



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΔΙΟΙΚΗΣΗ LOGISTICS

Η Συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην
Βελτιστοποίηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας με
Έμφαση στην Πρόβλεψη Ζήτησης και την
Διαχείριση Αποθεμάτων

ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΛΠΙΔΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΜΟΣΧΟΥΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ, 2026

ΔΗΛΩΣΗ

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

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

Η Φοιτήτρια

ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΛΠΙΔΗ

Ο Επιβλέπων

ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΜΟΣΧΟΥΡΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον, η αδυναμία αξιόπιστων προβλέψεων οδηγεί συχνά είτε σε υπεραποθεματοποίηση, με αυξημένο κόστος αποθήκευσης και δέσμευση κεφαλαίων, είτε σε ελλείψεις προϊόντων, με άμεσο αντίκτυπο στο επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών και στη φήμη της επιχείρησης, έτσι, αδιαμφισβήτητα η ακρίβεια πρόβλεψης της ζήτησης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα επιτυχίας για τις επιχειρήσεις.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης της ζήτησης στην εφοδιαστικής αλυσίδας, όντας αρκετά περιοριστικές βασίζονται κυρίως σε στατιστικές τεχνικές και ιστορικά δεδομένα, αδυνατώντας να ενσωματώσουν αποτελεσματικά εξωτερικούς και μη γραμμικούς παράγοντες, γεγονός που σε συνδυασμό με την υποβαθμισμένη ποιότητα δεδομένων περιορίζουν τη δυνατότητα έγκαιρης λήψης αποφάσεων, δημιουργώντας αναποτελεσματικότητες σε όλο το μήκος και τα επιμέρους στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Αδιαμφισβήτητα, η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) κατέχει καθοριστικό ρόλο στην σύγχρονη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα, κατά την μετάβαση προς τα σύγχρονα συστήματα πρόβλεψης ζήτησης και διαχείρισης των αποθεμάτων, αξιοποιείται πληθώρα τεχνικών όπως τα μοντέλα χρονοσειρών, τα νευρωνικά δίκτυα, οι Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης και άλλοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, παρέχοντας την δυνατότητα όχι μόνο της ανίχνευσης πολύπλοκων, μη γραμμικών σχέσεων μέσα σε μεγάλα και ετερογενή σύνολα δεδομένων, αλλά και της αυτοβελτίωσης μέσω επαναληπτικής μάθησης, αξιοποιώντας δυναμικά τις μεταβολές της αγοράς, προσφέροντας υψηλότερη ακρίβεια προβλέψεων.

Εξίσου σημαντική στην ομαλή ένταξη των μεθόδων TN στην εφοδιαστική αλυσίδα, είναι η ενσωμάτωση εναλλακτικών πηγών δεδομένων, όπως τα κοινωνικά μέσα δικτύωσης, μέσω τεχνικών επεξεργασίας φυσικής γλώσσας και ανάλυσης συναισθήματος. Έτσι, μέσω της ανάλυσης μη δομημένων δεδομένων αποτυπώνεται με ακρίβεια η καταναλωτική διάθεση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η τεχνολογία blockchain διασφαλίζει την ανταλλαγή αξιόπιστων δεδομένων μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα, μειώνοντας την ασυμμετρία πληροφόρησης και ενισχύοντας την εμπιστοσύνη. Η πρόσβαση σε επικαιροποιημένα και ακριβή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο βελτιώνει την ποιότητα των εισροών στα προγνωστικά μοντέλα, οδηγώντας σε πιο

αξιόπιστες προβλέψεις και αποτελεσματικότερη διαχείριση αποθεμάτων καθώς και στη βελτίωση της διαφάνειας προς τους καταναλωτές.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται σε βάθος τον ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης στη σύγχρονη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, με κύριο άξονα την πρόβλεψη ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων. Επισημαίνεται ότι μέσω επενδύσεων σε ψηφιακές υποδομές και της ανάπτυξης κατάλληλων δεξιοτήτων, η ΤΝ μπορεί να αποτελέσει αναπόσπαστο κομμάτι της σλυγχρονης και μελλοντικής εφοδιαστικής αλυσίδας, συμβάλλοντας στην δημιουργία ευέλικτων και αποδοτικών εφοδιαστικών αλυσίδων, βελτιώνοντας την ακρίβεια των προβλέψεων, τη μείωση του κόστους και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας.

Λέξεις-κλειδιά: Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, Πρόβλεψη Ζήτησης, Εφοδιαστική Αλυσίδα, Διαχείριση Αποθεμάτων, Μοντέλα Χρονοσειρών, Νευρωνικά Δίκτυα, Blockchain, Ανάλυση Συναισθήματος, Ψηφιακός Μετασχηματισμός

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Πειραιώς, με τίτλο «Διοίκηση Logistics» του τμήματος βιομηχανικής διοίκησης και τεχνολογίας.

Η προσφορά του μεταπτυχιακού προγράμματος ήταν καθοριστικής σημασίας, η παρακολούθηση των μαθημάτων, η πρόσβαση σε έναν τεράστιο όγκο υλικού υψηλής ποιότητας, η επικοινωνία και η ανταλλαγή απόψεων με εξειδικευμένο ακαδημαϊκό προσωπικό, καταρτισμένο στον κλάδο, καθώς και η προσωπική αναζήτηση, συνέβαλλαν στην διεύρυνση των πνευματικών μου οριζόντων και στον πολλαπλασιασμό των γνώσεων μου στον τομέα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς, του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και τεχνολογίας κ. Σ. Μοσχούρη για την αποδοχή της πρότασης συνεργασίας μέσω της επίβλεψης της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου.

