξομάλυνσης

Ο συντελεστής α κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1, με την ακριβή του τιμή να εξαρτάται από την εμπειρία του χρήστη που πραγματοποιεί την πρόβλεψη, καθώς και από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου μεγέθους. Υποθέτοντας ότι αυτά τα χαρακτηριστικά εμφανίζουν

σταθερότητα στον χρόνο, ο συντελεστής α παίρνει χαμηλές τιμές (0,05-0,2). Αντίστοιχα, όταν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις, ο συντελεστής α λαμβάνει υψηλότερες τιμές. Συνεπώς, όταν ο α πλησιάζει το μηδέν, το σφάλμα πρόβλεψης στην τελευταία περίοδο έχει μικρή επίδραση στη διαμόρφωση της πρόβλεψης. Συνολικά, η επίδραση ενός χαμηλού α είναι παρόμοια με τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού περιόδων N κατά την εφαρμογή της μεθόδου του κινούμενου μέσου όρου.

Η απλή εκθετική εξομάλυνση αποτελεί την πιο βασική μορφή των μοντέλων εκθετικής εξομάλυνσης και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα δεν εμφανίζουν τάση, εποχικότητα ή κυκλικότητα. Αποτελεί μια περαιτέρω εξέλιξη της μεθόδου του κινητού μέσου όρου, διότι εξομαλύνει τα παρελθόντος δεδομένα προκειμένου να αντιμετωπιστεί η τυχαιότητα, που είναι αποτέλεσμα των διακυμάνσεων στην τιμή της μεταβλητής (Makridakis et al., 1998).

Τα κύρια μοντέλα της εκθετικής εξομάλυνσης είναι τα εξής:

- Απλή εκθετική εξομάλυνση σταθερού επιπέδου (SES-Simple Exponential Smoothing),
- Γραμμική τάση (Holt), και
- Μη γραμμική τάση (Damped).

Εκτός από την απλή εκθετική εξομάλυνση, η οποία εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει αντιληπτή τάση και εποχικότητα στα δεδομένα, υπάρχουν επίσης άλλα μοντέλα εξομάλυνσης που λαμβάνουν υπόψη αυτές τις παραμέτρους. Για παράδειγμα, όταν παρατηρείται τάση στη ζήτηση, χρησιμοποιείται η εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση, όπως το γνωστό μοντέλο του Holt. Αν παρατηρείται τόσο τάση όσο και εποχικότητα, χρησιμοποιείται το μοντέλο του Winters. Τέλος, όταν παρατηρείται μόνο εποχικότητα στη ζήτηση, επικρατέστερο είναι το μοντέλο Holt-Winters. Παρακάτω θα αναλυθούν περισσότερο και αυτές οι δύο μέθοδοι εξομάλυνσης.

2.2.2.3.1 Εκθετική εξομάλυνση με τάση

Η μέθοδος εκθετικής εξομάλυνσης που προσαρμόζεται στην τάση, ευρέως γνωστή ως μέθοδος Holt, εφαρμόζεται όταν παρατηρείται κάποια τάση στα δεδομένα της χρονοσειράς. Σε αντίθεση με την απλή εκθετική εξομάλυνση, η μέθοδος Holt διαθέτει δύο παραμέτρους εξομάλυνσης: την παράμετρο α για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς και την παράμετρο β για την εξομάλυνση της τάσης (Makridakis et al., 1998).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρείται ότι οι τιμές που καταγράφονται σε χρονοσειρές εμφανίζουν σταθερή αύξηση ή μείωση σε συγκεκριμένο ρυθμό (βήμα) για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα. Αυτή η τάση αντιπροσωπεύει τη μακροχρόνια εξέλιξη της χρονοσειράς, είτε πρόκειται για ανοδική, είτε καθοδική. Παράγοντες όπως πληθυσμιακές διακυμάνσεις και τεχνολογικές αλλαγές, καθώς και οικονομικοί παράγοντες όπως ο πληθωρισμός, συχνά συμβάλλει στην εμφάνιση αυτής της τάσης.

Η πτυχή της τάσης υιοθετεί μια γραμμική μορφή όταν η μεταβλητή αυξάνεται σε σταθερό ρυθμό κατά κάθε περίοδο. Σε αντίθεση, όταν η τάση εκφράζεται ως ποσοστό μεγέθυνσης της τιμής της μεταβλητής, χαρακτηρίζεται ως πολλαπλασιαστική. Αυτό συμβαίνει όταν η τιμή D_{t+1} της μεταβλητής για τη χρονική περίοδο $t+1$ είναι ίση με την τιμή D_t για την προηγούμενη περίοδο, αυξημένη κατά την ποσότητα $p_t \cdot D_t$, όπου p_t αναφέρεται σε μια ποσότητα που καθορίζεται γύρω από μια σταθερή μέση τιμή και αντιπροσωπεύει ποσοστιαία αύξηση της τιμής της μεταβλητής.

Κατά την παρουσία γραμμικής τάσης, η διακύμανση μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών της μεταβλητής, δηλαδή η διαφορά $D_{t+1} - D_t$, δεν απορρέει μόνο από τυχόν φυσικές διακυμάνσεις του οριζόντιου στοιχείου, αλλά επίσης από την επαναλαμβανόμενη τάση προς αύξηση ή μείωση της χρονοσειράς.

Με την εφαρμογή της εκθετικής εξομάλυνσης, παρόμοια με την περίπτωση του οριζόντιου στοιχείου, είναι δυνατό να αποσβεστούν οι διακυμάνσεις στην τιμή του βήματος που παρουσιάζονται από περίοδο σε περίοδο, χρησιμοποιώντας μια σταθερά εξομάλυνσης b .

Συνδυάζοντας το εξομαλυσμένο βήμα της τάσης T_t με την προηγούμενη πρόβλεψη, όπως περιγράφεται στη σχέση (4), η οποία αντιστοιχεί στο μοντέλο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης, προκύπτει:

$$S_{t+1} = \alpha \cdot D_t + (1 - \alpha) \cdot (S_t + T_t) \quad (5)$$

Ο τύπος (5) καθορίζει την πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο της τιμής του οριζόντιου στοιχείου της μεταβλητής. Αντίστοιχα, η πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο του βήματος της τάσης (T_{t+1}) προκύπτει από τη σχέση:

$$T_{t+1} = b \cdot (S_{t+1} - S_t) + (1 - b) \cdot T_t \quad (6)$$

Με βάση τις προηγούμενες εξισώσεις, υπολογίζεται επίσης η εκτιμώμενη τιμή της μεταβλητής για την επόμενη περίοδο, με χρήση του τύπου:

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1} \quad (7)$$

ενώ για τη χρονική περίοδο $t+m$, η εξίσωση (7) λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$F_{t+m} = S_{t+1} + m \cdot T_{t+1} \quad (8)$$

Τα σφάλματα πρόβλεψης εξαρτώνται από τις τιμές των δύο σταθερών εξομάλυνσης (a , b). Για την ελαχιστοποίησή τους, απαιτείται η αξιολόγηση της ευαισθησίας σε ένα εύρος τιμών για τις δύο αυτές σταθερές. Επομένως, απαιτείται ο έλεγχος και η σύγκριση των σφαλμάτων που προκύπτουν από διάφορες τιμές των σταθερών a και b που χρησιμοποιούνται.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η εφαρμογή του μοντέλου γραμμικής τάσης παρέχει αποτελέσματα που προσεγγίζουν περισσότερο την πραγματικότητα σε σύγκριση με την απλή εκθετική εξομάλυνση. Είναι όμως απαραίτητο να υπάρχει η παρουσία του στοιχείου της τάσης στα δεδομένα για να επιτευχθεί αυτό.

2.2.2.3.2 Εκθετική εξομάλυνση με εποχικότητα

Η εποχικότητα αναφέρεται στη συστηματική εξέλιξη που εμφανίζει μια χρονοσειρά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων, όπως μήνες, τρίμηνα ή διαδοχικά έτη. Για να προβλέψουμε την τιμή ενός μεταβλητού με βάση μια χρονοσειρά που παρουσιάζει εποχικές διακυμάνσεις (χωρίς τάση), χρησιμοποιείται αποτελεσματικά το μοντέλο εποχικότητας. Αυτό περιγράφεται με έναν δείκτη εποχικότητας I_t , ο οποίος αντιπροσωπεύει, στην περίπτωση μας, την απόκλιση της ζήτησης κάθε μήνα από τον μέσο όρο του ενιαίου έτους. Όταν ο δείκτης είναι υψηλότερος από τη μονάδα, υπονοείται έξαρση στη ζήτηση, ενώ όταν είναι χαμηλότερος, υπονοεί πτώση στη ζήτηση.

Για να προβλέψουμε, αρχικά προβαίνουμε στην εξομάλυνση των δεδομένων της χρονοσειράς τόσο για το οριζόντιο στοιχείο όσο και για τον δείκτη εποχικότητας, καθώς και αυτός υφίσταται διακυμάνσεις στη διάρκεια του χρόνου.

Όσον αφορά τον υπολογισμό της σχέσης εξομάλυνσης για την τρέχουσα περίοδο του οριζόντιου στοιχείου, υποθέτουμε ότι η τιμή D_t της πραγματικής ζήτησης για τον τρέχοντα μήνα διαιρείται με τον δείκτη εποχικότητας του προηγούμενου έτους I_{t-L} , όπου $L=12$. Επομένως, ο τελικός τύπος διαμορφώνεται ως εξής:

$$S_t = \alpha \cdot \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha) \cdot S_{t-1} \quad (9)$$

Ο κύκλος των εποχών δεν επαναλαμβάνεται κάθε χρόνο· αντιθέτως, υφίσταται διακυμάνσεις. Συνεπώς, στη σχέση (9), ο δείκτης εποχικότητας πρέπει να προκύπτει από τα δεδομένα ενός συνεχούς χρονικού διαστήματος. Η εξομάλυνση των τιμών του δείκτη εποχικότητας για κάθε μήνα πραγματοποιείται με τον εξής τρόπο:

$$I_t = c \cdot \frac{D_t}{S_t} + (1-c) \cdot I_{t-L} \quad (10)$$

όπου: c είναι η σταθερά εξομάλυνσης για του δείκτης εποχικότητας.

Στην εξίσωση (10), η παρούσα τιμή της μεταβλητής D_t διαιρείται με την εξομαλυσμένη τιμή του οριζόντιου στοιχείου, η οποία υπολογίζεται με βάση τον τύπο (9). Αυτή η διαίρεση οδηγεί στον υπολογισμό της απόκλισης, δηλαδή του ποσοστού κατά το οποίο η τρέχουσα τιμή D_t υπερβαίνει ή υστερεί από την εν λόγω εξομαλυσμένη τιμή. Αυτή η απόκλιση στη συνέχεια σταθμίζεται με τον συντελεστή εξομάλυνσης c . Συνεπώς, ο δείκτης εποχικότητας για έναν συγκεκριμένο μήνα βασίζεται σε δεδομένα από τις προηγούμενες $1L, 2L, \dots$ περιόδους. Επομένως, σε αυτή την προσέγγιση, τα πιο πρόσφατα δεδομένα έχουν μεγαλύτερη επίδραση, και αυτό εξαρτάται από την τιμή του συντελεστή εξομάλυνσης c . Στο πλαίσιο του μοντέλου τάσης, η επιλογή της σταθεράς επηρεάζει τα σφάλματα πρόβλεψης.

Η ολοκληρωμένη πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο προκύπτει από τον συνδυασμό τόσο του οριζόντιου στοιχείου όσο και του εποχικού. Άρα, συνθέτοντας τις σχέσεις (9) και (10), προκύπτει η εξίσωση:

$$F_{t+1} = S_t \cdot I_{t-L+1} \quad (11)$$

και η εκτίμηση για το μέλλον, μετά από το πέρας m χρονικών περιόδων, εκφράζεται ως εξής:

$$F_{t+m} = S_t \cdot I_{t-L+m} \quad (12)$$

2.2.2.3.3 Εκθετική εξομάλυνση με τάση & εποχικότητα

Η διαδικασία της εκθετικής εξομάλυνσης με προσαρμογή στην τάση και την εποχικότητα, γνωστή και ως μέθοδος Winters, αποτελεί μια εξέλιξη της μεθόδου Holt. Η μέθοδος Winters ενσωματώνει τρεις παραμέτρους, συγκεκριμένα τις a , b και c , οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ομαλοποίηση των τιμών της χρονοσειράς, της τάσης και της εποχικότητας, αντίστοιχα (Makridakis et al., 1998).

Σε μια σειρά χρονοσειράς, είναι πιθανό να υπάρχει ταυτόχρονα το οριζόντιο στοιχείο, η τάση, και η εποχικότητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές εξισώσεις εξομάλυνσης, καθεμία για το αντίστοιχο στοιχείο:

$$S_t = \alpha \cdot \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha) \cdot (S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (13)$$

$$T_t = b \cdot (S_t - S_{t+1}) + (1-b) \cdot T_{t-1} \quad (14)$$

$$I_t = c \cdot \frac{D_t}{S_t} + (1-c) \cdot I_{t-L} \quad (15)$$

όπου:

- S_t = Η εξομαλυμένη τιμή του οριζόντιου στοιχείου,
- T_t = Η εξομαλυμένη τιμή του στοιχείου τάσης,
- I_t = η εξομαλυμένη τιμή του εποχικού στοιχείου, και
- L = το εύρος της περιόδου

Σε κάθε χρονική περίοδο λαμβάνονται υπόψη τα στοιχεία S_{t-1} , T_{t-1} , και I_{t-1} από την προηγούμενη περίοδο, καθώς και η τρέχουσα τιμή D_t . Η πρόβλεψη F_{t+1} για την επόμενη περίοδο υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$F_{t+1} = (S_t + T_t) \cdot I_{t-L+1} \quad (16)$$

και η εκτίμηση για το μέλλον, μετά από το πέρας m χρονικών περιόδων, εκφράζεται ως εξής:

$$F_{t+m} = (S_t + m \cdot T_t) \cdot I_{t-L+1} \quad (17)$$

Οι διαδικασίες για το πλαίσιο πρόβλεψης αυτών των υποδειγμάτων ακολουθούν τα εξής βήματα:

1. **Αρχικοποίηση:** Αρχική εκτίμηση των παραμέτρων μέσω υπολογισμού από τα διαθέσιμα δεδομένα,
2. **Πρόβλεψη:** Με βάση τις εκτιμήσεις της περιόδου t , προβλέπεται η ζήτηση για την περίοδο $t+1$ χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση F_{t+1} ,
3. **Υπολογισμός σφάλματος:** Καταγραφή της πραγματικής ζήτησης D_{t+1} για υπολογισμό του σφάλματος E_{t+1} της πρόβλεψης, και
4. **Επαναπροσδιορισμός Εκτιμήσεων:** Προσαρμογή των εκτιμήσεων S_{t+1} , T_{t+1} , I_{t+1} λαμβάνοντας υπόψη το παρατηρούμενο σφάλμα.

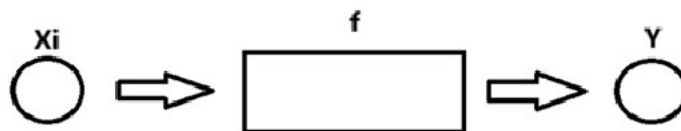
2.2.2.4 Διάσπαση χρονοσειρών

Η ανάλυση χρονοσειρών με τη μέθοδο της διάσπασης αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία προβλέψεων. Σε αντίθεση με τις μεθόδους εξομάλυνσης που εφαρμόζονται κυρίως για τη διαμόρφωση σύντομων προβλέψεων και σε χρονοσειρές με περιορισμένα δεδομένα, η διάσπαση χρονοσειρών απαιτεί ένα μεγαλύτερο σύνολο παρατηρήσεων και παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής ακόμα και μακροπρόθεσμων προβλέψεων. Αν και απαιτεί περισσότερο χρόνο σε σύγκριση με τις προηγούμενες μεθόδους εξομάλυνσης, παρέχει τη δυνατότητα για λεπτομερή έρευνα και ανάλυση του τρόπου σύνθεσης των δεδομένων μιας χρονοσειράς.

Οι προσεγγίσεις για την ανάλυση χρονοσειρών αποτελούν την πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη κατηγορία ποσοτικών μοντέλων πρόβλεψης, ιδίως στον επιχειρηματικό τομέα. Η βάση αυτών των μοντέλων είναι η υπόθεση ότι οι αλλαγές στην τιμή του εξεταζόμενου μεγέθους ακολουθούν ένα κρυφό πρότυπο που επαναλαμβάνεται στον χρόνο και παραμένει όσο το δυνατόν σταθερό χωρίς ανωμαλίες. Το εν λόγω πρότυπο υποθέτει ότι μπορεί να αναγνωριστεί μονοσήμαντα βάσει των διαθέσιμων δεδομένων. Οι προβλέψεις, συνεπώς, προκύπτουν από την αναγνώριση αυτού του προτύπου και την επέκτασή του στο μέλλον. Με βάση τις προηγούμενες τιμές της μεταβλητής υπό εξέταση, ανιχνεύουμε το πρότυπο που ακολουθεί και παράγουμε σημειακές προβλέψεις επεκτείνοντας το εν λόγω πρότυπο στο μέλλον. Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας, απαιτείται η διαθεσιμότητα επαρκούς ιστορικού σε αριθμό δεδομένων της μελετούμενης μεταβλητής σε σταθερές χρονικές περιόδους. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιστορικό δεδομένων, τόσο

ακριβέστερα μπορούμε να ανιχνεύσουμε το πρότυπο συμπεριφοράς της χρονοσειράς και να παράγουμε πιο ακριβείς προβλέψεις.

Η απεικόνιση του μοντέλου χρονοσειρών μπορεί να προβληθεί γραφικά μέσω του απλού διαγράμματος που παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Μοντέλο χρονοσειρών

Στο παραπάνω σύνολο, η είσοδος του συστήματος, συμβολικά σημειούμενη ως X_i (με i να αναφέρεται στη σχετική χρονική περίοδο), αντιπροσωπεύει το ιστορικό δεδομένων της εξεταζόμενης μεταβλητής. Στη συνέχεια, η έξοδος Y αποτελεί την τελική παραγόμενη πρόβλεψη, ενώ η συνάρτηση f αναπαριστά το μοντέλο πρόβλεψης που χρησιμοποιείται.

Η ανάλυση των χρονοσειρών με αυτή τη μέθοδο βασίζεται στον διακριτικό διαμοιρασμό των παρατηρήσεων τους σε τέσσερα βασικά συνθετικά στοιχεία ή συνιστώσες: την *τάση*, την *εποχικότητα*, την *κυκλικότητα* και το *οριζόντιο στοιχείο*. Με αυτόν τον τρόπο, προσπαθούμε να προσδιορίσουμε πώς κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία επηρεάζει τον τρόπο δημιουργίας των παρατηρήσεων της χρονοσειράς ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιούνται για την καλύτερη διαμόρφωση των προβλέψεων. Αναλυτικά:

- **Τάση:** Εμφανίζεται σε χρονοσειρές όπου παρατηρείται μια συστηματική μεταβολή της μέσης τιμής της μεταβλητής με την πάροδο του χρόνου, αντιπροσωπεύοντας την επίδραση μακροχρόνιων παραγόντων στη σειρά. Η τάση ενδέχεται να οφείλεται σε πληθυσμιακές, τεχνολογικές, ή οικονομικές αλλαγές, όπως η επίδραση του πληθωρισμού.
- **Εποχικότητα:** Αναφέρεται σε χρονοσειρές όπου οι αλλαγές των τιμών τους οφείλονται σε κάποιο εποχικό γεγονός, όπως στις καιρικές συνθήκες, και, συνεπώς, καταγράφει τις επιπτώσεις που συμβαίνουν με κανονικό ρυθμό στο σύντομο χρονικό διάστημα.
- **Κυκλικότητα:** Περιγράφεται από μακροπρόθεσμες αλληπάλληλες κινήσεις γύρω από τη γραμμή ή το περίγραμμα της τάσης, εμφανίζοντας μη τακτικά κυματοειδή σχήματα για μια χρονική διάρκεια πολύ μεγαλύτερη από ένα έτος. Αυτή η συμπεριφορά των τιμών των χρονοσειρών μπορεί να αποδοθεί σε οικονομικούς κύκλους, που πηγάζουν από μεταβαλλόμενες οικονομικές ή τεχνολογικές συνθήκες. Παρόλα αυτά, οι οικονομικοί κύκλοι δεν εμφανίζονται με την ίδια περιοδικότητα ή μορφή. Για αυτό το λόγο, το στοιχείο

της κυκλικότητας, αντίθετα με την τάση και την εποχικότητα, δεν θεωρείται ότι συν *contributes* άμεσα στη δημιουργία προβλέψεων. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τη μέχρι τώρα εξέλιξη των τιμών της χρονοσειράς.

- **Τυχαίες Κινήσεις:** Παρουσιάζεται σε χρονοσειρές που δεν εμφανίζουν καμία συνολική τάση προς αύξηση ή μείωση, αλλά αντίθετα διακυμαίνονται συνήθως γύρω από μια σταθερή μέση τιμή, παραμένοντας σε στάσιμη κατάσταση.

Σε μια συγκεκριμένη χρονοσειρά, είναι δυνατόν να υπάρχουν τόσο οι τέσσερις βασικές συνιστώσες όσο και κάποιες από αυτές. Η ανάλυση των χρονοσειρών περιλαμβάνει τον υπολογισμό των μαθηματικών συνιστωσών τους. Η βασική ιδέα είναι εμπειρική και περιλαμβάνει τον απομονωτικό χειρισμό πρώτα της εποχικότητας, έπειτα της τάσης, και τέλος της κυκλικότητας. Η τυχαιότητα μπορεί να αναγνωριστεί, αλλά δεν μπορεί να προβλεφθεί.

Σημειώνεται ότι η αναγνώριση της κατηγορίας κάθε στοιχείου που καθορίζει μια χρονοσειρά προηγείται της επιλογής του προσδιορισμού του μοντέλου πρόβλεψης που θα χρησιμοποιηθεί.

Για τον απονομολόγηση των χρονοσειρών, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συμβολισμοί:

- Y_t = Πραγματική τιμή της χρονοσειράς,
- T_t = Τάση,
- I_t = Εποχικότητα,
- C_t = Κυκλικότητα, και
- S_t = Τυχαίες κινήσεις.

Όπου: $t = 1, 2, 3, \dots, n$.

Για την ανάλυση αυτών των στοιχείων, χρησιμοποιείται ένα μαθηματικό πλαίσιο που αποκαλύπτει τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα της χρονοσειράς αποτελούνται από τις διάφορες συνιστώσες της. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν το *προσθετικό μοντέλο* (additive model) και το *πολλαπλασιαστικό μοντέλο* (multiplicative model).

Στο πλαίσιο του προσθετικού μοντέλου, οι πραγματικές τιμές της χρονοσειράς για κάθε περίοδο θεωρούνται ως το άθροισμα τεσσάρων διακριτών συνιστωσών. Η δημιουργία τους πραγματοποιείται με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (18)$$

Από την παραπάνω σχέση, προκύπτει ότι όλες οι συνιστώσες εκφράζονται στην ίδια μονάδα μέτρησης με αυτήν των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Σε αντίθεση, στο πολλαπλασιαστικό μοντέλο, οι πραγματικές τιμές της χρονοσειράς προκύπτουν από το γινόμενο των τεσσάρων συνιστωσών, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$Y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t \quad (19)$$

Στο πλαίσιο αυτού του μοντέλου, μόνο η τάση εκφράζεται στην ίδια μονάδα μέτρησης με τη χρονοσειρά Y_t , ενώ τα στοιχεία C_t , S_t , και I_t είναι δείκτες ανεξάρτητοι από μονάδες μέτρησης.

Από τα δύο παραπάνω μοντέλα, το προσθετικό μοντέλο χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά στην πράξη λόγω της δυσκολίας στην ανάλυσή του για υπολογιστικούς λόγους. Επιπλέον, βασίζεται στην υπόθεση ότι οι συνιστώσες της χρονοσειράς είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει, για παράδειγμα, ότι η τάση δεν επηρεάζει την εποχικότητα στον υπολογισμό των τιμών της χρονοσειράς. Αυτή η υπόθεση μπορεί να ισχύει κυρίως για φυσικά φαινόμενα, αλλά σπάνια ισχύει σε επιχειρησιακές και οικονομικές εφαρμογές, όπου συνήθως η τάση επηρεάζει, μεταξύ άλλων, και τις εποχικές διακυμάνσεις (Makridakis et al., 1998).

2.2.2.5 Αιτιακές μέθοδοι

Στις αιτιοκρατικές μεθόδους, γνωρίζουμε ποιες μεταβλητές συσχετίζονται με τη δεδομένη σειρά και, βασιζόμενοι σε αυτές, κατασκευάζουμε ένα μοντέλο που αντιπροσωπεύει αυτή τη σχέση. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει χρονική εξάρτηση, καθώς η πρόβλεψη παρουσιάζεται ως συνάρτηση των συγκεκριμένων παραγόντων που έχουν αναγνωριστεί ότι επηρεάζουν τις μελλοντικές τιμές. Η ανάπτυξη μιας τέτοιας μεθόδου διευκολύνει τον κατανοητό προγραμματισμό των συνθηκών και επιτρέπει πειραματισμό με διάφορους συνδυασμούς δεδομένων για τη βαθύτερη μελέτη των επιδράσεων τους στην τελική πρόβλεψη. Οι μέθοδοι παλινδρόμησης και οι οικονομετρικές μέθοδοι είναι παραδείγματα αιτιοκρατικών/επεξηγηματικών μεθόδων.

Όταν προβλέπουμε τη ζήτηση ενός προϊόντος βασιζόμενοι σε μια μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή, χρησιμοποιούμε τον όρο "απλή παλινδρόμηση", ενώ όταν εξετάζουμε περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές, αναφερόμαστε σε "πολλαπλή παλινδρόμηση". Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μια σχέση αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ των δεδομένων ζήτησης του προϊόντος και των ανεξάρτητων μεταβλητών, παρόλο που υπάρχει υψηλός βαθμός συσχέτισης. Αυτή η κατηγορία μεθόδων πρόβλεψης εφαρμόζει διάφορα οικονομετρικά

μοντέλα στη διαδικασία πρόβλεψης ζήτησης, προσφέροντας τη δυνατότητα εκτίμησης εξωγενών παραγόντων και γεγονότων, όπως οι αλλαγές στην οικονομία, καθιστώντας την κατάλληλη για μακροχρόνια προβλέψη της ζήτησης (Makridakis and Wheelwright, 1982).

2.2.2.5.1 Απλή γραμμική παλινδρόμηση

Η πιο απλή μορφή ενός μοντέλου προβλέψεων που βασίζεται σε αιτιοκρατική σχέση είναι η απλή γραμμική παλινδρόμηση. Σε αυτό το πλαίσιο, η συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης και της ανεξάρτητης μεταβλητής είναι γραμμική και μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση (18):

$$Y = \alpha + \beta \cdot X \quad (20)$$

όπου:

- Y = εξαρτημένη μεταβλητή,
- X = ανεξάρτητη μεταβλητή, και
- α, β = οι παράγοντες της εξίσωσης πρέπει να υπολογιστούν ή να αξιολογηθούν.

Σε αυτή την εξίσωση, το " α " αναπαριστά το σημείο τομής της ευθείας με τον άξονα Y (καθώς ισχύει $Y = \alpha$ όταν $X = 0$), ενώ το " β " αναπαριστά τον συντελεστή που περιγράφει την κλίση της ευθείας. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή της μεταβλητής Y , όταν η μεταβλητή X μεταβάλλεται κατά μία μονάδα, είναι ίση με το " β ". Επομένως, η ύπαρξη μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών Y και X υποδηλώνει ότι οι διακυμάνσεις στην τιμή της μεταβλητής X προκαλούν αντίστοιχες διακυμάνσεις στην τιμή της μεταβλητής Y , βάσει του συντελεστή " β ".

2.2.3 Κριτικές μέθοδοι

Οι αναλυτικές προσεγγίσεις στην πρόβλεψη των χρονοσειρών, που ανήκουν στην κατηγορία των ποσοτικών μεθόδων, επιτρέπουν τον εντοπισμό προτύπων ή σχέσεων που χαρακτηρίζουν τις χρονοσειρές. Σκοπός τους είναι η επέκταση των χρονοσειρών αυτών για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών. Ωστόσο, βασική υπόθεση αυτών των μεθόδων είναι η διατήρηση των εντοπισμένων προτύπων ή σχέσεων. Στην πραγματική ζωή, όμως, συμβαίνουν διαρκείς αλλαγές και, όσο πιο γρήγορα αναγνωριστούν αυτές οι αλλαγές, τόσο πιο πιθανό είναι να αποφευχθούν μεγάλα και συχνά ακριβή λάθη στις προβλέψεις.

Στις περιπτώσεις όπου αναγνωρίζονται τέτοιες αλλαγές, η ανθρώπινη κρίση είναι απαραίτητη για τη διόρθωση των προβλέψεων. Η ανθρώπινη κρίση αποτελεί τη μοναδική βιώσιμη εναλλακτική

λύση για την πρόβλεψη της έκτασης και των επιπτώσεων των αλλαγών αυτών στις προβλέψεις. Επιπλέον, επιτρέπει την ενσωμάτωση της εμπειρίας και της γνώσης των διευθυντικών στελεχών και των ειδικών στις πληροφορίες.

Συνολικά, οι κριτικές μέθοδοι στηρίζονται στα προϊόντα της διαίσθησης, της κρίσης και της συσσώρευσης γνώσης και χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Οι μέθοδοι αυτές μπορεί να βασίζονται είτε στις ατομικές γνώσεις και κρίσεις ενός ατόμου (ατομικές μέθοδοι) είτε στον συνδυασμό απόψεων των μελών μιας επιτροπής (μέθοδοι επιτροπής).

2.2.4 Τεχνολογικές μέθοδοι

Οι τεχνολογικές προσεγγίσεις στην πρόβλεψη χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν μακροπρόθεσμες εξελίξεις σε τομείς όπως η τεχνολογία, η οικονομία, η κοινωνία και η πολιτική. Αυτές οι προσεγγίσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις *εξερευνητικές* και τις *κανονιστικές*. Οι εξερευνητικές προσεγγίσεις ξεκινούν από την ανάλυση του παρελθόντος ή του παρόντος και, εξετάζοντας διάφορα σενάρια, προσπαθούν να προβλέψουν το μέλλον. Αντίθετα, οι κανονιστικές προσεγγίσεις ξεκινούν με τον καθορισμό όλων των μελλοντικών στόχων και, στη συνέχεια, εξετάζουν τις πιθανότητες επίτευξής τους λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς, διαθέσιμους πόρους και τεχνολογικές προόδους.

2.3 Αξιολόγηση/Επιλογή κατάλληλης μεθόδου πρόβλεψης

2.3.1 Σφάλματα Πρόβλεψης

Η πρόβλεψη, λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου, δεν μπορεί πλέον να χαρακτηριστεί ως μια δύσκολη διαδικασία. Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί μπορούν να εκτελεστούν σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού και, συνήθως, να παράγουν προβλέψεις σε λίγα δευτερόλεπτα. Ωστόσο, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για αυτούς τους υπολογισμούς δεν αποτελεί εύκολη διαδικασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί από απλούς χρήστες.

Όπως προαναφέρθηκε, οι μέθοδοι πρόβλεψης κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τις εφαρμογές τους και τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Αυτό καθιστά τη διαδικασία επιλογής τους πιο δύσκολη. Κινούμενοι προς αυτήν την κατεύθυνση, θα αναφερθούν ορισμένοι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή των διαθέσιμων μεθόδων. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν:

1. Χρονικό ορίζοντα,
2. Πρότυπο συμπεριφοράς των δεδομένων,
3. Κόστος,
4. Αξιοπιστία,
5. Απλότητα και ευκολία στην εφαρμογή της.

Αναλυτικά:

- Χρονικός ορίζοντας: Ανάλογα με το χρονικό πλαίσιο στο οποίο αναφέρεται η πρόβλεψη, συχνά επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος για την προσέγγιση. Για μακροπρόθεσμες προβλέψεις, συνήθως προτιμώνται ποσοτικές μέθοδοι, ενώ για μεσοπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, επιλέγονται συχνότερα ποιοτικές μέθοδοι. Ένα επιπλέον κρίσιμο στοιχείο αποτελεί το χρονικό διάστημα που πρέπει να καλυφθεί με την πρόβλεψη.
- Πρότυπο συμπεριφοράς των δεδομένων: Η εφαρμογή οποιουδήποτε μοντέλου πρόβλεψης απαιτεί προηγούμενη αναγνώριση ενός θεμελιώδους προτύπου συμπεριφοράς στα δεδομένα. Αυτό το πρότυπο θα αποτελέσει τη βάση για την εφαρμογή της τεχνικής πρόβλεψης. Τα τέσσερα βασικά πρότυπα συμπεριφοράς που συχνά παρατηρούνται στις χρονοσειρές και, συχνά, εμφανίζονται ταυτόχρονα, είναι το σταθερό πρότυπο, το πρότυπο της τάσης, το εποχιακό πρότυπο και το κυκλικό πρότυπο.
- Κόστος: Οι οικονομικές αντιστοιχίες μιας μεθόδου πρόβλεψης συνδέονται άμεσα με τον όγκο των δεδομένων που αποτελούν το ιστορικό και την πολυπλοκότητα της εφαρμογής της. Το κόστος εδώ μπορεί να αναφέρεται είτε στην υπολογιστική πλευρά είτε στο οικονομικό κόστος που συνδέεται με την υλοποίηση των μεθόδων.
- Αξιοπιστία: Η αξιοπιστία των προβλέψεων συνδέεται με το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται για την εκάστοτε περίπτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα ποσοστό ακρίβειας της πρόβλεψης 10% μπορεί να είναι ικανοποιητικό, ενώ σε άλλες περιπτώσεις ακόμα και το μισό του προαναφερόμενου ποσοστού μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις.
- Απλότητα και ευκολία στην εφαρμογή της: Μέθοδοι που είναι απλές και εύληπτες ευνοούνται, καθώς παρουσιάζουν ευκολία στην εφαρμογή τους. Ενώ ο συνδυασμός διαφορετικών μεθόδων μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα αποτελέσματα, πειραματικά έχει επιβεβαιωθεί ότι οι απλές μέθοδοι συχνά επιδεικνύουν καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με πολύπλοκες προσεγγίσεις.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για κάθε χρονοσειρά βασίζεται αποκλειστικά στη φύση των δεδομένων και όχι σε οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση.

Η εκτιμώμενη ζήτηση σπάνια συγκρίνεται ακριβώς με την πραγματική, και συνήθως εμφανίζεται μια απόκλιση, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Αυτή η απόκλιση, που ονομάζεται *σφάλμα πρόβλεψης*, αποτελεί πάντα παράγοντα που παραμένει περισσότερος ή λιγότερος από την πραγματική ζήτηση. Η βασική στόχευση κάθε προσπάθειας πρόβλεψης είναι η ελαχιστοποίηση αυτού του σφάλματος.

Όταν το σφάλμα είναι υψηλό, υπονοείται ότι είτε η τεχνική πρόβλεψης δεν είναι αποτελεσματική είτε ότι χρειάζεται να προβούμε σε τροποποιήσεις των παραμέτρων της. Τα σφάλματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε *στατιστικά*, προερχόμενα από ανακριβείς εκτιμήσεις ή παραλείψεις παραγόντων που επηρεάζουν τη ζήτηση, όπως η εποχικότητα. Αντιθέτως, τα *τυχαία σφάλματα* οφείλονται σε μη προβλέψιμους παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση.

Η απόκλιση των προβλέψεων μπορεί να υπολογιστεί με τη σύγκριση των εκτιμήσεων με τις πραγματικές τιμές της ζήτησης. Έστω ότι F_t αντιπροσωπεύει την πρόβλεψη της ζήτησης για την περίοδο t , ενώ Y_t αντιπροσωπεύει την πραγματική ζήτηση της ίδιας περιόδου. Το σφάλμα της πρόβλεψης e_t ορίζεται από τη σχέση:

$$e_t = Y_t - F_t \quad (21)$$

Η συνολική απόδοση ενός μοντέλου πρόβλεψης σε ένα χρονικό διάστημα t περιόδων υπολογίζεται με τον συνολικό άθροισμα των σφαλμάτων πρόβλεψης κάθε περιόδου. Αρνητικές τιμές υποδηλώνουν υπερεκτίμηση της ζήτησης, ενώ θετικές τιμές υποεκτίμηση. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι θετικές αποκλίσεις αναιρούνται από τις αρνητικές, ενδεχομένως δημιουργώντας μια πλασματική εντύπωση καλής αποτελεσματικότητας, δηλαδή μικρού μέσου σφάλματος, παρά το γεγονός ότι έχουν σημειωθεί υψηλές θετικές και αρνητικές αποκλίσεις. Για αυτόν τον λόγο, επικεντρωνόμαστε κυρίως σε μετρήσεις με απόλυτες και μέσες τιμές σφάλματος.

Κατά την πρόβλεψη των τιμών ενός μεγέθους, είναι δυνατόν να υπολογιστούν δύο διαφορετικά είδη σφαλμάτων. Πριν την καταγραφή των πραγματικών τιμών του μεγέθους για την περίοδο που αφορά η πρόβλεψη, μπορεί να υπολογιστεί μόνο το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης (σφάλμα εντός δείγματος). Στη συνέχεια, όταν τα πραγματικά δεδομένα είναι διαθέσιμα, μπορεί να υπολογιστεί τόσο το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης όσο και το πραγματικό σφάλμα (σφάλμα εκτός δείγματος). Το σφάλμα του μοντέλου πρόβλεψης βοηθά στην επιλογή των παραμέτρων των μοντέλων πρόβλεψης, ενώ το πραγματικό σφάλμα παρουσιάζει την ακρίβεια της μεθόδου πρόβλεψης στην τελική της μορφή (όταν έχουν υπολογιστεί οι παράμετροι και έχουν γίνει οι τελικές προβλέψεις), δείχνοντας την ανάγκη τροποποίησης του μοντέλου για τη μείωση των σφαλμάτων. (Πετρόπουλος και Ασημακόπουλος, 2011).

Οι πιο σημαντικοί δείκτες σφάλματος είναι οι εξής:

- Μέσο σφάλμα (ME),
- Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE),
- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE),
- Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE),
- Κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (sMSE),
- Μέσο απόλυτο εκατοστιαίο σφάλμα (MAPE),
- Συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (sMAPE), και
- Μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (MAE).

Ειδικότερα:

- Μέσο σφάλμα (ME): Υπολογίζεται με βάση τη σχέση (22) και αποτελεί ένα κριτήριο για τον βαθμό συστηματικότητας του σφάλματος. Συγκεκριμένα, όσο πιο χαμηλή είναι η τιμή του (κοντά στο μηδέν), τόσο περισσότερο τα σφάλματα χαρακτηρίζονται από το στοιχείο της τυχειότητας. Καθώς η τιμή του σφάλματος απομακρύνεται από το μηδέν, παρουσιάζεται τάση απαισιοδοξίας στις προβλέψεις για θετικές τιμές του σφάλματος, ενώ παρατηρείται τάση αισιοδοξίας για αρνητικές τιμές.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i) \quad (22)$$

- Μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE): Υπολογίζει τη μονάδα μέτρησης της αρχικής χρονοσειράς και αντιπροσωπεύει ένα κριτήριο για την ακρίβεια της πρόβλεψης σε σχέση με τις πραγματικές τιμές. Απαντά, συνεπώς, στο ερώτημα εάν μια μέθοδος είναι αποτελεσματική. Ωστόσο, σε περίπτωση που αποδειχθεί ότι η μέθοδος είναι ανεπαρκής, δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με το εάν παρουσιάζεται υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της μεταβλητής που πρόκειται να προβλεφθεί. Όσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη, τόσο μικρότερη είναι η ακρίβεια της χρησιμοποιημένης μεθόδου.

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i| \quad (23)$$

- Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE): Υπολογίζει τον βαθμό διασποράς στην κατανομή των σφαλμάτων πρόβλεψης. Ένα αρνητικό χαρακτηριστικό είναι η τάση του να υπερεκτιμά

μεγάλες αποκλίσεις λόγω της τετραγωνικής φύσης της, δηλαδή δίνει περισσότερη έμφαση στα μεγάλα σφάλματα (εξαιτίας του τετραγώνου) και λιγότερη στα μικρά. Συνεπώς, χρησιμοποιείται κυρίως όταν υπάρχει επιθυμία για την ανίχνευση πολλών μικρών αποκλίσεων σε σύγκριση με μία μεγάλη.

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2 \quad (24)$$

- Ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE): Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες παραμένουν παρόμοιες με αυτές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Καθώς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκφράζεται σε μονάδες της αρχικής χρονοσειράς υψωμένες στο τετράγωνο, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της τετραγωνικής ρίζας του, προκειμένου να εκφράζεται το σφάλμα σε μονάδες της αρχικής χρονοσειράς.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - F_i)^2} \quad (25)$$

- Κανονικοποιημένο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (sMSE):

$$sMSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - F_i)^2}{\bar{Y}^2} \quad (26)$$

- Μέσο απόλυτο εκατοστιαίο σφάλμα (MAPE): Παρέχει μια αντικειμενική μέτρηση του σφάλματος ως ποσοστό της πραγματικής ζήτησης (π.χ. το ποσοστό σφάλματος πρόβλεψης είναι κατά μέσο όρο 10% της πραγματικής ζήτησης). Το ποσοστό εκφράζεται σε εκατοστιαία μονάδα και οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν καλύτερη απόδοση της μεθόδου πρόβλεψης, ανεξαρτήτως τάξης μεγέθους της ζήτησης.

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| \cdot 100(\%) \quad (27)$$

- Συμμετρικό μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (sMAPE): Εφαρμόζεται συνήθως στον τομέα της ακρίβειας προβλέψεων, συνδυαζόμενο με τον μέσο απόλυτο ποσοστιαίο δείκτη σφάλματος. Αντίθετα προς το MAPE, το sMAPE δεν παρουσιάζει απροσδιοριστία όταν εφαρμόζεται σε χρονοσειρές με διακοπές στη ζήτηση. Αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τα μεγάλα σφάλματα σε περιπτώσεις έντονων διαφορών μεταξύ της πραγματικής τιμής και της πρόβλεψης, είτε η πραγματική τιμή είναι υψηλότερη είτε αντίστροφα. Ωστόσο, ένα από τα μειονεκτήματα του είναι ότι δεν διαχειρίζεται τις αισιόδοξες προβλέψεις με τον ίδιο τρόπο με τις απαισιόδοξες, καθιστώντας τον λιγότερο συμμετρικό απ' ό,τι φαίνεται.

$$sMAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{\left(\frac{Y_i + F_i}{2}\right)} \right| \cdot 100(\%) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{2 \cdot (Y_i - F_i)}{Y_i + F_i} \right| \cdot 100(\%) \quad (28)$$

- Μέσο απόλυτο κανονικοποιημένο σφάλμα (MASE):

$$MASE = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |Y_i - F_i|}{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=2}^n |Y_i - Y_{i-1}|} \quad (29)$$

2.4 Συνδυασμοί μεθόδων πρόβλεψης

Ανάλογα με τις συνθήκες και τα βασικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται, γίνεται η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Παρ' όλα αυτά, όπως είπαμε και πριν, η αναγνώριση των χαρακτηριστικών και των συνθηκών δεν αποτελεί εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Ακόμα και όταν αναγνωρίζονται σωστά οι διάφοροι παράγοντες, είναι προκλητικό να βρεθεί μια μέθοδος πρόβλεψης που ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις του προβλήματος. Η συνδυαστική χρήση διαφορετικών μεθόδων πρόβλεψης αποτελεί έναν τρόπο αύξησης της ακρίβειας των προβλέψεων. Διάφορες μέθοδοι, που εφαρμόζονται στις ίδιες χρονοσειρές, παρέχουν διαφορετικά αποτελέσματα, καθώς κάθε πρόβλεψη περιλαμβάνει διαφορετική πληροφορία. Ο συνδυασμός τους οδηγεί σε προβλέψεις που αξιοποιούν περισσότερη πληροφορία στην ίδια τιμή, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια της πρόβλεψης καθώς προσεγγίζεται καλύτερα η πραγματικότητα. Ωστόσο, κατά τη συνδυαστική διαδικασία, η επιλογή μεθόδων πρέπει να γίνει με προσοχή, καθώς υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές: ο *απλός μέσος όρος* όλων των προβλέψεων και ο *μέσος όρος* με χρήση συντελεστών βαρύτητας. Σχετικά με τη δεύτερη τεχνική, οι συντελεστές βαρύτητας εξαρτώνται από τη σχετική ακρίβεια της μεθόδου και από τη συνδιακύμανση των σφαλμάτων πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας την ανομοιότητα των μεθόδων και το μέτρο της σχετικής ακρίβειας. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι ο υπολογισμός του απλού μέσου όρου προβλέψεων εμφανίζει εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως και ο πολύπλοκος συνδυασμός τεχνικών.

Παρ' όλα αυτά, η στρατηγική της συνεργασίας διάφορων προβλέψεων αποδεικνύεται ιδιαίτερα εποικοδομητική, όπως αναδεικνύεται από αναφορές και έρευνες, όπως οι εργασίες των Clemen (1989) και Armstrong (2001). Σύμφωνα με αυτές, παρατηρείται μείωση του μεγέθους του σφάλματος έως και 6%.

Κεφάλαιο 3

Διαχείριση Αποθεμάτων

3.1 Εισαγωγή-Ορισμός Αποθεμάτων

Τα αποθέματα αποτελούν τα υλικά αγαθά που προορίζονται για:

- Άμεση πώληση (π.χ. εμπορεύματα) ή πώληση μετά από συγκεκριμένη επεξεργασία (έτοιμα και ημικατεργασμένα προϊόντα, υποπροϊόντα),
- Κατανάλωση για την παραγωγή έτοιμων αγαθών (πρώτες και βοηθητικές ύλες) ή για τη λειτουργία, συντήρηση και επισκευή πάγιων στοιχείων (ανταλλακτικά πάγια) ή για την παροχή υπηρεσιών, και
- Χρήση στη συσκευασία των εμπορευμάτων ή των παραγόμενων προϊόντων (είδη και υλικά συσκευασίας).

Ειδικότερα, ως “**απόθεμα**” αναφέρεται η συλλογή οποιωνδήποτε υλικών ή πόρων που χρησιμοποιούνται από έναν οργανισμό. Ένα σύστημα διαχείρισης αποθεμάτων είναι η συνολική στρατηγική και οι διαδικασίες που παρακολουθούν τα επίπεδα αποθεμάτων, καθώς επίσης και η λήψη αποφάσεων σχετικά με τα επίπεδα που πρέπει να διατηρούνται, ο καθορισμός του πότε πρέπει να γίνεται ανανέωση, και του μεγέθους των παραγγελιών (Robert Jacobs κ.ά., 2012).

Στον τομέα της παραγωγής, το απόθεμα αφορά γενικότερα τα αγαθά που συμβάλλουν ή αποτελούν μέρος της ροής παραγωγής μιας εταιρείας. Συνήθως, το απόθεμα παραγωγής κατηγοριοποιείται σε πρώτες ύλες, τελικά προϊόντα, εξαρτήματα, προμήθειες και ημιτελή προϊόντα. Όσον αφορά τις υπηρεσίες, το απόθεμα αναφέρεται κυρίως σε υλικά αγαθά που πρόκειται να πωληθούν και προμήθειες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία της υπηρεσίας (Robert Jacobs κ.ά., 2012). Τα αποθέματα αποτελούν τα περιουσιακά στοιχεία μιας εταιρείας και διατηρούνται υπό την κατοχή της για μελλοντική πώληση ή χρήση. Αυτά επηρεάζουν την καθημερινή λειτουργία της, καθώς απορροφούν σημαντικό μέρος των χρηματικών της πόρων, είτε έμμεσα για την απόκτησή τους είτε άμεσα ως κόστος για τη διαχείριση και αποθήκευσή τους. Τα κεφάλαια που δεν επενδύονται σε άλλες περιουσιακές στοιχειώδεις επενδύσεις, αλλά χρησιμοποιούνται για την απόκτηση αποθέματος, περιλαμβάνουν επίσης το κόστος ευκαιρίας. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα αποθεμάτων αποτελεί κρίσιμη πτυχή για μια επιχείρηση, καθώς επηρεάζει σημαντικά την ανταγωνιστικότητά της και την ικανότητά της να εξυπηρετεί αποτελεσματικά τις απαιτήσεις των πελατών της.

Ο κύριος σκοπός της ανάλυσης των αποθεμάτων στον τομέα της παραγωγής και των υπηρεσιών είναι να καθοριστεί το πότε πρέπει να τοποθετηθούν παραγγελίες για προϊόντα και πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η παραγγελία. Πολλές εταιρείες προσπαθούν να αναπτύξουν μακροχρόνιες σχέσεις με τους προμηθευτές τους, προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες τους, ίσως ακόμη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό που επιτυγχάνεται είναι η μετατόπιση του προβλήματος από το πότε και πόσο θα παραγγείλουμε στο πότε και πόσα θα παραδοθούν (Robert Jacobs κ.ά., 2012). Μια επιχείρηση δημιουργεί αποθέματα είτε για να διαχειριστεί αποτελεσματικά τις απρόβλεπτες αποκλίσεις στην προσφορά και τη ζήτηση ενός προϊόντος, είτε ως αποτέλεσμα ποικίλων παραγόντων, όπως ελλιπής προγραμματισμός ή απρόβλεπτα γεγονότα. Η αβεβαιότητα που προκύπτει από τη διαφορά σε προσφορά και ζήτηση για την ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών καθιστά αναγκαία την ύπαρξη αποθέματος. Συνεπώς, έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος ελέγχου αποθεμάτων (inventory control) για τον παρακολούθηση της ποσότητας των αποθεμάτων και τη λήψη σχετικών αποφάσεων, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή για το πότε και σε ποιά ποσότητα θα γίνει η παραγγελία για κάθε υλικό κ.ά.

3.1.2 Σκοπός αποθεμάτων

Μια εταιρεία πρέπει να εξασφαλίζει αποθηκευτικούς χώρους για τους παρακάτω λόγους:

1. Σύνδεση προσφοράς-ζήτησης:

Οι επιχειρήσεις που παράγουν προϊόντα μόνο για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ή αναγκάζονται να πωλούν τα προϊόντα τους κατά συγκεκριμένες περιόδους του έτους χρειάζονται αποθέματα για να αντιμετωπίσουν τις κορυφές ζήτησης. Το ίδιο ισχύει και για εταιρείες που διαθέτουν ευελιξία στο πότε θα παράγουν, αλλά πωλούν σε συγκεκριμένες περιόδους.

Επιπλέον, σε περιπτώσεις όπου οι τιμές των υλικών υφίστανται μεγάλες διακυμάνσεις, είναι συμφέρον να αποκτώνται υλικά όταν οι τιμές είναι χαμηλές. Αυτό εξασφαλίζει αυτάρκεια για τη μελλοντική ζήτηση και οδηγεί σε οικονομία κόστους, καθώς μειώνεται το κόστος αποθήκευσης.

Στην πραγματικότητα, είναι σπάνιο να είναι γνωστή με ακρίβεια η ζήτηση ενός προϊόντος. Έτσι, η διατήρηση ενός αποθέματος ασφαλείας είναι αναγκαία για την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων και των διακυμάνσεων στη ζήτηση.

2. Υποβοήθηση της παραγωγικής διαδικασίας:

Με τη διαθεσιμότητα αποθεμάτων, είτε πρόκειται για πρώτες ύλες είτε για ενδιάμεσα προϊόντα, αλλά και τελικά προϊόντα, επιτυγχάνεται η σταθερή παροχή στο παραγωγικό και εμπορικό σύστημα. Αυτό διασφαλίζει τη φυσιολογική και συνεχή ροή της παραγωγής, αποφεύγοντας τυχόν καθυστερήσεις λόγω προβλημάτων προμηθευτών. Ένα παράδειγμα είναι η προτίμηση της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων αφού ολοκληρωθεί η προετοιμασία, προκειμένου να επωφεληθεί από το υψηλότερο κόστος προετοιμασίας.

Συνεπώς, η αποθήκευση συνήθως συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, ειδικά όταν πολλά προϊόντα απαιτούν χρόνο για να ωριμάσουν. Επιπλέον, κατά την περίοδο ωρίμανσης, η εταιρεία δεν υποχρεούται να καταβάλει φόρους για τα έτοιμα προϊόντα, καθώς αυτά εξακολουθούν να θεωρούνται "υπό επεξεργασία".

3. Ανεξαρτησία λειτουργιών (μείωση κόστους παραγωγής-μεταφοράς):

Με την αυτόνομη λειτουργία των παραγωγικών σταδίων, επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού παραγωγής και μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής. Για παράδειγμα, η διατήρηση αποθεμάτων συνεισφέρει στην ελαχιστοποίηση του κόστους αλλαγής μηχανής από την παραγωγή ενός προϊόντος στην παραγωγή ενός άλλου. Αυτή η αυτονομία είναι επιθυμητή και στις γραμμές συναρμολόγησης, διότι οι χρόνοι εκτέλεσης σε ομοιόμορφες διαδικασίες διαφέρουν από μια μονάδα στην επόμενη.

Είναι συνεπώς προτιμητέο να υπάρχει ένα "μαξιλάρι" σε πολλά σημεία σε έναν χώρο εργασίας, ώστε να εξισορροπούνται οι μεγαλύτεροι χρόνοι εργασίας από τους μικρότερους. Με αυτόν τον τρόπο, η γενική ροή εργασίας μπορεί να διατηρηθεί σχετικά σταθερή. Όσον αφορά τη μείωση του κόστους μεταφοράς, παρατηρείται ότι παρά το γεγονός ότι η αποθήκευση και τα συναφή αποθέματα αυξάνουν τα έξοδα, επιτυγχάνεται ισορροπία με τα μικρότερα κόστη που προκύπτουν από την αυξημένη αποδοτικότητα στη μεταφορά και την παραγωγή.

4. Εκμετάλλευση του πλεονεκτήματος του μεγέθους παραγγελίας:

Υπάρχουν επίσης έξοδα που συνδέονται με μια παραγγελία, όπως εργασία, τηλεφωνήματα, εκτυπώσεις, ταχυδρομείο και άλλα. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι μια παραγγελία, τόσο λιγότερες είναι οι παραγγελίες που πρέπει να εκδοθούν. Επιπλέον, τα έξοδα αποστολής εξυπηρετούν περισσότερο τις μεγαλύτερες παραγγελίες: όσο μεγαλύτερο το φορτίο, τόσο μικρότερο το κόστος ανά μονάδα προϊόντος. Έτσι, μια επιχείρηση που διατηρεί αποθέματα έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις πληρωμές της προς τους προμηθευτές,

πραγματοποιώντας μεγαλύτερες παραγγελίες κατά περιόδους που οι τιμές των προμηθευτών είναι χαμηλές.

5. Υποβοήθηση της διαδικασίας marketing:

Η αποθήκευση προσδίδει επιπλέον αξία στο προϊόν, διότι το να διατηρείται κοντά στους πελάτες επιφέρει μείωση στο χρόνο παράδοσης και διασφαλίζει την άμεση διαθεσιμότητα του προϊόντος. Αυτή η διαδικασία συμβάλλει στη βελτίωση της εξυπηρέτησης προς τον πελάτη, πιθανώς οδηγώντας σε αυξημένες πωλήσεις.

6. Παροχή δικλείδας ασφαλείας στη διακύμανση του χρόνου παράδοσης των πρώτων υλών:

Όταν η παραγγελία ενός υλικού κατατίθεται σε έναν προμηθευτή, οι καθυστερήσεις μπορεί να προκύψουν λόγω διάφορων παραγόντων. Αυτοί περιλαμβάνουν διακυμάνσεις στο χρόνο αποστολής, έλλειψη υλικού στην εγκατάσταση του προμηθευτή που προκαλεί καθυστερήσεις, απρόβλεπτες απεργίες στην εγκατάσταση του προμηθευτή ή σε εταιρείες αποστολής, χαμένες παραγγελίες, λανθασμένα φορτία ή ελαττωματικό υλικό.

Λόγω όλων των προαναφερθέντων, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί, διότι το απόθεμα είναι ένα κοστοβόρο στοιχείο, και η διατήρηση μεγάλων ποσοτήτων είναι συνήθως ανεπιθύμητη. Οι εκτεταμένοι χρόνοι κύκλου εργασίας που προκύπτουν από τα υψηλά αποθέματα θεωρούνται, επίσης, μη επιθυμητοί.

3.1.3 Βασικοί Τύποι Αποθεμάτων

Σε μια επιχείρηση παραγωγής και εμπορίας, η διακριτική κατηγοριοποίηση των αποθεμάτων βασίζεται σε επτά διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο διατηρούνται. Αυτές περιλαμβάνουν:

1. **Αποθέματα συνεχούς ροής:** Αποθέματα που ανανεώνονται συνεχώς για να καλύπτουν την τρέχουσα ζήτηση.
2. **Αποθέματα Οικονομικής Ποσότητας Παραγγελίας:** Αποθέματα που προμηθεύονται με βάση οικονομικές ποσότητες, με σκοπό τη μείωση του κόστους.
3. **Αποθέματα Ασφαλείας:** Πρόσθετα αποθέματα που διατηρούνται για αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων.
4. **Αποθέματα Διάζευξης ή Ανεξαρτητοποίησης Διαδοχικών Σταδίων:** Αποθέματα που συνδέονται με τη διαχείριση των διαδοχικών σταδίων της παραγωγής.

5. **Εποχικά αποθέματα:** Αποθέματα που προσαρμόζονται σε εποχιακές μεταβολές στη ζήτηση.
6. **Αποθέματα για άλλους λόγους:** Περιλαμβάνουν αποθέματα που διατηρούνται για κερδοσκοπικούς ή άλλους στρατηγικούς λόγους.
7. **Νεκρά Αποθέματα:** Αποθέματα που έχουν εξαιτίας ξεπερασμένης αξίας ή άλλων αιτιών.

Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η οργανωμένη και αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες της επιχείρησης.

Παρακάτω θα αναλυθούν αυτοί οι τύποι αποθεμάτων αναλυτικά.

3.1.3.1 Αποθέματα συνεχόμενης ροής (in-transit inventories)

Είναι λογικό να αντιλαμβανόμαστε ότι, για την παραγωγή διάφορων προϊόντων, είναι απαραίτητη η εφοδιαστική διαδικασία με πρώτες ύλες. Συχνά, οι προμηθευτές αυτών των πρώτων υλών βρίσκονται σε αρκετά απομακρυσμένες τοποθεσίες από τις παραγωγικές εγκαταστάσεις της επιχείρησης. Αυτό συνεπάγεται ότι τα υλικά μιας παραγγελίας απαιτούν κάποιο χρονικό διάστημα για να φτάσουν από τη στιγμή που φορτώνονται για αποστολή μέχρι τη στιγμή που φτάνουν στις αποθήκες της εταιρίας. Ακριβώς γι' αυτό τον λόγο, απαιτείται η ύπαρξη ενός επαρκούς επιπέδου αποθέματος για να καλυφθεί η διαμορφωθείσα ζήτηση κατά το διάστημα κατά το οποίο η παραγγελία βρίσκεται σε μεταφορά.

3.1.3.2 Αποθέματα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας (cyclical inventories)

Όταν αναφερόμαστε σε αποθέματα οικονομικής ποσότητας της παραγγελίας, εννοούμε τα αποθέματα που δημιουργούνται κατά την άφιξη μιας παραγγελίας ή κατά την ολοκλήρωση της παραγωγής. Το ύψος αυτών των αποθεμάτων δεν είναι σταθερό, αλλά ποικίλει ανάλογα με το χρονικό διάστημα. Μετά τον ανεφοδιασμό των αποθεμάτων, η στάθμη τους είναι υψηλή, αλλά με την πάροδο του χρόνου μειώνεται, καθώς το απόθεμα εξαντλείται σταδιακά, μέχρι την επόμενη ανανέωση.

Για κάθε ανανέωση ανά είδος ή οικογένεια προϊόντων-υλικών, λαμβάνονται αποφάσεις σχετικά με τον χρόνο ανεφοδιασμού, προκειμένου να επιτευχθεί το λεγόμενο “Just in Time”. Επίσης,

λαμβάνεται υπόψη η ποσότητα ανεφοδιασμού με στόχο τη μείωση του κόστους παραγγελιών και τη διαχείριση των αποθεμάτων, εξυπηρετώντας παράλληλα τη ζήτηση.

3.1.3.3 Αποθέματα ασφαλείας (safety stocks)

Προηγουμένως, είχαμε αναφέρει την πρόκληση που παρουσιάζεται λόγω της μη έγκυρης πρόβλεψης της ζήτησης λόγω πιθανών σφαλμάτων. Όταν μιλάμε για αποθέματα ασφαλείας, αναφερόμαστε σε αποθέματα που διατηρούνται για να καλύπτουν τυχαίες διακυμάνσεις στη ζήτηση και ανεπιθύμητες αποκλίσεις από τις εκτιμήσεις, λόγω διάφορων αναπάντεχων συμβάντων.

Στον τομέα της παραγωγής, η ομαλή διεξαγωγή της παραγωγικής διαδικασίας είναι σημαντική για την αποφυγή διακοπών ή διαταραχών. Η διασφάλιση της μη διακοπής λόγω έλλειψης υλικού, είτε λόγω υψηλότερης ζήτησης είτε καθυστέρησης παραγγελίας, επιτυγχάνεται μέσω των αποθεμάτων ασφαλείας.

Αντίστοιχα, και στον τομέα των εμπορικών επιχειρήσεων, τα αποθέματα ασφαλείας διασφαλίζουν τη συνεχή διεξαγωγή των εργασιών, ανεξαρτήτως εάν αναφερόμαστε στην παραγωγική διαδικασία ή όχι.

3.1.3.4 Ανεξάρτητα αποθέματα διαφόρων σταδίων (decoupling inventories)

Στον τομέα της παραγωγικής διαδικασίας, είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαδοχικά στάδια όπου η παραγωγή αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα εγκαίρως, χωρίς να διακόπτεται η διαδικασία. Βλάβες σε μηχανήματα ή η διακοπή λειτουργίας ενός σταδίου για οποιονδήποτε λόγο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε επόμενα παραγωγικά στάδια και σε ολόκληρη την παραγωγική διαδικασία. Για να αποφευχθεί αυτό, συνήθως χρησιμοποιείται ένα απόθεμα ημικατεργασμένων προϊόντων.

Το στοχαστικό αυτό απόθεμα έχει ως στόχο την αποσύνδεση ενός παραγωγικού σταδίου από το επόμενο, εξασφαλίζοντας την ομαλή ροή της παραγωγικής διαδικασίας. Επιπλέον, αυτά τα αποθέματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στα διάφορα στάδια διανομής ενός προϊόντος σε διάφορα σημεία της αλυσίδας εφοδιαστικής. Αυτό συμβάλλει στην ανεξαρτητοποίηση, έστω και κατά κάποιο βαθμό, ενός σταδίου από το επόμενο, περιορίζοντας τον αντίκτυπο της έλλειψης κάποιου υλικού στα επόμενα στάδια της αλυσίδας. Επιπλέον, αυτό μειώνει γενικά τον κίνδυνο προβλημάτων που επηρεάζουν την παραγωγή, επιτρέποντας την συνεχή λειτουργία.

3.1.3.5 Εποχικά αποθέματα (seasonal inventories)

Η εποχικότητα της ζήτησης ενός προϊόντος αποτελεί μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τόσο οι εμπορικές επιχειρήσεις όσο και οι αλυσίδες παραγωγής μιας εταιρίας. Πολλά προϊόντα, κατά τη διάρκεια ενός έτους, εμφανίζουν αυξομείωση στη ζήτηση, ακολουθώντας ένα εποχιακό πρότυπο. Για την αντιμετώπιση αυτής της εποχικότητας, είναι αναγκαίο, εφόσον επιτρέπεται από τη φύση του προϊόντος, η συσσώρευση αποθέματος κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης. Αυτό επιτρέπει την εξυπηρέτηση των πελατών κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης.

Η παραγωγική δυναμικότητα των συστημάτων παραγωγής ενδέχεται να είναι περιορισμένη, επομένως, η δημιουργία εποχικών αποθεμάτων αποτελεί λογική επιλογή για να διασφαλιστεί η ομαλή ροή της παραγωγικής διαδικασίας. Πολλές εταιρίες, προκειμένου να αποφύγουν συνεχείς αυξομειώσεις στο προσωπικό τους, επιλέγουν να δημιουργούν εποχικά αποθέματα, ανεξάρτητα από το αυξημένο κόστος αποθήκευσης που ενδέχεται να προκύπτει.

3.1.3.6 Αποθέματα υψηλής απόδοσης κερδοφορίας (speculative inventories)

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την επιτυχία μιας επιχείρησης, καθώς η ορθή διαχείριση μπορεί να συνεισφέρει στη μεγιστοποίηση του κέρδους. Ωστόσο, όπως σωστά επισημαίνετε, η διατήρηση αποθεμάτων επιφέρει και κόστη, όπως το κόστος αποθήκευσης. Το forward buying, δηλαδή η απόκτηση υλικών μεγαλύτερης ποσότητας από ό,τι χρειάζεται η επιχείρηση για την τρέχουσα περίοδο, μπορεί να αποτελέσει στρατηγική για τη μείωση του ενδεχόμενου αυξημένου κόστους αγοράς στο μέλλον.

Η προσέγγιση με δείκτες αποθεμάτων, όπως η ανάλυση Pareto, είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό του κατάλληλου επιπέδου αποθεμάτων. Οι δείκτες αυτοί μπορούν να παρέχουν στην επιχείρηση πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των αποθεμάτων της και να βοηθήσουν στον εντοπισμό τυχόν προβληματικών περιοχών.

Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τα αποθέματα, συμπεριλαμβανομένης της πρόβλεψης της ζήτησης, των αλλαγών στις τιμές, και των προγραμματισμένων εκπτώσεων ή προσφορών. Μια σφαιρική προσέγγιση που συνδυάζει πολλούς παράγοντες είναι συνήθως απαραίτητη για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων.

3.1.3.7 Νεκρό απόθεμα (dead inventories)

Το απόθεμα που διατηρείται όταν δεν υπάρχει ζήτηση για μεγάλο χρονικό διάστημα ονομάζεται "αποθήκη χαλαράς κίνησης" ή "αργά περιστρεφόμενο απόθεμα" στη διαχείριση αλυσίδας εφοδίων και τον χώρο των αποθηκών.

Η διατήρηση αυτού του είδους αποθέματος μπορεί να έχει διάφορους λόγους:

1. **Προβλεπόμενη Αύξηση της Ζήτησης:** Η εταιρεία μπορεί να προβλέπει μελλοντική αύξηση της ζήτησης για το προϊόν και, συνεπώς, διατηρεί αποθέματα για να μπορεί να καλύψει άμεσα τις ανάγκες των πελατών της.
2. **Αποφυγή Κόστους Απαλλαγής:** Η εταιρεία μπορεί να θεωρεί ότι το κόστος αποχώρησης ή απαλλαγής από ένα υλικό είναι υψηλότερο από το κόστος διατήρησής του στην αποθήκη. Για παράδειγμα, εάν το υλικό είναι υψηλής αξίας ή δυσεύρετο, η αποθήκευσή του μπορεί να είναι προτιμότερη από το να το ξαναπρομηθευτεί σε μετέπειτα στιγμή.

Η διαχείριση αυτού του τύπου αποθέματος είναι στρατηγική επιλογή που συνδυάζει προβλέψεις για τη ζήτηση και το κόστος αποθήκευσης, με στόχο τη μείωση των κινδύνων και τον εξορθολογισμό των λειτουργιών.

3.1.3.8 Άλλοι τύποι Αποθεμάτων

Η κατηγοριοποίηση των αποθεμάτων με βάση τον σκοπό που εξυπηρετούν είναι ένα σημαντικό βήμα στη διαχείριση τους. Ας εξετάσουμε πιο λεπτομερώς τις παραπάνω κατηγορίες:

1. **Εμπορεύματα:** Αυτά είναι αγαθά που αγοράζονται με σκοπό την πώληση χωρίς καμία επεξεργασία. Συνήθως, πρόκειται για πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται ως συστατικά στην παραγωγή τελικών προϊόντων.
2. **Έτοιμα προϊόντα:** Αυτά είναι τα προϊόντα που έχουν παραχθεί και είναι έτοιμα για πώληση. Συνήθως, αποθηκεύονται για να καλυφθεί η ζήτηση από τους πελάτες.
3. **Πρώτες και βοηθητικές ύλες:** Αυτά είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική διαδικασία για τη δημιουργία των τελικών προϊόντων.

4. **Υλικά συσκευασίας:** Αυτά είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία των έτοιμων προϊόντων προτού διατεθούν στην αγορά.
5. **Αναλώσιμα Υλικά:** Αυτά είναι αγαθά που δεν χρησιμοποιούνται άμεσα στην παραγωγική διαδικασία αλλά είναι απαραίτητα για τη γενική λειτουργία της επιχείρησης.
6. **Ανταλλακτικά παγίων στοιχείων:** Αυτά είναι αναλώσιμα αγαθά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση και επισκευή των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού.
7. **Υποπροϊόντα:** Αυτά προκύπτουν από την παραγωγική διαδικασία αλλά δεν χρησιμοποιούνται από την επιχείρηση στα τελικά προϊόντα. Είναι σημαντικό να διαχειρίζονται αποτελεσματικά για τη μείωση των απωλειών και τον εξορθολογισμό της παραγωγικής διαδικασίας.

Καθένα από αυτά τα είδη αποθεμάτων έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις διαχείρισης.

3.1.4 Στοιχεία Κόστους Αποθεμάτων

Τα "στοιχεία κόστους αποθεμάτων" πράγματι περιλαμβάνουν πολλά στοιχεία πέραν της αρχικής τιμής αγοράς των αποθεμάτων. Αναφέρονται στα έξοδα που σχετίζονται με τη διαχείριση, αποθήκευση και συντήρηση των αποθεμάτων κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στην αποθήκη.

Αυτά τα έξοδα μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες:

1. **Κόστος Αγοράς (Αρχική τιμή):** Το κόστος που σχετίζεται με την πραγματοποίηση της αρχικής αγοράς των αποθεμάτων. Αναλυτικά, το κόστος προμήθειας αναφέρεται στην αμοιβή που καταβάλλεται στον προμηθευτή για την εισαγωγή του αποθέματος στην αποθήκη, προετοιμάζοντάς το για μελλοντική πώληση. Υπολογίζεται με το να πολλαπλασιάζει την αρχική τιμή του προϊόντος κατά την αγορά με την ποσότητα που παραγγέλλεται. Αυτό είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη ζήτηση, καθώς όσο αυξάνεται η ζήτηση, τόσο αυξάνεται και η ποσότητα που παραγγέλλεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το συνολικό κόστος προμήθειας.
2. **Κόστος Αποθήκευσης:** Το κόστος για τον χώρο αποθήκευσης των αποθεμάτων, συμπεριλαμβανομένων των μισθών για τον αποθηκάρη, τον φωτισμό, τη θέρμανση, και άλλα σχετικά έξοδα. Ειδικότερα, πρόκειται για τα έξοδα που προκύπτουν από την

προετοιμασία και επεξεργασία των παραγγελιών αγοράς ή παραγωγής αγαθών, καθώς και από την παραλαβή και επιθεώρηση των παραγγελθέντων εμπορευμάτων. Αυτό περιλαμβάνει τις αμοιβές των υπαλλήλων που συμμετέχουν στη διαδικασία αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των δαπανών για τη μεταφορά των αποθεμάτων στην αποθήκη και την εκτέλεση όλων των σχετικών διαδικασιών. Όλα αυτά αποτελούν τμήμα του συνολικού κόστους παραγωγής.

3. **Κόστος Διαχείρισης Αποθεμάτων:** Το κόστος που σχετίζεται με την καταγραφή, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αποθεμάτων, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών όπως η καταμέτρηση και η τακτική αναθεώρηση. Συγκεκριμένα, αυτά τα έξοδα ενσωματώνουν επίσης το κόστος των δεσμευμένων κεφαλαίων, το οποίο πηγάζει από την ανάγκη της εταιρείας να επενδύσει χρηματικούς πόρους για τη διατήρηση των αποθεμάτων, αντί να τους ανακατανείμει σε άλλους τομείς. Το κόστος αυτό μπορεί να είναι ισοδύναμο ή ακόμη και υψηλότερο από τα κέρδη που θα είχε η επιχείρηση εάν είχε επενδύσει αυτά τα κεφάλαια σε προϊόντα με χαμηλότερο κίνδυνο. Ένα ακόμη κόστος που συμπεριλαμβάνεται σε αυτή την κατηγορία είναι αυτό που προκύπτει από τους κινδύνους που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των αγορών, όπως φθορές, ζημιές κατά τη μεταφορά, ελαττωματικά προϊόντα και η παραμονή αποθέματος για μεγάλο χρονικό διάστημα στην αποθήκη.
4. **Κόστος Κρατήσεων (Συντηρητικού):** Το κόστος για τη διατήρηση της κατάστασης των αποθεμάτων, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης και της προστασίας από πιθανές ζημιές ή εκτίναξη της ημερομηνίας λήξης.
5. **Κόστος Αποψίλωσης (Επιταχυνόμενης Κατανάλωσης):** Το κόστος που σχετίζεται με τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για την αφαίρεση, την καταστροφή ή την επεξεργασία των παλαιών αποθεμάτων που δεν πωλούνται.
6. **Κόστος Έλλειψης (Καθυστερημένης Παράδοσης):** Το κόστος που προκύπτει από τη μη διαθεσιμότητα των αποθεμάτων, είτε λόγω εξάντλησης είτε λόγω καθυστερημένης παράδοσης. Επεξηγηματικά, το κόστος έλλειψης περιλαμβάνει τα έξοδα που προκύπτουν όταν το απόθεμα μιας επιχείρησης εξαντλείται. Όταν ένας πελάτης επιθυμεί να αγοράσει ένα προϊόν που η επιχείρηση δεν μπορεί να παρέχει λόγω έλλειψης αποθέματος, δημιουργείται η έλλειψη, η οποία επηρεάζει τη φήμη της επιχείρησης. Αυτό μπορεί να συμβεί εξαιτίας απρόβλεπτων παραγόντων, όπως ξαφνική αύξηση της ζήτησης, καθυστέρηση παραλαβής από τον προμηθευτή ή άλλους απρόβλεπτους παράγοντες, όπως η παραλαβή ελαττωματικών προϊόντων. Επιπλέον, το κόστος έλλειψης περιλαμβάνει τις χαμένες πωλήσεις λόγω της μη δυνατότητας ικανοποίησης της ζήτησης, καθώς και το

κόστος που προκύπτει από την καθυστέρηση των πωλήσεων. Αυτό συνεπάγεται απώλεια πελατών λόγω δυσαρέσκειας και μη ικανοποίησης των απαιτήσεών τους.

Η αντιμετώπιση αυτών των στοιχείων κόστους αποθεμάτων είναι σημαντική για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση του κόστους της κατοχής αποθεμάτων και την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισης αποθεμάτων.

Όσον αφορά τις δαπάνες έλλειψης στη διαχείριση αποθεμάτων, αυτές αποτελούν περίπλοκο θέμα για καθορισμό, σε αντίθεση με τις δαπάνες τήρησης και παραγγελίας αποθεμάτων, καθώς συχνά είναι υποκειμενικές εκτιμήσεις. Η έλλειψη συνήθως οφείλεται στο γεγονός ότι η διατήρηση αποθεμάτων απαιτεί σημαντικό κόστος. Συνεπώς, υπάρχει αντιστρόφως αναλογική σχέση μεταξύ του κόστους τήρησης και του κόστους έλλειψης - όσο αυξάνεται το ποσό των αποθεμάτων σε ετοιμότητα, τόσο αυξάνεται το κόστος τήρησης, ενώ το κόστος έλλειψης μειώνεται (Russel, R., και Taylor, T., 2006).

Στόχος της διαχείρισης αποθεμάτων είναι να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ελέγχου αποθεμάτων που θα καθορίζει πόσο προϊόν πρέπει να προμηθευτεί η επιχείρηση και πότε πρέπει να πραγματοποιηθούν οι παραγγελίες, με στόχο να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των έξι στοιχείων κόστους αποθεμάτων που περιγράφηκαν. Επιπλέον, το σύστημα ελέγχου καθορίζει το επίπεδο των αποθεμάτων (επίπεδο ανανέωσης - level of replenishment) και το χρονικό σημείο που πρέπει να πραγματοποιηθεί η παραγγελία (Russel, R., και Taylor, T., 2006).

3.1.5 Δείκτες Αποθεμάτων

Ο λόγος ανακύκλωσης αποθέματος (inventory turnover ratio) και ο αριθμός ημερών ζήτησης σε απόθεμα (days of sales in inventory) είναι δύο σημαντικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των αποθεμάτων μιας επιχείρησης.

3.1.5.1 Δείκτης λόγου ανακύκλωσης αποθέματος

Ο δείκτης που αναφέρεται στον λόγο ανακύκλωσης αποθέματος, ευρέως γνωστός και ως IT, καθορίζεται ως η σχέση μεταξύ των ετήσιων πωλήσεων μιας επιχείρησης και του μέσου αποθέματος που διατηρεί:

$$\text{Λόγος Ανακύκλωσης Αποθέματος} = \frac{\text{Κόστος Πωληθέντων}}{\text{Αποθέματα Μ.Ο.}}$$

Όσον αφορά τον εν λόγω δείκτη, σημαντικό είναι να σημειώσουμε ότι όσο αυξάνεται ο εν λόγω δείκτης, τόσο μειώνεται το μέσο κρατούμενο απόθεμα. Επομένως, η επιθυμητή τιμή για αυτόν τον δείκτη είναι υψηλή, καθώς είναι λογικό να αποφεύγουμε τη διατήρηση υπερβολικών αποθεμάτων που μπορεί να συνεπάγονται περιττό κόστος και προσθέτουν περιττή πολυπλοκότητα στην καθημερινή διαχείριση των αποθεμάτων, δηλαδή το κόστος αποθήκευσης που προαναφέρθηκε.

3.1.5.2 Δείκτης αριθμού ημερών ζήτησης σε απόθεμα

Όσον αφορά τον δεύτερο δείκτη που αναφέρεται στον αριθμό ημερών ζήτησης σε απόθεμα, γνωστός και ως δείκτης DS, ορίζεται ως το απόθεμα προς τις μέσες ημερήσιες πωλήσεις:

$$\text{Αριθμός Ημερών Ζήτησης} = \frac{\text{Απόθεμα}}{\text{Μέσες Ημερήσιες Πωλήσεις}}$$

Αυτός ο δείκτης παρέχει μια σαφή εικόνα του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο το διαθέσιμο απόθεμα μπορεί να καλύψει τη ζήτηση, αναδεικνύοντας την περίοδο που το απόθεμα αναμένεται να καλύψει τις πωλήσεις. Αντίθετα με τον δείκτη της ανακύκλωσης αποθεμάτων, όπου οι υψηλές τιμές είναι επιθυμητές, ο δείκτης DS επιδιώκει χαμηλές τιμές. Εν τέλει, ο δείκτης DS συνδέεται με την έννοια της "κάλυψης αποθέματος," αναδεικνύοντας τον χρόνο κατά τον οποίο το διαθέσιμο απόθεμα αναμένεται να εξαντληθεί, εφόσον δεν υπάρξει ανεφοδιασμός (Wild, 2002).

Οι δύο αυτοί προαναφερθέντες δείκτες συνδυάζονται για να παρέχουν μια πλήρη εικόνα της διαχείρισης αποθεμάτων μιας επιχείρησης.

3.2 Διαχείριση Αποθεμάτων

Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλοί όροι για να περιγράψουν τη διαχείριση της ροής των αγαθών από το σημείο παραγωγής στο σημείο κατανάλωσης. Σύμφωνα με το Council of Logistics Management (CSCMP), η Διαχείριση Αποθεμάτων ορίζεται ως εξής:

“Η διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου μιας αποτελεσματικής και οικονομικά αποδοτικής ροής και αποθήκευσης πρώτων υλών, υλικού υπό επεξεργασία και τελικών προϊόντων, καθώς και των σχετικών πληροφοριών από την πηγή προμήθειας έως το σημείο κατανάλωσης, έχει ως στόχο την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών.”

Κατ' αρχάς, η διαχείριση των αποθεμάτων μιας εταιρείας δεν αφορά μόνο τα φυσικά αγαθά, αλλά επεκτείνεται και στην παροχή υπηρεσιών, ενώ επίσης εμπλέκεται στη διαδικασία παραγωγής.

Συνεπώς, τα logistics αποτελούν ένα σύνολο επαναλαμβανόμενων λειτουργικών δραστηριοτήτων, μέσω των οποίων οι πρώτες ύλες μετατρέπονται στο τελικό προϊόν, προσθέτοντας αξία στο προϊόν κατά την αγορά του από τον καταναλωτή.

Συγκεκριμένα, η αξία προστίθεται ή αυξάνεται όταν:

- το προϊόν γίνεται διαθέσιμο για αγορά στον σωστό τόπο, εξυπηρετώντας τη χρησιμότητα του τόπου, και
- η υπηρεσία ή το προϊόν είναι διαθέσιμα τη σωστή στιγμή, εξυπηρετώντας τη χρησιμότητα του χρόνου.

3.2.1 Πρόβλημα Διαχείρισης Αποθεμάτων

Σε αντίθεση με τη διαχείριση πολυ-επιπέδων αποθεμάτων που συντονίζει τα αποθέματα σε πολλαπλές τοποθεσίες μιας εταιρείας, μια κοινή πολιτική ανανέωσης αποθεμάτων στις αλυσίδες εφοδιαστικής περιλαμβάνει συντονισμό μεταξύ πολλαπλών εταιρειών (Johnson και Pyke, 2001, σελ. 794–795). Συνεπώς, ο συντονισμός της πολιτικής παραγγελίας και παραγωγής μεταξύ αγοραστών και προμηθευτών στις αλυσίδες εφοδιαστικής είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον (Landeros και Lyth, 1989, σελ. 146–147). Όταν ο αγοραστής και ο προμηθευτής αντιμετωπίζουν τα προβλήματα αποθεμάτων ξεχωριστά υπό προϋποθέσεις προδιαγεγραμμένες, η οικονομική ποσότητα παραγγελίας (EOQ) ή το μέγεθος της οικονομικής παραγγελίας (ELS) παρέχει μια βέλτιστη λύση. Ωστόσο, γενικά, μια πολιτική παραγγελίας βασισμένη στη λύση της EOQ είναι απαραίτητη για τον προμηθευτή και, αντίστοιχα, μια πολιτική παραγωγής και παράδοσης βασισμένη στη λύση της ELS δεν είναι αποδεκτή για τον αγοραστή (Lu, 1995, σελ. 312).

Η στρατηγική διαχείριση του θέματος των αποθεμάτων από μια επιχείρηση, είτε πρόκειται για εμπορική δραστηριότητα είτε για μια επιχείρηση με γραμμή παραγωγής, χαρακτηρίζεται γενικά ως πρόβλημα ισορροπίας μεταξύ του κόστους έλλειψης και του κόστους πλεονάσματος αποθέματος ενός παραγωγικού προϊόντος. Από μόνη της αυτή η προσέγγιση καταδεικνύει ότι η επίτευξη ενός σωστού σχεδιασμού αυτής της διαχείρισης έχει σημαντικά οφέλη.