Θα ήταν παράληψη να μην αναφερθώ στους φίλους μου, τους οποίους και ευχαριστώ για την υπομονή, την υποστήριξη και την πίστη τους στις δυνατότητές μου, καθώς και την οικογένεια μου για την προσφορά τους στην πορεία μου, την αγάπη, την εμπιστοσύνη και την αδιάκοπη στήριξή τους σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	1
2. Εφοδιαστική αλυσίδα	2
2.1. Προκλήσεις των συμβατικών πρακτικών στην εφοδιαστική αλυσίδα .	3
2.2. Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας	4
2.3. Ορατότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	7
3. Η 4^η βιομηχανική επανάσταση - Βιομηχανία 4.0.....	9
4. Η τεχνητή νοημοσύνη στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας	12
4.1. Η σημασία της ένταξης της τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική αλυσίδα	16
4.2. Οφέλη και προκλήσεις της ένταξης της τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	16
4.3. Η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας	18
5. Ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης.....	20
5.1. Εξέλιξη της πρόβλεψης ζήτησης στις επιχειρήσεις	21
5.2. Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης στις επιχειρήσεις	24
5.2.1. Τεχνολογία blockchain στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις	26
5.2.2. Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών (Time Series Forecasting Model) στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις	28
5.2.3. Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης (Regression Model) στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις	29
5.3. Προκλήσεις υιοθέτησης της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης στις επιχειρήσεις	31
6. Η τεχνητή νοημοσύνη στην διαχείριση αποθεμάτων.....	32
6.1. Έξυπνα συστήματα κατανομής στην διαχείριση αποθεμάτων	36
6.1.1. Big Data.....	38

6.2.	Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) στην διαχείριση αποθεμάτων	41
6.3.	Συστήματα όρασης υπολογιστή στην διαχείριση αποθεμάτων	43
6.4.	Ρομποτική αυτοματοποίηση διεργασιών στην διαχείριση αποθεμάτων	45
6.5.	Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) στην διαχείριση αποθεμάτων	48
6.6.	Οικονομικές παράμετροι των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση αποθεμάτων	50
7.	Μελλοντικές τάσεις.....	51
7.1.	Ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα (Digital Supply Chain-DSC).....	54
7.1.1.	Οφέλη ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας	55
	Βιβλιογραφία	58

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 2.1 Πλαίσιο διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας: Εισροές, Διαδικασίες και Εκροές. (Daios et al., 2025).....	6
Εικόνα 2.2 Εννοιολογική απεικόνιση της ορατότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας και των σχέσεων μεταξύ βασικών οντοτήτων (προμηθευτές, εταιρείες, προϊόντα και πελάτες)(Zheng and Brintrup, 2025)	8
Εικόνα 3.1 Αρχέτυπος της τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. (Ghobakhloo et al., 2025)	11
Εικόνα 4.1 Εκφάνσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης — Εικονίδια παραγόμενα μέσω τεχνητής νοημοσύνης.(Daios et al., 2025).....	12
Εικόνα 4.2 Δυναμική βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Verma, n.d.)	15
Εικόνα 5.1 Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης αξιοποιούμενα για την βελτίωση της πρόβλεψης της ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα..(Kagalwala et al., 2025).....	21
Εικόνα 5.2 Ενδεικτική απεικόνιση του μοντέλου της πρόβλεψης ζήτησης μέσω της αξιοποίησης της τεχνητής νοημοσύνης. (Verma, n.d.).....	26
Εικόνα 6.1 Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση αποθεμάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα.(Yarlagadda, n.d.).....	36
Εικόνα 6.2 Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής των ασύρματων δικτύων αισθητηρίων για την διευκόλυνση της διαχείρισης των αποθεμάτων.(Kotru and Batra, 2024)	38
Εικόνα 6.3 Σχηματική απεικόνιση του ολοκληρωμένου πλαισίου της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και προγνωστικής ανάλυσης, που συνδέει τα χαρακτηριστικά των μεγάλων δεδομένων (5V: όγκος, ποικιλία, ταχύτητα, αξιοπιστία, αξία) με τα τρία επίπεδα ανάλυσης (περιγραφική, προγνωστική, κανονιστική) και την εφαρμογή τους στη λήψη αποφάσεων, τη βελτίωση της απόδοσης και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.(Huong et al., 2025)	40
Εικόνα 6.4 Απεικόνιση της τυπικής διάταξης των καμερών σε μια αποθήκη, δείχνοντας πώς καλύπτονται όλα τα βασικά σημεία ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης ορατότητα του αποθέματος.(Villegas-Ch et al., 2024)	44

Εικόνα 6.5 Αρχιτεκτονική Digital Twin: αμφίδρομη ροή δεδομένων μεταξύ φυσικού συστήματος και ψηφιακής αναπαράστασης για προσομοίωση, πρόβλεψη και υποστήριξη αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα.(Moshood et al., 2021) 49

Εικόνα 6.6 Απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο τα Ψηφιακά Δίδυμα συνδέουν τα φυσικά συστήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας με ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και το cloud, υποστηρίζοντας την παρακολούθηση, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων και της επιχειρησιακής απόδοσης.(Guo and Mantravadi, 2025) 50

Εικόνα 7.1 Βασικά βήματα και κατευθύνσεις για το μέλλον της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας με τεχνητή νοημοσύνη: Εμπλοκή (Engage), Σχεδιασμός (Plan), Αναγνώριση (Identify) και Ανάλυση (Analyse).(Verma, n.d.)..... 52

Διάγραμμα 4.1 Συγκριτική ανάλυση της βελτίωσης της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας σε διαφορετικά επίπεδα ενσωμάτωσης της τεχνητής νοημοσύνης (χαμηλό, μεσαίο, υψηλό) στους τομείς της διαχείρισης αποθεμάτων, της πρόβλεψης ζήτησης και των λειτουργιών logistics. (Choudhuri, 2022) 14

Διάγραμμα 4.2 Συγκριτική απεικόνιση του κόστους τμημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας, για τα παραδοσιακά μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων, για μη βελτιστοποιημένα μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων και για μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης τα οποία και εμφανίζουν μειωμένο κόστος. (Mao, 2025)..... 17

Διάγραμμα 6.1 Σύγκριση βασικών δεικτών απόδοσης διαχείρισης αποθήκης (ικανοποίηση πελατών, ποιότητα προϊόντων, χρόνος και έγκαιρη παράδοση, ποσοστό παραπόνων και επιστροφών) μεταξύ διαφορετικών μεθόδων διαχείρισης αποθήκης.(Mao, 2025)..... 34

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1 Δείκτες Απόδοσης: Εξέλιξη από τα παραδοσιακά συστήματα έως τα συστήματα πρόβλεψης που υποστηρίζονται από τεχνητή νοημοσύνη.....	24
---	----

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ, ΣΥΜΒΟΛΩΝ & ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