Καταρχάς, η σωστή διαχείριση αποσυνδέει το παραγωγικό σύστημα από τις διακυμάνσεις της ζήτησης, επιτρέποντας ομαλή ροή στην παραγωγή. Παράλληλα, διατηρεί τη λειτουργία της

παραγωγικής στάθμης ανεξάρτητη, προάγοντας την αύξηση του ρυθμού παραγωγής και επιτυγχάνοντας τη μείωση του κόστους.

Η βέλτιστη διαχείριση αποθεμάτων συνήθως απαιτεί αποτελεσματικές στρατηγικές, χρήση τεχνολογίας και συνεχή παρακολούθηση των αλλαγών στη ζήτηση και στο περιβάλλον της αγοράς.

3.2.2 Σημασία Διαχείρισης Αποθεμάτων

Η διαχείριση των αποθεμάτων αποτελεί ουσιαστικό μέρος της λειτουργίας μιας επιχείρησης, είτε αυτή δραστηριοποιείται στην παραγωγή είτε στο εμπόριο. Η σημασία της διαχείρισης αποθεμάτων είναι εμφανής στις συνεχώς αυξανόμενες επενδύσεις των εταιριών στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, φτάνοντας το 20-25% του συνολικού τους δεσμευμένου κεφαλαίου.

Το κόστος αποθήκευσης αναδεικνύεται ως κρίσιμο, καθώς επηρεάζεται από τις οικονομικές συνθήκες. Η ταξινόμηση των αποθεμάτων, όπως πρώτες ύλες, ημιέτοιμα προϊόντα και έτοιμα προϊόντα, αναδεικνύει τη σημασία τους σε διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

Η επιλογή της μεθόδου διαχείρισης αποθεμάτων είναι πολύπλοκη, καθώς επηρεάζει πολλές πτυχές της επιχείρησης. Το βασικό κριτήριο είναι το όφελος που προκύπτει από τη διατήρησή τους, καθώς πρέπει να υπερβαίνει τις σχετικές δαπάνες.

3.2.3 Συστήματα Διαχείρισης Αποθεμάτων

Σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων παραγγελιών, εφαρμόζονται διάφορα συστήματα προμήθειας. Αναφέρεται πρώτον το *σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας*, όπου η παραγγελία τοποθετείται όταν το απόθεμα φτάσει ένα επίπεδο ασφαλείας, και η ποσότητα είναι σταθερή (Q). Δεύτερον, αναφέρεται το *σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας*, όπου η παραγγελία τοποθετείται σε σταθερά διαστήματα, ενώ η ποσότητα μπορεί να ποικίλλει. Το *μικτό σύστημα επιλεκτικής αναπλήρωσης* συνδυάζει τα προηγούμενα, προσφέροντας το χαμηλότερο δυνατό κόστος αποθεμάτων. Ειδικότερα, αναφέρεται το *σύστημα προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών (MRP)*, όπου οι παραγγελίες τοποθετούνται βάσει των ημερομηνιών παραγωγής των τελικών προϊόντων. Η ζήτηση για κάθε είδος θεωρείται ανεξάρτητη από τη ζήτηση άλλων ειδών στην αποθήκη, υπογραμμίζοντας τη σημασία της ανεξαρτησίας αυτής στον τομέα της προμήθειας.

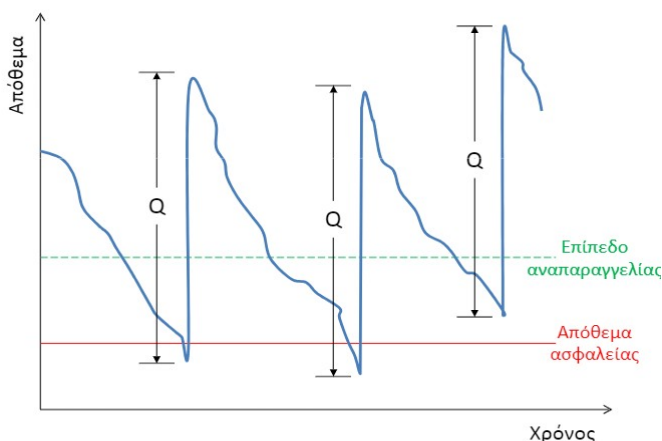
Κάθε ένα από τα παραπάνω συστήματα εμπεριέχει μοναδικά ρίσκα και, φυσικά, διαφορετικά οικονομικά έξοδα. Η απόφαση να εφαρμοστεί κάποιο από αυτά επηρεάζεται σημαντικά από τη δυναμικότητα της αποθήκης, η οποία περιλαμβάνει κυρίως τον διαθέσιμο χώρο αποθήκευσης και

το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό. Πολλά προϊόντα, ιδίως αυτά που απαιτούν ψύξη, είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στη διαδικασία αποθήκευσης. Αν οι παραγγελίες δεν διαχειριστούν με σύνεση, ενδέχεται να προκαλέσουν επιπλέον οικονομικά έξοδα, είτε λόγω καταστροφής τους, είτε λόγω ανάγκης επιστροφής σε υπηρεσίες τρίτων (3PL).

Παρακάτω θα αναλυθούν τα 4 προαναφερθέντα συστήματα ξεχωριστά.

3.2.3.1 Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας

Όταν η ποσότητα των αποθεμάτων φτάνει σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο S , πραγματοποιείται η τοποθέτηση μιας παραγγελίας σταθερής ποσότητας Q . Το επίπεδο S επιλέγεται έτσι, ώστε να καλύπτει τη ζήτηση κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου υστέρησης, αφήνοντας στο τέλος αυτής της περιόδου το απόθεμα ασφαλείας. Το σύστημα επιφέρει χαμηλά επίπεδα αποθεμάτων, και, συνακόλουθα, χαμηλά κόστη αποθέματος, και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου παρακολουθείται σταθερά η στάθμη των αποθεμάτων για άμεση αντίληψη πότε πρέπει να τοποθετηθεί παραγγελία.



Εικόνα 3.1: Σύστημα σταθερής ποσότητας παραγγελίας

(Πηγή: Συστήματα Αποθεμάτων Δημ. Εμίρης Αναπλ. Καθηγητής Πειραιάς, 2012)

Μια απλή μέθοδος παρακολούθησης είναι το "σύστημα δύο κάδων": το απόθεμα διατηρείται σε δύο (φυσικούς ή νοητούς) χώρους, γνωστούς και ως "κάδοι". Ο ένας κάδος περιέχει ποσότητα ίση με το S , ενώ ο δεύτερος περιλαμβάνει το υπόλοιπο. Η αποθηκευμένη ποσότητα αφαιρείται από το δεύτερο "κάδο" ανάλογα με τις ανάγκες, μέχρι να εξαντληθεί. Κατόπιν τοποθετείται μια παραγγελία ποσότητας Q για να αναπληρωθεί το απόθεμα. Μέχρι την άφιξη της παραγγελίας, το απόθεμα του πρώτου "κάδου" καταναλώνεται, περιλαμβάνοντας τον μέσο όρο της ζήτησης κατά τη διάρκεια της

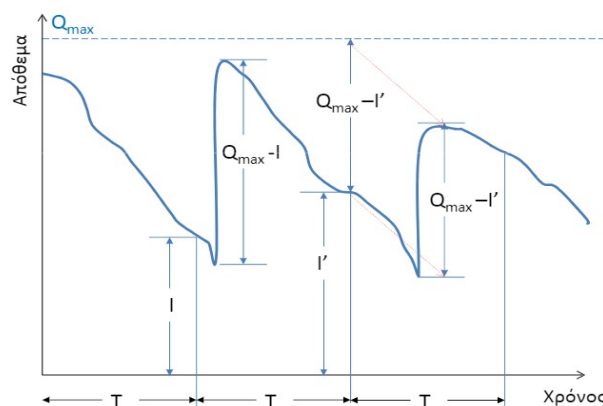
εκτέλεσης της παραγγελίας συν τα αποθέματα ασφαλείας. Όταν η παραγγελία παραλαμβάνεται, ο πρώτος "κάδος" ανανεώνεται και η υπόλοιπη ποσότητα τοποθετείται στο δεύτερο, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία.

Οι βασικές υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίζεται το παρόν σύστημα είναι οι εξής:

- Η ζήτηση για το εκάστοτε προϊόν παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου.
- Ο χρόνος παράδοσης από τον προμηθευτή παραμένει σταθερός και αμετάβλητος.
- Το κόστος αναχώρησης για κάθε μονάδα αποθέματος διατηρείται σταθερό.
- Το κόστος διαχείρισης κάθε παραγγελίας παραμένει σταθερό.

3.2.3.2 Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας

Η διαδικασία τοποθέτησης παραγγελιών διακρίνεται από σταθερή χρονική συχνότητα, με την ποσότητα που παραγγέλλεται να μην παρουσιάζει μεταβολές κάθε φορά. Η παρακολούθηση του επιπέδου των αποθεμάτων διενεργείται περιοδικά, και οι παραγγελίες τοποθετούνται σε σταθερά χρονικά διαστήματα, αποκλείοντας τον παράγοντα της ποσότητας. Οι χρονικοί διαστίγματα αυτά διαμορφώνονται σε συνεχείς χρονικές περιόδους T , καθορίζοντας το διάστημα μεταξύ κάθε τοποθέτησης παραγγελίας. Η ποσότητα αναπλήρωσης του αποθέματος διαμορφώνεται έως ένα προκαθορισμένο μέγιστο όριο I_{\max} , λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα ποσότητα του αποθέματος, συγκεκριμένα την αξία $I_{\max} - I$. Η εν λόγω ποσότητα, που προσαρμόζεται ανάλογα με το ρυθμό ανάλωσης του αποθέματος, παρουσιάζει διακυμάνσεις από περίοδο σε περίοδο.



Εικόνα 3.2: Σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας

(Πηγή: Συστήματα Αποθεμάτων Δημ. Εμίρης Αναπλ. Καθηγητής Πειραιάς, 2012)

Πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

- Δεν απαιτείται συνεχής επίβλεψη της στάθμης των αποθεμάτων, με αποτέλεσμα μειωμένο κόστος παρακολούθησης και, γενικά, διαχείρισης του αποθέματος.
- Η επιθεώρηση της στάθμης μπορεί να πραγματοποιηθεί συγχρόνως για διάφορα προϊόντα, επιτρέποντας τον έλεγχο για όλα μαζί ή για μια ομάδα προϊόντων. Έτσι, μπορούν να συνδυαστούν οι παραγγελίες.

3.2.3.3 Μικτό σύστημα επιλεκτικής αναπλήρωσης

Συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων συστημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι επιθεωρήσεις των επιπέδων αποθεμάτων πραγματοποιούνται περιοδικά, σύμφωνα με καθορισμένα διαστήματα, αλλά οι παραγγελίες πραγματοποιούνται μόνο όταν τα αποθέματα πέσουν κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Αν συμβεί αυτό, τοποθετείται μια παραγγελία με επαρκή ποσότητα, ώστε να αναπληρωθεί το απόθεμα ασφαλείας που πιθανώς αναλώθηκε κατά τη διάρκεια της προηγούμενης περιόδου, καθώς και μια ποσότητα ίση με την προβλεπόμενη ανάλωση στην επόμενη περίοδο (που θεωρείται σταθερή). Σε αυτό το σύστημα διατηρείται το χαρακτηριστικό της σταθερής ποσότητας παραγγελίας (ίσης με τη μέση ανάλωση ανά περίοδο), με τη διαφορά ότι τώρα παραγγέλλεται και το μέρος εκείνο του αποθέματος ασφαλείας που πιθανώς αναλώθηκε προηγουμένως. Επιπλέον, διατηρείται το χαρακτηριστικό της σταθερής περιόδου επιθεώρησης και αναπλήρωσης του αποθέματος, που χαρακτηρίζει το σύστημα σταθερής περιόδου παραγγελίας. Αυτό το συνδυασμένο σύστημα επιφέρει το χαμηλότερο συνολικό κόστος αποθεμάτων.

3.2.3.4 Σύστημα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας (ΟΠΠ)

Το σύστημα της οικονομικής ποσότητας παραγγελίας αναδεικνύει τον οικονομικά βέλτιστο όγκο αποθέματος που είναι απαραίτητο να παραγγελθεί, καθώς και το κατάλληλο χρονικό διάστημα για την τοποθέτηση των παραγγελιών.

Οι βασικές υποθέσεις του συστήματος οικονομικής ποσότητας παραγγελίας περιλαμβάνουν τα εξής:

- Η ζήτηση για το προϊόν παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου.
- Το lead time του προμηθευτή διατηρείται σε σταθερά και αμετάβλητα επίπεδα.

- Η παράδοση των προϊόντων πραγματοποιείται συνολικά, χωρίς τμηματική παράδοση.
- Το κόστος αγοράς των προϊόντων παραμένει σταθερό.
- Το μοναδιαίο κόστος διατήρησης του αποθέματος παραμένει αμετάβλητο.

Στις παρακάτω εξισώσεις παρουσιάζονται οι μαθηματικοί υπολογισμοί που καθοδηγούν την κατανόηση της οικονομικής ποσότητας παραγγελίας:

p : Το μοναδιαίο κόστος αγοράς του προϊόντος,

R : Η ετήσια ζήτηση για το προϊόν,

Q : Η ποσότητα παραγγελίας,

C_h : Το κόστος διατήρησης μιας μονάδας αποθέματος για ένα έτος,

C_p : Το κόστος διαχείρισης μιας παραγγελίας (σταθερό), και

Q_{opt} : Η βέλτιστη οικονομική ποσότητα παραγγελίας.

Ολοκληρωμένα, το συνολικό κόστος αποθέματος και η οικονομική ποσότητα παραγγελίας καθορίζονται ως εξής:

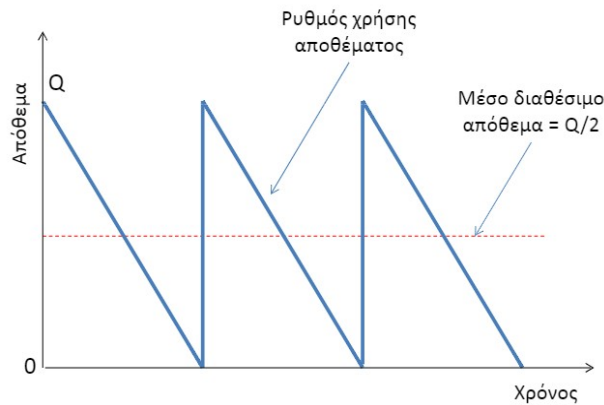
$$C = p \cdot R + \left(\frac{Q}{2}\right) \cdot C_h + \left(\frac{R}{Q}\right) \cdot C_p \quad (30)$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{((2 \cdot C_p) \cdot R)}{C_h}} \quad (31)$$

Η εξίσωση αυτή αναφέρει ότι η ποσότητα παραγγελίας αυξάνεται ανάλογα με τη ζήτηση (ανάλωση) R κατά τη διάρκεια του χρονικού ορίζοντα και το κόστος μίας παραγγελίας C_p , ενώ μειώνεται όσο μικρότερο είναι το κόστος αποθεματοποίησης C_h . Ουσιαστικά, η συχνότητα των παραγγελιών μειώνεται όσο αυξάνεται η ζήτηση και ταυτόχρονα αυξάνεται όταν τα κόστη παραγγελίας είναι υψηλά και τα κόστη διατήρησης αποθέματος είναι χαμηλά. Επιπλέον, η ποσότητα παραγγελίας επηρεάζει μόνο τα κόστη διατήρησης αποθέματος και παραγγελίας, ενώ το ίδιο αποτέλεσμα θα προέκυπτε αν εξισώναμε το συνολικό ετήσιο κόστος διατήρησης αποθέματος με το συνολικό ετήσιο κόστος παραγγελίας.

Η στιγμή κατά την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση της οικονομικής ποσότητας παραγγελίας καθορίζεται μέσω της ακόλουθης μαθηματικής εξίσωσης:

$$T = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p}{C_h \cdot R}} \quad (32)$$



Εικόνα 3.3: Σύστημα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας

(Πηγή: Συστήματα Αποθεμάτων Δημ. Εμίρης Αναπλ. Καθηγητής Πειραιάς, 2012)

3.2.3.5 Σύστημα προγραμματισμού απαιτούμενων υλικών (MRP)

Εφαρμόζονται σε περιπτώσεις αποθεμάτων υλικών που αποτελούν συστατικά ή αρχικά υλικά για άλλα προϊόντα, όπου η διαχείρισή τους συνδέεται με το πρόγραμμα παραγωγής. Σε αυτά τα συστήματα, οι ποσότητες των υλικών και ο χρόνος παραγγελίας (ή κατασκευής) καθορίζονται με βάση τις ημερομηνίες παραγωγής των τελικών προϊόντων, στα οποία αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται ως συστατικά ή αρχικά στοιχεία.

3.2.3.6 Σύστημα Just in Time (JIT)

Σε αυτό το σύστημα, οι παραγγελίες τίθενται σε εφαρμογή ακριβώς τη στιγμή που απαιτούνται τα προϊόντα, σε ποσότητα που είναι ακριβώς απαραίτητη. Η χρήση των παραγγελιών είναι άμεση, και η επιχείρηση δεν διατηρεί αποθέματα.

Αυτό το μοντέλο φυσικά συνεπάγεται υψηλό ρίσκο. Για να είναι αποτελεσματικό, απαιτείται υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης στο τμήμα προμηθειών και αποδεδειγμένο σύστημα υποστήριξης και παρακολούθησης της ζήτησης. Επιπλέον, οι εξαιρετικές σχέσεις με τους προμηθευτές είναι απαραίτητες, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη παράδοση. Λόγω της απουσίας αποθεμάτων ασφαλείας,

οποιαδήποτε μεταβολή στη ζήτηση επηρεάζει άμεσα τους προμηθευτές. Ο μη ευέλικτος προμηθευτής δεν μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις της επιχείρησης.

Ένα ακόμη ουσιαστικό θέμα είναι η αποτελεσματική διαχείριση της πληροφορίας εντός της επιχείρησης. Κάθε αλλαγή πρέπει να μεταφέρεται άμεσα σε όλους τους εμπλεκόμενους. Αυτό απαιτεί την ευελιξία της επιχείρησης και την απουσία γραφειοκρατίας.

Τα πλεονεκτήματα, αυτού του συστήματος, περιλαμβάνουν χαμηλό κόστος διατήρησης αποθεμάτων και αποθήκευσης, ενώ η ευκαιρία να ανταποκριθεί άμεσα στις ανάγκες των πελατών βελτιώνεται με την πιο ευέλικτη προμήθεια πρώτων υλών και ενδιαμεσουργικών προϊόντων.

3.2.4 ABC Ταξινόμηση

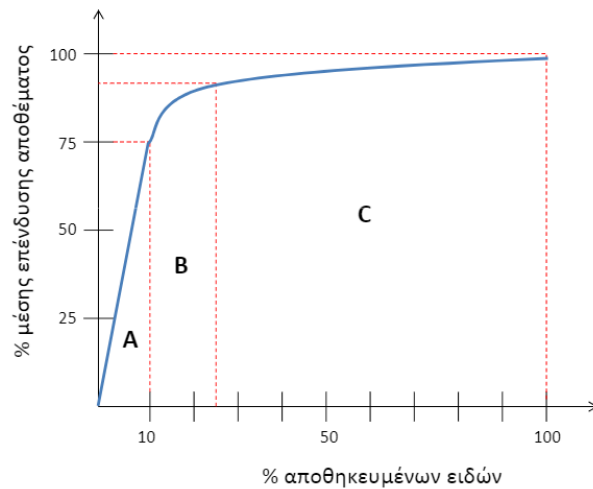
Η διαχείριση των αποθεμάτων, περιλαμβάνοντας καταμετρήσεις, την τοποθέτηση παραγγελιών, και την παραλαβή αποθεμάτων, απαιτεί χρόνο και χρηματικούς πόρους. Εντούτοις, με βάση τους περιορισμούς στους πόρους, η επιχείρηση πρέπει να επικεντρώνεται στα πιο σημαντικά αντικείμενα στο απόθεμά της. Ένα σύστημα διαχείρισης αποθέματος καθορίζει πότε πρέπει να γίνει μια παραγγελία για ένα προϊόν και ποια ποσότητα πρέπει να παραγγελθεί.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, όπου ο έλεγχος των αποθεμάτων περιλαμβάνει διάφορα αντικείμενα, είναι δύσκολο για την επιχείρηση να προγραμματίσει διαφορετικά για τα αποθέματα του καθενός. Για να αντιμετωπίσει αυτό το πρόβλημα, η ταξινόμηση ABC διαχωρίζει τα αποθέματα σε τρεις κατηγορίες, βασιζόμενη στο γεγονός ότι ένας σχετικά μικρός αριθμός προϊόντων, εξαρτημάτων ή υλικών, αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής δεσμευμένης σε αποθέματα αξίας.

Η **κατηγορία Α** αποτελεί ένα σχετικά περιορισμένο ποσοστό των προϊόντων αποθέματος, τα οποία είναι υψηλής αξίας, περίπου 15-20% του συνολικού αριθμού διαφορετικών προϊόντων. Αυτά αντιστοιχούν περίπου στο 70-75% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων. Η **κατηγορία Β** περιλαμβάνει υλικά μικρότερης αξίας, περίπου 20-25% του συνόλου των προϊόντων και 20-25% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων. Η **κατηγορία C** περιλαμβάνει τα υπόλοιπα αγαθά μικρότερης αξίας, περίπου 10-15% της συνολικής αξίας των αποθεμάτων, αποτελώντας το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των αποθεμάτων.

Η **ταξινόμηση ABC** έχει ως στόχο τον καθορισμό του βαθμού ελέγχου και παρακολούθησης για κάθε κατηγορία αποθεμάτων. Για παράδειγμα, στην πρώτη κατηγορία, μπορεί να πραγματοποιείται συνεχής παρακολούθηση με εβδομαδιαίες παραγγελίες, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ο έλεγχος μπορεί να είναι πιο χαλαρός, με παραγγελίες κάθε δύο εβδομάδες. Όσον αφορά τα αποθέματα της τρίτης κατηγορίας, ο έλεγχος των παραμέτρων του συστήματος διαχείρισης μπορεί να

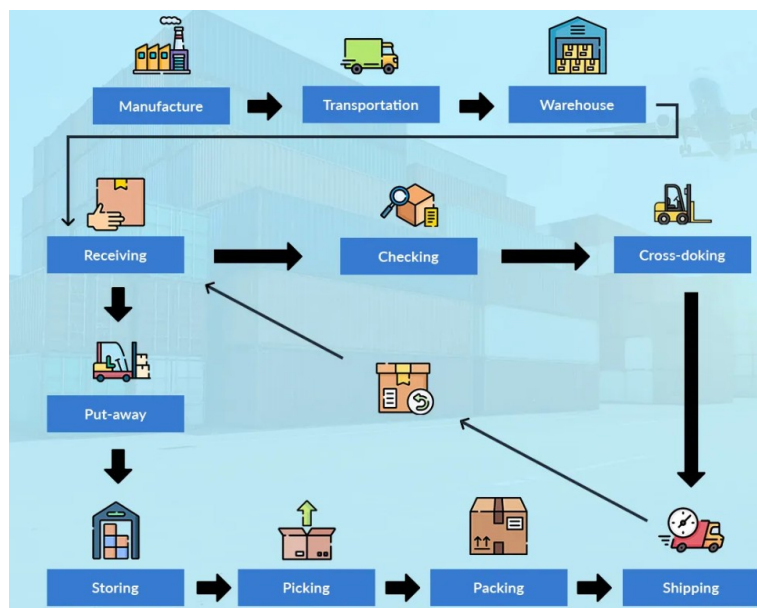
πραγματοποιείται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθώς δεν υπάρχει υψηλό κόστος έλλειψης αυτών των αποθεμάτων.



Εικόνα 3.4: ABC Analysis

(Πηγή: Συστήματα Αποθεμάτων Δημ. Εμίρης Αναπλ. Καθηγητής Πειραιάς, 2012)

3.3 Στόχοι και Συστατικά της στρατηγικής των logistics



Εικόνα 3.5: Ένα σύστημα διαχείρισης Logistics

(Πηγή: Logistic Management Systems: How Warehouse, Transportation, and Distribution Software Systems Work)

Υπάρχουν διάφορες απόψεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο η υπηρεσία logistics προσδίδει αξία. Οι πιο παραδοσιακές από αυτές βασίζονται στη δημιουργία χρησιμότητας χρόνου και τόπου (Mentzer κ.ά., 1989). Ο διαδεδομένος ορισμός των logistics, γνωστός ως "Οι Επτά P των

Logistics", περιγράφει τα χαρακτηριστικά της προσφοράς προϊόντων μιας εταιρείας που οδηγούν στη δημιουργία αξίας μέσω της υπηρεσίας logistics. Αναφέρεται στην ικανότητα μιας εταιρείας να παρέχει το σωστό προϊόν, στη σωστή ποσότητα, στο σωστό μέρος, την κατάλληλη στιγμή, στον κατάλληλο πελάτη, σε κατάλληλη κατάσταση και στη σωστή τιμή (Shapiro και Heskett, 1985). Άλλος τρόπος να το δούμε, είναι ότι η υπηρεσία logistics αντιπροσωπεύει το μέρος της αξίας του προϊόντος που λαμβάνει ο χρήστης.

Συνολικά, η στρατηγική των logistics προσανατολίζεται προς τρεις βασικούς στόχους:

1. Μείωση των λειτουργικών εξόδων,
2. Μείωση του κεφαλαίου που δεσμεύεται, και
3. Προώθηση της βελτίωσης της εξυπηρέτησης προς τον πελάτη.

Αναλυτικά, θα λέγαμε πως η περικοπή των δαπανών, ή η **μείωση των λειτουργικών εξόδων**, αποτελεί μια στρατηγική με στόχο την ελαχιστοποίηση των μεταβλητών κοστών που συνδέονται με τη μεταφορά και αποθήκευση αγαθών, με τον τρόπο αυτό να επιτυγχάνεται συνήθως μέσω της επιλογής εναλλακτικών μεθόδων μεταφοράς και αποθήκευσης. Σε αυτήν την περίπτωση, ο κύριος στόχος είναι η αύξηση του κέρδους διατηρώντας παράλληλα το επίπεδο εξυπηρέτησης σε σταθερά υψηλά επίπεδα. Παράλληλα, η **ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου κεφαλαίου** είναι μια στρατηγική που αποσκοπεί στη μείωση του επιπέδου του επενδεδυμένου κεφαλαίου στο σύστημα logistics, με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως η άμεση αποστολή προϊόντων αποφεύγοντας την αποθήκευση, η προτίμηση μη ιδιοκτησίας αποθηκών, η εφαρμογή προσεγγίσεων Just In Time (βλέπε σελ.78 υποκ. 3.2.3.6) αντί για την αποθήκευση, ή ακόμη η χρήση τρίτων ως προμηθευτών logistics. Σε αυτήν την προσπάθεια, ενδέχεται να υπάρξει αύξηση στα μεταβλητά κόστη σε σύγκριση με στρατηγικές που προβλέπουν υψηλότερα επίπεδα επενδύσεων. Τέλος, η **βελτίωση της εξυπηρέτησης** αναγνωρίζει ότι τα οφέλη εξαρτώνται από το επίπεδο της παρεχόμενης εξυπηρέτησης στον τομέα των logistics. Παρά την πιθανή αύξηση των κοστών που συνεπάγονται τα αυξημένα επίπεδα εξυπηρέτησης, είναι δυνατό να προκύψουν κέρδη από τις πωλήσεις που θα υπερβούν την αύξηση του συνολικού κόστους. Για να επιτύχει μια τέτοια στρατηγική εξυπηρέτησης, πρέπει να αναπτυχθεί με γνώμονα την ανταγωνιστική διάρθρωση της παρεχόμενης εξυπηρέτησης από τους ανταγωνιστές.

Από την άλλη, ο σχεδιασμός των Logistics αντιμετωπίζει τέσσερις βασικές κατηγορίες προβλημάτων:

1. Εξυπηρέτηση πελατών,
2. Μεταφορές,
3. Διαχείριση αποθεμάτων και
4. Χωροθέτηση εγκαταστάσεων.

Εξετάζοντάς τα πιο διεξοδικά, οι στόχοι *εξυπηρέτησης πελατών* καθορίζουν τα επίπεδα εξυπηρέτησης που προσφέρονται, τα οποία επηρεάζουν περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο παράγοντα τον σχεδιασμό του συστήματος. Χαμηλά επίπεδα εξυπηρέτησης επιτρέπουν τη συγκέντρωση αποθεμάτων σε λίγες αποθήκες και τη χρήση λιγότερο δαπανηρών μέσων μεταφοράς, ενώ τα υψηλά επίπεδα έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα. Ωστόσο, η αύξηση της εξυπηρέτησης σε υψηλά επίπεδα οδηγεί σε υψηλότερο κόστος των logistics, δημιουργώντας έτσι δυσκολίες στον καθορισμό των κατάλληλων επιπέδων εξυπηρέτησης. Όσον αφορά τις *στρατηγικές μεταφορές*, αυτές περιλαμβάνουν επιλογές σχετικά με τα μέσα μεταφοράς, τα μεγέθη των φορτίων και τον προγραμματισμό των δρομολογήσεων, οι οποίες επηρεάζουν την απόσταση των αποθηκών στους πελάτες και την τοποθεσία τους. Ακόμη και τα επίπεδα αποθεμάτων, μέσω του μεγέθους των φορτίων, επηρεάζουν τις αποφάσεις σχετικά με τη μεταφορά. Οι αποφάσεις αποθεμάτων αφορούν τον τρόπο *διαχείρισης των αποθεμάτων*. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις, όπως η αποθήκευση των αποθεμάτων σε σημεία αποθήκευσης ή η εφαρμογή ανατροφοδοτήσεων σε αυτά τα σημεία βάσει συγκεκριμένων κανόνων, ή ακόμη η τοποθέτηση αποθεμάτων σε τοπικές ή περιφερειακές αποθήκες ανάλογα με τα προϊόντα. Τέλος, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι συνεχούς ελέγχου των αποθεμάτων. Η εταιρεία ακολουθεί συγκεκριμένη πολιτική που επηρεάζει τις αποφάσεις τοποθέτησης εγκαταστάσεων, οπότε αυτές οι πτυχές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη στρατηγική των logistics. Καταληκτικά, η *στρατηγική τοποθέτησης εγκαταστάσεων*, δηλαδή η γεωγραφική τους τοποθέτηση, αποτελεί ένα πλαίσιο στο οποίο καταρτίζονται οι στρατηγικές των logistics, καθώς το δρομολόγιο που ακολουθούν τα προϊόντα προς την αγορά εξαρτάται από τον αριθμό, την τοποθεσία και το μέγεθος των εγκαταστάσεων, καθώς και από τη ζήτηση της αγοράς. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι αναγκαίο να αναλυθούν οι κινήσεις κάθε προϊόντος και το σχετικό κόστος από την πηγή ή τα ενδιάμεσα σημεία αποθήκευσης προς την περιοχή κατανάλωσης, καθώς η επιλογή αυτών επηρεάζει το συνολικό κόστος διανομής. Η ουσία του προβλήματος είναι να επιλεγούν οι τοποθεσίες εγκατάστασης με ελάχιστο κόστος ή μέγιστο κέρδος.

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω προβλήματα, κατανεμημένα στις τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, αποτελούν σημαντικές περιοχές σχεδιασμού λόγω της επίδρασής τους στην κερδοφορία, τη ροή κεφαλαίων και την απόδοση των επενδύσεων της εταιρείας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι κάθε περιοχή απόφασης δεν πρέπει να μελετάται απομονωμένα, αλλά σε σχέση με τις άλλες, προκειμένου να ληφθεί υπόψη το αποτέλεσμα της εξισορρόπησής τους.

3.3.1 Προσφερόμενες Υπηρεσίες των logistics

Οι υπηρεσίες των logistics αποτελούν τον πυρήνα της εξυπηρέτησης που προσφέρεται στον πελάτη, η οποία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που συμπεριλαμβάνεται μαζί με την τιμή και την ποιότητα και επηρεάζει την απόφαση του πελάτη για την αγορά ενός προϊόντος. Η εξυπηρέτηση του πελάτη περιλαμβάνει πολλά στοιχεία, από τη διαθεσιμότητα του προϊόντος έως τη συντήρηση και την επισκευή μετά την πώληση.

Μπορεί να οριστεί ως εξής: *"Μια αλυσίδα δραστηριοτήτων ικανοποίησης των πωλήσεων, η οποία συνήθως ξεκινά με την είσοδο της παραγγελίας και καταλήγει με την παράδοση του προϊόντος στους πελάτες, πολλές φορές συνεχίζοντας ως υπηρεσία εξοπλισμού ή συντήρησης ή άλλης τεχνικής υποστήριξης."*

3.3.1.1 Εξυπηρέτηση πελατών

Τα στοιχεία της εξυπηρέτησης πελατών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Στοιχεία **πριν** την συναλλαγή
- Στοιχεία **κατά** την συναλλαγή
- Στοιχεία **μετά** την συναλλαγή

Ειδικότερα, τα **στοιχεία πριν τη συναλλαγή** θέτουν τις βάσεις για μια επιτυχημένη εξυπηρέτηση του πελάτη, παρέχοντας εγκαίρως πληροφορίες σχετικά με την πολιτική εξυπηρέτησης, όπως ο χρόνος παράδοσης των προϊόντων, η διαδικασία επιστροφών και αναβολών, ο τρόπος αποστολής και άλλα. Επιπλέον, τα σχέδια αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών, όπως απεργίες και φυσικές καταστροφές, καθώς και οι οδηγοί και η τεχνική εκπαίδευση, συμβάλλουν στην εξυπηρέτηση πριν από τη συναλλαγή. Εν συνεχεία, τα **στοιχεία κατά τη συναλλαγή** είναι αυτά που άμεσα σχετίζονται με την παράδοση του προϊόντος στον πελάτη. Αυτά περιλαμβάνουν τη ρύθμιση των επιπέδων

αποθεμάτων, την επιλογή των μεθόδων μεταφοράς και τη θέσπιση διαδικασιών παραγγελιοληψίας. Επηρεάζουν το χρόνο παράδοσης, την ακρίβεια της παραγγελίας, την κατάσταση των αγαθών και τη διαθεσιμότητα των αποθεμάτων. Τελικά, τα **στοιχεία μετά τη συναλλαγή** αποτελούν μια σειρά υπηρεσιών που υποστηρίζουν το προϊόν, όπως η προστασία από ελαττωματικά προϊόντα, η εξασφάλιση επιστροφής των συσκευασιών και η διαχείριση παραπόνων και επιστροφών. Παρόλο που αυτές οι διαδικασίες λαμβάνουν χώρα μετά την πώληση των προϊόντων, είναι σημαντικό να σχεδιάζονται εκ των προτέρων ή κατά τη διάρκεια της συναλλαγής.

3.3.1.2 Χρόνος ολοκλήρωσης παραγγελίας

Ένα από τα κύρια στοιχεία που μπορεί να ελέγξει ο υπεύθυνος των logistics είναι ο χρόνος κύκλου παραγγελίας. Αυτός ο χρόνος ορίζεται ως ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της στιγμής της παραγγελίας από τον πελάτη, της παραγγελίας προς τον προμηθευτή ή της παραγγελίας της υπηρεσίας και της στιγμής που η παραγγελία αυτή παραδίδεται στον πελάτη. Αυτός ο χρόνος περιλαμβάνει όλα τα σχετιζόμενα με τον χρόνο γεγονότα που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία παράδοσης μιας παραγγελίας σε έναν πελάτη.

3.4 Σύστημα Αποθήκευσης και Διαχείρισης Υλικών

Είναι αναμφισβήτητο ότι εάν η ζήτηση για τα προϊόντα ήταν γνωστή εκ των προτέρων και τα προϊόντα ήταν διαθέσιμα αμέσως, τότε η αποθήκευση δεν θα ήταν απαραίτητη. Αυτό, ωστόσο, δεν είναι μόνο ανεφάρμοστο αλλά και πολλές φορές αδύνατον λόγω αντικειμενικών περιστάσεων. Γι' αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ορθή διαχείριση των αποθεμάτων, τόσο από πλευράς κόστους όσο και λειτουργίας. Αυτή η διαχείριση μπορεί να επιτύχει μια ισορροπία μεταξύ του κόστους αποθήκευσης και της μείωσης του κόστους μεταφοράς και του κόστους έλλειψης προϊόντος ή του κινδύνου δυσφήμισης, αποφεύγοντας τις αρνητικές επιπτώσεις των μεγάλων διακυμάνσεων στη ζήτηση.

3.4.1 Λειτουργίες Αποθήκευσης

Το σύστημα αποθήκευσης εκτελεί δύο ουσιώδεις λειτουργίες: τη *φύλαξη των αγαθών* και τη *διαχείρισή* τους.

Όσον αφορά τη *φύλαξη των αγαθών*, αυτή μπορεί να διακριθεί σε τέσσερις βασικές λειτουργίες:

- **Φύλαξη:** Περιλαμβάνει την ασφαλή αποθήκευση των αγαθών.
- **Συγχώνευση φορτίου:** Αφορά τον συγχρωτισμό διάφορων φορτίων για βελτιωμένη χρήση του χώρου.
- **Διάσπαση φορτίου:** Σχετίζεται με τον διαχωρισμό μεγάλων φορτίων για ευκολότερη διαχείριση.
- **Ανάμιξη:** Καλύπτει την ανάμειξη αγαθών για τη δημιουργία ενός ενιαίου, ομοιόμορφου αποθηκευτικού περιβάλλοντος.

Αυτές οι λειτουργίες καθοδηγούν συχνά τον σχεδιασμό των αποθηκών, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις διάφορες ανάγκες αποθήκευσης.

Η *φύλαξη των αποθεμάτων* αναδεικνύεται ως η πιο εμφανής χρήση των αποθηκών, και ο χρονικός ορίζοντας αυτής ποικίλλει, όπως και οι συνθήκες αποθήκευσης. Συνεπώς, είναι εφικτό να δημιουργούνται αποθήκες για μακροχρόνια αποθήκευση, εξειδικευμένες αποθήκες (όπως αυτές για την ωρίμανση των προϊόντων), καθώς και γενικής χρήσης αποθήκες ή αποθήκες προσωρινής φύλαξης αγαθών.

Όταν τα προϊόντα προέρχονται από πολλές πηγές, ο ρόλος των αποθηκών είναι και η *συγχώνευση*, καθώς μετατρέπουν τα μικρά φορτία σε μεγαλύτερα, επιτρέποντας τη μεταφορά τους με λιγότερα αλλά μεγαλύτερα φορτηγά, μειώνοντας έτσι τα κόστη μεταφοράς.

Αντίθετα, όταν τα προϊόντα προέρχονται από μια πηγή αλλά προορίζονται για περισσότερους πελάτες που είναι απομακρυσμένοι μεταξύ τους, οι αποθήκες επιτελούν τον ρόλο της *διάσπασης φορτίου*, διαιρώντας το μεγάλο φορτίο σε μικρότερα για να μεταφερθούν από μικρότερα φορτηγά στους πελάτες, μειώνοντας έτσι τα κόστη μεταφοράς.

Τέλος, επιχειρήσεις που αγοράζουν από πολλούς προμηθευτές για να δημιουργήσουν ένα φορτίο προϊόντων, χρειάζονται αποθήκη για να *αναμινύουν* τα υλικά που προμηθεύονται και να αποστέλλουν τις έτοιμες παρτίδες προϊόντων στους αντίστοιχους πελάτες.

Όσον αφορά τη *διαχείριση των υλικών*, αυτές διακρίνονται σε τρεις βασικές δραστηριότητες:

- **Φόρτο-εκφόρτωση:** η διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης των υλικών από και προς τα οχήματα μεταφοράς.
- **Μετακινήσεις μέσα στην αποθήκη:** η μετακίνηση των υλικών εντός της αποθήκης για την τακτοποίησή τους ή την εκτέλεση άλλων διαδικασιών.

- **Συμπλήρωση παραγγελιών:** η συλλογή των υλικών από την αποθήκη για τη συμπλήρωση εκκρεμών παραγγελιών ή την παρασκευή νέων παρτίδων προς αποστολή.

Όταν τα προϊόντα φτάνουν στην αποθήκη, απαιτείται η *αποφόρτωσή* τους από τα μεταφορικά μέσα. Αντίστοιχα, όταν πρέπει να αποχωρήσουν από την αποθήκη, χρειάζεται να *φορτωθούν*. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο του φορτίου, την ταξινόμηση και την κατανομή των μεταφερόμενων προϊόντων. Ειδικότερα, στην περίπτωση της φόρτωσης, απαιτείται περαιτέρω προσπάθεια, όπως το δέσιμο και το πακετάρισμα, προκειμένου να αποφευχθούν πιθανές ζημιές. Επίσης, τα προϊόντα μπορεί να χρειάζονται *μετακίνηση εντός της αποθήκης* για να αποθηκευτούν σε συγκεκριμένο χώρο, αφήνοντας ελεύθερους χώρους για την παραλαβή και αποστολή νέων φορτίων. Τέλος, σύμφωνα με τις εκάστοτε παραγγελίες, είναι απαραίτητο να επιλεγούν οι αποθηκευτικοί χώροι των προϊόντων προκειμένου να συμπληρωθεί και να αποσταλεί η συγκεκριμένη παραγγελία. Συνήθως, αυτή η διαδικασία *συμπλήρωσης της παραγγελίας* θεωρείται η πιο σημαντική, διότι η διαχείριση παραγγελιών μικρού μεγέθους απαιτεί ένταση εργασίας και προσθαφαιρούμενα έξοδα.

3.4.2 Εναλλακτικές Αποθήκευσης

Όπως είναι προφανές δεδομένων των οικονομικών και νομικών συνθηκών, υπάρχουν διάφορες επιλογές αποθήκευσης. Οι βασικές περιλαμβάνουν τέσσερις κύριες εναλλακτικές:

- i. Ιδιοκτησία,
- ii. Ενοικίαση,
- iii. Leasing και
- iv. Αποθήκευση σε μεταφορά.

Όσον αφορά την *ιδιοκτησία*, το κυριότερο χαρακτηριστικό είναι η επένδυση σε κεφάλαιο και η δέσμευση του για τον χώρο και τον εξοπλισμό διαχείρισης υλικού. Αυτή η επένδυση συνεπάγεται πλεονεκτήματα όπως:

- i. Φθηνότερη αποθήκευση εάν υπάρχει εκμετάλλευση του χώρου σε μεγάλο βαθμό και για μεγάλο χρονικό διάστημα,
- ii. Μεγαλύτερος έλεγχος των λειτουργιών αποθήκευσης, εξασφαλίζοντας αποδοτικότητα και υψηλότερα επίπεδα εξυπηρέτησης,
- iii. Μοναδική λύση εάν τα προϊόντα απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για τη διαχείρισή τους,

- iv. Γενικότερα πλεονεκτήματα της ιδιοκτησίας,
- v. Δυνατότητα μετατροπής του χώρου για άλλες χρήσεις όταν απαιτηθεί, όπως η παραγωγή,
- vi. Πολλαπλή χρήση του χώρου ως βάση γραφείων, ιδιόκτητου στόλου, τμήμα κίνησης ή τμήμα αγορών ταυτόχρονα.

Όσον αφορά τους *ενοικιαζόμενους χώρους αποθήκευσης*, τα πλεονεκτήματα έναντι των ιδιοκτητών είναι τα εξής τρία:

- Δεν απαιτείται επένδυση κεφαλαίου, επιτρέποντας τη διάθεση των κεφαλαίων σε άλλες πιο επικερδείς δραστηριότητες,
- Μειωμένα κόστη αποθήκευσης σε περίπτωση που η αξιοποίηση του ιδιόκτητου αποθηκευτικού χώρου δεν είναι επαρκής και
- Ευελιξία στην τοποθέτηση της αποθήκης, καθώς μπορεί να τοποθετηθεί όπου κρίνεται πιο εξυπηρετική για τους σκοπούς του δικτύου logistics, κυρίως εξαιτίας του ότι οι συμφωνίες ενοικίασης συνήθως καταρτίζονται σε βραχυχρόνια βάση.

Το *leasing* αντιπροσωπεύει μια μεσαία επιλογή που συνδυάζει την ευελιξία της μη ιδιοκτησίας με τον έλεγχο της ιδιοκτησίας και τη γενική μείωση του κόστους.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι οφέλιμο να *αποθηκεύονται τα προϊόντα κατά τη μεταφορά τους* (in transit), ειδικά όσον αφορά εποχιακά προϊόντα και προϊόντα που προέρχονται από μακρινές περιοχές. Ο κατάλληλος συνδυασμός μεταφορικών μέσων μπορεί να αποτρέψει το κόστος αποθήκευσης, καθώς τα προϊόντα θα μεταφέρονται κατά τη διάρκεια που θα έπρεπε να παραμένουν αποθηκευμένα. Αυτό εξοικονομεί το κόστος αποθήκευσης και ενδεχομένως μειώνει το κόστος μεταφοράς, καθώς η μεταφορά μπορεί να γίνει με πιο οικονομικά μέσα.

3.4.3 Διαχείριση Υλικών

Οι βασικοί στόχοι της διαχείρισης υλικών επικεντρώνονται κυρίως στο κόστος, επικεντρώνοντας στη μείωση του κόστους διαχείρισης και την αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του χώρου. Οι κατευθυντήριες γραμμές για την ανάπτυξη αποδοτικών συστημάτων διαχείρισης υλικών περιλαμβάνουν τέσσερις βασικούς τομείς:

- Μοναδοποίηση φορτίων,
- Σχεδίαση του χώρου,
- Επιλογή εξοπλισμού αποθήκευσης και

- Επιλογή εξοπλισμού μετακίνησης.

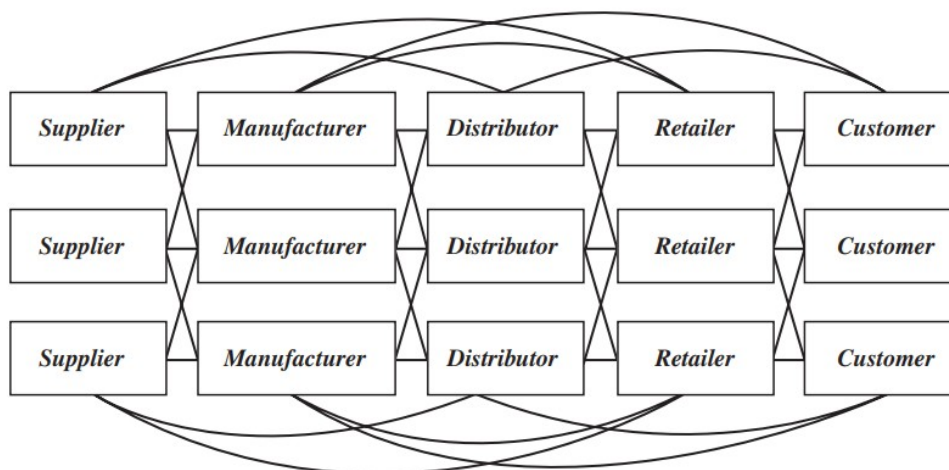
Η *μοναδοποίηση του φορτίου* είναι ουσιώδης για την επίτευξη οικονομικών οφελών. Η οικονομία αυτή απορρέει από τη μείωση του χρόνου και των χρημάτων λόγω της μείωσης των απαιτούμενων μεταφορικών διαδρομών, η οποία αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του φορτίου. Για να επιτευχθεί αυτό, έχουν αναπτυχθεί δύο βασικές μέθοδοι: η *παλετοποίηση* και η *χρήση κοντέινερ*. Η *παλετοποίηση* επιτρέπει τη χρήση μεταφορικών μέσων για κάθε είδος προϊόντος, καθώς μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε παλέτα και να μεταφερθεί μέσω αυτής. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη η κατανομή και η σταθερότητα του φορτίου, καθώς και το κόστος εφαρμογής του συστήματος, ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος της εφαρμογής. Τα κοντέινερ αποτελούν μεγάλα κουτιά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση προϊόντων και, παρά το αρκετά υψηλό κόστος τους, προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα. Είναι αδιάβροχα και μπορούν να ασφαλιστούν με λουκέτο, επιτρέποντας την αποθήκευσή τους σε ανοιχτό χώρο, μειώνοντας το συνολικό κόστος αποθήκευσης. Επιπλέον, μπορούν να μετακινηθούν με τυποποιημένους μηχανισμούς και να μεταφερθούν με ευκολία μέσω πολλών μεταφορικών μέσων.

Τα έξοδα μετακίνησης των αγαθών εντός της αποθήκης εξαρτώνται από την διευθέτηση του αποθεματικού μέσα στον αποθηκευτικό χώρο, δηλαδή τον *σχεδιασμό του χώρου αποθήκευσης*. Επιδιώκεται η επίτευξη ιδανικής ισορροπίας ανάμεσα στο κόστος διαχείρισης υλικών και τη χρησιμότητα του χώρου αποθήκευσης. Συνεπώς, πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο ο σχεδιασμός του χώρου για την αποθήκευση όσο και ο σχεδιασμός του χώρου για τη συλλογή των προϊόντων της παραγγελίας.

Τα εργαλεία αποθήκευσης επιτρέπουν την αποτελεσματική χρήση του χώρου και βελτιώνουν την απόδοση του συστήματος διαχείρισης υλικών. Στην *επιλογή του εξοπλισμού αποθήκευσης*, τα ράφια έχουν την κυριαρχία, τα οποία μπορεί να είναι κατασκευασμένα από μέταλλο ή ξύλο και να διαθέτουν πλαίσια σε σχήμα U, καθώς και κάδους και ειδικά οριζόντια και κάθετα καλύμματα. Όσον αφορά την *επιλογή του εξοπλισμού μετακίνησης*, που χρησιμοποιείται για τη φόρτωση και εκφόρτωση, καθώς και τη συλλογή των προϊόντων της παραγγελίας, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες:

- **Χειροκίνητος εξοπλισμός**, όπως δίτροχα καρότσια ή τετράτροχες πλατφόρμες,
- **Εξοπλισμός με μηχανική υποστήριξη**, όπως γερανοί, ανελκυστήρες και περνοφόρα και
- **Πλήρως αυτοματοποιημένος εξοπλισμός**, όπως συστήματα με bar codes, που γενικά αναφέρονται ως συστήματα αυτόματης αποθήκευσης και ανάκτησης.

3.5 Ορισμός εφοδιαστικής αλυσίδας και Βασικές αρχές



Εικόνα 3.6: Τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας

(Πηγή: Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation, 6th edition, Sunil Chopra and Peter Meindl)

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (ΔΕΑ) αφορά τη διαχείριση ενός δικτύου συνδεδεμένων επιχειρήσεων που συμμετέχουν στην παροχή πακέτων προϊόντων και υπηρεσιών προς τους τελικούς καταναλωτές (Harland, 1996).

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επεκτείνεται σε όλη τη διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης των πρώτων υλών, της εσωτερικής διαδικασίας και της παροχής ολοκληρωμένων αγαθών από την πηγή έως την κατανάλωση.

Οι πιο κοινοί και αποδεκτοί ορισμοί για τη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν:

- Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στο συστηματικό, στρατηγικό συντονισμό των παραδοσιακών επιχειρηματικών λειτουργιών εντός και μεταξύ των επιχειρήσεων στην αλυσίδα εφοδιαστικής, με στόχο τη βελτίωση της μακροπρόθεσμης απόδοσης των μεμονωμένων επιχειρήσεων και της αλυσίδας ως συνόλου (Mentzer, J.T. κ.ά., 2001).
- Ένας πελατοκεντρικός ορισμός παρέχεται από τον Heins: Οι στρατηγικές εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτούν μια συνολική εικόνα των συστημάτων διασύνδεσης στην αλυσίδα, τα οποία συνεργάζονται αποτελεσματικά για να δημιουργήσουν ικανοποίηση στον πελάτη κατά την τελική παράδοση των προϊόντων σε αυτόν. Συνεπώς, το κόστος πρέπει να μειώνεται μέσω της αλυσίδας αποκλείοντας μη απαραίτητα έξοδα και εστιάζοντας στην προστιθέμενη αξία. Πρέπει να αυξάνεται η αποτελεσματικότητα, να παρακάμπτονται τα εμπόδια και η μέτρηση της απόδοσης να εστιάζεται στην αποτελεσματικότητα των

συστημάτων και στη δίκαιη κατανομή ανταμοιβής σε αυτά. Το σύστημα εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη (Heins, 2004, σ.76).

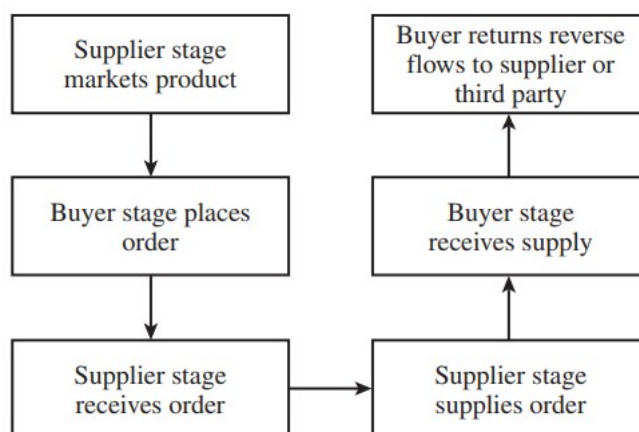
- Σύμφωνα με το Συμβούλιο των Επαγγελματιών Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (CSCMP), η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και τη διαχείριση όλων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την προμήθεια, τη μετατροπή και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Περιλαμβάνει επίσης τις βασικές συνιστώσες του συντονισμού και της συνεργασίας με τα εταιρικά κανάλια, τα οποία μπορεί να είναι οι μεσάζοντες, προμηθευτές, τρίτοι πάροχοι υπηρεσιών και οι πελάτες. Στην ουσία, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ενσωματώνει τη διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης εντός και μεταξύ των εταιρειών. Πρόσφατα, η αυτο-οργάνωση του δικτύου των επιχειρήσεων που συνεργάζονται για την παροχή υπηρεσιών και προϊόντων έχει χαρακτηριστεί ως διευρυμένη επιχείρηση.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζεται σε επτά βασικές αρχές, οι οποίες εφαρμόζονται με σταθερότητα, ανθεκτικότητα και κατανόηση, προσφέροντας ασύγκριτο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Ειδικότερα:

1. **Κατηγοριοποίηση πελατών:** Οι πελάτες πρέπει να ομαδοποιούνται ανεξαρτήτως του επαγγελματικού τομέα, βάσει των διακριτών αναγκών τους στην εξυπηρέτηση των οποίων, και στη συνέχεια, οι παρεχόμενες υπηρεσίες πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα.
2. **Παραμετροποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας:** Οι επιχειρήσεις πρέπει να εστιάζουν στις απαιτήσεις και την πιθανή κερδοφορία που προκύπτουν από την εξυπηρέτηση των διαφορετικών αναγκών των πελατών κατά τον σχεδιασμό του δικτύου Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας τους.
3. **Εστίαση στα μηνύματα της αγοράς (ζήτηση):** Για να ανιχνευθούν εγκαίρως οι αλλαγές στη ζήτηση των προϊόντων και οι συνακόλουθες επιπτώσεις τους, ο σχεδιασμός των ενεργειών και των πωλήσεων πρέπει να αναδεικνύει τον αντίκτυπο τους σε ολόκληρη την αλυσίδα.
4. **Διαφοροποίηση του προϊόντος προσεγγίζοντας τον καταναλωτή:** Λαμβάνοντας υπόψη την ολοένα επιβλαβή συσσώρευση αποθεμάτων, η διαφοροποίηση του προϊόντος πρέπει να ενσωματωθεί στην παραγωγική διαδικασία, προκειμένου να αντικατοπτριστεί αποτελεσματικότερα η ζήτηση του καταναλωτή.

5. **Στρατηγική διαχείριση των προμηθειών:** Οι σχέσεις με τους προμηθευτές πρέπει να ενισχυθούν και να χαρακτηρίζονται από την κοινή αντίληψη των οφελών, με στόχο τη βελτίωση της συνεργασίας και τη μείωση του συνολικού κόστους προμηθειών.
6. **Ανάπτυξη στρατηγικής βασισμένη στην Τεχνολογία:** Η ροή πληροφοριών πρέπει να θεωρείται εξίσου σημαντική με τη ροή των προϊόντων ή των υπηρεσιών, και για αυτό το λόγο η τεχνολογία πρέπει να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα.
7. **Μέτρηση της απόδοσης:** Σε κάθε στάδιο της αλυσίδας πρέπει να εφαρμόζονται συστήματα μέτρησης της απόδοσης, καθώς αυτά επιτρέπουν τον συντονισμό των εσωτερικών λειτουργιών και παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της οικονομικής κατάστασης και της επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών.

3.5.1 Διεργασίες εφοδιαστικής αλυσίδας



Εικόνα 3.7: Υποδιεργασίες σε κάθε κύκλο διαδικασίας της εφοδιαστικής αλυσίδας

(Πηγή: Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation, 6th edition, Sunil Chopra and Peter Meindl)

Οι διαδικασίες της αλυσίδας εφοδιασμού μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες, ειδικά από την οπτική ενός παραγωγού καταναλωτικών προϊόντων και υπηρεσιών: προγραμματισμό, προμήθεια, παραγωγή, παράδοση και ανταλλαγή (επιστροφή) (F. Robert Jacobs, Richard B. Chase, 2012).

1. **Προγραμματισμός (Planning):** Αποτελείται από διαδικασίες που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας με στρατηγικό τρόπο. Σε αυτό το στάδιο, μια επιχείρηση πρέπει να μπορεί να προσδιορίζει πώς θα ανταποκριθεί στην αναμενόμενη

ζήτηση με τους διαθέσιμους πόρους. Ένα σημαντικό στοιχείο του προγραμματισμού είναι η ανάπτυξη μιας σειράς δεικτών για την παρακολούθηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, προκειμένου να είναι αποδοτική και να παρέχει υψηλής ποιότητας προϊόντα στους πελάτες (Robert Jacobs κ.ά., 2012).

2. **Προμήθεια (Sourcing):** Αφορά την επιλογή των προμηθευτών, οι οποίοι θα παραδώσουν τα προϊόντα και θα παρέχουν τις υπηρεσίες τους που απαιτούνται για την παραγωγή του προϊόντος της επιχείρησης. Απαιτείται ένα σύνολο διαδικασιών τιμολόγησης, παράδοσης και πληρωμών, μαζί με δείκτες μέτρησης για την παρακολούθηση και βελτίωση των σχέσεων μεταξύ των συνεργατών της επιχείρησης. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την παραλαβή φορτίων εμπορευμάτων, την επιβεβαίωση της παραλαβής τους, τη μεταφορά τους σε εγκαταστάσεις παραγωγής και την έκδοση των πληρωμών προς τους προμηθευτές (Robert Jacobs κ.ά., 2012).
3. **Παραγωγή (Manufacturing):** Αποτελεί το στάδιο όπου παράγεται το προϊόν ή παρέχεται η υπηρεσία. Αυτό το βήμα απαιτεί διαδικασίες σχεδιασμού για τους εργαζομένους και τον συντονισμό των υλικών και άλλων κρίσιμων πόρων, λόγω χάριν ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη της παραγωγής ή την παροχή της υπηρεσίας. Δείκτες μέτρησης που αξιολογούν την ταχύτητα, την ποιότητα και την παραγωγικότητα των εργαζομένων χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση αυτών των διαδικασιών (Robert Jacobs κ.ά., 2012).
4. **Παράδοση (Delivery) και Διεργασίες Logistics:** Η παράδοση είναι επίσης γνωστή ως διαδικασίες logistics και περιλαμβάνει την επιλογή μεταφορέων για τη μεταφορά των προϊόντων από και προς τις αποθήκες και τους πελάτες. Αυτό περιλαμβάνει τον συντονισμό και τον προγραμματισμό της κίνησης των αγαθών και των πληροφοριών μέσω του δικτύου εφοδιασμού, την ανάπτυξη και λειτουργία ενός δικτύου αποθηκών, καθώς και τη διοίκηση πληροφοριακών συστημάτων. Αυτά τα συστήματα διαχειρίζονται τη συλλογή παραγγελιών από τους πελάτες και τη διαδικασία έκδοσης τιμολογίων, τα οποία καταγράφουν όλες τις πληρωμές των πελατών (Robert Jacobs κ.ά., 2012).
5. **Επιστροφή (Returns) και Σχετικές διαδικασίες:** Η επιστροφή περιλαμβάνει τις διαδικασίες επιστροφής ελαττωματικών, φθαρμένων ή πλεονασματικών προϊόντων από τους πελάτες, καθώς και την παροχή υποστήριξης σε αυτούς τους πελάτες που αντιμετωπίζουν προβλήματα με τα προϊόντα που έχουν παραλάβει. Στην περίπτωση των

υπηρεσιών, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει όλους τους τύπους δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την υποστήριξη μετά την πώληση (Robert Jacobs κ.ά., 2012).

Για να είναι πιο κατανοητό το εν λόγω θέμα, είναι σημαντικό να λάβετε υπόψη όλους τους τύπους διεργασιών που απαιτούνται για τον συντονισμό της εργασίας σας σε μια τυπική εφοδιαστική αλυσίδα. Τα προαναφερθέντα βήματα του προγραμματισμού, της προμήθειας, της παραγωγής, της παράδοσης και της επιστροφής είναι τα πιο κατάλληλα για τη βιομηχανική παραγωγή, αλλά μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε πολλές διεργασίες που δεν περιλαμβάνουν τη μεταφορά και παραγωγή τμημάτων του προϊόντος. Η οργάνωση όλων αυτών των δραστηριοτήτων είναι κρίσιμη για την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών σε λογικό κόστος (Robert Jacobs κ.ά., 2012).

3.5.2 Πλεονεκτήματα της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας

Τα οφέλη της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας ευνοούν κάθε τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας μιας επιχείρησης, από τους προμηθευτές έως τους τελικούς καταναλωτές των προϊόντων ή των υπηρεσιών αυτών. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των επιχειρήσεων που χρησιμοποιούν τη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν:

1. **Ελαχιστοποίηση Κόστους:** Η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας συνεισφέρει στη μείωση του συνολικού κόστους.
2. **Μείωση Ζημίας Προϊόντων:** Ελαχιστοποίηση των ζημιών κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση των προϊόντων.
3. **Ελαχιστοποίηση Κύκλου Παραγωγής:** Μικρότερος χρόνος παραγωγής με μικρότερη γραμμή παραγωγής.
4. **Καθημερινή Λήψη Πληροφοριών:** Επιστροφή σε πληροφορίες καθημερινά για βελτιωμένη εποπτεία.
5. **Εγκυρότητα Πληροφοριών:** Διασφάλιση της ακρίβειας των ληφθεισών πληροφοριών.
6. **Λιγότερες Μεταφορές Προμηθειών:** Μείωση του αριθμού των μεταφορών προμηθειών.
7. **Συλλογή Πληροφοριών σε Πραγματικό Χρόνο:** Λήψη πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για άμεση ανταπόκριση.
8. **Ενορχηστρωμένη Απόδοση Χρόνου Παραγγελιών:** Βελτιωμένη απόδοση στην εκτέλεση παραγγελιών.
9. **Μικρότερα Αποθέματα:** Μείωση του όγκου των αποθεμάτων.

10. Εσωτερική Συνδεσιμότητα Τμημάτων: Βελτιωμένη συνεργασία μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της επιχείρησης.

Αυτά τα πλεονεκτήματα συνέβαλλαν στην εξέλιξη των επιχειρήσεων σύμφωνα με διάφορες πηγές (Robins, 1998; Zimmerman, 1998; Koloszy, 1998; Cooke, 2001).

3.6 Μέθοδοι μείωσης παραγγελιών

Βασιζόμενοι στην κατηγοριοποίηση των αποθεμάτων, που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.1.3, μπορούμε να ορίσουμε τις κατάλληλες πρακτικές για τη μείωση των παραγγελιών. Αυτές οι πρακτικές θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν μέτρα για τη μείωση του αποθέματος καθώς και τεχνικές για τη μείωση του κόστους λόγω έλλειψης αποθεμάτων.

Η βασική πρακτική για τη μείωση του κυκλικού αποθέματος είναι η απλή μείωση του μεγέθους των παραγγελιών. Ταυτόχρονα, ωστόσο, για την αποτροπή αύξησης του κόστους έναρξης νέων λειτουργιών και του συνολικού κόστους παραγγελιών λόγω αύξησης του αριθμού των παραγγελιών, η επιχείρηση θα πρέπει να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες παραγγελίας και προετοιμασίας για νέες λειτουργίες.

Επιπλέον, μπορεί να αυξήσει το επίπεδο επαναληψιμότητας της εργασίας χωρίς να απαιτούνται αλλαγές με εξειδίκευση, αφιέρωση πόρων για την παραγωγή ενός μόνο προϊόντος και τη χρήση του ίδιου εξαρτήματος για διαφορετικά προϊόντα.

Μια καίρια στρατηγική για τη μείωση του αποθέματος ασφαλείας είναι η τοποθέτηση των παραγγελιών πιο κοντά στο χρόνο παράδοσης. Ωστόσο, λόγω της αβεβαιότητας που υπάρχει σχετικά με τη ζήτηση, τις προμήθειες και τους χρόνους αποστολής, αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτά επίπεδα εξυπηρέτησης πελατών. Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν αν η επιχείρηση:

- a) Βελτιώσει τις προβλέψεις ζήτησης,
- b) Μειώσει το χρόνο μεταξύ δύο παραδόσεων,
- c) Μειώσει την αβεβαιότητα σχετικά με τις προμήθειες και
- d) Δώσει μεγαλύτερη έμφαση στην εργασία και τις μηχανές, τα μόνα συστατικά στοιχεία της παραγωγής που δεν αποθηκεύονται.

Για να μειωθούν τα αποθέματα αναμονής, μια επιχείρηση μπορεί να συγχρονίσει τον ρυθμό παραγωγής της με τον ρυθμό ζήτησης. Επιπλέον, πρέπει να επιδιώξει να ισορροπήσει τη ζήτηση δημιουργώντας νέα προϊόντα με διαφορετικούς κύκλους ζήτησης, προωθώντας προϊόντα εκτός εποχής και προσφέροντας εκπτώσεις σε αυτά. Τέλος, μια επιχείρηση μπορεί να ελέγξει τα αποθέματά της σε κίνηση μειώνοντας τη διάρκεια αναμονής τους, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει τη ζήτηση. Για να επιτευχθεί αυτό, μπορεί να επιλέξει τους κατάλληλους προμηθευτές και εταιρίες μεταφορών, να βελτιώσει τη διαχείριση των υλικών εντός του εργοστασίου και να μειώσει την ποσότητα των παραγγελιών στις περιπτώσεις που ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από την ποσότητα της παραγγελίας.

3.6.1 Χρονική τοποθέτηση παραγγελίας

Σε αυτήν την ενότητα, θα εξετάσουμε μια άλλη σημαντική πτυχή της διαχείρισης αποθεμάτων: ο χρόνος τοποθέτησης μιας παραγγελίας.

Στην περίπτωση που οι παραγγελίες φτάνουν αμέσως και η ζήτηση είναι σταθερή και προβλέψιμη, η παραγγελία ανανέωσης αποθεμάτων γίνεται τη στιγμή που το επίπεδο αποθεμάτων φθάνει στο μηδέν χωρίς να υπάρχει έλλειμμα προϊόντων. Αντίθετα, εάν υπάρχει κάποια χρονική καθυστέρηση μεταξύ της παραγγελίας και της παράδοσής της, πρέπει να ληφθεί υπόψη αυτή η χρονική υστέρηση για τον καθορισμό του κατάλληλου χρόνου τοποθέτησης μιας παραγγελίας.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να οριστεί ο χρόνος τοποθέτησης μιας παραγγελίας:

- Το **σημείο αναπαραγγελίας** (reorder point – ROP), το οποίο ορίζεται ως το σημείο όπου το απόθεμα φθάνει το μηδέν συν το χρόνο υστέρησης της παραγγελίας.
- Το **επίπεδο αναπαραγγελίας** (reorder level – ROL), το οποίο ορίζεται ως το επίπεδο αποθεμάτων στο οποίο τοποθετείται μια νέα παραγγελία ανανέωσης αποθεμάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικοί τύποι ορισμού του σημείου αναπαραγγελίας για περιπτώσεις σταθερής και μεταβλητής ζήτησης, καθώς και για διαφορετικούς χρόνους υστέρησης, με ή χωρίς τη χρήση αποθέματος ασφαλείας.

➤ Χωρίς απόθεμα ασφαλείας:

Σε περιπτώσεις σταθερής ζήτησης και χρόνου υστέρησης, το σημείο αναπαραγγελίας (ROP) καθορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$R = d \cdot L \quad (33)$$

όπου:

d = ο ρυθμός ζήτησης ανά περίοδο (π.χ. ημερήσιος) και

L = ο χρόνος υστέρησης (lead time)

➤ Με απόθεμα ασφαλείας:

Για τον υπολογισμό του σημείου αναπαραγγελίας με απόθεμα ασφαλείας που θα εξασφαλίζει ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης, υπολογίζουμε γενικά ότι:

$$R = \text{Ζήτηση} + \text{Απόθεμα Ασφαλείας}$$

Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις που συμβάλλουν στη μεταβλητότητα της ζήτησης κατά το χρόνο υστέρησης: η κυμαίνουσα ζήτηση, ο κυμαίνοντας χρόνος υστέρησης και ο συνδυασμός της κυμαίνουσας ζήτησης και του κυμαίνοντα χρόνου υστέρησης.

Σε περιπτώσεις *κυμαινόμενης ζήτησης και σταθερού χρόνου υστέρησης*, το σημείο αναπαραγγελίας προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$R = \bar{d} \cdot L + z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{L} \quad (34)$$

όπου:

\bar{d} = η αναμενόμενη ημερήσια ζήτηση,

L = ο χρόνος υστέρησης,

σ_d = η τυπική απόκλιση της ημερήσιας ζήτησης και

z = ο αριθμός της τυπικής απόκλισης που αντιστοιχεί στο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Σε περιπτώσεις *σταθερής ζήτησης και κυμαινόμενου χρόνου υστέρησης*, το σημείο αναπαραγγελίας προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$R = d \cdot \bar{L} + z \cdot d \cdot \sigma_L \quad (35)$$

όπου:

d = η σταθερή ημερήσια ζήτηση,

\bar{L} = ο αναμενόμενος χρόνος ζήτησης,

σ_L = η τυπική απόκλιση του χρόνου υστέρησης και

z = ο αριθμός της τυπικής απόκλισης που αντιστοιχεί στο επίπεδο εξυπηρέτησης.

Σε περιπτώσεις κυμαινόμενης ζήτησης και κυμαινόμενου χρόνου υστέρησης, το σημείο αναπαραγγελίας προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$R = \bar{d} \cdot \bar{L} + z \cdot \sqrt{\sigma_d^2 \cdot \bar{L} + \bar{d}^2 \cdot \sigma_L^2} \quad (36)$$

Κεφάλαιο 4

Προγραμματισμός σεναρίων/ Ερευνητικό Μέρος

4.1 Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η πρόβλεψη αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στον τομέα των επιχειρήσεων που επιδιώκουν το κέρδος. Μέσω των προβλέψεων, είναι δυνατόν να ληφθούν αποφάσεις είτε για την παραγωγική γραμμή της εκάστοτε επιχείρησης είτε για τις διαδικασίες προώθησης των προϊόντων ή ακόμη και για τη διαχείριση των αποθεμάτων προκειμένου να ικανοποιείται η ζήτηση ανά πάσα στιγμή. Επομένως, οι πιο κρίσιμες αποφάσεις που λαμβάνει η διοίκηση από την αρχή, καθώς και οι περισσότερες αποφάσεις που λαμβάνει κατά την διάρκεια που η επιχείρηση λειτουργεί, βασίζονται σε εκτιμήσεις σχετικά με τη ζήτηση που αναμένεται στην αγορά στην οποία απευθύνεται. Συνεπώς, η ικανότητα πρόβλεψης των μελλοντικών γεγονότων με ακρίβεια αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του σύγχρονου διαχειριστικού σχεδιασμού και ελέγχου. (Taylor, 2009).

Ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστεί, μέσω μιας συγκεκριμένης μεθοδολογίας διαχείρισης της αβεβαιότητας, η δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης προϊόντων. Μέσω της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί, θα εξεταστούν ποια σεναρία παρουσιάζουν, για το σύστημα, την βέλτιστη δυνατή λύση.

Για τη διοίκηση της επιχείρησης, η ανάγκη για λεπτομερή σχεδιασμό είναι ζωτικής σημασίας, καθώς ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη αποφάσεων μπορεί να διαφέρει από αρκετά χρόνια (για παράδειγμα, σε περιπτώσεις επενδύσεων κεφαλαίου) έως λίγες ημέρες ή ακόμα και λίγες ώρες (για τη μεταφορά ή τον προγραμματισμό της παραγωγής), ή ακόμα και λίγα δευτερόλεπτα. Η πρόβλεψη αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τον αποτελεσματικό και αποδοτικό προγραμματισμό. (Makridakis and Wheelwright, 1982)

4.2 Μέθοδοι Διαχείρισης της Αβεβαιότητας

Οι μέθοδοι αβεβαιότητας αποτελούν προσεγγίσεις στον τομέα της απόφασης που λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα που συναντάμε σε πραγματικά προβλήματα. Κάποιες από τις μεθόδους αβεβαιότητας είναι οι εξής:

1. **Robust Optimization (Ασφαλής Προγραμματισμός):** Σε αυτήν τη μέθοδο, ο σχεδιασμός γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα με τον πιο συντηρητικό τρόπο, προσπαθώντας ταυτόχρονα να διασφαλίσει την εφικτότητα της λύσης σε διάφορα, λιγότερο συντηρητικά σενάρια αβεβαιότητας. Συγκεκριμένα, η βελτιστοποίηση στα πλαίσια του εύρωστου προγραμματισμού γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν το δυσμενέστερο σενάριο αβεβαιότητας (worst-case scenario) ως προς την επίδραση που αυτό έχει στην αντικειμενική συνάρτηση¹. Προκύπτει, λοιπόν, η εύρωστη λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Η εφαρμογή της εύρωστης λύσης στο πρόβλημα εγγυάται την εφικτότητα του προβλήματος σε κάθε σενάριο τόσο συντηρητικό όσο (ή) λιγότερο συντηρητικό από αυτό. Ωστόσο, η πραγματοποίηση οποιουδήποτε από τα λιγότερο συντηρητικά σενάρια αβεβαιότητας έχει σαν αποτέλεσμα η εύρωστη λύση που εφαρμόζεται να είναι χειρότερη της βέλτιστης (sub-optimal)².
2. **Multiparametric Programming (Πολυπαραμετρικός Προγραμματισμός):** Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη πολλαπλές παραμέτρους ή μεταβλητές που μπορεί να παρουσιάζουν αβεβαιότητα, επιτρέποντας την προσαρμογή του σχεδιασμού ανάλογα με τις μεταβολές σε αυτές. Συγκεκριμένα, ο πολυπαραμετρικός προγραμματισμός προσφέρει μια ολιστική προοπτική για την επίλυση προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού. Μέσω της θεωρίας του πολυπαραμετρικού προγραμματισμού, επιτυγχάνεται η παραγωγή της βέλτιστης λύσης ως συνάρτηση των αβέβαιων παραμέτρων, αποκαλύπτοντας εκ των προτέρων την επίδραση της αβεβαιότητας στη βέλτιστη λήψη αποφάσεων. Αυτή η προσέγγιση έχει δημιουργήσει νέες καινοτόμες λύσεις για την αντιμετώπιση δύσκολων μαθηματικών μοντέλων με αβεβαιότητα. Επιπλέον, ερευνητές έχουν εφαρμόσει τεχνικές πολυπαραμετρικού προγραμματισμού για την επίλυση ντετερμινιστικών προβλημάτων, με την αντιμετώπιση συγκεκριμένων στοιχείων του προγράμματος βελτιστοποίησης ως αβέβαιες παραμέτρους.
3. **Two-Stage Stochastic Programming (Προγραμματισμός με Δύο Στάδια Στοχαστικότητας):** Αυτή η μέθοδος χωρίζει τη λήψη αποφάσεων σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, λαμβάνονται αποφάσεις πριν από την αποκάλυψη της στοχαστικής μεταβλητότητας. Στο δεύτερο στάδιο, λαμβάνονται πρόσθετες αποφάσεις που λαμβάνουν υπόψη την αποκαλυπτόμενη αβεβαιότητα (ανάλυση στο κεφάλαιο 4.2.1).

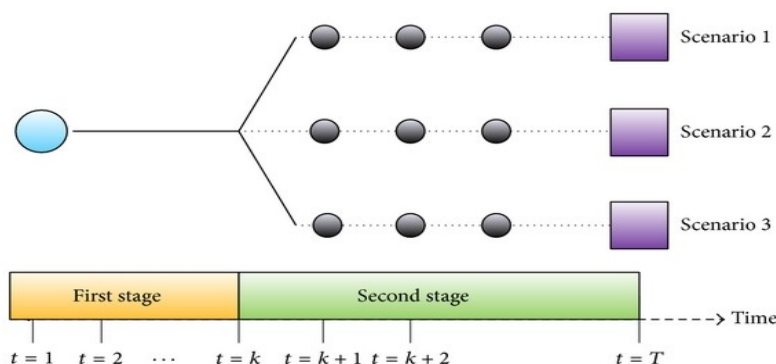
1 Η εύρεση του δυσμενέστερου σεναρίου σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι συχνά πολύ περίπλοκο και υπολογιστικά απαιτητικό πρόβλημα. Η δυνατότητα εύρεσης του εν λόγω σεναρίου εξαρτάται από τη μαθηματική δομή του προβλήματος βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα του αβέβαιων παραμέτρων (γραμμικό, μη-γραμμικό, κ.ά.). Αξίζει να σημειωθεί ότι η εύρεση του δυσμενέστερου σεναρίου αβεβαιότητας προϋποθέτει ότι το σενάριο αυτό παράγει εφικτό πρόβλημα βελτιστοποίησης.

2 Η σύγκριση γίνεται με βάση την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης μετά την εφαρμογή την εύρωστης λύσης και της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης αν ήταν δυνατή η πλήρης γνώση της αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της επίλυσης.

Από τις παραπάνω μεθόδους διαχείρισης αβεβαιότητας, για αυτήν την διπλωματική, θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος *Two-Stage Stochastic Programming* καθώς αφορά κατανομές πιθανοτήτων και δεν αποτελεί οριοθετημένη μέθοδος όπως οι παραπάνω δύο.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα γίνει μία σύντομη αλγεβρική ανάλυση της μεθόδου για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής της.

4.2.1 Στοχαστική δύο σταδίων (Two-stage stochastic)



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση στοχαστικού προγραμματισμού δύο σταδίων

(Πηγή: Yin-Yann Chen and Hsiao-Yao Fan (2015))

Ο Two-stage stochastic προγραμματισμός επιτρέπει μια κατάλληλη αντιμετώπιση διαφορετικών πηγών αβεβαιότητας στη διαδικασία σχεδιασμού επενδύσεων και λειτουργίας αποκεντρωμένων ενεργειακών συστημάτων. Γενικά, οι αβεβαιότητες μπορούν να οριστούν ως πληροφορίες που δεν είναι ακριβώς γνωστές τη στιγμή που πρέπει να ληφθεί η απόφαση. Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των αβεβαιοτήτων. Γενικά, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως εξωγενείς³ είτε ενδογενείς⁴. Στο πλαίσιο μας, τα αποτελέσματα του μοντέλου υπόκεινται σε τρεις διαφορετικές πηγές αβεβαιότητας:

- Δεδομένα εισόδου,
- Προετοιμασία μετασχηματισμού των δεδομένων εισόδου, και

3 Οι εξωγενείς αβεβαιότητες προκύπτουν από τυχαίες διακυμάνσεις ή αναπόδραστες μεταβολές που είναι αδύνατο να προβλεφθούν ή να αποφευχθούν. Αυτού του είδους οι αβεβαιότητες συνδέονται συνήθως με τον τυχαίο χαρακτήρα φαινομένων ή γεγονότων που είναι πέραν του ελέγχου μας. Για παράδειγμα, οι αλλαγές στις καιρικές συνθήκες, οι απρόβλεπτες αλλαγές στην αγορά, και οι τυχαίοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος αποτελούν παραδείγματα εξωγενών αβεβαιοτήτων.

4 Οι ενδογενείς αβεβαιότητες προέρχονται από έλλειψη γνώσης ή από την ανεπάρκεια των μεθόδων μέτρησης ή πρόβλεψης. Αυτού του είδους οι αβεβαιότητες συνήθως σχετίζονται με την αβεβαιότητα που προκύπτει από την έλλειψη πληροφοριών ή την αβεβαιότητα που προκύπτει από τις περιορισμένες δυνατότητες των μεθόδων μέτρησης ή πρόβλεψης. Για παράδειγμα, η αβεβαιότητα στα δεδομένα λόγω ασαφειών ή ανεπαρκών μετρήσεων, καθώς και η αβεβαιότητα που προκύπτει από τις εκτιμήσεις ή τις προσεγγίσεις σε επιστημονικές μελέτες, αποτελούν παραδείγματα ενδογενών αβεβαιοτήτων.

- Μοντελοποίηση του συστήματος

Κάθε μοντέλο βελτιστοποίησης χρειάζεται εισαγωγικά δεδομένα, όπως πληροφορίες για τον καιρό, τιμές, προσφορά ή ζήτηση, τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως εξωγενείς και είναι φορτισμένες με αβεβαιότητες. Επιπλέον, εξωγενείς αβεβαιότητες ή επιστημονικής φύσης εισάγονται κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού των εισόδων σε δεδομένα που απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση. Για παράδειγμα, περαιτέρω αβεβαιότητες προκύπτουν από τη μετατροπή δεδομένων καιρού σε προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος ή η ηλιακή ενέργεια. Τέλος, οι αβεβαιότητες προκύπτουν από το μοντέλο καθαυτό, ενδεχομένως επιστημονικής φύσης: όσο περισσότερο διαφέρει από το πραγματικό σύστημα, τόσο περισσότερη αβεβαιότητα μπορεί να προκαλέσει. Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης και η συνεπακόλουθη απόφαση εξαρτώνται από όλες αυτές τις πηγές αβεβαιότητας. Οι στοχαστικές τεχνικές μοντελοποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ληφθούν υπόψη οι συναφείς αβεβαιότητες των εισόδων και των μετασχηματισμένων δεδομένων, προκειμένου να προκύψει μια εύρωστη και επαρκής λύση που αναμένεται να είναι η βέλτιστη.