Αγγλική Συντομογραφία	Ελληνική Συντομογραφία	Αγγλική Επεξήγηση	Ελληνική Επεξήγηση
AI	ΤΝ	Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
ANN / ANNs	ΤΝΔ	Artificial Neural Network(s)	Τεχνητό/Τεχνητά Νευρωνικό/ά Δίκτυο/α
API	–	Application Programming Interface	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
AR	–	Auto-Regressive	Αυτοπαλίνδρομο Μοντέλο
ARIMA	–	AutoRegressive Integrated Moving Average	Αυτοπαλίνδρομο Ολοκληρωμένο Κινούμενο Μέσο
ARMA	–	AutoRegressive Moving Average	Αυτοπαλίνδρομο Κινούμενο Μέσο
Big Data	ΜΔ	Big Data	Μεγάλα Δεδομένα
CRM	–	Customer Relationship Management	Διαχείριση Σχέσεων Πελατών
CPS	–	Cyber-Physical Systems	Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα
CV	–	Computer Vision	Υπολογιστική Όραση
DL	–	Deep Learning	Βαθιά Μάθηση

Αγγλική Συντομογραφία	Ελληνική Συντομογραφία	Αγγλική Επεξήγηση	Ελληνική Επεξήγηση
EDI	–	Electronic Data Interchange	Ηλεκτρονική Ανταλλαγή Δεδομένων
EWMA	–	Exponentially Weighted Moving Average	Εκθετικά Σταθμισμένος Κινούμενος Μέσος Όρος
GEN AI	–	Generative Artificial Intelligence	Γενετική Τεχνητή Νοημοσύνη
GPS	–	Global Positioning System	Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης
IoT	–	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
KR&R	–	Knowledge Representation and Reasoning	Αναπαράσταση Γνώσης και Συλλογισμός
MA	–	Moving Average	Κινούμενος Μέσος Όρος
ML	MM	Machine Learning	Μηχανική Μάθηση
NLP	–	Natural Language Processing	Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας
NN / NNs	ΝΔ	Neural Network(s)	Νευρωνικό/ά Δίκτυο/α
OP	–	Optimization	Βελτιστοποίηση
RFID	–	Radio Frequency Identification	Αναγνώριση μέσω Ραδιοσυχνοτήτων

Αγγλική Συντομογραφία	Ελληνική Συντομογραφία	Αγγλική Επεξήγηση	Ελληνική Επεξήγηση
RS / RSs	ΣΣ	Recommender System(s)	Σύστημα/Συστήματα Συστάσεων
SCM	ΔΕΑ	Supply Chain Management	Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας
SCP	–	Supply Chain Performance	Απόδοση Εφοδιαστικής Αλυσίδας
SCR	–	Supply Chain Resilience	Ανθεκτικότητα Εφοδιαστικής Αλυσίδας
SC Visibility	–	Supply Chain Visibility	Ορατότητα Εφοδιαστικής Αλυσίδας
SMA	–	Simple Moving Average	Απλός Κινούμενος Μέσος Όρος
SVM	ΜΔΥ	Support Vector Machine	Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης
ICT	ΤΠΕ	Information and Communication Technologies	Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών

1. Εισαγωγή

Στη σημερινή, ταχέως μεταβαλλόμενη παγκόσμια οικονομία, τις απαιτήσεις της αγοράς και τον παγκόσμιο ανταγωνισμό η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management – SCM) αποτελεί κρίσιμη λειτουργία για τους οργανισμούς, την βελτίωση της αποδοτικότητάς τους, την μείωση του λειτουργικού κόστους και την ανταπόκριση στις διαρκώς εξελισσόμενες ανάγκες των πελατών. Επισημαίνεται ότι οι διαταραχές που έχουν αντιμετωπίσει πρόσφατα οι επιχειρήσεις στις εφοδιαστικές τους αλυσίδες δεν έχουν ιστορικό προηγούμενο στη σύγχρονη παγκόσμια οικονομία. Κυριότερες εξωτερικές αιτίες του φαινομένου αυτού αποτελούν η πανδημία της Covid-19, οι ριζικές αλλαγές στην παγκόσμια αγορά καταναλωτών και οι γεωπολιτικές μεταβολές, ενώ οι πρόσφατες αναταράξεις στις εθνικές και διεθνείς εφοδιαστικές αλυσίδες έχουν πλήξει κρίσιμους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας. Οι ειδικοί υποστηρίζουν ότι οι περισσότερες σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες έχουν επικεντρωθεί υπέρμετρα στην αύξηση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας, παραμελώντας την ανθεκτικότητά τους. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Resilience – SCR) είναι γνωστή εδώ και αρκετές δεκαετίες, παρόλα αυτά οι τρέχουσες προκλήσεις και οι κίνδυνοι διαταραχών έχουν ωθήσει την ακαδημαϊκή κοινότητα να επανεξετάσει τις αξιοποιούμενες στρατηγικές επαναπροσδιορισμού της ισορροπίας μεταξύ αποδοτικότητας και ανθεκτικότητας.

Η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογικών καινοτομιών, συλλογικά αναφερόμενων ως ψηφιοποίηση των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, αποτελεί μία από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των εφοδιαστικών συστημάτων. Η ψηφιοποίηση κατέχει αδιαμφισβήτητο καθοριστικό ρόλο στην μετάβαση αυτή, με τον επιχειρηματικό κόσμος να βρίσκεται εν μέσω της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης (Βιομηχανία 4.0), η οποία αναδιαμορφώνει τη δομή και τη διαχείριση των βιομηχανικών δικτύων αξίας, μέσω της συλλογικής εφαρμογής καινοτόμων ψηφιακών τεχνολογιών, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR), η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics), το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing), η τεχνολογία blockchain, το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT), τα ρομποτικά συστήματα, τα εργαλεία προσομοίωσης αλλά και ο συνδυασμός τεχνολογικών

αυτών εξελίξεων, σε όλα τα στάδια του βιομηχανικού δικτύου αξίας. Η εφαρμογή της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη, στη διαχείριση αποθεμάτων και στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Logistics), ενίσχυσε σημαντικά την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας, μείωσε τα έξοδα και βελτιστοποίησε την κατανομή των πόρων.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάλυση του ρόλου της ΤΝ στη βελτίωση της πρόβλεψης ζήτησης και της διαχείρισης των αποθεμάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η εργασία επιδιώκει να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο τα ευφυή συστήματα πρόβλεψης και οι σύγχρονες μέθοδοι μηχανικής μάθησης ξεπερνούν τους περιορισμούς των παραδοσιακών στατιστικών μεθόδων, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ακρίβεια, προσαρμοστικότητα και ευελιξία σε δυναμικά και αβέβαια επιχειρηματικά περιβάλλοντα.(Achakzai et al., 2025; Ghobakhloo et al., 2025; Mao, 2025)