Πριν περίπου 70 χρόνια, ο Dantzig (1955) και ο Beale (1955) πρωτοεξέτασαν το ζήτημα της βελτιστοποίησης υπό αβεβαιότητες, όπου οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου δεν θεωρούνταν με ακρίβεια γνωστές. Αυτές οι αβεβαιότητες των παραμέτρων ενσωματώνονται με τις πιθανοτικές τους κατανομές μέσω του στοχαστικού προγραμματισμού (SP). Για παράδειγμα, η οικονομική κερδοφορία ενός συστήματος ενέργειας εξαρτάται κυρίως, στο πρώτο στάδιο, από την απόφαση επένδυσης και, στο δεύτερο στάδιο, από τη λειτουργία του, το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί επαρκώς ως two-stage στοχαστικό πρόγραμμα με ανταπόκριση (feedback) (Dantzig & Infanger, 2011; Kalvelagen, 2003). Μια τυπική μορφή ενός τέτοιου προβλήματος παρουσιάζεται, για λόγους σαφήνειας, παρακάτω:

$$\min_x c^T \cdot x + E_\omega[Q(x, \omega)] \quad (37)$$

$$A \cdot x = b,$$

$$x \geq 0,$$

$$\text{όπου: } Q(x, \omega) := \min_y q_\omega^T \cdot y \quad (38)$$

$$W_\omega \cdot y + T_\omega \cdot x \leq d_\omega,$$

$$y \geq 0$$

Η πρώτη φάση εκφράζεται από την εξίσωση (37) με το διάνυσμα x των μεταβλητών απόφασης του πρώτου σταδίου. Οι συντελεστές της συνάρτησης στόχου c^T , ο πίνακας των συντελεστών περιορισμών A και το διάνυσμα των δεξιών μερών b του πρώτου σταδίου θεωρούνται γνωστοί με βεβαιότητα. Η αναμενόμενη τιμή E της συνάρτησης στόχου του δεύτερου σταδίου Q , που αποτελεί γινόμενο των μεταβλητών απόφασης (δεύτερου σταδίου) y και των συντελεστών της συνάρτησης στόχου q , περιορίζεται από τον πίνακα μετάβασης T και τις μεταβλητές πρώτου σταδίου x , τον πίνακα τεχνολογίας W και το διάνυσμα των δεξιών μερών d . Επειδή οι πίνακες T , W , d και οι συντελεστές q δεν είναι γνωστοί με βεβαιότητα, το ω υποδεικνύει ένα δυνατό σενάριο σε σχέση με τον πιθανοτικό χώρο (Ω, P) .

Τα προβλήματα δισταθμικού γραμμικού προγραμματισμού (ΔΓΠ) (two-stage stochastic linear programming-SLP), στην εξίσωση (38), αναφέρονται σε ένα είδος βελτιστοποίησης όπου προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε ή να μεγιστοποιήσουμε μια γραμμική συνάρτηση κόστους υπό συγκεκριμένους περιορισμούς. Στην περίπτωση των δισταθμικών προβλημάτων, προσθέτουμε έναν παράγοντα βαρύτητας στους περιορισμούς προκειμένου να εκφράσουμε τη σημασία του καθενός. Τέλος, προσαρμόζουμε αυτόν τον παράγοντα βαρύτητας έτσι ώστε να επιτυγχάνουμε τον ισορροπημένο συντελεστή μεταξύ των διάφορων περιορισμών.

Μία μέθοδος στοχαστικότητας αποτελεί αυτή των στοχαστικών περιορισμών (chance-constraint optimization). Ειδικότερα, η μέθοδος των στοχαστικών περιορισμών αποτελεί μια τεχνική βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων σε προβλήματα που περιλαμβάνουν τυχαίες παραμέτρους, ενώ παράλληλα εγγυάται ένα συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης. Σε πολλά πραγματικά προβλήματα, οι παράμετροι είναι αβέβαιοι, γεγονός που δυσχεραίνει την πρόβλεψη του τελικού αποτελέσματος. Η στοχαστική βελτιστοποίηση επιχειρεί να αντιμετωπίσει αυτές τις αβεβαιότητες χρησιμοποιώντας αναμενόμενες ή ονομαστικές τιμές (nominal values).

Η καινοτομία της μεθόδου αυτής έγκειται στο ότι, αντί να προσπαθεί να εξαλείψει κάθε αβεβαιότητα, επιτρέπει τη δυνατότητα παραβίασης συγκεκριμένων περιορισμών υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική ικανοποίηση των περιορισμών διατηρείται με μια δεδομένη πιθανότητα. Αυτοί οι περιορισμοί, οι οποίοι σχετίζονται με την πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος, ονομάζονται στοχαστικοί περιορισμοί. Για παράδειγμα, ένας διανομέας μπορεί να εγγυηθεί την παράδοση ενός συγκεκριμένου ποσοστού προϊόντων, λαμβάνοντας υπόψη στοχαστικούς περιορισμούς όπως κακές καιρικές συνθήκες ή προβλήματα στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εξισορρόπηση μεταξύ της εξασφάλισης μιας πιθανής απόδοσης και της αποδοχής ορισμένων κινδύνων, καθιστώντας δυνατή την εύρεση λύσεων που διατηρούν την αξιοπιστία του συστήματος κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Η εφαρμογή της σε τομείς όπως η διαχείριση ενέργειας και οι χρηματοοικονομικές επενδύσεις καθιστά αυτή τη μέθοδο ιδανική για τη διαχείριση προβλημάτων με αβεβαιότητα, όπου απαιτείται υψηλή αξιοπιστία και ανθεκτικότητα.

Ας δούμε ένα παράδειγμα πάνω στο chance-constraint optimization:

Πρόβλημα:

Έστω ότι είμαστε υπεύθυνοι για τη διανομή προϊόντων από μια αποθήκη σε καταστήματα. Η ποσότητα που ζητούν τα καταστήματα δεν είναι σταθερή, αλλά αβέβαιη, και ακολουθεί μια τυχαία κατανομή. Στόχος μας είναι να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος διανομής, ενώ εξασφαλίζουμε ότι η πιθανότητα να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των καταστημάτων είναι τουλάχιστον 95%.

Διατύπωση του προβλήματος:

1. Μεταβλητές:

- x : Η ποσότητα προϊόντων που θα διανεμηθεί σε κάθε κατάστημα.
- D : Η τυχαία ζήτηση των καταστημάτων, η οποία ακολουθεί κάποια κατανομή (π.χ. κανονική κατανομή).

2. Αντικειμενική συνάρτηση:

Ελαχιστοποιούμε το κόστος διανομής: $\min \text{Κόστος}(x) = c \cdot x$, όπου $\text{Κόστος}(x) = c \cdot x$ και c είναι το κόστος διανομής ανά μονάδα.

3. Περιορισμοί με πιθανότητες:

Η ποσότητα x πρέπει να είναι αρκετή για να ικανοποιεί τη ζήτηση D με πιθανότητα τουλάχιστον 95%. Ο περιορισμός είναι: $P(x \geq D) \geq 0.95$

Αυτός είναι ένας **περιορισμός πιθανότητας** (chance-constraint). Λέει ότι θέλουμε η πιθανότητα της ποσότητας που στέλνουμε να καλύπτει τη ζήτηση τουλάχιστον 95%.

Επεξήγηση του περιορισμού:

Ο περιορισμός αυτός προσθέτει αβεβαιότητα στο πρόβλημα, αφού δεν γνωρίζουμε τη ζήτηση D ακριβώς, αλλά μόνο την κατανομή της. Άρα, αντί να απαιτούμε να καλύπτουμε κάθε πιθανή ζήτηση

(κάτι που θα αύξανε πολύ το κόστος), επιτρέπουμε να μην ικανοποιηθεί η ζήτηση σε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις (με πιθανότητα 5%).

Όπως περιγράφεται από τον *Cooper*, οι περιορισμοί πιθανότητας μπορούν να εφαρμοστούν σε προβλήματα διαχείρισης αποθεμάτων, όπου ένας περιορισμός μπορεί να εκφραστεί ως εξής: "Η πιθανότητα το απόθεμα να είναι μικρότερο από ένα προκαθορισμένο όριο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%". Αυτή η προσέγγιση προγραμματισμού με περιορισμούς πιθανότητας προσφέρει ευελιξία σε καταστάσεις όπου τα δεδομένα είναι αβέβαια και περιγράφονται καλύτερα μέσω πιθανοτήτων, όπως στη διαχείριση κινδύνων ή σε συστήματα logistics.

4.2.2 State-space αναπαράσταση γραμμικών συστημάτων

Η state-space αναπαράσταση αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο ενός φυσικού συστήματος, το οποίο περιγράφεται ως μια συνάρτηση των μεταβλητών εισόδου, εξόδου και κατάστασης, οι οποίες σχετίζονται με πρώτης τάξης διαφορικές εξισώσεις ως προς το χρόνο ή εξισώσεις χρονικών διαφορών. Η κατάσταση του συστήματος μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα διάνυσμα εντός αυτού του χώρου.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του γραμμικού μοντέλου state-space είναι ότι όλες οι μεταβλητές του συστήματος μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικός συνδυασμός των μεταβλητών κατάστασης x_i και των εισόδων του συστήματος u_i μέσω διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \dots + b_{1m}u_m \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \dots + b_{2m}u_m \\ \dot{x}_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \dots + b_{nm}u_m\end{aligned}\tag{39}$$

Τα αριθμητικά στοιχεία a_{ij} και b_{ij} είναι σταθερές. Οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να συμπυκνωθούν σε μια συντομευμένη μορφή ως εξής:

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t)\tag{40}$$

όπου: $x(t)$ αναπαριστά ένα διάνυσμα κατάστασης με διαστάσεις $n \times 1$, και $u(t)$ αναπαριστά ένα διάνυσμα εισόδου με διαστάσεις $m \times 1$.

Στην εξίσωση (40), ο πίνακας A είναι ένας $n \times n$ πίνακας συντελεστών, ορισμένος από:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Το B είναι ένας $n \times m$ πίνακας εισόδου, ορισμένος από:

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{pmatrix}$$

Η παραπάνω εξίσωση (40) μπορεί και να γραφτεί ως εξής:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) \quad (41)$$

Σε αυτή την μορφή διατύπωσης του προβλήματος, ο συνεχής χρόνος έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός προβλήματος βελτιστοποίησης συνεχούς χρόνου. Αυτού του τύπου τα προβλήματα είναι εξαιρετικά περίπλοκα και εξαιρετικά υπολογιστικά απαιτητικά στην επίλυσή τους. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η διακριτοποίησή τους. Με την επιλογή ενός time step (εδώ ένας μήνας) και με χρήση κατάλληλων μεθόδων διακριτοποίησης το σύνολο γραμμικών διαφορικών εξισώσεων μετατρέπεται σε ένα γραμμικό σύστημα χρονικών διαφορών. Η εξίσωση που θα προκύψει ονομάζεται Γραμμικό μοντέλο state-space διακριτού χρόνου (Linear state-space discrete-time).

Για την επίλυση της εξίσωσης (41) θα πρέπει αρχικά να λύσουμε ως προς $B \cdot u(t)$ και έπειτα να πολλαπλασιάσουμε τον κάθε όρο με τον όρο e^{-At} έτσι ώστε να δημιουργήσουμε μία γνωστή παράγωγο. Στην συνέχεια, ολοκληρώνουμε, με όριο το time step (T) που έχουμε επιλέξει, και λύνουμε την εξίσωση⁵. Η αλγεβρική εξίσωση στην οποία καταλήγουμε είναι η εξής:

$$x((k+1)T) = \tilde{A} \cdot x(kT) + \tilde{B} \cdot u(kT) \quad (42)$$

Προσαρμόζοντας αυτή την σχέση στην εργασία μας, την εξηγούμε ως ακολούθως:

Ποσότητα λευκού προϊόντος (Φεβρ.) = Ποσότητα λευκού προϊόντος (Ιαν.) + παραγγελίες (Ιαν.) – πωλήσεις (Ιαν.)⁶.

4.3 Pyomo - Μοντελοποίηση βελτιστοποίησης στην Python

Το Pyomo είναι ένα εργαλείο που βασίζεται στην Python και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση και επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Η μοντελοποίηση είναι ένα κρίσιμο

⁵ Για παραπάνω λεπτομέρειες ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στη μέθοδο διακριτοποίησης zero-order hold (ZOH).

⁶ Εδώ, ο υπολογισμός του αποθέματος του Φεβρουαρίου περιέχει την αβεβαιότητα της ζήτησης Ιανουαρίου καθώς και την βέλτιστη απόφαση πωλήσεων Ιανουαρίου.

βήμα σε πολλούς τομείς της επιστημονικής έρευνας, της μηχανικής και της επιχειρηματικότητας. Οι γλώσσες μοντελοποίησης άλγεβρας, όπως το Pyomo, είναι υψηλού επιπέδου γλώσσες για τον καθορισμό και την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Το Pyomo προσφέρει ένα ευέλικτο, επεκτάσιμο πλαίσιο μοντελοποίησης που αντλεί και επεκτείνει τις βασικές έννοιες που βρίσκονται σε σύγχρονες γλώσσες μοντελοποίησης άλγεβρας, όλα αυτά εντός του πλαισίου μιας ευρέως αποδεκτής γλώσσας προγραμματισμού.

Το Pyomo (Python Optimization Modeling Objects) υποστηρίζει τη δημιουργία και ανάλυση μαθηματικών μοντέλων για πολύπλοκες εφαρμογές βελτιστοποίησης. Αυτή η δυνατότητα συνήθως συνδέεται με εμπορικές γλώσσες μοντελοποίησης άλγεβρας (AMLs) όπως: η AIMMS, η AMPL και η GAMS. Επίσης, παρέχει ένα πλούσιο σύνολο δυνατοτήτων μοντελοποίησης και ανάλυσης και παρέχει πρόσβαση σε αυτές τις δυνατότητες μέσω της Python, μιας γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου με ένα εκτενές σύνολο βιβλιοθηκών υποστήριξης.

Τα μοντέλα βελτιστοποίησης καθορίζουν τους στόχους ή τα αντικείμενα για ένα συγκεκριμένο σύστημα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξερεύνηση των αντισταθμίσεων μεταξύ στόχων και αντικειμένων, τον εντοπισμό ακραίων καταστάσεων και σεναρίων χειρότερης περίπτωσης, καθώς και τον εντοπισμό των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν φαινόμενα σε ένα σύστημα. Επομένως, τα μοντέλα βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ευρέος φάσματος επιστημονικών, επιχειρηματικών και μηχανικών εφαρμογών.

Κάνοντας μια σύντομη επισκόπηση στο Pyomo μπορούμε να πούμε ότι, το Pyomo παρέχει ένα αντικειμενοστραφές σχεδιασμό για τον ορισμό μοντέλων βελτιστοποίησης. Ένα αντικείμενο μοντέλου στο Pyomo περιλαμβάνει μια συλλογή στοιχείων μοντελοποίησης που καθορίζουν το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Το πακέτο Pyomo περιέχει τα στοιχεία μοντελοποίησης που απαιτούνται για τη διατύπωση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης, όπως μεταβλητές, στόχοι, και περιορισμοί, καθώς επίσης και άλλα στοιχεία μοντελοποίησης που συνήθως υποστηρίζονται από σύγχρονες γλώσσες μοντελοποίησης άλγεβρας, συμπεριλαμβανομένων συνόλων ευρετηρίων και παραμέτρων. Τέλος, το Pyomo υποστηρίζει γενικό scripting με Python, επιτρέποντας στον χρήστη να ελέγχει ευέλικτα τη διαδικασία λύσης και να αναπτύσσει μία προσαρμοσμένη ροή εργασιών, όπως η επίλυση ακολουθιών προβλημάτων με τροποποιήσεις ή πιο πολύπλοκοι μετα-αλγόριθμοι.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

5.1 Δεδομένα

<i>Προϊόν</i>	<i>Τιμή εργοστασίου</i>	<i>Τιμή λιανικής⁷</i>	<i>Κυβικά⁸</i>
6κιλο πλυντήριο ρούχων	128 €	290 €	0,33
Ψυγείοκαταψύκτης	349 €	850 €	1,00
Ημιεντοιχισμένο πληγτύριο πιάτων (45cm)	139 €	325 €	0,30
Κουζίνα εμαγιέ (λευκή)	139 €	287 €	0,50
Ψυγείοκαταψύκτης με βρυσάκι	182 €	360 €	0,70

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Προϊόντων

Months	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Jan	10	6	9	8	7
Feb	9	10	10	12	9
Mar	8	8	8	9	10
Apr	12	11	12	10	8
May	17	5	7	7	12
Jun	8	7	9	11	9
Jul	12	12	6	6	8
Aug	9	9	10	8	10
Sep	10	8	8	12	7
Oct	7	6	12	9	12
Nov	15	10	7	8	6
Dec	6	7	9	10	8
Jan	10	6	9	8	7
Feb	9	10	10	12	9
Mar	8	8	8	9	10
Apr	12	11	12	10	8
May	17	5	7	7	12

7 Από το εργοστάσιο, για να διαμορφωθεί η τιμή της λιανικής, προσθέτονται μεταφορικά, εκτελωνιστικά, αποθήκευtra logistic (μέσο όρο), μεταφορικά, κέρδος χονδρικής, φόρο ανακύκλωσης, καθώς και φυσικά κέρδος καταστήματος τότε η λιανική διαμορφώνεται στο περίπου. Ανάλογα το προϊόν, το κέρδος αλλάζει λόγω εμπορικότητας, ταχύτητας και ανταγωνισμού.

8 Η αποστολή με πληρωμένα μεταφορικά ανά την Ελλάδα γίνεται με τιμή ανά κυβικό με μίνιμουμ αποστολή ένα κυβικό. Εδώ η εταιρεία χρεώνεται από το logistic 17€ το κυβικό άρα η μίνιμουμ αποστολή στοιχίζει 17€.

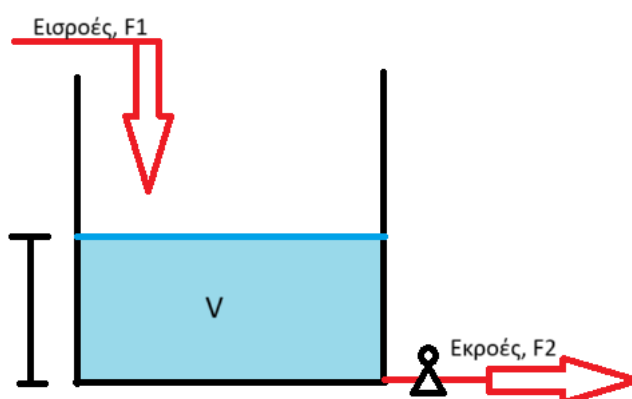
Jun	8	7	9	11	9
Jul	12	12	6	6	8
Aug	9	9	10	8	10
Sep	10	8	8	12	7
Oct	7	6	12	9	12
Nov	15	10	7	8	6

Πίνακας 2: Μηνιαία Ζήτηση Προϊόντων

5.2 Πρακτικό Υπόβαθρο

5.2.1 Ένα παράδειγμα από την μηχανική διεργασιών

Για να καταλάβουμε καλύτερα τις εισροές-εκροές του συστήματος, υποθέτουμε μία δεξαμενή:



Εικόνα 5.1: Αναπαράσταση εισροών-εκροών σε μία δεξαμενή

Σε ένα σύστημα όπως περιγράφεται παραπάνω, μπορούμε να ορίσουμε το F_1 ως τις εισροές του συστήματος, δηλαδή την ποσότητα του νερού που επιτρέπεται να εισέλθει στη δεξαμενή. Αυτή η ποσότητα αποτελεί μια *Μεταβλητή Απόφασης*, καθώς μπορούμε να την καθορίσουμε. Αντίθετα, το F_2 αντιπροσωπεύει τις εκροές του συστήματος, δηλαδή το νερό που βγαίνει από τη δεξαμενή. Αυτές τις εκροές δεν μπορούμε να τις ελέγξουμε, διότι υπάρχει μια βαλβίδα που ελέγχεται από κάποιον άλλον. Καθώς δεν μπορούμε να προβλέψουμε πότε και πόσο νερό θα αφαιρεθεί, αυτή η μεταβλητή ονομάζεται *Μεταβλητή Διαταραχής*.

Ο περιορισμός μας εδώ είναι ότι επιθυμούμε ο όγκος του νερού στη δεξαμενή να διατηρείται σε συγκεκριμένο επίπεδο ύψους. Ανάλογα με τις εκροές, μπορούμε να επηρεάσουμε τον όγκο του νερού μέσω των εισροών, αλλά δεν μπορούμε να τον ορίσουμε ακριβώς. Ο στόχος είναι να αποφευχθεί η έλλειψη νερού στη δεξαμενή, ενώ ταυτόχρονα να μην υπερβαίνεται το επιθυμητό επίπεδο.

Μοντελοποιώντας το σύστημά μας, έχει ως εξής:

$$\frac{dM}{dt} = m_{in} - m_{out}$$

$$\Rightarrow \frac{d\rho V}{dt} = \rho \cdot F_1 - \rho \cdot F_2, \text{ όπου } \rho = \text{σταθερ.}$$

$$\Rightarrow \frac{dV}{dt} = F_1 - F_2$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t} = F_1 - F_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_{T+1} - V_T}{t_{T+1} - t_T} = F_{1T} - F_{2T}, \text{ όπου ο παρονομαστής του κλάσματος δηλώνει το } T_s \text{ (Time step)}$$

$$\Rightarrow V_{T+1} = V_T + F_{1T} \cdot T_s - F_{2T} \cdot T_s$$

Προσαρμόζοντας αυτή τη σχέση για Inventory Management, έχουμε:

$$S_{1,T+1} = S_{1,T} + O_{1,T} - D_{1,T}^9 \quad (43)$$

όπου:

- Οι μεταβλητές $S_{1,T+1}$ και $S_{1,T}$ (Stock) αναπαριστούν την κατάσταση του συστήματος σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Αυτές οι μεταβλητές έχουν μια αρχική τιμή και μπορούν να επηρεαστούν από τις ενέργειές μας, αλλά δεν μπορούμε να τις καθορίσουμε απευθείας.
- Η μεταβλητή $O_{1,T}$ (Order) αποτελεί μια απόφαση που λαμβάνουμε.
- Η μεταβλητή $D_{1,T}$ (Demand) αντιπροσωπεύει μια διαταραχή ή ένα παράγοντα που επηρεάζει το σύστημα, όπως η ζήτηση. Αυτή η μεταβλητή μπορεί να αλλάξει αυτόνομα, αλλά έχουμε κάποια εκτίμηση ή πρόβλεψη σχετικά με το πώς μπορεί να εξελιχθεί, ειδικά σε ένα πλαίσιο δισταδικής στοχαστικής ανάλυσης (Two-stage Stochastic).

5.2.2 Μορφή Προβλήματος

Αλγεβρική αναπαράσταση προβλήματος:

$$\min f(x) \text{ ή } \max f(x)$$

$$g_i(x) \leq 0$$

$$h_j(x) = 0$$

$$x_{\underline{}} \leq x \leq x_{\bar{}}$$

⁹ Παρεμφερές με σχέσεις (41), (42) και (45)

Ο σκοπός του προβλήματός μας είναι να επιδιώξουμε τη μείωση του κόστους (σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε τον όρο " $\min f(x)$ ") ή την αύξηση του κέρδους (σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε τον όρο " $\max f(x)$ "). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής κατάλληλων περιορισμών (s.t.) που καθορίζουμε, οι οποίοι μας βοηθούν στο να επιλύσουμε το πρόβλημα.

Αναλυτικά:

Ορίζουμε ως Π^i τα προϊόντα που παραγγέλλουμε (Μεταβλητή απόφασης)/πουλάμε (Μεταβλητή διαταραχής):

- a) Π^1 : 6κιλο πλυντήριο ρούχων
- b) Π^2 : Ψυγείοκαταψύκτης
- c) Π^3 : Ημιεντοιχισμένο πλυντήριο πιάτων (45cm)
- d) Π^4 : Κουζίνα εμαγιέ (λευκή)
- e) Π^5 : Ψυγείοκαταψύκτης με βρυσάκι

Αναλύοντας την παραπάνω σχέση (43) ανά προϊόν, έχουμε:

$$\begin{aligned}
 \Pi^1_{T+1} &= \Pi^1_T + O^1_T - D^1_L \\
 \Pi^2_{T+1} &= \Pi^2_T + O^2_T - D^2_L \\
 \Pi^3_{T+1} &= \Pi^3_T + O^3_T - D^3_L \\
 \Pi^4_{T+1} &= \Pi^4_T + O^4_T - D^4_L \\
 \Pi^5_{T+1} &= \Pi^5_T + O^5_T - D^5_L
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

$$\begin{array}{cccc}
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 x_{T+1} & x_T & u_T & d_T
 \end{array}$$

Ως u_T ορίζουμε τον βαθμό ελευθερίας (input) το οποίο μπορώ να το αλλάξω ανεξαρτήτως του d_T (αβεβαιότητα/disturbance). Σκοπός του είναι να επηρεάσει το x_T .

Μια συντομευμένη μορφή της σχέσης (44) είναι:

$$x_{T+1} = A \cdot x_T + B_1 \cdot u_T + B_2 \cdot d_T \tag{45}$$

Οι A και B_1 αποτελούν μοναδιαίους (διαγώνιους) πίνακες. Μοναδιαίος ορίζεται ένας $n \times n$ διαγώνιος πίνακας, του οποίου όλα τα διαγώνια στοιχεία είναι ίσα με τη μονάδα. Ο B_2 είναι ένας $n \times m$ πίνακας αβεβαιότητας. Έτσι, η σχέση (45) παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$x_{T+1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot x_T + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot u_T + \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot d_T \quad (46)$$

5.2.2.1 Συνάρτηση $h_j(x)$

Η συνάρτηση $h_j(x)$ αναπαριστά τη λειτουργία του "συστήματος" για ολόκληρο το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε. Στο δικό μας "σύστημα", ο χρονικός μας ορίζοντας αποτελείται από 12 μήνες, όπου κάθε μήνας αντιστοιχεί σε ένα βήμα χρόνου. Έτσι, η σχέση (43) παίρνει την εξής μορφή:

$S_2 = S_1 + O_1 - D_1$: όπου, όπως προείπαμε, δηλώνει πως το stock του Φεβρουαρίου είναι το stock του Ιανουαρίου συν τις παραγγελίες του Ιανουαρίου μείον τις πωλήσεις του Ιανουαρίου.

Με την ίδια διαδικασία δημιουργούνται και οι σχέσεις για τους επόμενους 11 μήνες.

Δηλαδή:

$$S_3 = S_2 + O_2 - D_2 \quad (\text{ή } S_3 = S_1 + O_1 - D_1 + O_2 - D_2)$$

$$\dots \quad S_{12} = S_{11} + O_{11} - D_{11}$$

Μία γενική εξίσωση που θα περιγράφει το stock του κάθε μήνα για κάθε προϊόν είναι η εξής:

$S_{T+1}^i = S_T^i + O_T^i - D_T^i$, για κάθε T που ανήκει από 1 έως 12 μήνες και για κάθε i ανήκει από 1 έως 5 προϊόντα (οι αριθμοί μας εδώ είναι ακέραιοι).

Από τα δεδομένα μας βλέπουμε ότι για κάθε προϊόν οι παραγγελίες ανά μήνα είναι σταθερές κατά την διάρκεια του χρόνου. Συνεπώς, η εξίσωση θα πάρει την παρακάτω μορφή:

$$S_{T+1}^i = S_T^i + O^i - D_T^i \quad (47)$$

5.2.2.2 Περιορισμοί προβλήματος

Περιορισμοί $g_i(x) \leq 0$ και $\underline{x} \leq x \leq \bar{x}$:

- **1000 κυβικά $\geq S_T^i \geq 0$** , για κάθε T ανήκει από 1 έως 12 μήνες:

Το stock δεν μπορεί να είναι αρνητικό ή να υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή, δηλαδή πρέπει να κινείται μεταξύ μηδέν και μιας συγκεκριμένης μέγιστης τιμής για τα προϊόντα.

- $O^i \geq 0$, για κάθε T ανήκει από 1 έως 12 μήνες:
Οι παραγγελίες δεν μπορούν να είναι αρνητικές, δηλαδή δεν επιτρέπονται αρνητικές ποσότητες παραγγελιών.
- $\sum V^i \cdot S_T^i \leq V_{ολ.}$:
Ο συνολικός κυβικός όγκος των προϊόντων δεν μπορεί να υπερβαίνει τον μέγιστο διαθέσιμο όγκο που έχουμε στα logistics.
- $0 \leq \sum V^i \cdot O^i \leq 70$ κυβικά:
Το σύνολο των κυβικών των προϊόντων στο container πρέπει να βρίσκεται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους. Αυτός ο περιορισμός ουσιαστικά περιορίζει τον διαθέσιμο χώρο στο container για τα προϊόντα μας.
- $50 \leq O^1_T \leq 220$ κομ.
 $50 \leq O^2_T \leq 101$ κομ.
 $50 \leq O^3_T \leq 220$ κομ.
 $50 \leq O^4_T \leq 151$ κομ.
 $50 \leq O^5_T \leq 101$ κομ.:
Έχουμε τόσο ένα ελάχιστο όριο παραγγελιών ανά μήνα για κάθε προϊόν, όσο και μια συγκεκριμένη μέγιστη τιμή για τις παραγγελίες, το οποίο περιορίζει την ποσότητα που μπορούμε να παραγγείλουμε κάθε μήνα για κάθε προϊόν.

5.2.3 Εύρεση συνολικού κέρδους

Για να υπολογιστεί το συνολικό κέρδος σε ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα, λαμβάνονται υπόψη οι εισροές και οι εκροές του συστήματος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται τα κέρδη ($P = \text{profit}$) ως εισροές και τα κόστη ($C = \text{cost}$) ως εκροές. Με βάση αυτό, το συνολικό κέρδος μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\text{Συνολικό Κέρδος} = (\text{Κέρδος ανά προϊόν} * \text{Ζήτηση ανά προϊόν}) - (\text{Κόστος παραγγελιών ανά προϊόν} * \text{Ποσότητα παραγγελιών ανά προϊόν}) = P^i \cdot D_T^i - C^i \cdot O^i \quad (48)$$

Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζετε το κέρδος από τις πωλήσεις του κάθε προϊόντος αφαιρώντας το κόστος των παραγγελιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν γι' αυτό το προϊόν.

Για κάθε προϊόν, το συνολικό κέρδος υπολογίζεται αναλυτικά ως εξής:

$$\Sigma_T(P^1 \cdot D^1_T - C^1 \cdot O^1) + \Sigma_T(P^2 \cdot D^2_T - C^2 \cdot O^2) + \dots + \Sigma_T(P^5 \cdot D^5_T - C^5 \cdot O^5)$$

Συνολικά, αυτό μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή:

$\Sigma_i^{\max} \Sigma_T(P^i \cdot D^i_T - C^i \cdot O^i)$, όπου "i" αναφέρεται σε κάθε προϊόν και "T" αναφέρεται σε κάθε χρονικό βήμα, ενώ η "max" αναφέρεται στον υπολογισμό του μέγιστου κέρδους μεταξύ όλων των προϊόντων.

$$\Rightarrow \text{Συνολικό Κέρδος} = \Sigma_i^{\max} \Sigma_T(P^i \cdot D^i_T - C^i \cdot O^i) \quad (49)$$

5.3 Αποτελέσματα

➤ Περιγραφή Κώδικα:

Ο κώδικας που φτιάξαμε, αφορά την επίλυση ενός προβλήματος βέλτιστης διαχείρισης συστημάτων μέσω της μοντελοποίησης με χωροκαταστατικά μοντέλα (state-space models) και την χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα:

1. **Εισαγωγή δεδομένων:** Ο κώδικας φορτώνει τις χωροκαταστατικές μήτρες (state-space matrices) από αρχεία και καθορίζει όρια για τις καταστάσεις (states), τις εισροές (inputs) και τις διαταραχές (disturbances).
2. **Βέλτιστη διαχείριση:** Η διαδικασία πραγματοποιεί βελτιστοποίηση χρησιμοποιώντας τον μελλοντικό ορίζοντα (optimization horizon), όπου επιδιώκεται να βρεθεί η καλύτερη δυνατή λύση εισόδων (inputs) που μεγιστοποιούν τα αποτελέσματα του συστήματος (outputs), ενώ λαμβάνονται υπόψη οι διαταραχές (disturbances).
3. **Προσομοίωση συστήματος:** Ο κώδικας χρησιμοποιεί τη βέλτιστη λύση εισροών για να προσομοιώσει την συμπεριφορά του συστήματος στο επόμενο χρονικό βήμα, κάνοντας κυλιόμενη προσομοίωση για να επαναπροσδιορίζει συνεχώς το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.
4. **Αποθήκευση και απεικόνιση αποτελεσμάτων:** Τέλος, τα αποτελέσματα (καταστάσεις, εισροές, εκροές) αποθηκεύονται σε αρχεία CSV και μπορούν να απεικονιστούν σε γραφήματα για ανάλυση.

➤ Γενική Περιγραφή Λειτουργίας:

Ο κώδικας υλοποιεί βελτιστοποίηση με τη μέθοδο κυλιόμενου ορίζοντα (rolling horizon) σε ένα σύστημα, χρησιμοποιώντας μαθηματική μοντελοποίηση (state-space models) και προσομοίωση βήμα-βήμα. Αρχικά, φορτώνει δεδομένα και καθορίζει όρια. Έπειτα, χρησιμοποιεί αλγόριθμο

βελτιστοποίησης για να βρει τις βέλτιστες εισροές στο σύστημα, προσομοιώνει την εξέλιξη του συστήματος και αποθηκεύει τα αποτελέσματα για μετέπειτα ανάλυση ή επεξεργασία.

Για την ανάλυση της ζήτησης των προϊόντων μας, που περιγράφεται στον κώδικα, κατασκευάσαμε έναν πίνακα ζήτησης βασισμένο στα δεδομένα ζήτησης για τους πρώτους έξι μήνες κάθε περιόδου, και προχωρήσαμε στον υπολογισμό του εύρους ζήτησης για τους πρώτους τρεις κάθε περιόδου:

Probability distribution data per future month

	σ	pr_σ
1st month	0,975	1,96
2nd month	0,894	1,28
3rd month	0,837	1,04

Demand

	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	Product 5
Jan_mean	10	6	9	8	7
Jan_min	8	4	7	6	5
Jan_max	12	8	11	10	9
Feb_mean	9	10	10	12	9
Feb_min	7	8	8	10	7
December Feb_max	11	12	12	14	11
Mar_mean	8	8	8	9	10
Mar_min	7	7	7	8	9
Mar_max	9	9	9	10	11
Apr_mean	12	11	12	10	8
May_mean	17	5	7	7	12
June_mean	8	7	9	11	9
Feb_mean	9	10	10	12	9
Feb_min	7	8	8	10	7
Feb_max	11	12	12	14	11
January Mar_mean	8	8	8	9	10
Mar_min	6	6	6	7	8
Mar_max	10	10	10	11	12
Apr_mean	12	11	12	10	8

February	Apr_min	11	10	11	9	7
	Apr_max	13	12	13	11	9
	May_mean	17	5	7	7	12
	June_mean	8	7	9	11	9
	July_mean	12	12	6	6	8
	Mar_mean	8	8	8	9	10
	Mar_min	6	6	6	7	8
	Mar_max	10	10	10	11	12
	Apr_mean	12	11	12	10	8
	Apr_min	10	9	10	8	6
	Apr_max	14	13	14	12	10
	May_mean	17	5	7	7	12
March	May_min	16	4	6	6	11
	May_max	18	6	8	8	13
	June_mean	8	7	9	11	9
	July_mean	12	12	6	6	8
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Apr_mean	12	11	12	10	8
	Apr_min	10	9	10	8	6
	Apr_max	14	13	14	12	10
	May_mean	17	5	7	7	12
	May_min	15	3	5	5	10
	May_max	19	7	9	9	14
	Jun_mean	8	7	9	11	9
	Jun_min	7	6	8	10	8
	Jun_max	9	8	10	12	10
	July_mean	12	12	6	6	8
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Sept_mean	10	8	8	12	7
	May_mean	17	5	7	7	12
	May_min	15	3	5	5	10

April	May_max	19	7	9	9	14
	Jun_mean	8	7	9	11	9
	Jun_min	6	5	7	9	7
	Jun_max	10	9	11	13	11
	July_mean	12	12	6	6	8
	Jul_min	11	11	5	5	7
	Jul_max	13	13	7	7	9
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Sept_mean	10	8	8	12	7
	Oct_mean	7	6	12	9	12
May	Jun_mean	8	7	9	11	9
	Jun_min	6	5	7	9	7
	Jun_max	10	9	11	13	11
	July_mean	12	12	6	6	8
	Jul_min	10	10	4	4	6
	Jul_max	14	14	8	8	10
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Aug_min	8	8	9	7	9
	Aug_max	10	10	11	9	11
	Sept_mean	10	8	8	12	7
June	Oct_mean	7	6	12	9	12
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	July_mean	12	12	6	6	8
	Jul_min	10	10	4	4	6
	Jul_max	14	14	8	8	10
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Aug_min	7	7	8	6	8
	Aug_max	11	11	12	10	12
	Sept_mean	10	8	8	12	7
	Sept_min	9	7	7	11	6
	Sept_max	11	9	9	13	8

July	Oct_mean	7	6	12	9	12
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Aug_mean	9	9	10	8	10
	Aug_min	7	7	8	6	8
	Aug_max	11	11	12	10	12
	Sept_mean	10	8	8	12	7
	Sept_min	8	6	6	10	5
	Sept_max	12	10	10	14	9
	Oct_mean	7	6	12	9	12
	Oct_min	6	5	11	8	11
	Oct_max	8	7	13	10	13
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Jan_mean	10	6	9	8	7
August	Sept_mean	10	8	8	12	7
	Sept_min	8	6	6	10	5
	Sept_max	12	10	10	14	9
	Oct_mean	7	6	12	9	12
	Oct_min	5	4	10	7	10
	Oct_max	9	8	14	11	14
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	Nov_min	14	9	6	7	5
	Nov_max	16	11	8	9	7
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Jan_mean	10	6	9	8	7
	Feb_mean	9	10	10	12	9
September	Oct_mean	7	6	12	9	12
	Oct_min	5	4	10	7	10
	Oct_max	9	8	14	11	14
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	Nov_min	13	8	5	6	4

	Nov_max	17	12	9	10	8
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Dec_min	5	6	8	9	7
	Dec_max	7	8	10	11	9
	Jan_mean	10	6	9	8	7
	Feb_mean	9	10	10	12	9
	Mar_mean	8	8	8	9	10
	Nov_mean	15	10	7	8	6
	Nov_min	13	8	5	6	4
	Nov_max	17	12	9	10	8
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Dec_min	4	5	7	8	6
	Dec_max	8	9	11	12	10
October	Jan_mean	10	6	9	8	7
	Jan_min	9	5	8	7	6
	Jan_max	11	7	10	9	8
	Feb_mean	9	10	10	12	9
	Mar_mean	8	8	8	9	10
	Apr_mean	12	11	12	10	8
	Dec_mean	6	7	9	10	8
	Dec_min	4	5	7	8	6
	Dec_max	8	9	11	12	10
	Jan_mean	10	6	9	8	7
	Jan_min	8	4	7	6	5
	Jan_max	12	8	11	10	9
November	Feb_mean	9	10	10	12	9
	Feb_min	8	9	9	11	8
	Feb_max	10	11	11	13	10
	Mar_mean	8	8	8	9	10
	Apr_mean	12	11	12	10	8
	May_mean	17	5	7	7	12

Πίνακας 3: Πίνακας Πρόβλεψης και Εύρους Ζήτησης

Η διαδικασία περιγράφεται ως εξής:

1. **Δημιουργία Πίνακα Ζήτησης:** Για κάθε μήνα, υπολογίζεται η ζήτηση για τους επόμενους έξι μήνες. Για παράδειγμα, για τον Ιανουάριο υπολογίζεται η ζήτηση για Φεβρουάριο μέχρι και Ιούλιο. Παρομοίως, για τον Φεβρουάριο υπολογίζεται η ζήτηση για Μάρτιο μέχρι και Αύγουστο, και ούτω καθεξής.
2. **Υπολογισμός της Μέσης Τιμής και Τυπικής Απόκλισης:** Θεωρώντας ότι η κατανομή της ζήτησης ακολουθεί μια κανονική κατανομή, υπολογίζεται η μέση τιμή (μ) και η τυπική απόκλιση (σ) της ζήτησης για τους τρεις πρώτους μήνες κάθε περιόδου.
3. **Ποσοστό των Τιμών εντός Τυπικών Αποκλίσεων:** Εισάγεται η παραδοχή ότι το 80% των τιμών της ζήτησης βρίσκονται εντός ενός συγκεκριμένου αριθμού τυπικών αποκλίσεων από τη μέση τιμή. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος της ζήτησης γύρω από τη μέση τιμή καλύπτει το 80% της πιθανότητας.
4. **Υπολογισμός Τυπικής Απόκλισης και Πιθανοτήτων:** Χρησιμοποιώντας την παραπάνω παραδοχή, υπολογίζεται η τυπική απόκλιση (σ) και το ποσοστό πιθανότητας $Pr(\sigma)$ που αντιστοιχεί σε αυτό το διάστημα (80%).
5. **Υπολογισμός Εύρους Ζήτησης ($_min$ και $_max$):** Για τον υπολογισμό του εύρους της ζήτησης για τους υπόλοιπους μήνες, χρησιμοποιώ τα εξής:

> $_min$: Υπολογίζεται ως η μέση ζήτηση του εκάστοτε προϊόντος μείον το γινόμενο της τυπικής απόκλισης και του ποσοστού πιθανότητας, παραδείγματος χάριν:

$$Dec_{min} = Dec_{mean} - \sigma \cdot Pr(\sigma)$$

Στην επίλυση της, στρογγυλοποιούμε προς τα κάτω.

> $_max$: Υπολογίζεται με την ίδια λογική, αλλά αυτή τη φορά με στρογγυλοποίηση προς τα πάνω:

$$Dec_{max} = Dec_{mean} + \sigma \cdot Pr(\sigma)$$

6. **Εφαρμογή στη Διαχείριση Ζήτησης:** Με βάση τις εκτιμήσεις αυτές, ορίζονται τα κατώτατα ($_min$) και ανώτατα ($_max$) όρια της ζήτησης. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει να υπολογίζεται το εύρος εντός του οποίου πιθανότατα θα κινηθεί η ζήτηση, προσφέροντας μια εκτίμηση βασισμένη σε στατιστικά μοντέλα κανονικής κατανομής.

Παραδοχές Κατανομής:

Η κατανομή που χρησιμοποιείται στο πρόβλημα βασίζεται σε ορισμένες σημαντικές παραδοχές. Πρώτον, υποθέτουμε ότι η ζήτηση για κάθε προϊόν ακολουθεί **κανονική κατανομή (Γκαουσιανή κατανομή)**, όπου οι τιμές της μπορούν να θεωρηθούν “κανονικά” κατανεμημένες γύρω από κάποιον μέσο όρο με συγκεκριμένη διακύμανση. Μια δεύτερη παραδοχή είναι η **ανεξαρτησία μεταξύ των προϊόντων**, δηλαδή ότι η ζήτηση ενός προϊόντος δεν επηρεάζει τη ζήτηση κάποιου άλλου. Αυτό διασφαλίζει ότι το πρόβλημα παραμένει διαχειρίσιμο και μπορούμε να εξετάσουμε κάθε προϊόν ανεξάρτητα. Επιπλέον, τα **ποσοστά** (πιθανότητα), τα οποία αντιπροσωπεύουν την τυπική απόκλιση της ζήτησης για κάθε προϊόν, προκύπτουν από **στατιστική ανάλυση** και αντανακλούν την αβεβαιότητα στην εκτίμηση της ζήτησης. Τέλος, οι **συντελεστές** που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των σ είναι **ανεξάρτητοι μεταξύ τους**. Η ανεξαρτησία αυτή είναι ιδιαίτερης σημασίας, διότι αν υπήρχε εξάρτηση, το πρόβλημα θα καθίστατο μη γραμμικό, κάτι που θα καθιστούσε την επίλυσή του πιο περίπλοκη. Αντιθέτως, η ανεξαρτησία των συντελεστών διασφαλίζει ότι το πρόβλημα παραμένει γραμμικό και πιο εύκολα επιλύσιμο μέσω τεχνικών γραμμικού προγραμματισμού.

Εξετάζοντας όλα τα παραπάνω με μια μαθηματική οπτική, τα ορίζουμε ως εξής:

$$\Pr(\mu - 1\sigma \leq X \leq \mu + 1\sigma) \approx 68.27\%$$

$$\Pr(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) \approx 95.45\%$$

$$\Pr(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) \approx 99.73\%$$

όπου: **Pr()** είναι η συνάρτηση που μας δίνει την πιθανότητα, το **X** είναι μια τιμή που προκύπτει από μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την κανονική κατανομή (δηλαδή Γκαουσιανή), το **μ** είναι ο μέσος όρος αυτής της κατανομής, και το **σ** είναι η τυπική απόκλιση, που μας δείχνει πόσο διασκορπισμένες είναι οι τιμές γύρω από τον μέσο όρο. Τα στοιχεία **1,2,3** είναι οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των σ .

Δημιουργία Σεναρίων Ζήτησης:

Για τη βελτιστοποίηση της στρατηγικής διαχείρισης αποθεμάτων και παραγωγής, δημιουργήσαμε έξι σενάρια με βάση τις διακυμάνσεις του πίνακα ζήτησης. Το σενάριο 0 αντιπροσωπεύει τη βασική εκδοχή με τη μέση/ελάχιστη/μέγιστη ζήτηση, λειτουργώντας ως σημείο αναφοράς για τη σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια. Στο πρώτο σενάριο, εφαρμόζεται μια οριζόντια αύξηση 10% στη ζήτηση για όλους τους μήνες, ενώ στο δεύτερο σενάριο έχουμε αντίστοιχη οριζόντια μείωση 15%. Στο τρίτο σενάριο, η αύξηση 10% επικεντρώνεται στους μήνες με τη μεγαλύτερη ζήτηση (όπου η ζήτηση ξεπερνά τις 12 μονάδες), στοχεύοντας σε ενίσχυση αποθεμάτων στις περιόδους αιχμής. Στο

τέταρτο σενάριο, μειώνεται η ζήτηση κατά 15% στους μήνες με τη χαμηλότερη απόδοση (όπου η ζήτηση περιορίζεται στις 7 μονάδες και κάτω), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο υπερπαραγωγής. Τέλος, στο πέμπτο σενάριο συνδυάζονται τα δύο παραπάνω, με αύξηση 10% στους καλύτερους μήνες και μείωση 15% στους υπόλοιπους, επιτρέποντας μια ισορροπημένη προσέγγιση προσαρμογής στη ζήτηση με βάση τις υψηλές και χαμηλές περιόδους. Αυτή η ανάλυση συμβάλλει στη βελτίωση της ανταπόκρισης στις εποχικές και μη προβλέψιμες μεταβολές της αγοράς.

Στη βάση αυτής της προσέγγισης, οι πίνακες σεναρίων και ζήτησης έχουν δομηθεί σύμφωνα με δεδομένα που αφορούν μόνο τους πρώτους έξι μήνες κάθε περιόδου, επιτρέποντας την ανάλυση και προσαρμογή της παραγωγής και αποθεμάτων με βάση τις προβλέψεις για την ερχόμενη περίοδο. Για κάθε μήνα πρόβλεψης (π.χ. Δεκέμβριος), οι τιμές ζήτησης των πρώτων έξι μηνών (Ιανουάριος έως Ιούνιος) αξιοποιούνται για τη διαμόρφωση των σεναρίων. Ο Ιανουάριος, στην προκειμένη περίπτωση, είναι ο μήνας που επηρεάζεται άμεσα από τις αυξομειώσεις του σεναρίου, ενώ οι υπόλοιποι μήνες διατηρούν τις αρχικές τους τιμές ζήτησης, όπως καθορίζονται από την προβλεπόμενη μέση/ελάχιστη/μέγιστη ζήτηση ή το «σενάριο 0». Αυτή η μεθοδολογία επιτρέπει την αξιολόγηση διαφόρων υποθέσεων και τη βελτίωση του σχεδιασμού για τον μήνα πρόβλεψης, ενώ οι υπόλοιποι μήνες λειτουργούν ως σταθερό σημείο αναφοράς. Παρομοίως, η προσέγγιση εφαρμόζεται και στους επόμενους μήνες της περιόδου, προσφέροντας μια πιο ευέλικτη και στοχευμένη ανάλυση για τη βέλτιστη απόκριση σε κάθε σενάριο.

Δημιουργία Πίνακα Reality και Scenario_reality:

Ο πίνακας reality δημιουργείται για την καταγραφή της πραγματικής ζήτησης των προϊόντων στον χρόνο που εξετάζουμε. Ο συγκεκριμένος πίνακας λειτουργεί ως εργαλείο σύγκρισης μεταξύ των υπολογισμένων και των πραγματικών δεδομένων, επιτρέποντας την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων και της αποδοτικότητας του συστήματος.

Ο πίνακας scenario_reality δημιουργήθηκε βάσει του πίνακα reality και αντικατοπτρίζει την προσαρμογή της πραγματικής ζήτησης σε διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει δεδομένα που συνδυάζουν τις παρατηρούμενες τιμές της πραγματικής ζήτησης με τις αντίστοιχες μεταβολές που εισάγονται από τα εκάστοτε σενάρια. Ο πίνακας αυτός παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της πραγματικής ζήτησης υπό διαφορετικές συνθήκες.

Δημιουργία Διαγραμμάτων των Αποτελεσμάτων:

Με τη δημιουργία των σεναρίων και την εκτέλεση του κώδικα για καθένα από αυτά, καταγράφονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις εξής κατηγορίες: states (καταστάσεις), disturbances (διαταραχές), inputs (εισροές), shortage (ελλείψεις), και outputs (εκροές). Για κάθε μία

από αυτές τις κατηγορίες δημιουργούνται διαγράμματα που παρουσιάζουν τον αριθμό προϊόντων ανά μήνα ή το κέρδος ανά μήνα.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για κάθε κατηγορία δημιουργούνται έξι διαγράμματα, ένα για κάθε σενάριο, συμπεριλαμβανομένου του σεναρίου 0 (μέσης/ελάχιστης/μέγιστης ζήτησης).
- Ο κώδικας εκτελείται επιπλέον και για το reality, δηλαδή την πραγματική ζήτηση, και παράγεται ένα αντίστοιχο διάγραμμα.

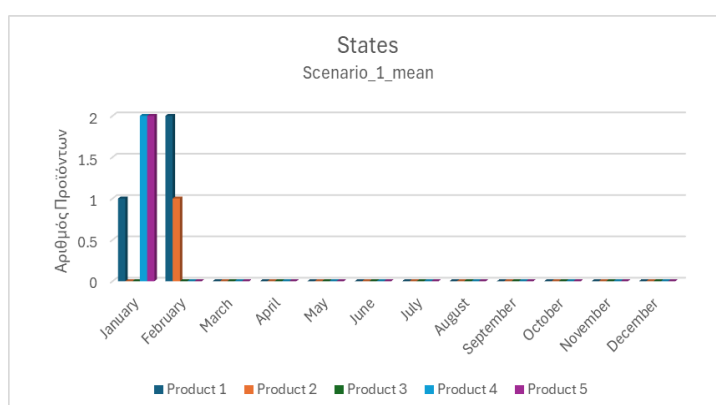
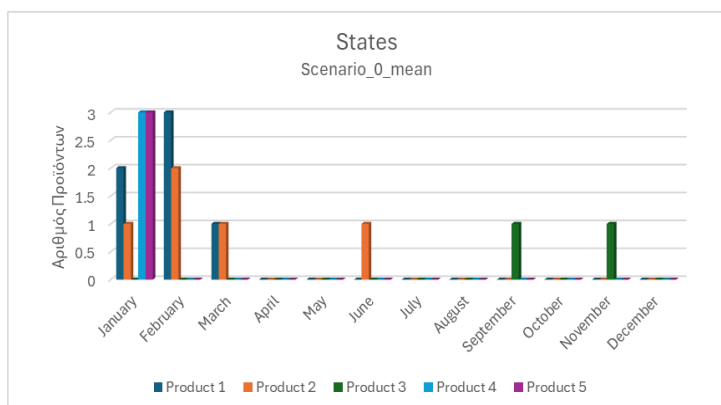
Με την ολοκλήρωση όλων των διαγραμμάτων:

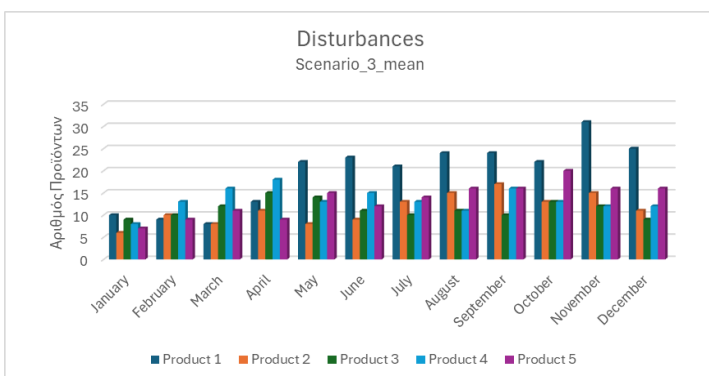
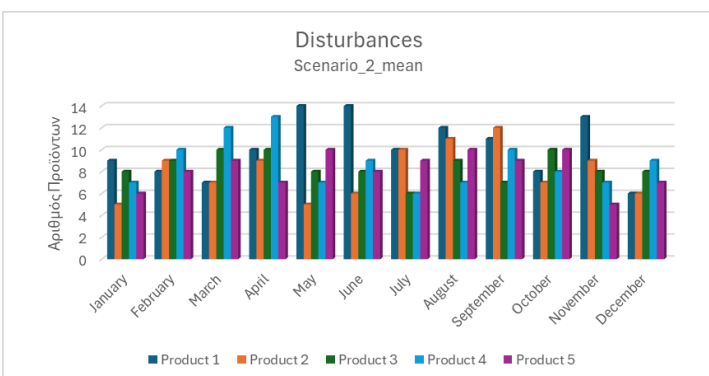
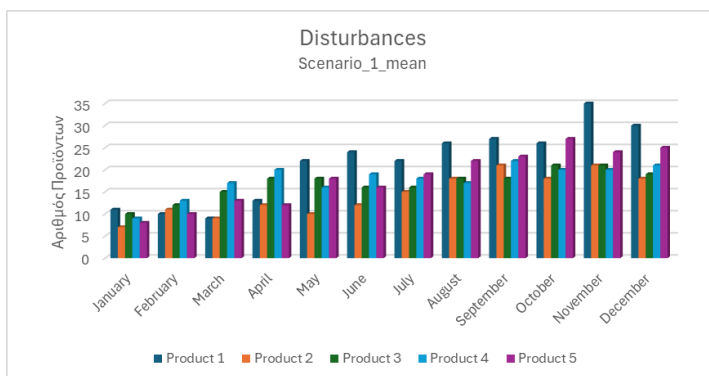
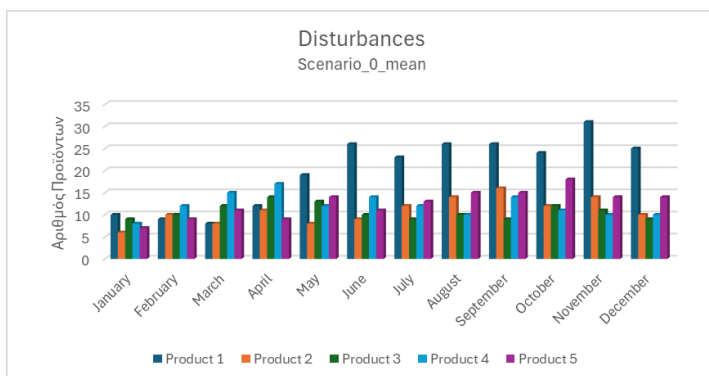
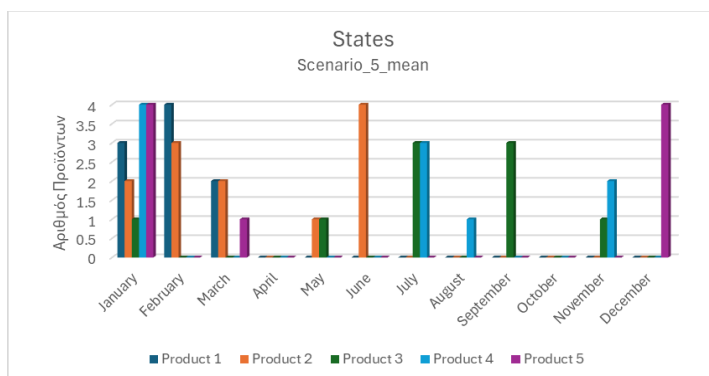
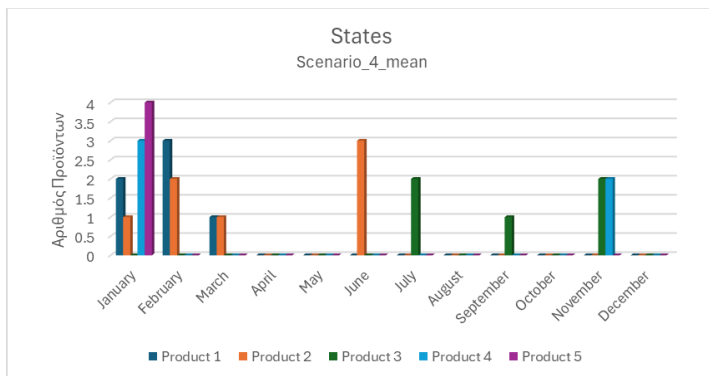
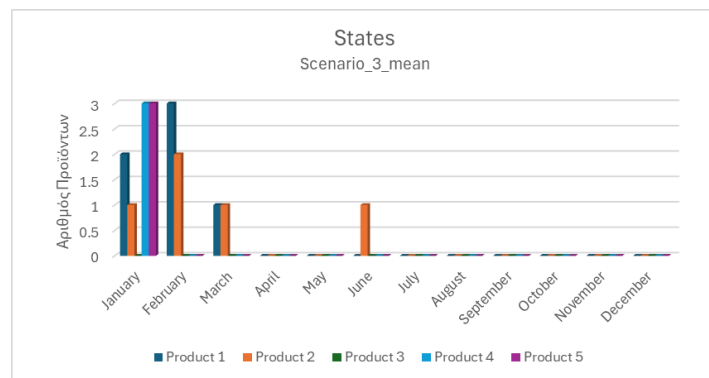
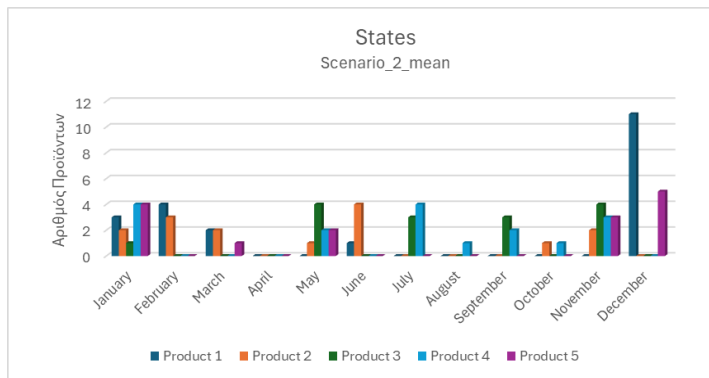
1. Γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των σεναρίων.
2. Εξετάζεται η αποδοτικότητα κάθε σεναρίου βάσει της απόκρισής του στις ανάγκες της επιχείρησης.
3. Εντοπίζεται το σενάριο που παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή στις πραγματικές συνθήκες, με βάση τα διαγράμματα και τις αποκλίσεις από το reality.

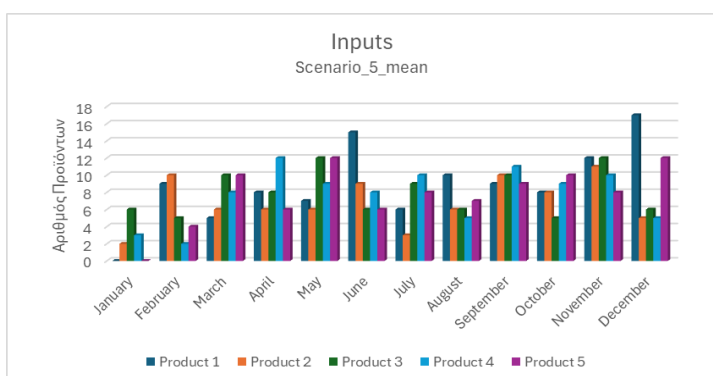
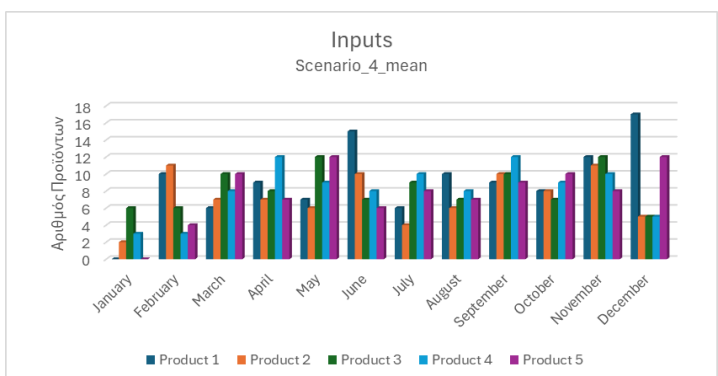
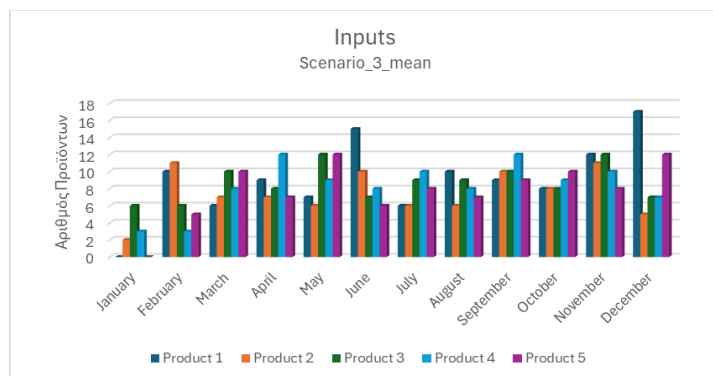
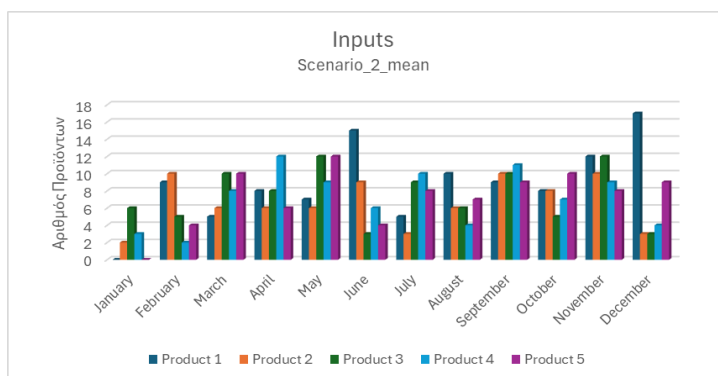
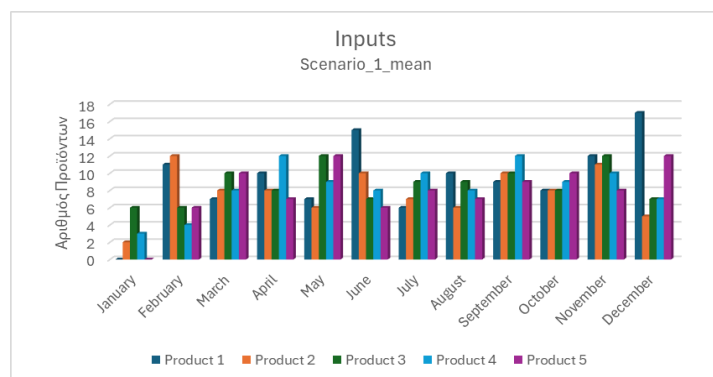
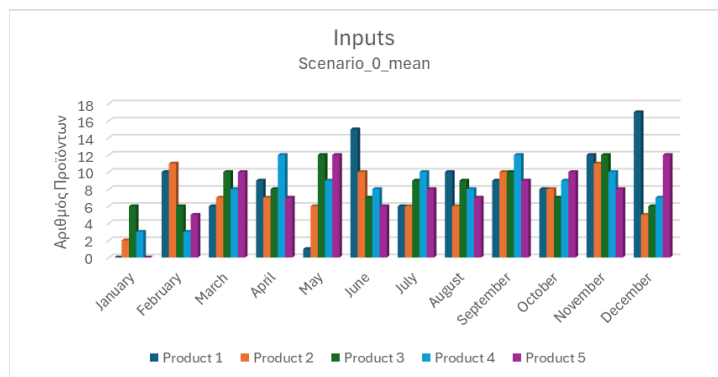
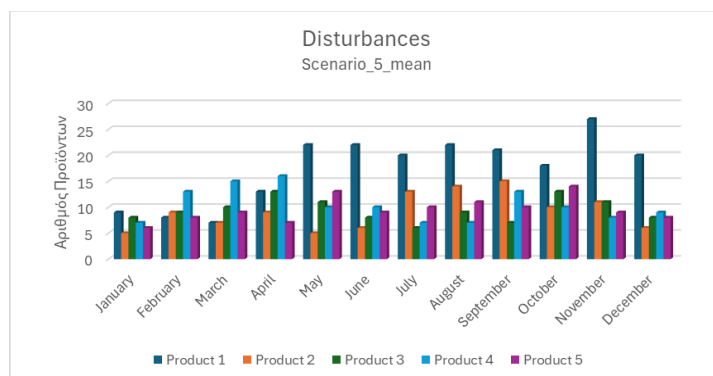
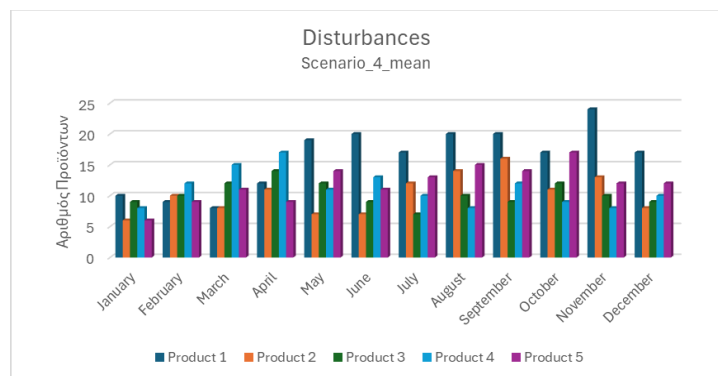
Ειδικότερα, δημιουργήθηκαν 18 σενάρια για μέση, ελάχιστη και μέγιστη ζήτηση (mean, min, max), από τα οποία επιλέχθηκαν τα 6 καλύτερα με βάση τα βασικά κριτήρια: το shortage και τα outputs. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε σύγκριση αυτών των 6 σεναρίων, καταλήγοντας στα δύο καλύτερα, ένα για το shortage και ένα για τα outputs. Τα δύο αυτά σενάρια θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα του πραγματικού σεναρίου (reality), ώστε να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα.

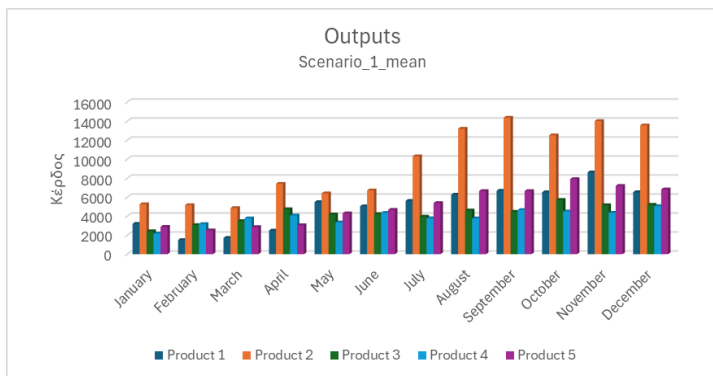
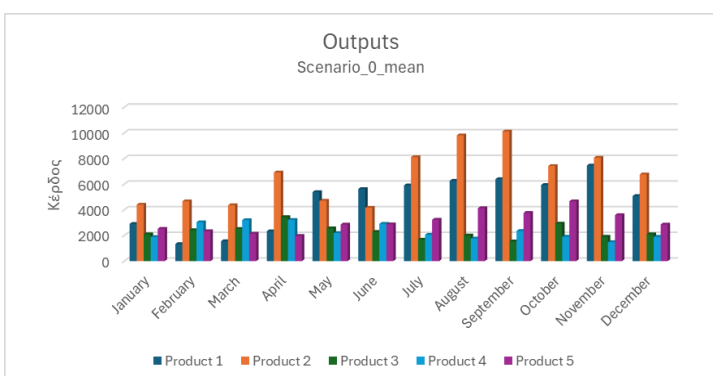
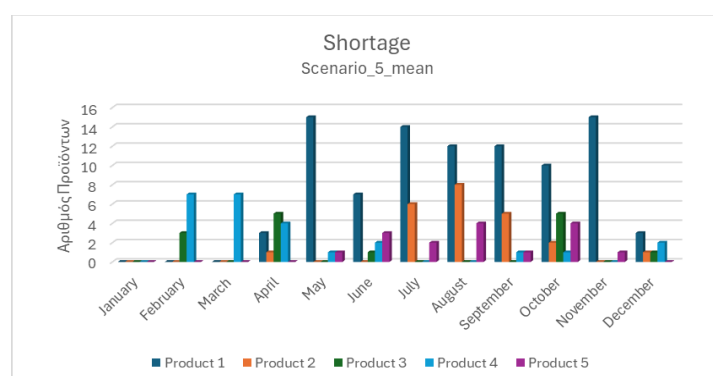
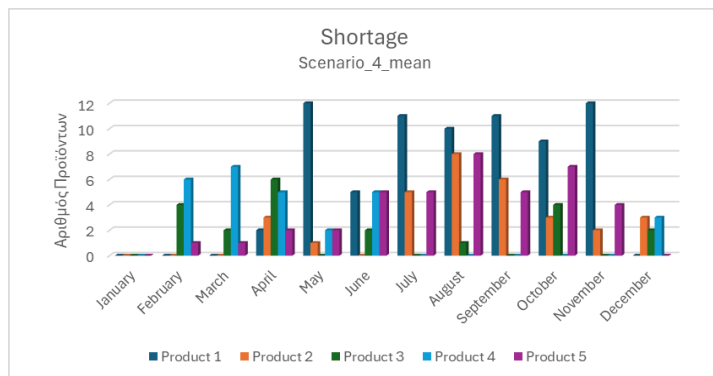
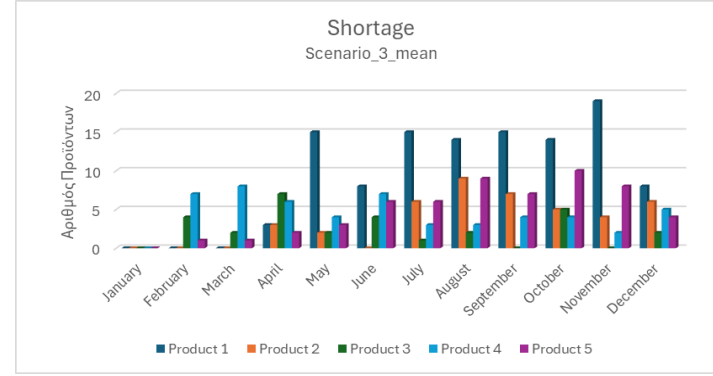
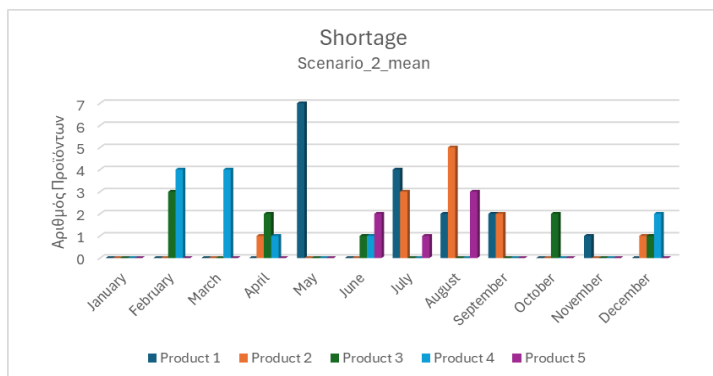
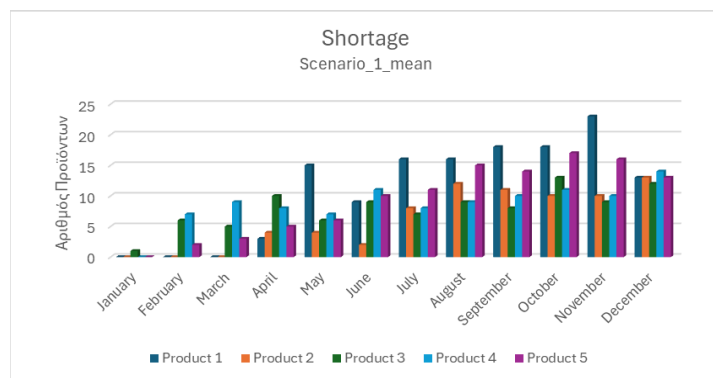
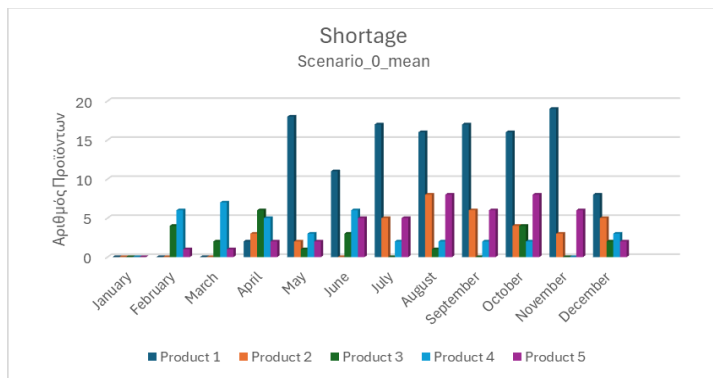
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα 18, αυτά, σενάρια είναι τα εξής:

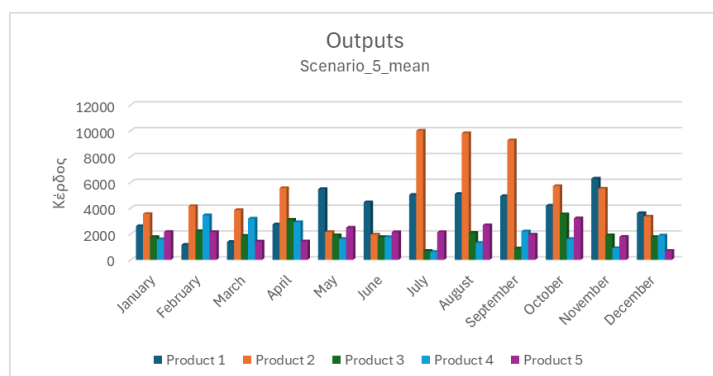
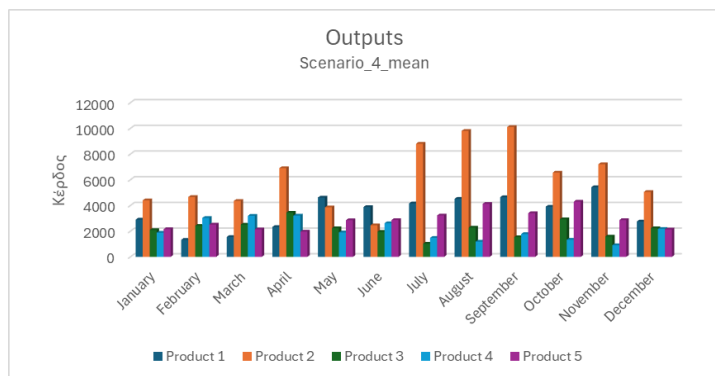
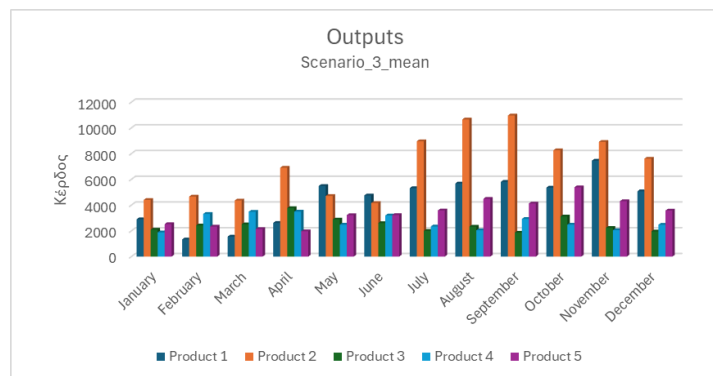
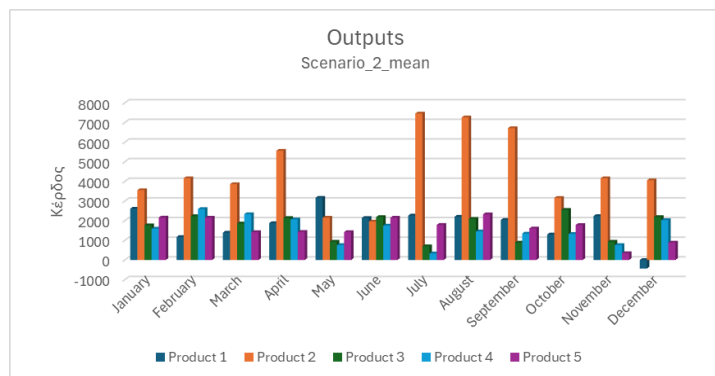
➤ Scenario_0 έως 5_mean:



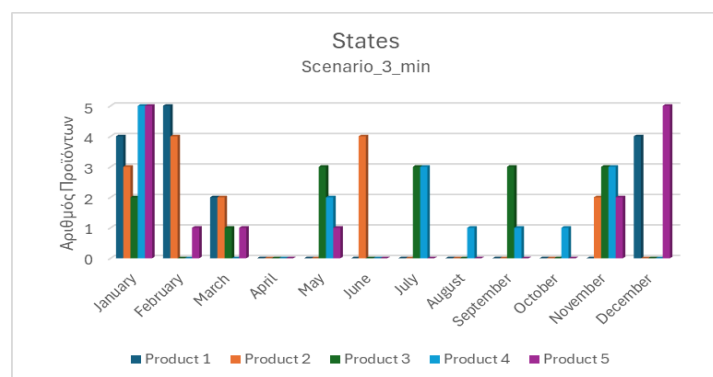
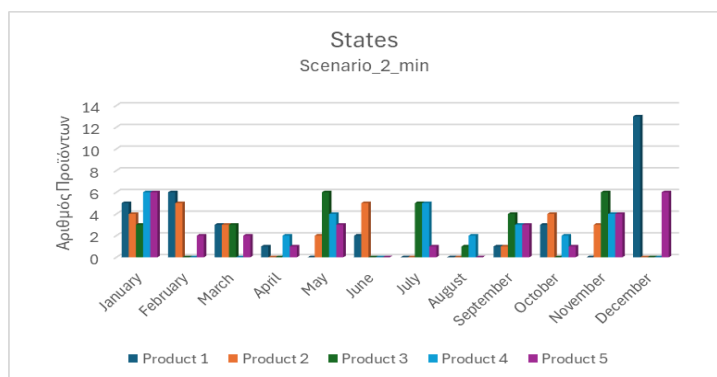
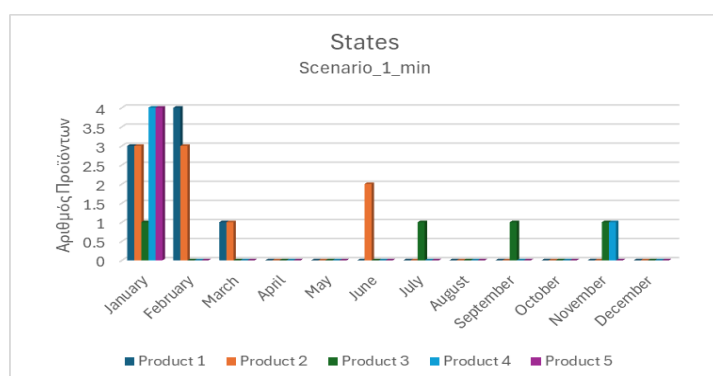
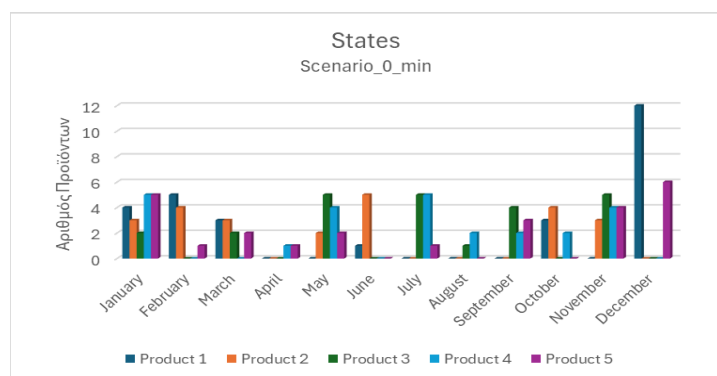