2. Εφοδιαστική αλυσίδα

Η εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίκτυο που δημιουργεί αξία μέσω αλληλοσυνδεδεμένων στοιχείων. Περιλαμβάνει διάφορους επιχειρηματικούς τομείς που συνεργάζονται στενά μεταξύ τους, όπως η παραγωγή, οι υπηρεσίες, τα κεφάλαια και η πληροφόρηση, με κύριο στόχο την διασφάλιση της διαθεσιμότητας των προϊόντων στους καταναλωτές. Κρίνεται ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες επιχειρήσεις η δημιουργία ολοκληρωμένων εφοδιαστικών αλυσίδων, με κατάλληλη υποδομή και χαρακτηριστικά δικτύωσης. Η εφοδιαστική αλυσίδα αντιμετωπίζει τους προμηθευτές, τους παραγωγούς και τους καταναλωτές ως ένα οργανικό σύνολο, ενοποιώντας και συντονίζοντας τη ροή πληροφοριών, τη ροή υλικών και τη ροή κεφαλαίων όλων των μελών της, και επιτυγχάνοντας τον στόχο του αμοιβαίου οφέλους στο πλαίσιο της συνολικής διαλειτουργίας μεταξύ οργανισμών.

Λόγω του φαινομένου της παγκοσμιοποίησης των ψηφιακών και παραγωγικών ικανοτήτων, οι εφοδιαστικές αλυσίδες έχουν καταστεί πιο αποτελεσματικές στην επίτευξη βιώσιμων συγκριτικών πλεονεκτημάτων. Κατά συνέπεια, λύσεις που αφορούν τον μετασχηματισμό και την αξιοποίηση πληροφοριών και πόρων έχουν ενσωματωθεί στις σύγχρονες πρακτικές διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας και έτσι οι καταναλωτές αντιμετωπίζουν πολυάριθμα διαταρακτικά γεγονότα στις σύγχρονες λειτουργίες της

εφοδιαστικής αλυσίδας, κατά την αποτίμηση της αξίας των υφιστάμενων λειτουργιών και της νομιμότητας των προϊόντων και υπηρεσιών. Παράλληλα, δεδομένου ότι οι διαδικασίες που βασίζονται σε έντυπη τεκμηρίωση εξακολουθούν να αποτελούν μέρος της σύγχρονης πραγματικότητας στις εφοδιαστικές αλυσίδες των περισσότερων επιχειρήσεων, περιορίζεται η συμβατότητα και η διαφάνεια μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Όταν τα επιμέρους τμήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας αντιμετωπίζουν ένα ταραχώδες περιβάλλον, το οποίο προκύπτει από την εμφάνιση της ανάλυσης εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain analytics), επιλέγουν μέσα και πόρους ώστε να εξισορροπήσουν αυτή τη μετασχηματιστική λειτουργία, συνδυάζοντας και υποστηρίζοντας δυναμικές ικανότητες που έχουν στη διάθεσή τους για την αντιμετώπιση διαταρακτικών γεγονότων. Οι δυναμικές ικανότητες προσφέρουν στις επιχειρήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας μοναδικά προνόμια και δυνατότητες μετασχηματισμού, καθώς ανταποκρίνονται σε ολιστικές αλλαγές με στόχο την επίτευξη βιώσιμης απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Performance – SCP) και την εφαρμογή συνδυασμένων αλλαγών υιοθετώντας καινοτόμες τεχνικές και αναλυτικές ικανότητες. (Daios et al., 2025; Na, 2024; Rana et al., 2025)

2.1. Προκλήσεις των συμβατικών πρακτικών στην εφοδιαστική αλυσίδα

Τα παραδοσιακά συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας χαρακτηρίζονται κυρίως από φαινόμενα αδράνειας. Αναλυτικότερα, δεν εφαρμόζουν καμία μεταβολή στις υφιστάμενες λειτουργίες προληπτικά, παρά μόνο στην περίπτωση εμφάνισης προβλημάτων. Βασική αιτία του φαινομένου αυτού είναι η ισχυρή εξάρτηση από παλαιά συστήματα, αποσυνδεδεμένες πηγές δεδομένων και χειροκίνητες διαδικασίες, που καθιστούν δύσκολη την επίτευξη ευελιξίας. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι εταιρείες αιφνιδιάζονται όταν εμφανίζονται απρόβλεπτες διαταραχές και αυτή η αναποτελεσματικότητα πλήττει όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των συμβατικών συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η αδυναμία ερμηνείας και διαχείρισης μεγάλων όγκων δεδομένων που παράγονται σε διαφορετικά στάδια της λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα, καθώς τα δεδομένα δημιουργούνται συνεχώς από προμηθευτές, αποθήκες, δίκτυα μεταφοράς και αγορές, η ανάγκη για ανάλυση σε πραγματικό χρόνο αυξάνεται διαρκώς, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία τυφλών σημείων και καθυστερήσεων στην μετάδοση πληροφοριών, με συνέπεια να

δυσχεραίνεται ο έγκαιρος εντοπισμός κινδύνων, η παρακολούθηση της απόδοσης και η έγκαιρη βελτιστοποίηση των διαδικασιών.

Πέρα από τα ζητήματα που αφορούν τα δεδομένα, οι συμβατικές εφοδιαστικές αλυσίδες αντιμετωπίζουν διαχρονικά προβλήματα στη πρόβλεψη της ζήτησης και στη διαχείριση των αποθεμάτων. Οι ανακριβείς προβλέψεις οδηγούν είτε σε δημιουργία υπεραποθεμάτων είτε σε έλλειψη αποθεμάτων, φαινόμενα ιδιαίτερα δαπανηρά. Αναλυτικότερα, η υπερσυσσώρευση αποθεμάτων οδηγεί στην δέσμευση κεφαλαίων και στην αύξηση των κοστών αποθήκευσης, ενώ η έλλειψη αποθεμάτων έχει ως αποτέλεσμα χαμένες πωλήσεις και μείωση της εμπιστοσύνης των πελατών. Αδιαμφορηβήτητα, οι συμβατικές εφοδιαστικές αλυσίδες δεν ανταποκρίνονται επαρκώς σε ξαφνικές αλλαγές στη συμπεριφορά των καταναλωτών ή στις τάσεις της αγοράς, όντας βαθιά επηρεασμένες από περιοδικές αναθεωρήσεις και τα παλαιά μοντέλα πρόβλεψης. (Achakzai et al., 2025)

2.2. Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

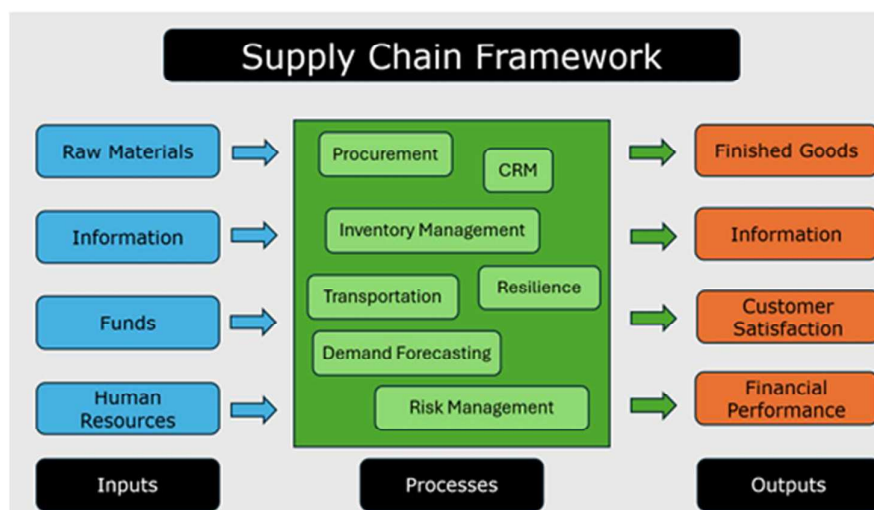
Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management – SCM) συνδέεται άμεσα με την παρακολούθηση και την βελτιστοποίηση της παραγωγής και της διανομής προϊόντων και υπηρεσιών μιας επιχείρησης. Στο σύγχρονο δυναμικό επιχειρηματικό περιβάλλον, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί κρίσιμη λειτουργία στις σύγχρονες επιχειρηματικές δραστηριότητες, διασφαλίζοντας την αποδοτική ροή αγαθών, υπηρεσιών και πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερόμενων μερών. Με την πάροδο του χρόνου, σημειώνεται σημαντική εξέλιξη του ερευνητικού πεδίου της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν ανέδειξαν άλλους κρίσιμους τομείς, πέραν την μεταφοράς φορτίου όπου και αποτελούσε το επίκεντρο παλαιότερα, όπως ο κίνδυνος, η απόδοση και η ενοποίηση. Επιπλέον, υπάρχει αυξανόμενη εστίαση στη ροή πληροφοριών εντός του οργανωσιακού δικτύου σχέσεων, τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, παράλληλα με τη διαχείριση των δικτύων εφοδιασμού. Δεδομένων αυτών των ερευνητικών προκλήσεων, ο κύριος στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η βελτίωση τεσσάρων βασικών ροών: των προϊόντων, των πληροφοριών, των χρηματικών ροών και των συνολικών διαδικασιών. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν εκτελεί πλέον αποκλειστικά επιχειρηματικές δραστηριότητες, όπως η προμήθεια, η παραγωγή και οι πωλήσεις, μεμονωμένα, αλλά υπερβαίνει τους περιορισμούς των επιχειρησιακών ορίων και αντιμετωπίζει τους προμηθευτές, τους παραγωγούς, τους διανομείς και τους καταναλωτές ως ένα οργανικό

σύνολο. Η ροή πληροφοριών, η ροή υλικών και τη ροή κεφαλαίων όλων των μελών ενωποιείται και συντονίζεται, επιτυγχάνοντας ολοκλήρωση και συνεργασία μεταξύ των επιχειρήσεων πέρα από τα οργανωσιακά όρια και διαμορφώνοντας ένα συνεργατικό δικτυακό σύστημα μέσω διασύνδεσης, αλληλεξάρτησης, διείσδυσης και αλληλεπίδρασης, μετατρέποντας τις ανάγκες των τελικών καταναλωτών σε συλλογικές ενέργειες όλων των συμμετεχόντων. Οι συνεργατικές σχέσεις μεταξύ οικονομικών οντοτήτων αντικαθιστούν τις παραδοσιακές ανταγωνιστικές σχέσεις, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα και την ποιότητα των προϊόντων ενώ παράλληλα, επιτυγχάνεται ο στόχος του αμοιβαίου οφέλους για όλα τα μέλη σε δια-οργανωσιακές λειτουργίες.

Στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, η πρόβλεψη των μεταβολών της αγοράς διαδραματίζει καθοριστικό και ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο, όχι μόνο στη μεγιστοποίηση του κέρδους, αλλά και στη διατήρηση της κατάλληλης ποσότητας προϊόντων στον σωστό χρόνο, συμβάλλοντας στην διατήρηση ενός επιπέδου αποθεμάτων που είναι επαρκές για την κάλυψη της ζήτησης των πελατών και αποτελώντας έναν από τους πιο βασικούς παράγοντες που καθοδηγούν τον σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων σε κάθε σύστημα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας. Η αποδοτικότητα ή η ακρίβεια της πρόβλεψης ζήτησης λαμβάνεται ως βασικό κριτήριο για τη λήψη σημαντικών αποφάσεων, όπως είναι η ανάπτυξη παραγωγικής δυναμικότητας, η κατανομή πόρων, η επέκταση, καθώς και η κάθετη ολοκλήρωση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν προταθεί από ερευνητές διάφορες μέθοδοι πρόβλεψης με στόχο την αύξηση της προγνωστικής ακρίβειας.

Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις στη μοντελοποίηση των εφοδιαστικών αλυσίδων για την επίτευξη ορατότητας συνήθως εστιάζουν σε δίκτυα σε επίπεδο εταιρείας ή προϊόντος, εστιάζοντας στις απομονωμένες σχέσεις μεταξύ επιχειρήσεων ή προϊόντων. Παρόλο που τα μοντέλα αυτά παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για συγκεκριμένα συστατικά της εφοδιαστικής αλυσίδας, συχνά αδυνατούν να λάβουν υπόψη τις πολυδιάστατες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων οντοτήτων, όπως πελάτες, εταιρείες, προϊόντα και πιστοποιήσεις. Αυτή η στενή εστίαση περιορίζει την ικανότητα κατανόησης και πρόβλεψης της περίπλοκης δυναμικής των εφοδιαστικών αλυσίδων, όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων είναι κρίσιμη για την επίτευξη ολοκληρωμένης ορατότητας. Στο πλαίσιο της σημερινής ιδιαίτερα διασυνδεδεμένης παγκόσμιας οικονομίας, οι εφοδιαστικές αλυσίδες εκτείνονται σε πολλαπλές περιοχές και χώρες, σχηματίζοντας πολύπλοκα δίκτυα προμηθευτών, κατασκευαστών, διανομέων και

πελατών. Αυτά τα πολύπλοκα δίκτυα έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα ευάλωτα σε διαταραχές, όπως καταδεικνύεται από πρόσφατες παγκόσμιες κρίσεις, όπως η πανδημία COVID-19 και ο πόλεμος στην Ουκρανία, οι οποίες διατάραξαν σοβαρά τα συστήματα παραγωγής και διανομής σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπρόσθετα, η έλλειψη ημιαγωγών έχει αναδείξει περαιτέρω τις ευπάθειες των παγκόσμιων εφοδιαστικών αλυσίδων, επηρεάζοντας σημαντικά τις βιομηχανίες που εκτείνονται από την κατασκευή αυτοκινήτων έως τα καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα. Τα περισσότερα προϊόντα στην αγορά είναι καθοδηγούμενα από τη ζήτηση. Η διαχείρισή τους εξαρτάται από την ευθυγράμμιση όλων των οντοτήτων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω των ροών πληροφόρησης και από την ικανότητα συνεχούς προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς, διατηρώντας ή μειώνοντας τα επίπεδα αποθεμάτων και περιορίζοντας το οξύ πρόβλημα των κατεπειγουσών παραγγελιών. Κοινό χαρακτηριστικό αυτών των προϊόντων είναι ότι το στάδιο ωριμότητάς τους είναι σύντομο ή ανύπαρκτο. Ωστόσο, η ωριμότητα ορισμένων προϊόντων είναι μακρά και δεν μπορεί να αγνοηθεί. Τα βασικά στοιχεία που συνήθως περιλαμβάνονται σε ένα πλαίσιο διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η διαχείριση σχέσεων με πελάτες (Customer Relationship Management – CRM), η διαχείριση αποθεμάτων, τα δίκτυα μεταφορών, η προμήθεια, η πρόβλεψη ζήτησης, η ανθεκτικότητα και η διαχείριση κινδύνου (Εικόνα 2.1.). Αυτές οι κύριες δραστηριότητες κατέχουν καθοριστικό ρόλο τόσο στις εσωτερικές όσο και στις εξωτερικές πτυχές μιας επιχείρησης, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολύπλοκο σύστημα που περιλαμβάνει εισροές, εσωτερικές διαδικασίες και εκροές.

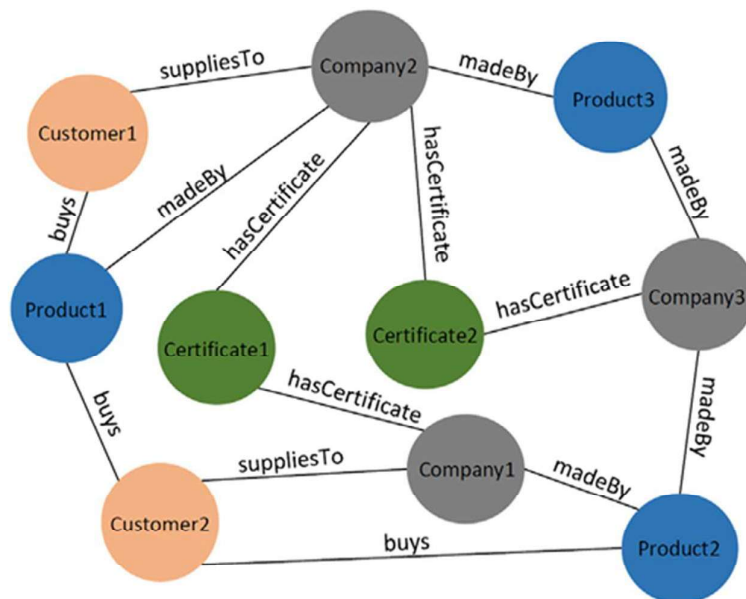


Εικόνα 2.1 Πλαίσιο διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας: Εισροές, Διαδικασίες και Εκροές. (Daios et al., 2025)

Η πρόβλεψη της ζήτησης αποτελεί ουσιαστικά ένα πρόβλημα παλινδρόμησης, με τον χρόνο να αποτελεί τον κύριο περιοριστικό παράγοντα. Η εκτενής ερευνητική βιβλιογραφία γύρω από τα μοντέλα πρόβλεψης βασίζεται παραδοσιακά σε κλασικούς αλγορίθμους, όπως η ανάλυση χρονοσειρών, η παλινδρόμηση και τα γκρι μοντέλα, καθώς και σε αλγορίθμους «ήπιας υπολογιστικής» (soft computing), όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι, η ασαφής λογική και άλλες μέθοδοι μηχανικής μάθησης. Οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις στρέφονται όλο και περισσότερο στην αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών με σκοπό την βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους, όπως η ενισχυμένη ορατότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας η οποία επιτρέπει στους χειριστές και τους διαχειριστές να μετριάζουν τους κινδύνους, να βελτιστοποιούν την επιχειρησιακή αποδοτικότητα και να διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με το κανονιστικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές μπορούν να αντιμετωπίζουν προληπτικά πιθανές διαταραχές στην προμήθεια πρώτων υλών, ενώ οι λιανέμποροι μπορούν να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα επίπεδα αποθεμάτων εν μέσω διακυμάνσεων της ζήτησης και αβεβαιοτήτων στην προσφορά. (Daios et al., 2025; Kagalwala et al., 2025; Na, 2024; Zheng and Brintrup, 2025; Zougagh et al., 2020)