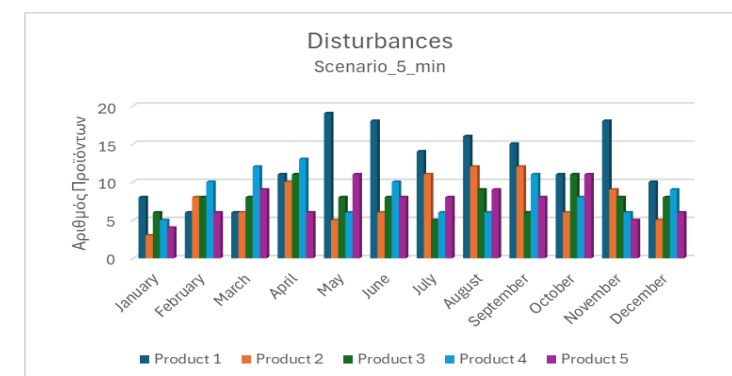
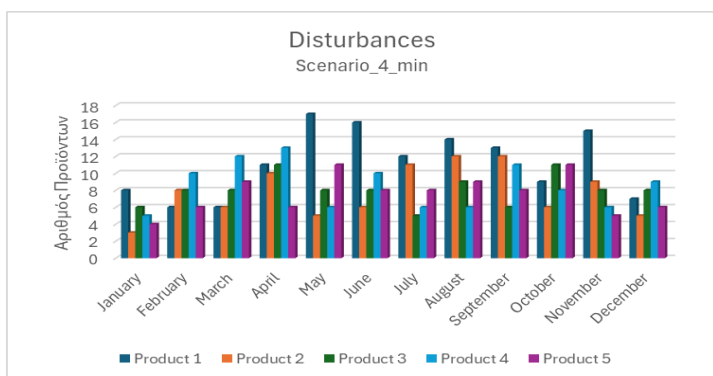
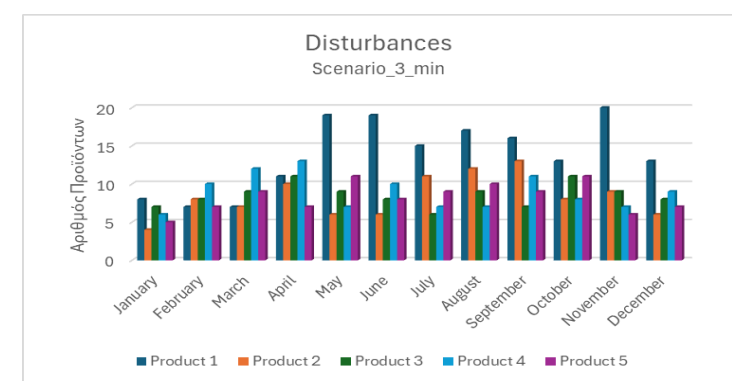
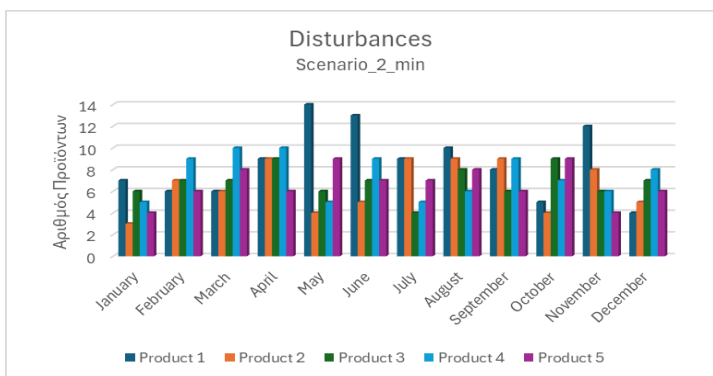
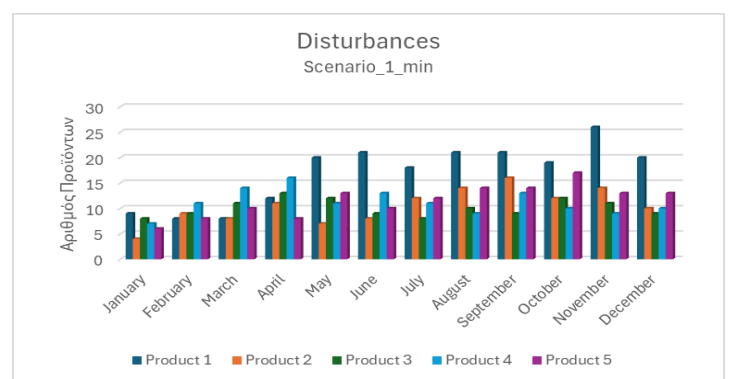
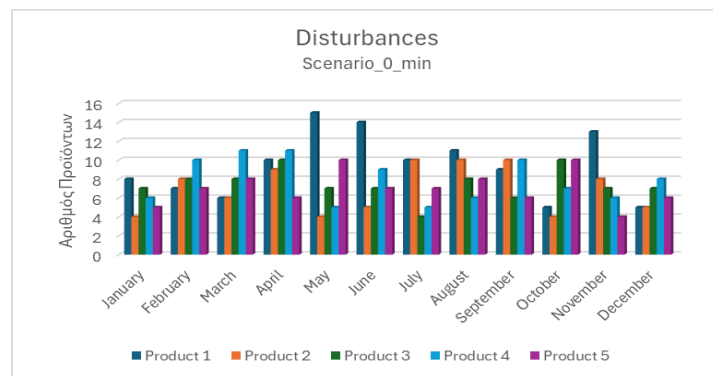
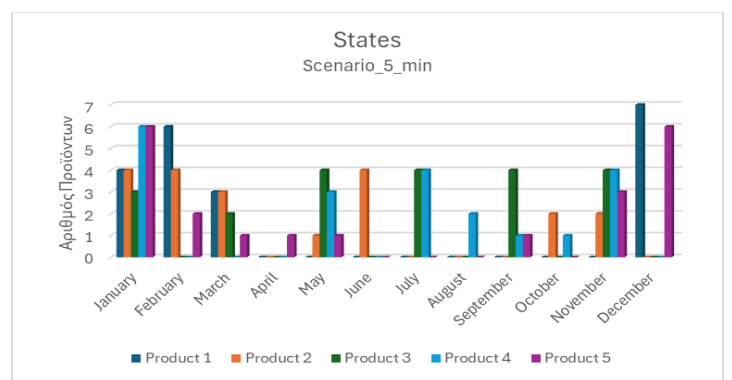
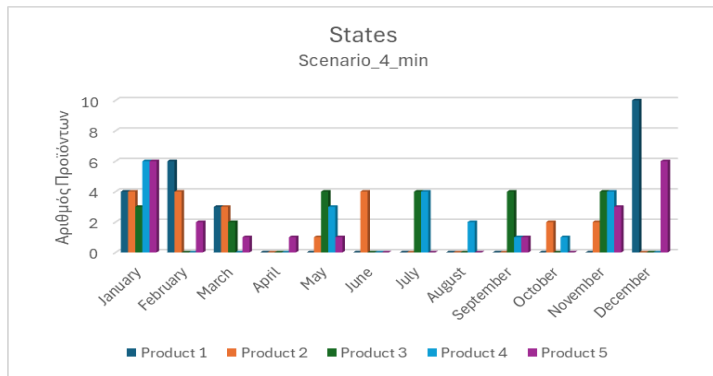


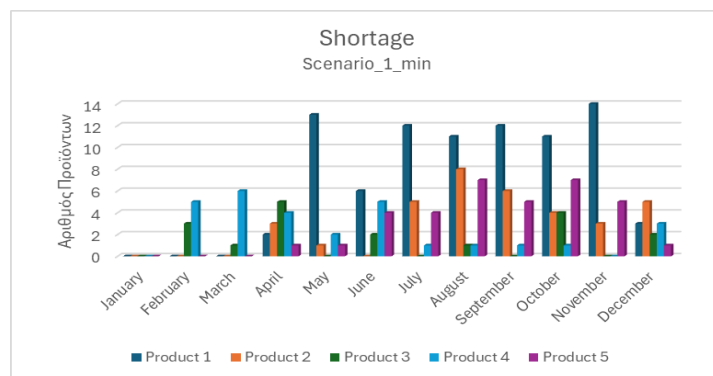
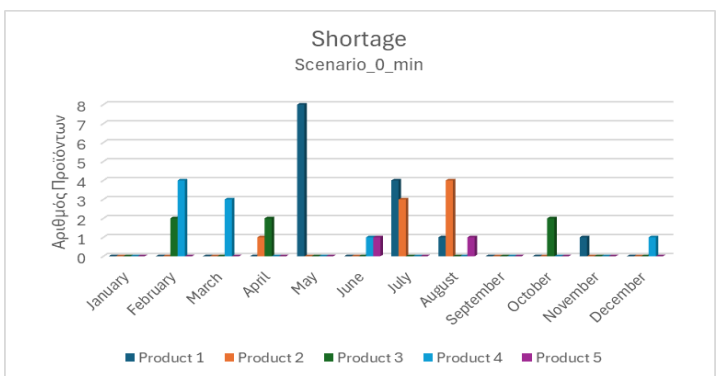
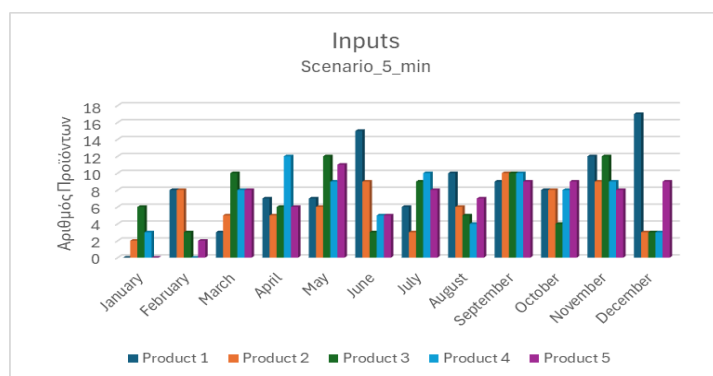
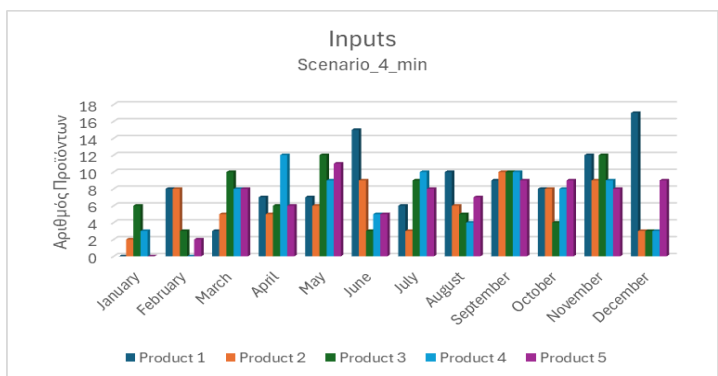
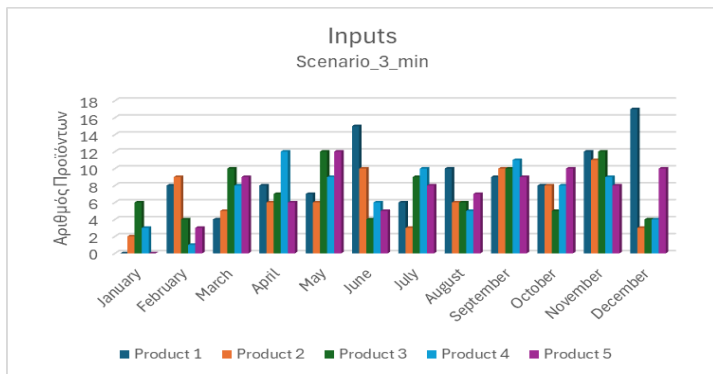
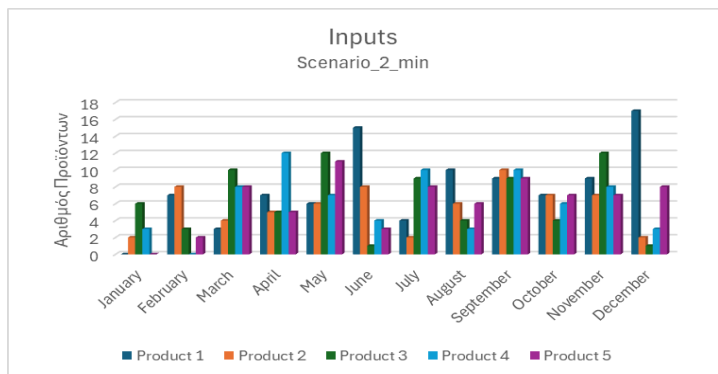
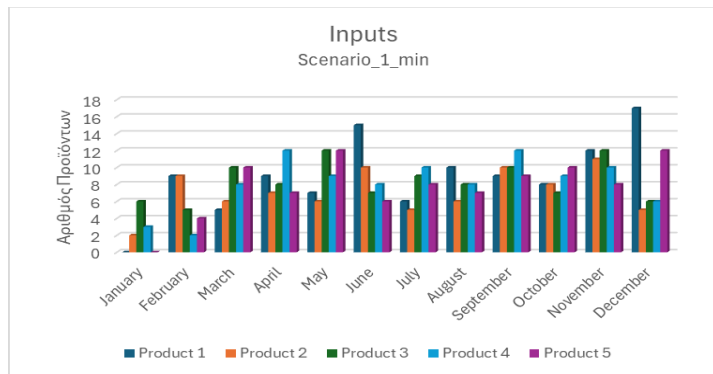
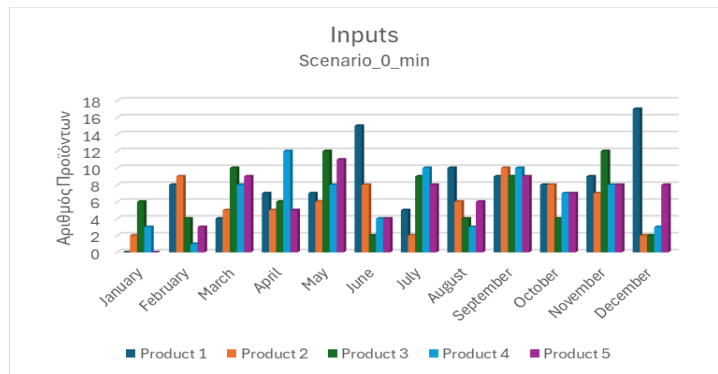


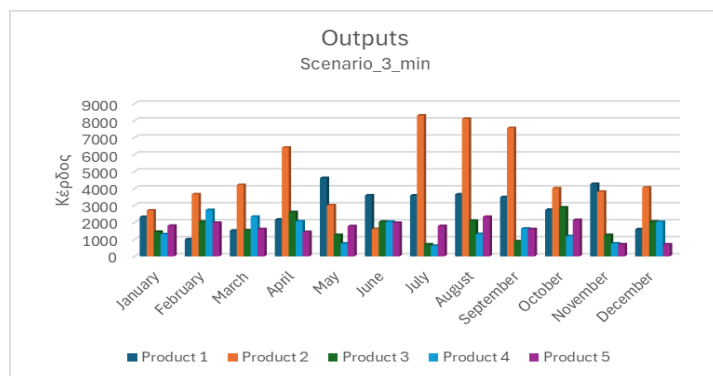
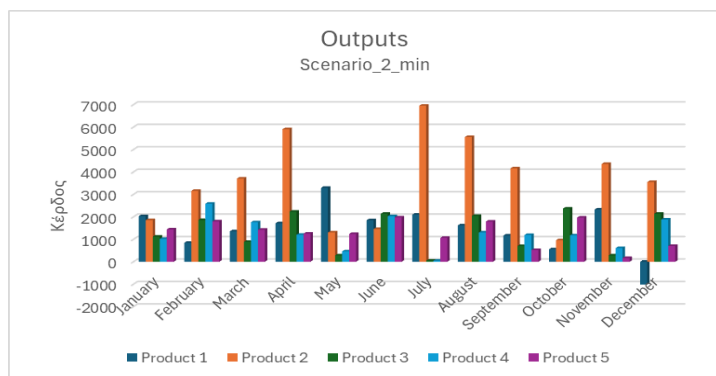
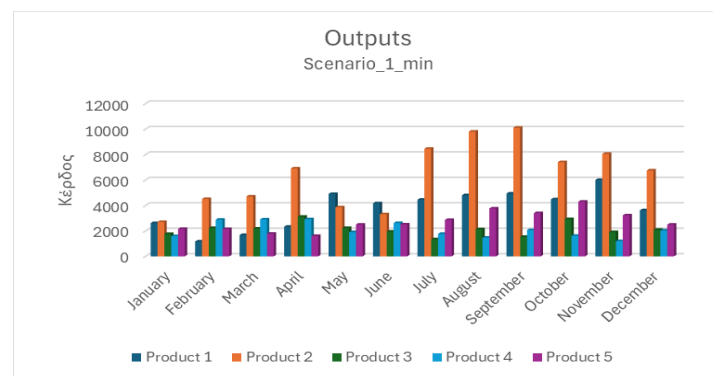
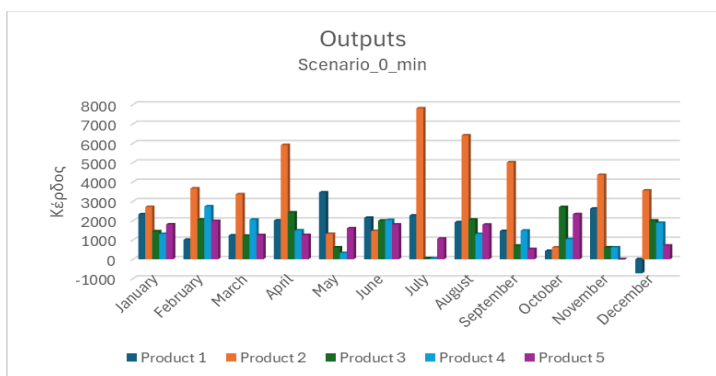
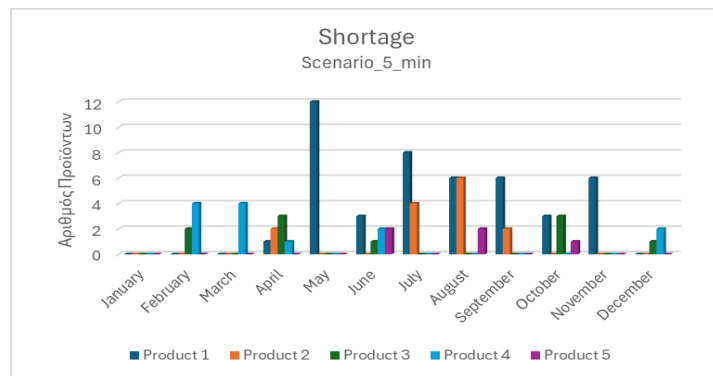
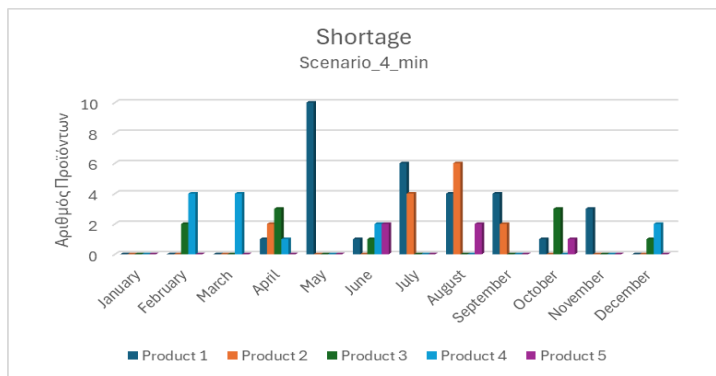
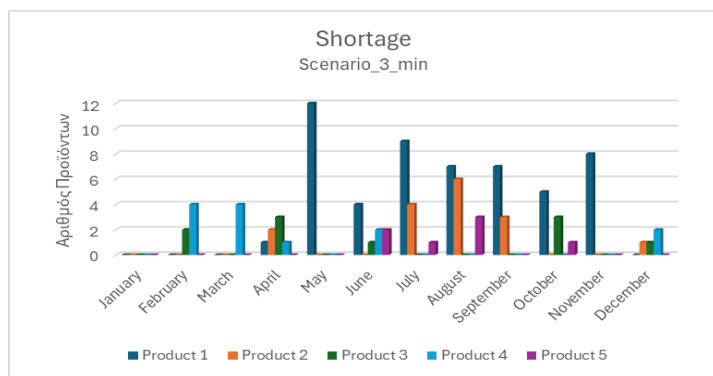
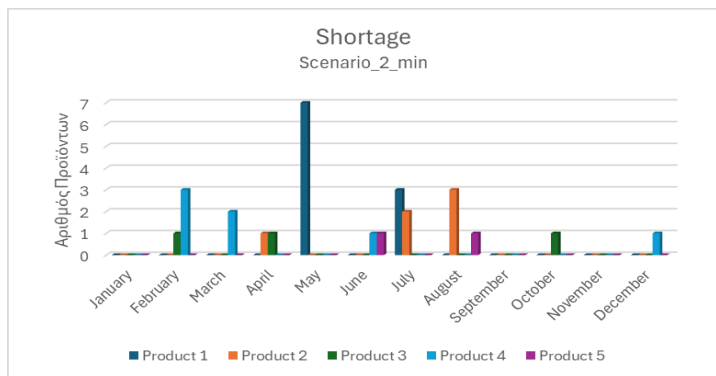


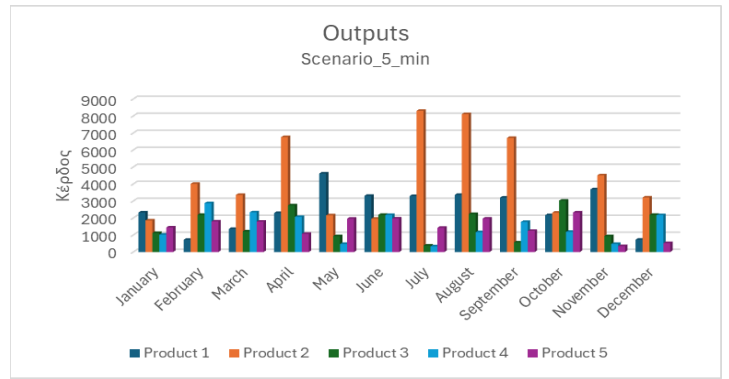
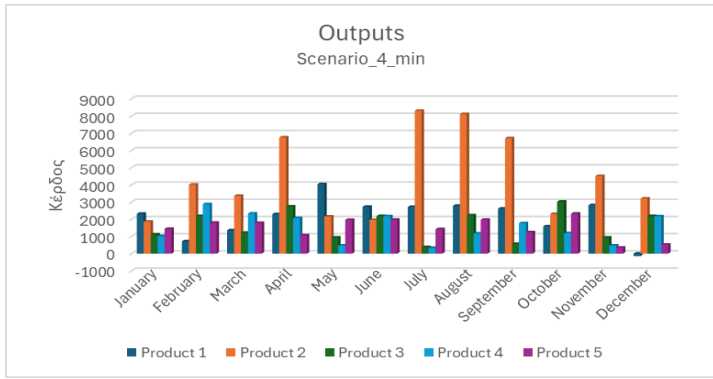
➤ Scenario_0 έως 5_min:



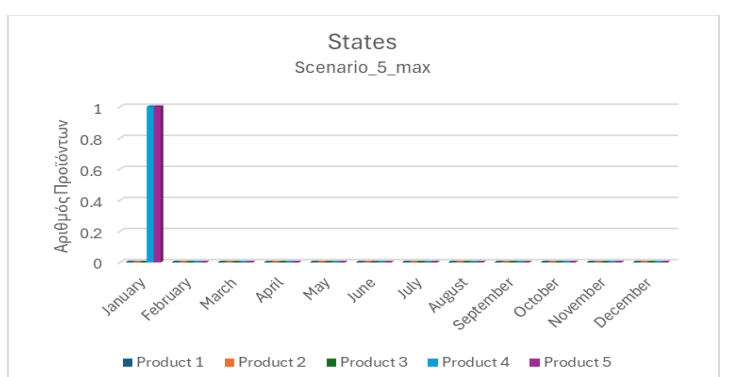
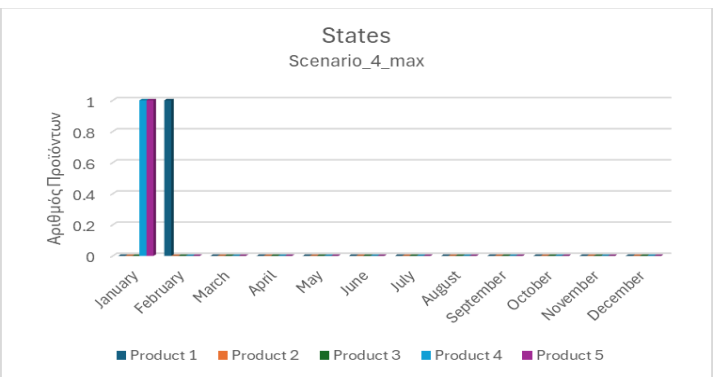
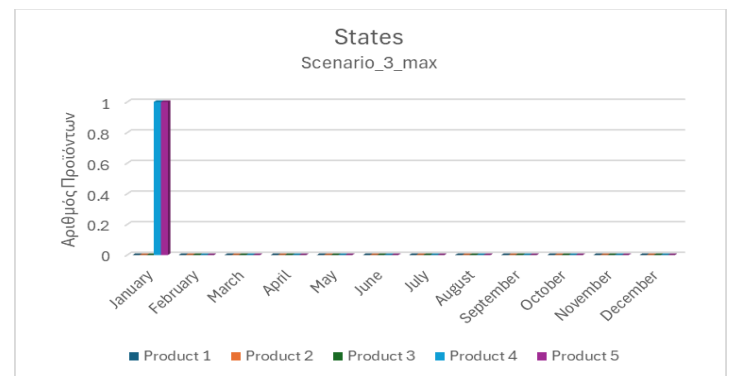
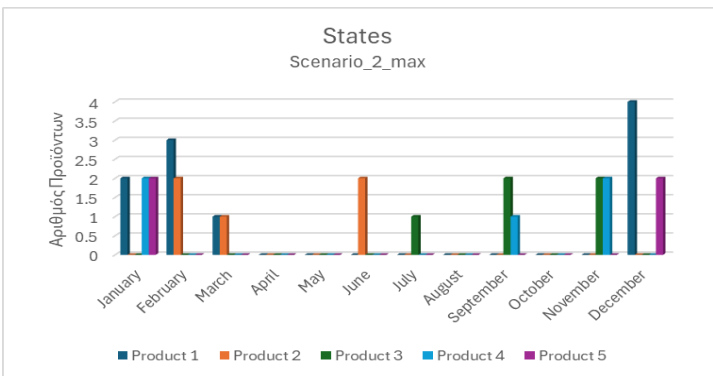
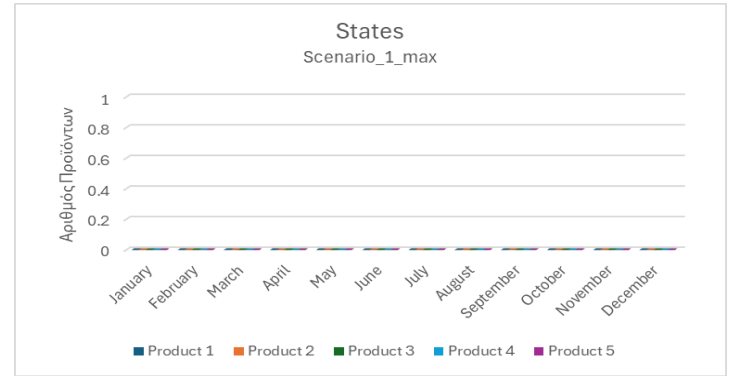
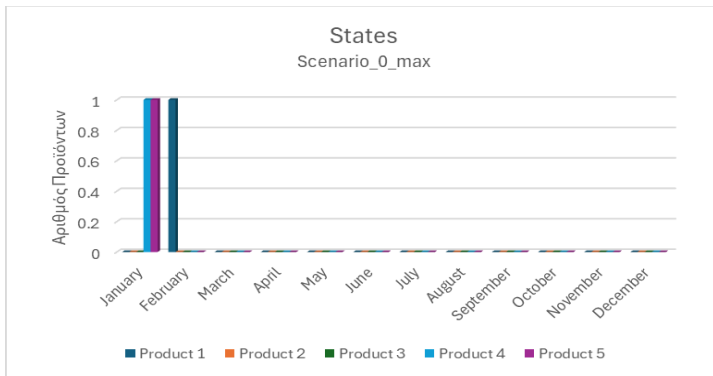


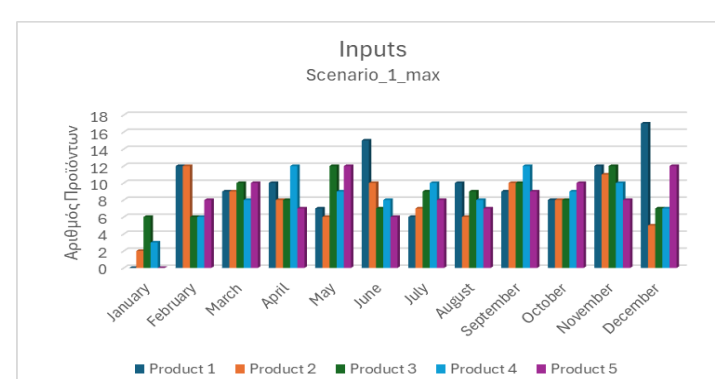
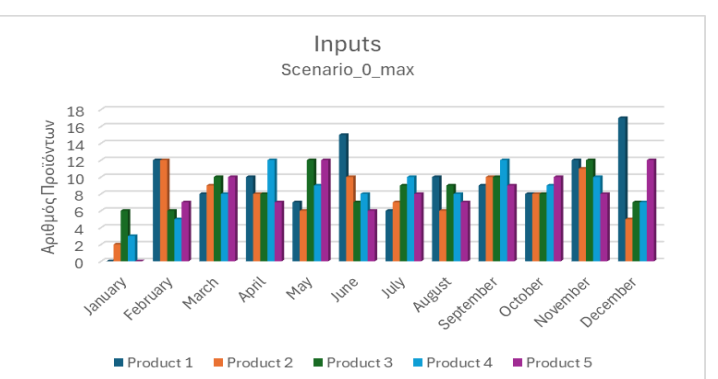
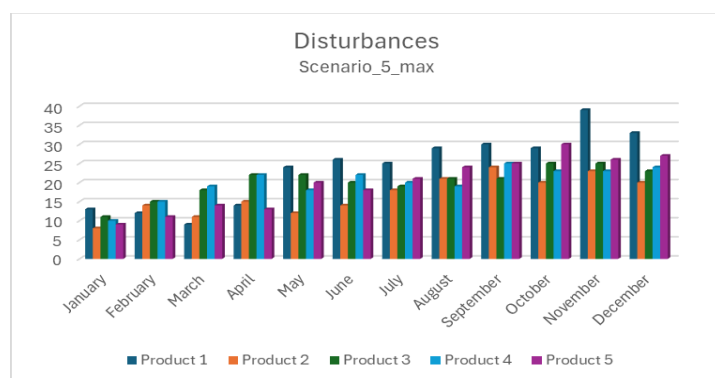
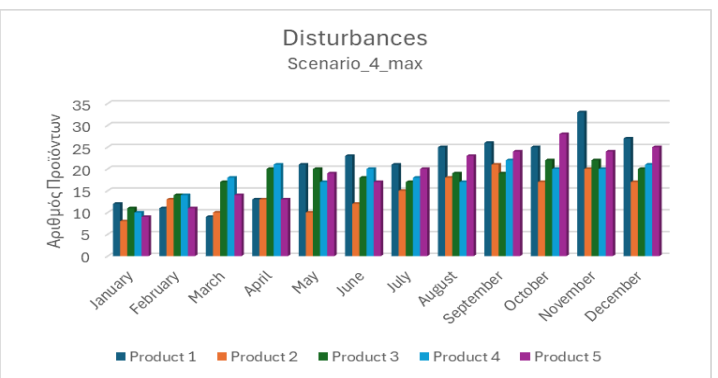
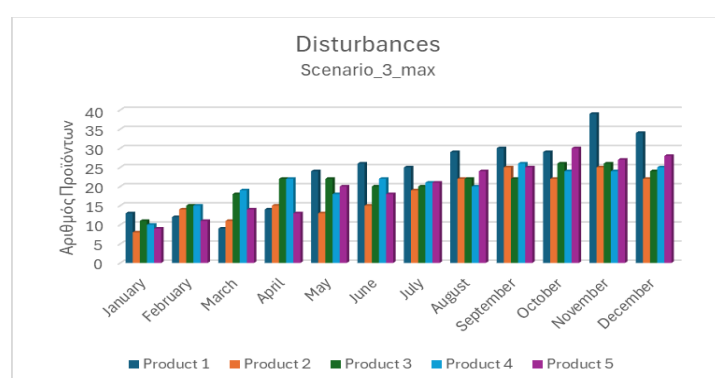
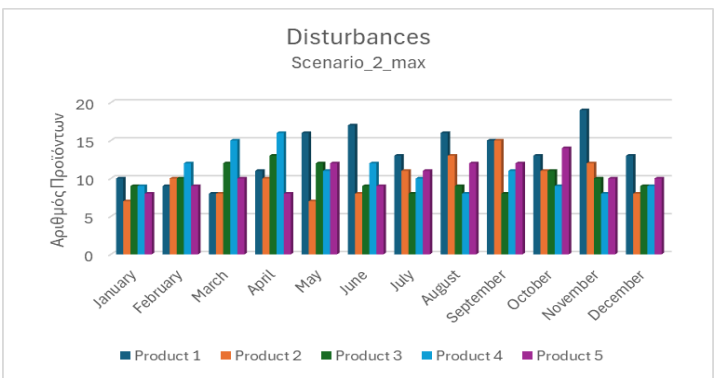
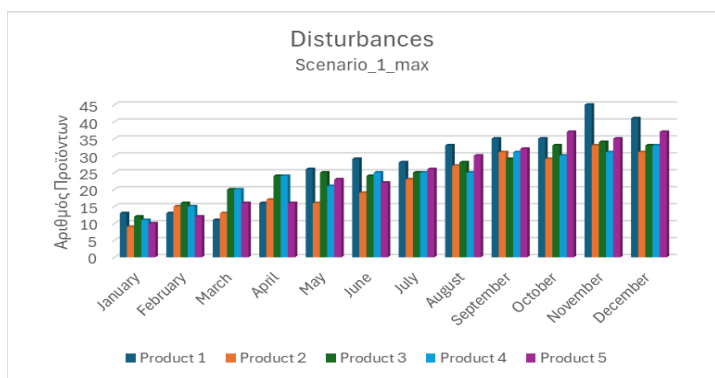
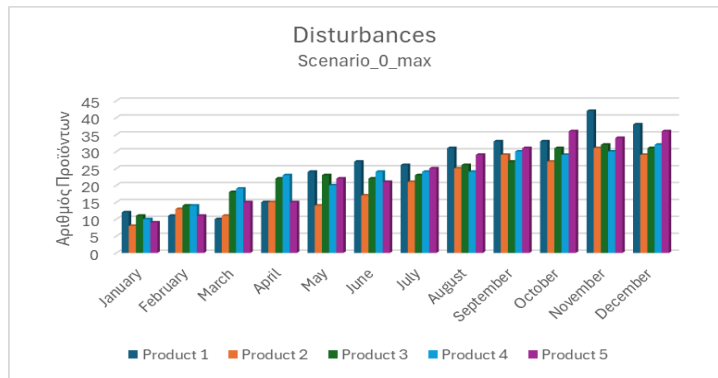


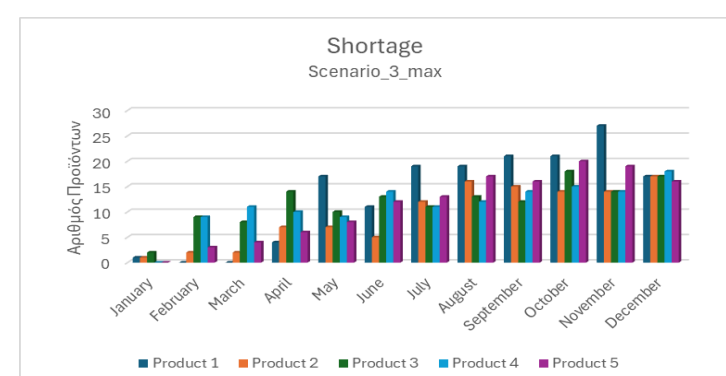
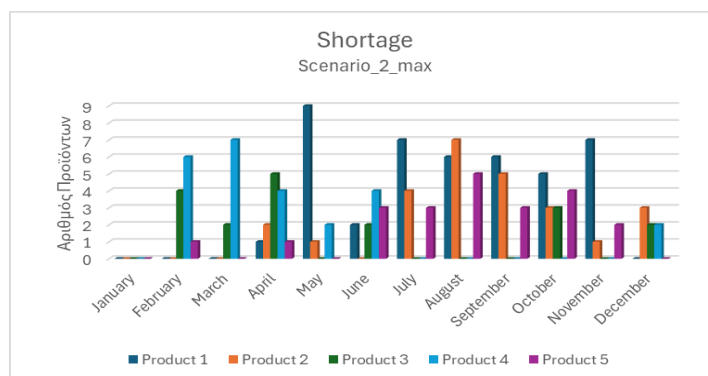
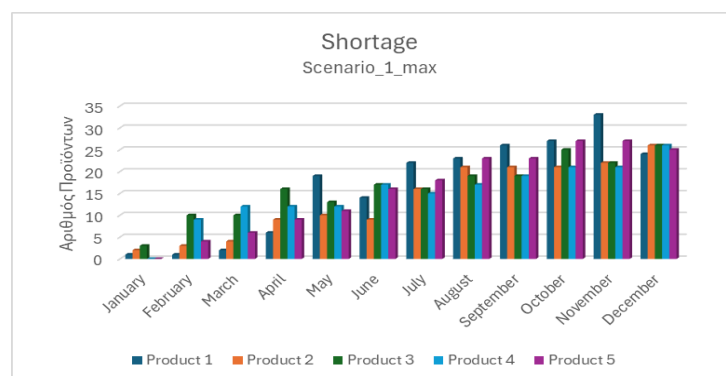
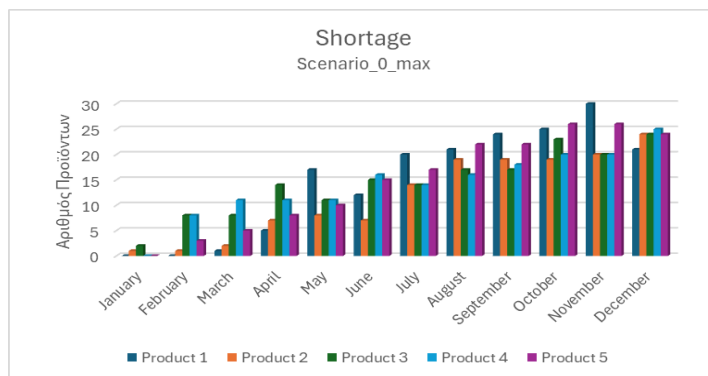
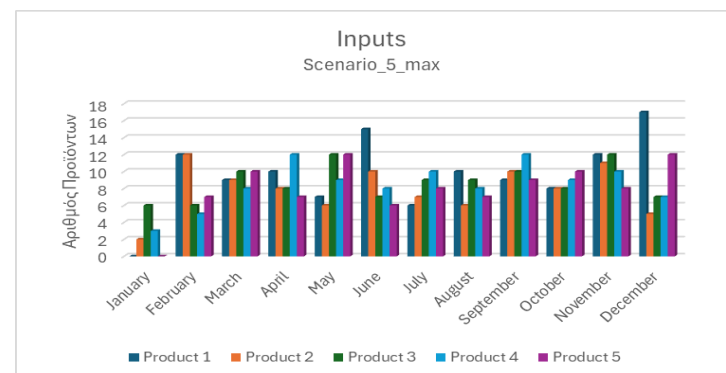
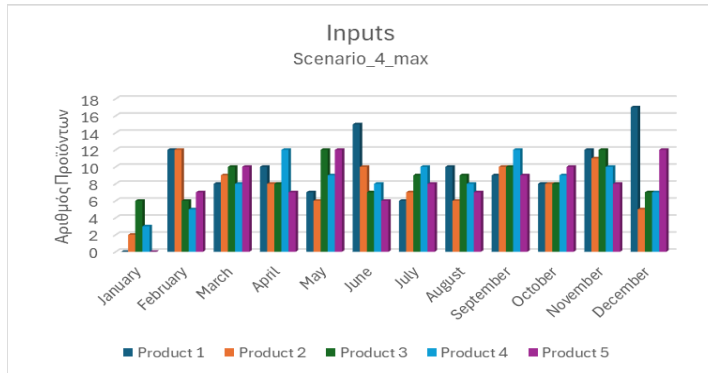
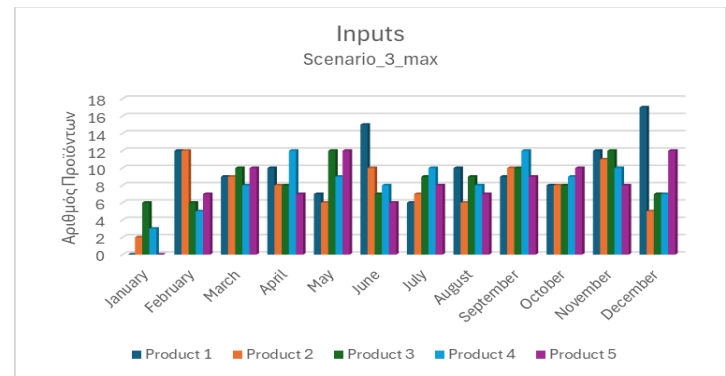
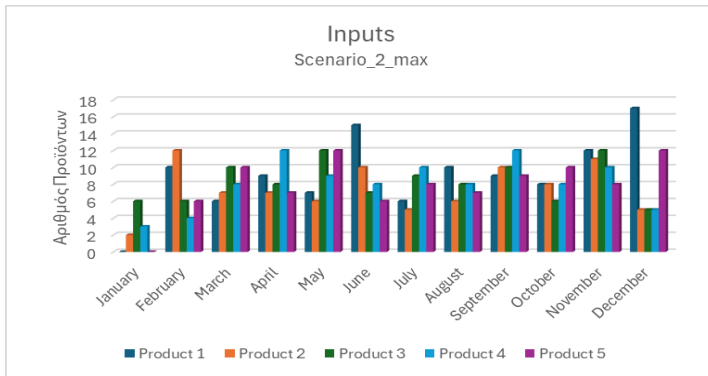




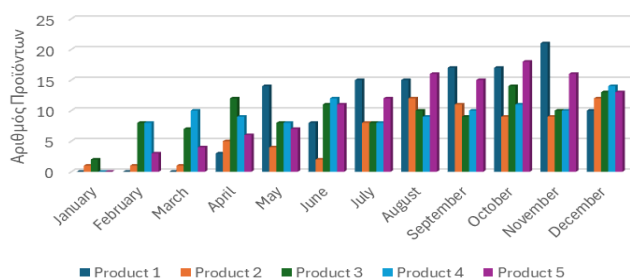
➤ Scenario 0 έως 5 max:



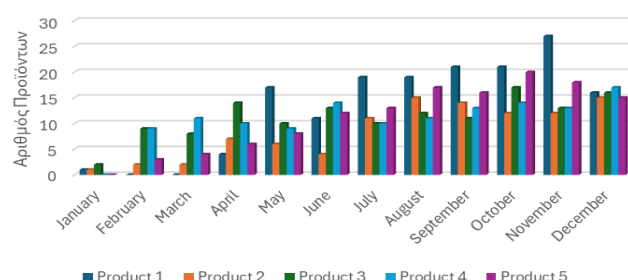




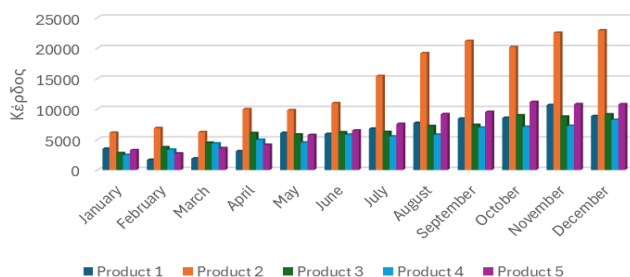
Shortage
Scenario_4_max



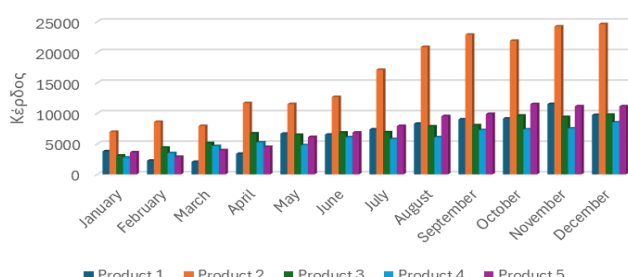
Shortage
Scenario_5_max



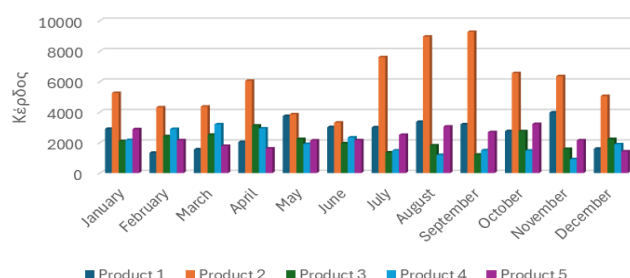
Outputs
Scenario_0_max



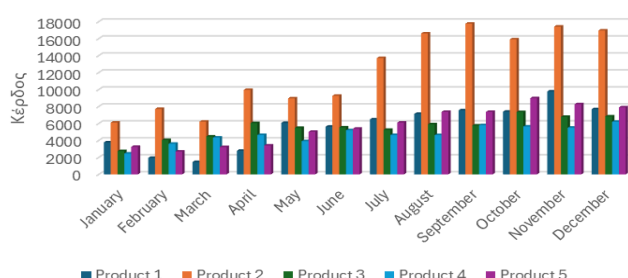
Outputs
Scenario_1_max



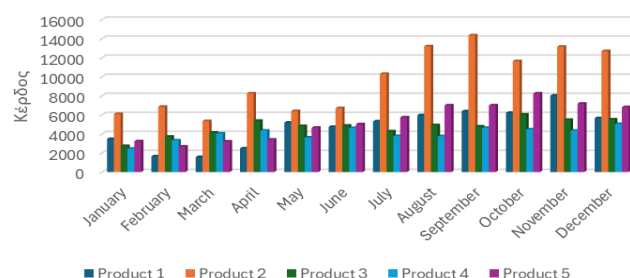
Outputs
Scenario_2_max



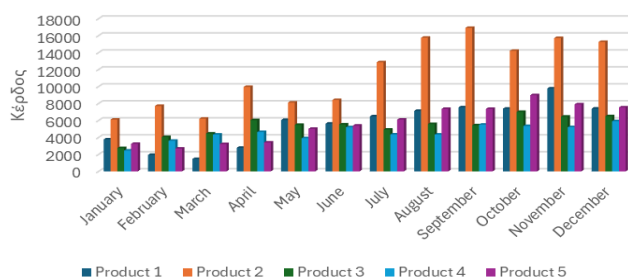
Outputs
Scenario_3_max



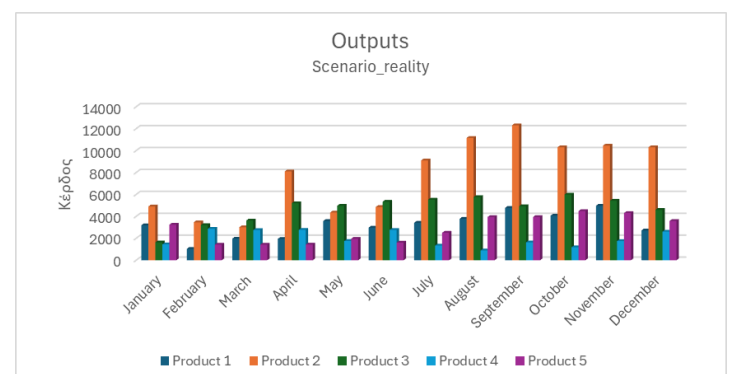
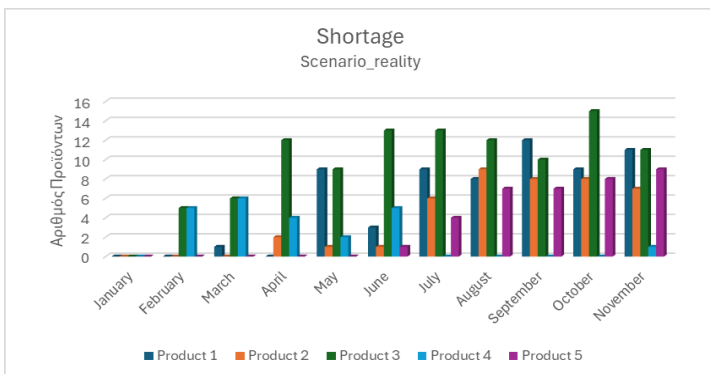
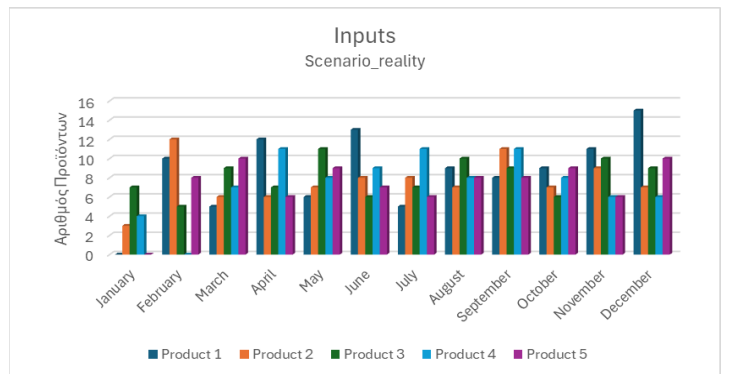
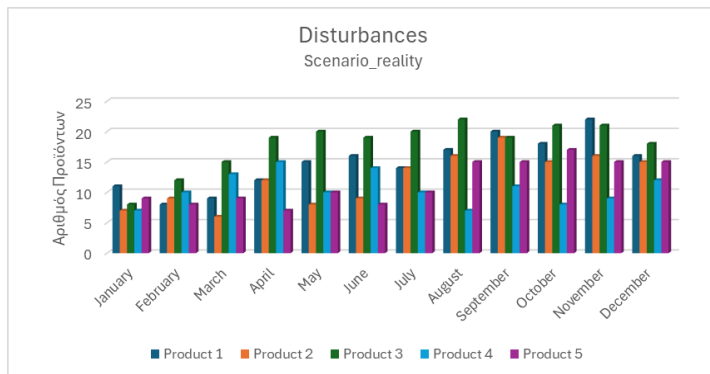
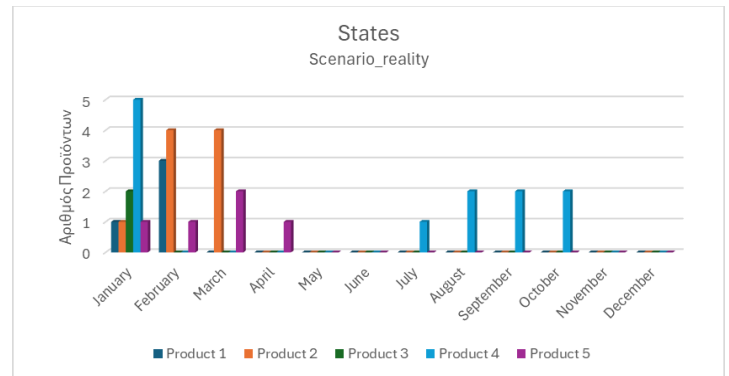
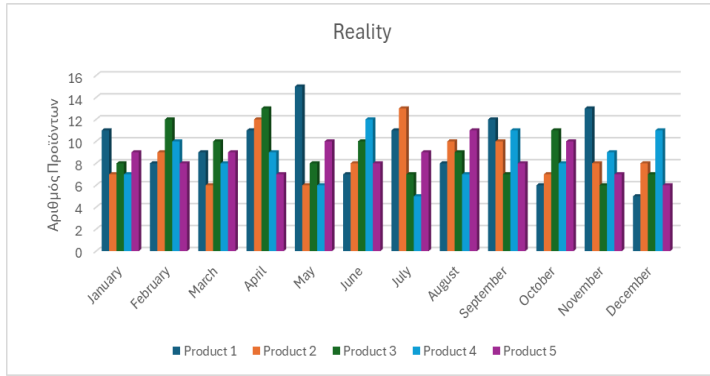
Outputs
Scenario_4_max



Outputs
Scenario_5_max

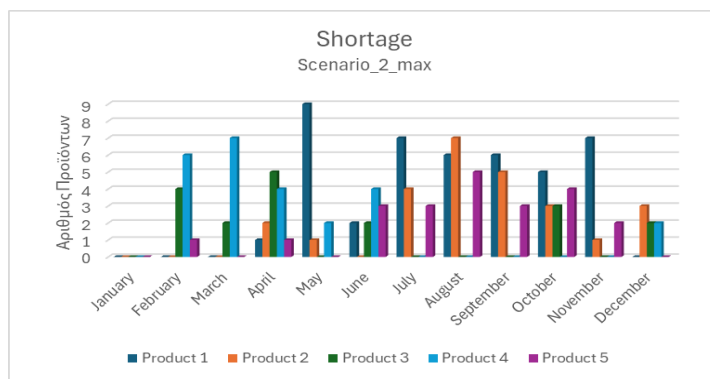
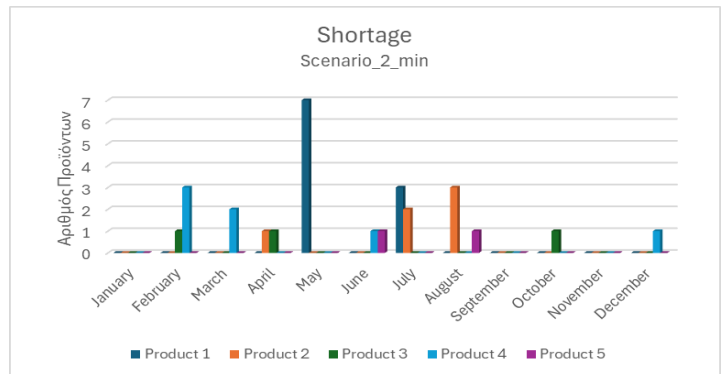
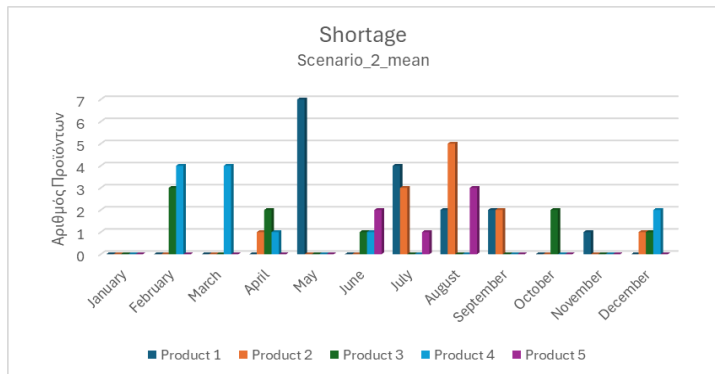


➤ Scenario_reality:

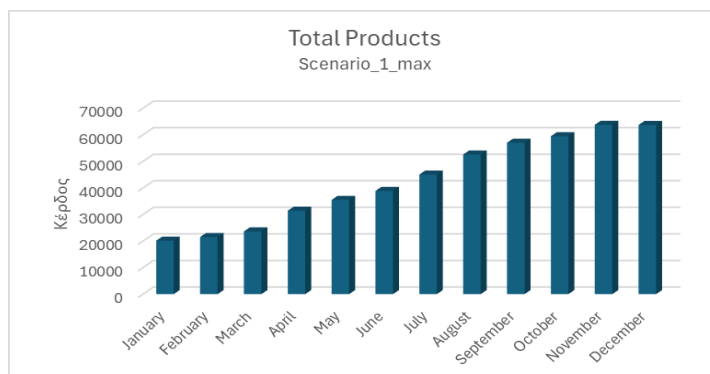
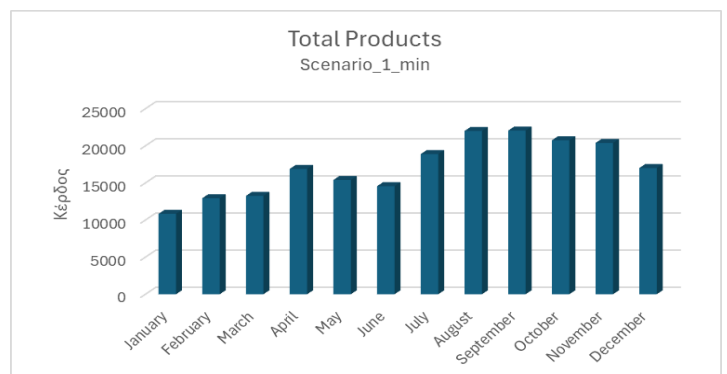
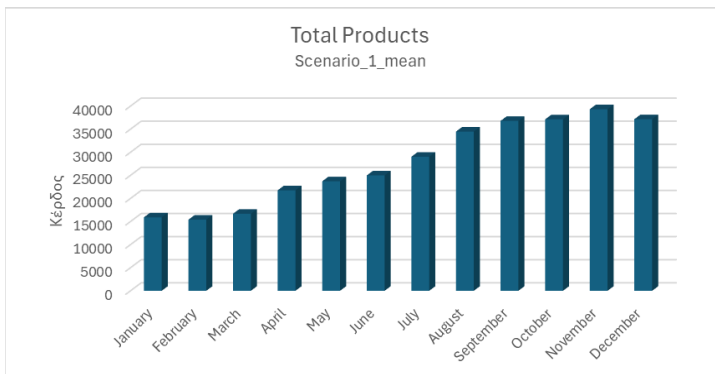


Παρακάτω παρουσιάζονται τα έξι καλύτερα σενάρια, με την μορφή διαγραμμάτων, τα οποία επιλέχθηκαν με βάση τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης:

- **Shortage:**

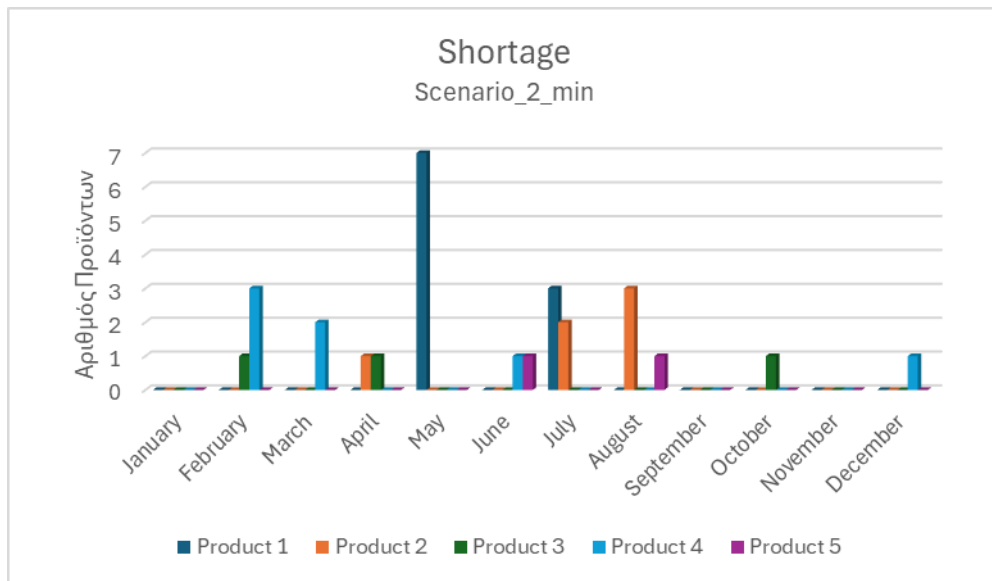


- **Outputs:**

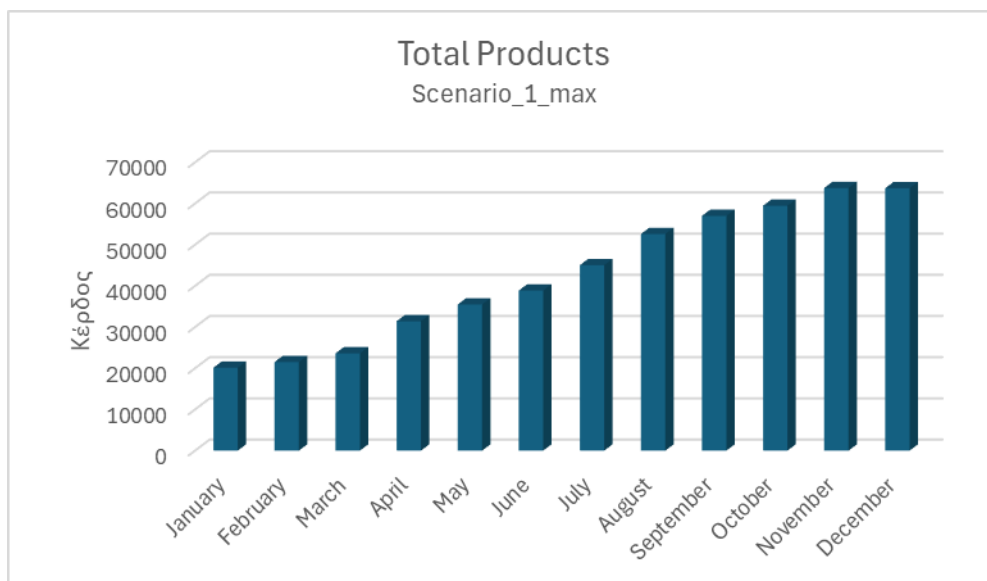


Από τα παραπάνω σενάρια, καταλήγουμε ότι τα δύο καλύτερα για κάθε κριτήριο είναι τα εξής:

- **Shortage:**

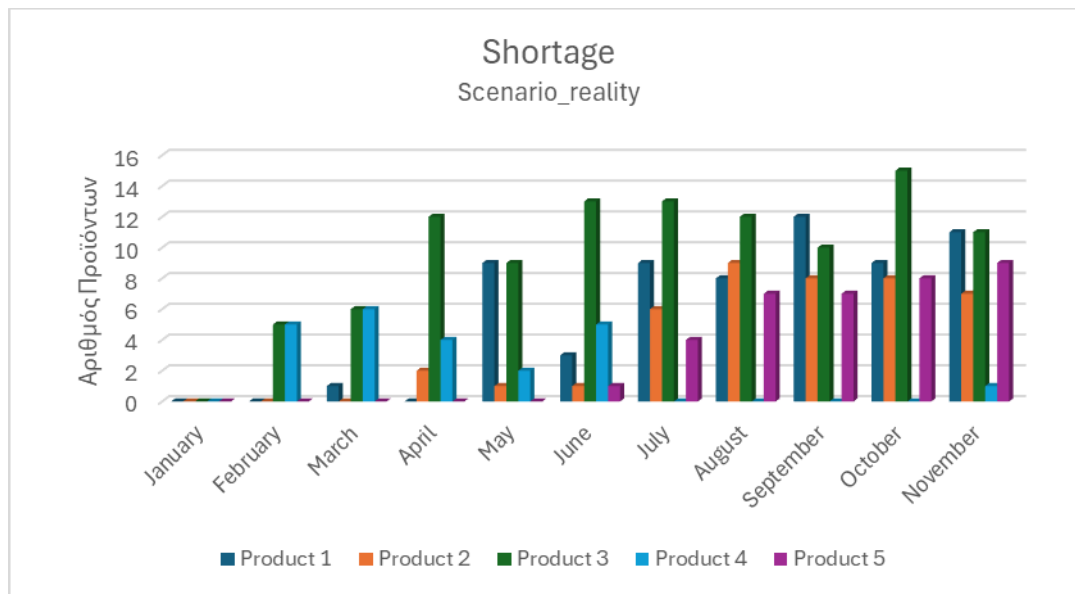


- **Outputs:**

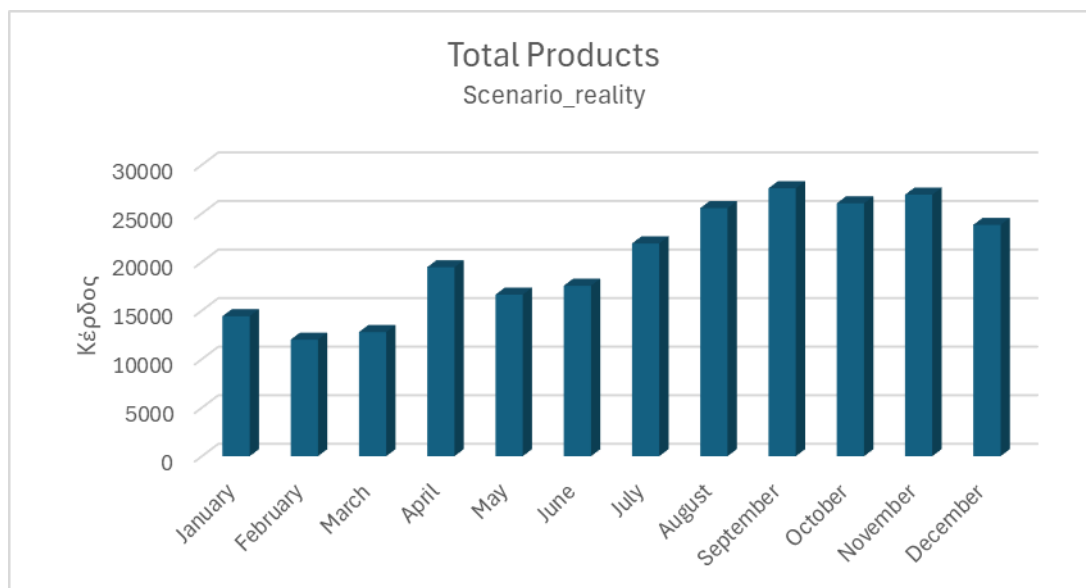


Ενώ τα σενάρια reality για κάθε περίπτωση είναι τα εξής:

- **Shortage:**



- **Outputs:**



5.4 Συμπεράσματα

Βάση των διαγραμμάτων που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 5.3, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα για τις συγκρίσεις των καλύτερων σεναρίων με αυτά του reality:

- **Shortage:**

Το scenario_2_min παρουσιάζει συνολικά πολύ χαμηλότερα επίπεδα shortages σε σχέση με το scenario_reality, τόσο σε ένταση όσο και σε συχνότητα. Αυτό υποδεικνύει ότι η βελτιστοποίηση που εφαρμόστηκε στο συγκεκριμένο σενάριο είναι αποτελεσματική στη διαχείριση των αποθεμάτων και στην αποφυγή ελλείψεων. Ειδικότερα, το scenario_2_min διαχειρίζεται πιο ισορροπημένα τις ελλείψεις, κατανέμοντάς τις περιορισμένα σε λίγους μήνες και προϊόντα, ενώ στο scenario_reality οι ελλείψεις είναι διαρκείς και πιο έντονες, επηρεάζοντας πολλαπλά προϊόντα σε διάφορες χρονικές περιόδους.

Γενικά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το scenario_2_min παρέχει μια πιο αποτελεσματική στρατηγική διαχείρισης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επίπτωση των shortages και να διασφαλίζεται μια πιο ομαλή λειτουργία του συστήματος.

- **Outputs:**

Το scenario_1_max αποδεικνύεται σαφώς πιο αποτελεσματικό ως προς την παραγωγή, προσφέροντας υψηλότερα επίπεδα outputs σε όλα τα προϊόντα και συνολικά στη διάρκεια του έτους.

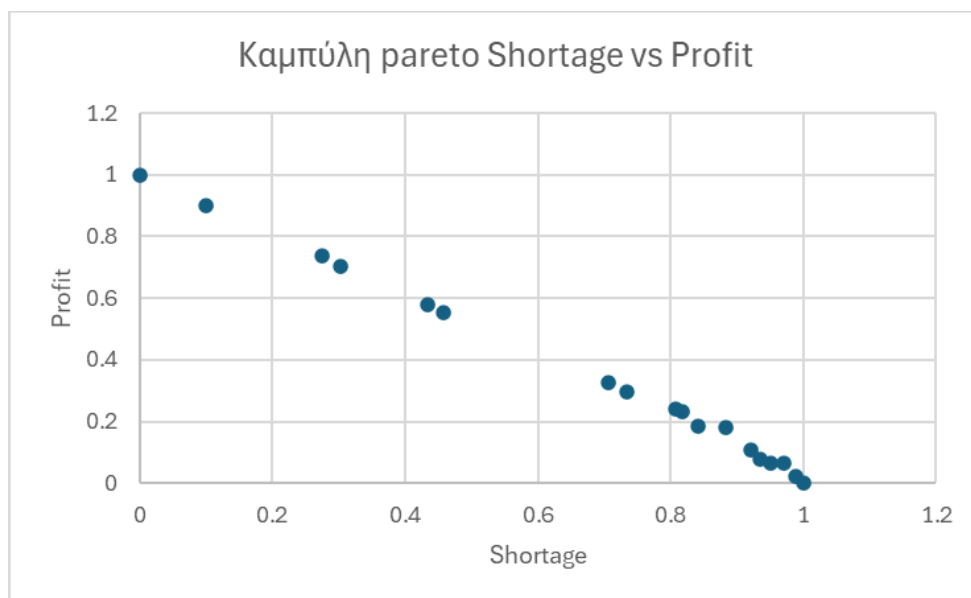
Αυτό δείχνει ότι η προσέγγιση του scenario_1_max εκμεταλλεύεται καλύτερα τις διαθέσιμες παραγωγικές δυνατότητες, οδηγώντας σε μια πιο δυναμική και αποδοτική στρατηγική. Από την άλλη, το scenario_reality αποτυπώνει μια πιο συντηρητική παραγωγή, με περιορισμένες δυνατότητες να καλύψει αυξημένη ζήτηση ή να ανταποκριθεί σε μεταβαλλόμενες ανάγκες της αγοράς.

Γενικά, το scenario_1_max υποδεικνύει μια πιο βέλτιστη διαχείριση των πόρων, που μπορεί να μεγιστοποιήσει τα οφέλη για την επιχείρηση, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο ελλείψεων (shortages) και υποστηρίζοντας υψηλότερη παραγωγική επάρκεια σε όλους τους τομείς.

Δημιουργία διαγράμματος Pareto:

	Shortage	Profit	Scaled Shortage	Scaled Profit
Sc0_mean	267	227733	0.73	0.30
Sc0_min	39	116342	0.99	0.02
Sc0_max	838	471528	0.1	0.90
Sc1_mean	516	332325	0.46	0.55
Sc1_min	201	204913	0.81	0.24
Sc1_max	928	512538	0	1
Sc2_mean	55	134189	0.97	0.07
Sc2_min	28	107430	1	0
Sc2_max	134	180163	0.88	0.18
Sc3_mean	292	240622	0.71	0.33
Sc3_min	99	151307	0.92	0.11
Sc3_max	681	405819	0.27	0.74
Sc4_mean	192	201661	0.82	0.23
Sc4_min	72	134542	0.95	0.07
Sc4_max	537	341336	0.43	0.58
Sc5_mean	170	182827	0.84	0.19
Sc5_min	87	139762	0.93	0.08
Sc5_max	655	391787	0.30	0.70
max	928	512538		
min	28	107430		

Πίνακας 4: Συνολικό αποτέλεσμα τιμών για shortages & profits ανά σενάριο



Η ανάλυση του διαγράμματος Pareto για τη σχέση μεταξύ ελλείψεων (shortage) και κέρδους (profit) είχε ως στόχο την κατανόηση της δυναμικής που συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους και την ανάδειξη των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν το κέρδος. Στο πλαίσιο αυτό, το διάγραμμα βοήθησε να εντοπιστούν τυχόν μοτίβα ή ανισότητες που θα μπορούσαν να καθοδηγήσουν τη λήψη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Συγκεκριμένα, το διάγραμμα έδειξε ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ των ελλείψεων και του κέρδους. Αυτή η σταθερότητα υποδηλώνει ότι όλες οι κατηγορίες ελλείψεων επηρεάζουν το κέρδος με παρόμοιο τρόπο, χωρίς να παρατηρούνται έντονες διαφοροποιήσεις. Σε αντίθεση με την αρχή του Pareto (80/20), δεν αναδείχθηκε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία ελλείψεων που να επηρεάζει δυσανάλογα το κέρδος. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι ελλείψεις συμβάλλουν σε παρόμοιο βαθμό στο τελικό αποτέλεσμα, γεγονός που διαφοροποιεί την παρούσα ανάλυση από τυπικές περιπτώσεις όπου μικρός αριθμός παραγόντων έχει τη μεγαλύτερη επίδραση.

Η επιλογή, επομένως, του διαγράμματος Pareto έγινε ώστε να αποτυπωθεί οπτικά η συνεισφορά κάθε κατηγορίας ελλείψεων στο συνολικό κέρδος και να εντοπιστούν κρίσιμα σημεία παρέμβασης. Παρόλο που δεν επιβεβαιώθηκε η αρχή του Pareto, το αποτέλεσμα παρέχει σημαντική πληροφόρηση για τη συνολική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Παρατηρείται, τα τελευταία χρόνια, μια δραματική αλλαγή στο επιχειρησιακό περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο, η οποία οφείλεται στη συνεχή τεχνολογική πρόοδο. Ένα εμφανές παράδειγμα αυτής της τεχνολογικής εξέλιξης στον τομέα του λιανικού εμπορίου είναι ότι οι επιχειρήσεις πλέον προσφέρουν στους καταναλωτές διαφορετικές εμπειρίες αγορών μέσω ποικίλων καναλιών, όπως τα φυσικά καταστήματα, τα ηλεκτρονικά καταστήματα (e-shops), οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, τα τηλεφωνικά κέντρα κ.ά. Με αυτόν τον τρόπο, ο καταναλωτής μπορεί να αποκτήσει το προϊόν που επιθυμεί χωρίς καν να το έχει δει από κοντά. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ανάγκη των επιχειρήσεων για αποτελεσματικό έλεγχο των αποθεμάτων γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Μία πιθανή εξάντληση των αποθεμάτων θα οδηγήσει σε άμεση απογοήτευση του καταναλωτή και πιθανότατα σε απώλεια πωλήσεων, καθώς ο καταναλωτής μπορεί να απευθυνθεί σε άλλον προμηθευτή μέσω του διαδικτύου.

Ως εκ τούτου, είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις να δίνουν μεγάλη προσοχή και έμφαση στις προβλέψεις της μελλοντικής ζήτησης των προϊόντων που προσφέρουν. Επομένως, ανακύπτει δικαιολογημένα η ερώτηση: "Πόσο αποτελεσματικές και ακριβείς είναι οι προβλέψεις που διεξάγονται;"

Οι νέες τεχνολογίες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (Enterprise Resource Planning - ERP). Τα ERP αποτελούν ολοκληρωμένα λογισμικά πακέτα που ενσωματώνουν τις εσωτερικές διαδικασίες μιας εταιρείας σε ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται μια αποτελεσματική ροή πληροφοριών εντός της επιχείρησης, καθώς κάθε δεδομένο που εισάγεται στο σύστημα ERP ενημερώνει μια κοινή βάση δεδομένων που αφορά όλες τις λειτουργίες της επιχείρησης, βοηθώντας στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων.

Ένα παράδειγμα σύγχρονης εξέλιξης στα συστήματα ERP είναι η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence - AI), η οποία μέσω της ανάλυσης δεδομένων, τόσο μετρήσιμων όσο και μη, μπορεί να ελαχιστοποιεί τα σφάλματα στις προβλέψεις. Αυτό επιτυγχάνει αξιόπιστα αποτελέσματα και συμβάλλει στην άμεση ικανοποίηση των καταναλωτών. Αξιοποιώντας τα δεδομένα που εισάχθηκαν στο σύστημα, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης παράγει προβλέψεις που βασίζονται τόσο στα χαρακτηριστικά των προϊόντων (π.χ. εποχικότητα) όσο και στη συμπεριφορά των καταναλωτών (π.χ. συχνότητα και ποσότητα αγορών). Με αυτόν τον τρόπο,

παρέχει αποτελέσματα που επιτρέπουν στην επιχείρηση ακόμη και την πρόβλεψη της μελλοντικής ποσότητας παραγγελίας για κάθε πελάτη.

Καταλήγοντας σε αυτήν την διπλωματική, γίνεται προφανής η τεράστια σημασία των προβλέψεων της ζήτησης για κάθε επιχείρηση. Οι τεχνολογικές πρόοδοι επιτρέπουν πλέον τη δημιουργία πιο αξιόπιστων προβλέψεων και την αυτοματοποίηση πολλών χρονοβόρων εργασιών που παλαιότερα ανέλαβε ο ίδιος ο χρήστης μέσω παρωχημένων συστημάτων. Ωστόσο, ακόμη και οι πιο προηγμένες τεχνολογίες απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά. Επομένως, η εκπαίδευση αποτελεί κρίσιμο συστατικό του ψηφιακού μετασχηματισμού.

Μια σημαντική προέκταση της μελέτης αφορά τη δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) της μεθόδου. Η επιλογή των πέντε προϊόντων έγινε ενδεικτικά, ώστε να παρουσιαστεί η εφαρμογή του μοντέλου, αλλά η προσέγγιση δεν περιορίζεται σε αυτόν τον αριθμό. Εάν ο αριθμός των προϊόντων αυξηθεί, η ίδια μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς την ανάγκη περαιτέρω προσαρμογών, ακολουθώντας τα ίδια βήματα ανάλυσης, μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης. Αυτό καταδεικνύει την ευελιξία του συστήματος και τη δυνατότητά του να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερης κλίμακας προβλήματα διαχείρισης αποθεμάτων.

Ελληνική και Ξένη Βιβλιογραφία

1. E.Kondili, C.C. Pantelides, R.W.H. Sargent (1989), *A General Algorithm for short-term scheduling of Batch operations-I.Milp formulation*, Centre for Process Systems Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine
2. K.R. Baker, D. Trietsch (2009), *Principles of Sequencing and Scheduling*, NJ: John Wiley & Sons
3. K. Subramanian, Christos T. Maravelias, James B. Rawlings (2012), *A state-space model for chemical production scheduling*, Computers and Chemical Engineering, 47, 97-110
4. K. Subramanian (2012), *Integration of control theory and scheduling methods for supply chain management*, University of Wisconsin-Madison
5. Michael L. Pinedo (2012), *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, NJ: Springer New York
6. J. Scott Armstrong (2002), *Principles Of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners (International Series in Operations Research & Management Science, 30), 2001st Edition*, Volume 1
7. G. Mentzas, I. Linardopoulos, V. Assimakopoulos (1995), *An Architecture for Intelligent Assistance in the Forecasting Process*, Proceedings of the 28th Annual Hawaii International Conference on System Science
8. Rob J Hyndman and George Athanasopoulos (2021), *Forecasting: Principles and Practice, 3rd Edition*, OTexts: Melbourne, Australia
9. Fildes, R. and Beard, C. (1992), *"Forecasting Systems for Production and Inventory Control"*, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 12 No. 5, pp. 4-27
10. Lukas Glomb, Frauke Liers, Florian Rösel (2020), *A rolling-horizon approach for multi-period optimization*, Volume 300, Issue 1, pp.189-206
11. Stefano Di Gennaro, Bernardino Castillo–Toledo (2023), *Advanced control system: theory and application to nuclear reactors*, in *Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*, Woodhead Publishing, Editor: Mauro Cappelli

12. Sunil Chopra, Peter Meindl (2016), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, Sixth Edition, Global Edition, Pearson
13. Ning Xin, Chen Laijun, Linrui Ma, Yang Si (2022), *A Rolling Horizon Optimization Framework for Resilient Restoration of Active Distribution Systems*, College of Water Resources and Electric Power, Qinghai University
14. Dmitry Ivanova, Alexander Tsipoulanis and Jörn Schönberger (2019), *Basics of Supply Chain and Operations Management: A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value*, Global Supply Chain and Operations Management (pp.3-16)
15. Sachin Karadgi, Shashikumar Totad, P. S. Hiremath (2023), *Managing Finished Goods Warehouse through Integrated Scheduling and Control of Autonomous Mobile Robot*, AIP Conf. Proc. 2901
16. Eric Sucky (2004), *Inventory management in supply chains: A bargaining problem*, Department of Supply Chain Management, School of Business and Economics
17. Atefeh Yazdanparast, Ila Manuj and Stephen M. Swartz (2010), *Co-Creating Logistics Value: A Service-Dominant Logic Perspective*, Department of Marketing and Logistics, The University of North Texas, Denton, Texas, USA
18. Kohn, J.W. , McGinnis, M.A. and Kara, A. (2011), *A structural equation model assessment of logistics strategy*, The International Journal of Logistics Management, Vol. 22 No. 3, pp. 284-305
19. Rafale, C. (2004), *Logistic service measurement: a reference framework*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 24 No. 3, pp. 280-290
20. Morash, E.A. , Droge, C.L.M. and Vickery, S.K. (1996), *Strategic logistics capabilities for competitive advantage and firm success*, Journal of Business Logistics , Vol. 17 No. 1, pp. 1-22
21. Ανδριοπούλου Ε, Καρναμζάρης Λ. (2011), *Supply Chain Management*, TEI Καλαμάτας, Σχολή Διοίκησης Οικονομίας
22. Bishop, M., Elliott, C. (2013), *Robust Programming by Example*. In: Dodge, R.C., Futcher, L. (eds) Information Assurance and Security Education and Training. WISE WISE WISE 2013 2011 2009. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 406. Springer, Berlin, Heidelberg

23. Pappas I., Kenefake D., Burnak B., Avraamidou S., Ganesh H.S., Katz J., Diangelakis N.A. and Pistikopoulos E.N. (2021) *Multiparametric Programming in Process Systems Engineering: Recent Developments and Path Forward*
24. Michael L. Bynum, Gabriel A. Hackebeil, William E. Hart, Carl D. Laird, Bethany L. Nicholson, John D. Sirola, Jean-Paul Watson, David L. Woodruff (2021), “Pyomo - Optimization Modeling in Python”, Springer Cham
25. Hannes Schwarz, Valentin Bertsch, Wolf Fichtner (2015), *Two-stage stochastic, large-scale optimization of a decentralized energy system – a residential quarter as case study*, Chair of Energy Economics, Institute for Industrial Production (IIP) at the Karlsruhe Institute for Technology (KIT)
26. Cooper, L. (1959), *Chance-Constrained Programming: An Extension of Statistical Method*, Management Science, 6(1), 73-79, <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.73>

Διαδικτυακές Πηγές

1. Νικόλαος Θωμαΐδης και Γεώργιος Δούνιας, *Πρόβλεψη της Ζήτησης*, Decision Group, Εργαστήριο Διοίκησης Επιχειρήσεων & Λήψης Αποφάσεων, Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας & Διοίκησης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, <http://decision.fme.aegean.gr>
2. Εμμανουήλ Δ. Αδαμίδης, *Προβλέποντας την καινοτομία: Η μέθοδος της κατασκευής σεναρίων*, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Εργαστήριο Επιχειρησιακής Έρευνας, Τομέας Διοίκησης και Οργάνωσης, <https://eclass.upatras.gr>
3. Κ. Ν. Ανδρουτσόπουλος, *Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας*, Εργαστήριο Συστημάτων Μεταφορών και Διοίκησης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (TRANSLOG), Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, <https://yes.aueb.gr>
4. Δ. Εμίρης (2012), *Συστήματα Αποθεμάτων*, Πανεπιστήμιο Πειραιά, <https://docplayer.gr/>
5. Logistic Management Systems: How Warehouse, Transportation, and Distribution Software Systems Work by PhoenixBizz Staff Writer, <https://medium.com/>
6. Anthony Pacheco, Bryan Bausinger, John Maher, Martin Lis, Trevor Spaulding (SYSEN 5800 Fall 2021), Chance-constraint method, Cornell University, https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=Chance-constraint_method

Διπλωματικές

1. Αγαθάκη Αναστασία (2020), *«Διαχείριση Αποθεμάτων Μέσω Πρόβλεψης Της Ζήτησης»*, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας
2. Σόφη Άννα-Μαρία (2022), *«Πρόβλεψη Ζήτησης και Καθορισμός Αποθεμάτων σε Βιομηχανία Τροφίμων»*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Σχολή Ναυτιλίας και Βιομηχανίας, Τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Διαπανεπιστημιακό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, “Τεχνο-οικονομικά Συστήματα”
3. Φλαμπούρη Βαρβάρα (2020), *«Βελτιστοποίηση της διαδικασίας διαχείρισης αποθεμάτων μέσω της χρήσης προηγμένων αλγορίθμων πρόβλεψης»*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων
4. Αναστασία Μουμτζίδου (2011), *«Ανάλυση αποθεμάτων, προβλέψεων και πολυκριτηριακή ανάλυση: Ένα εγχειρίδιο αντιπροσωπευτικών μοντέλων»*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Πληροφορική και Διοίκηση», Τμημάτων Πληροφορικής και Οικονομικών Επιστημών
5. Νοδaráκης Ιωάννης (2019), *«Διερεύνηση της χρήσης μεθόδων πρόβλεψης της ζήτησης στη διαχείριση αποθεμάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα»*, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Αττικής, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Σχολή Διοίκησης Επιχειρήσεων (Πάτρα)
6. Μηνάς Παύλος (2017), *«Διαχείριση Αποθεμάτων-Μία στοχαστική προσέγγιση»*, MBA Διοίκηση Επιχειρήσεων
7. Δελαβινία Φανή (2017), *«Διαχείριση Αποθεμάτων σε επιχείρηση εμπορίας εξοπλισμού ιστιοπλοΐας»*, Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
8. Παναγιώτης-Θεόδωρος Δ. Καλφάς (2012), *«Εφαρμογή Μεθόδων Προγραμματισμού και Ελέγχου Παραγωγής σε πραγματικό χρόνο στην εταιρεία “ΚΑΛΑΣ”»*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης

9. Παρασκευάς Δημήτρης (2017), *«Μέθοδοι Πρόβλεψης Ζήτησης»*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών “Πληροφορική και Διοίκηση”, Τμημάτων Πληροφορικής και Οικονομικών Επιστημών