2.3. Ορατότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η ορατότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στην ικανότητα των ενδιαφερόμενων μερών να εξασφαλίζουν πρόσβαση σε ακριβείς, πλήρεις και έγκαιρες πληροφορίες σχετικά με τη ροή υλικών και προϊόντων σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό περιλαμβάνει τη ροή πρώτων υλών, εξαρτημάτων και τελικών προϊόντων από τους προμηθευτές στους κατασκευαστές, μέσω διανομέων και λιανεμπόρων, και τελικά στους τελικούς πελάτες. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων, που τροφοδοτείται από την παγκοσμιοποίηση και την αυξανόμενη ανάγκη για ευελιξία και ανθεκτικότητα, έχει επισημάνει τη σημασία της ορατότητας. Η ενισχυμένη ορατότητα επιτρέπει στις οργανώσεις την βελτιστοποίηση των διαδικασιών, την μείωση του λειτουργικού κόστους, την βελτίωση της διαχείρισης αποθεμάτων και τον μετριασμό των κινδύνων που συνδέονται με διαταραχές, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη ροή αγαθών, υλικών και πληροφοριών. Η έννοια της ορατότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να αποτυπωθεί σχηματικά μέσω της απεικόνισης των σχέσεων μεταξύ προϊόντων, προμηθευτών, κατασκευαστών και πελατών (Εικόνα 2.2.).



Εικόνα 2.2 Εννοιολογική απεικόνιση της ορατότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας και των σχέσεων μεταξύ βασικών οντοτήτων (προμηθευτές, εταιρείες, προϊόντα και πελάτες)(Zheng and Brintrup, 2025)

Ωστόσο, η επίτευξη ορατότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις και απαιτεί πολυδιάστατες προσεγγίσεις που αξιοποιούν προηγμένες τεχνολογίες και τυποποιημένα συστήματα. Κεντρικοί παράγοντες είναι τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID), τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning Systems - GPS) και προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, τα οποία διευκολύνουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον, η επίτευξη απρόσκοπτης ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών απαιτεί την ενοποίηση και τυποποίηση των δεδομένων μέσω ενιαίων πλατφορμών και πρωτοκόλλων, όπως η Ηλεκτρονική Ανταλλαγή Δεδομένων (Electronic Data Interchange – EDI) και τις Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interfaces - APIs). Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενισχύσει τη διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω της αυτοματοποίησης της συλλογής δεδομένων, της επεξεργασίας μη δομημένων πληροφοριών και της παραγωγής γνώσεων που είναι δύσκολο να επιτευχθούν με συμβατικές μεθόδους. Επιπλέον, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας προβλέποντας τις διακυμάνσεις της ζήτησης, βελτιστοποιώντας τον σχεδιασμό δρομολογίων για τα οχήματα logistics και την επιλογή προμηθευτών με βάση την αποδοτικότητα, καθώς και εντοπίζοντας πιθανούς κινδύνους ή διαταραχές πριν

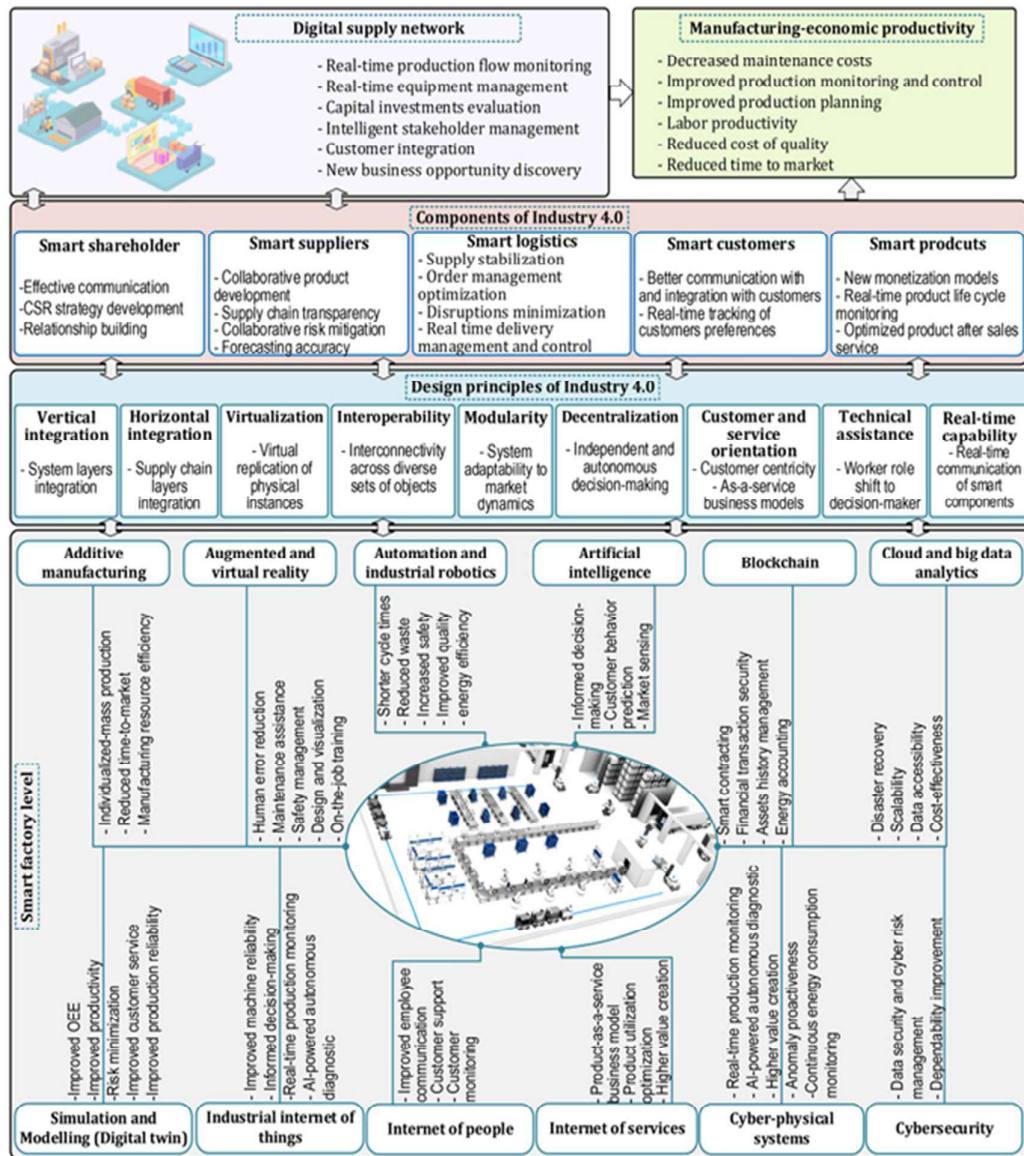
αυτοί εκδηλωθούν. Οι δυνατότητες αυτές, συνολικά, ενισχύουν τη διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας και την επιχειρησιακή ανθεκτικότητα. (Zheng and Brintrup, 2025)

3. Η 4^η βιομηχανική επανάσταση - Βιομηχανία 4.0

Η Βιομηχανία 4.0 ορίζεται ως η ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής και δημιουργίας αξίας μέσω της διασύνδεσης του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Η διασύνδεση αυτή καθίσταται δυνατή μέσω των Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων (Cyber-Physical Systems – CPS), τα οποία θεωρούνται μία από τις βασικές τεχνολογικές καινοτομίες της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Η Βιομηχανία 4.0 διαθέτει τη δυναμική να μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται και παραδίδεται η αξία, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Ο όρος τέταρτη βιομηχανική επανάσταση χρησιμοποιείται για την ανάδειξη της σημασίας του εν λόγω μετασχηματισμού σε σύγκριση με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, κατά τις οποίες, η πρώτη βιομηχανική επανάσταση της περιόδου 1760–1860 εισήγαγε την ατμομηχανή, η οποία διευκόλυνε τη μηχανοποίηση της παραγωγής, η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση της περιόδου 1870–1914 χαρακτηρίστηκε από σημαντικές οικονομίες κλίμακας στη μεταποίηση, δηλαδή τη μαζική παραγωγή, η οποία υποστηρίχθηκε από εξελίξεις στην ηλεκτρική ενέργεια, τους σιδηροδρόμους κ.ά. και η τρίτη βιομηχανική επανάσταση, η οποία τοποθετείται γύρω στο 1984 και χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), οι οποίες διευκόλυναν την αυτοματοποίηση.

Αναλυτικότερα, η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, γνωστή και ως τεχνολογική επανάσταση, πρωτοεμφανίστηκε το 2011 στη Γερμανία και παρουσιάστηκε αρχικά ως η ψηφιοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών σε επίπεδο επιχείρησης. Αργότερα, οι μελετητές υποστήριξαν ότι η Βιομηχανία 4.0 περιλαμβάνει τη ψηφιακή μεταμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιστημονικές και βιομηχανικές αναφορές δείχνουν περαιτέρω ότι η ψηφιακή επανάσταση στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 συντελείται σε πολλούς κλάδους, όπως η κατασκευή, η ενέργεια και η υγειονομική περίθαλψη. Οι τεχνολογικές τάσεις της Βιομηχανίας 4.0 περιλαμβάνουν προηγμένες ψηφιακές, πληροφοριακές και επιχειρησιακές τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η προσθετική κατασκευή και τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS), οι οποίες οδηγούν στην

ψηφιακή επανάσταση. Οι τεχνολογίες αυτές εμφανίζουν υψηλά επίπεδα εμπορικής ωριμότητας και είναι οικονομικά προσιτές τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Η τεχνολογική επανάσταση δεν άλλαξε απλώς τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων αλλά μεταμόρφωσε τον ίδιο τον σκοπό τους. Μεταβαίνοντας από την παραδοσιακή μονόπλευρη επιδίωξη του κέρδους, οι επιχειρήσεις σήμερα καλούνται να υπηρετούν έναν πιο σύνθετο και πολυδιάστατο ρόλο. Στη σύγχρονη εποχή οι οργανώσεις/επιχειρήσεις έχουν ως αποστολή τη δημιουργία ευρύτερης αξίας για τη διαρκή ικανοποίηση των αναγκών των ενδιαφερομένων ομάδων και της κοινωνίας εν γένει, λειτουργώντας με σεβασμό προς τις απαιτήσεις αυτής, και τις ανάγκες του φυσικού περιβάλλοντος. Η Εικόνα 3.1. απεικονίζει τις πλέον ευρέως αποδεκτές αρχές σχεδίασης της Βιομηχανίας 4.0.

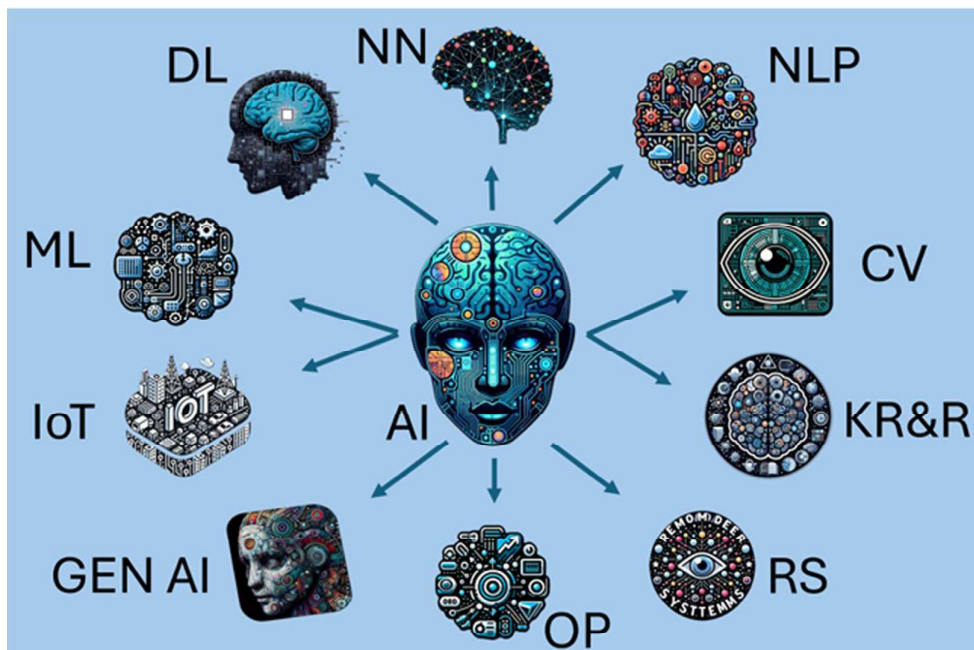


Εικόνα 3.1 Αρχέτυπος της τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης. (Ghobakhloo et al., 2025)

Η συμβολή της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης στην ανάπτυξη των ψηφιακών δικτύων εφοδιασμού περιλαμβάνει την συλλογική ψηφιοποίηση όλων των επιμέρους τμημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, των βασικών κατασκευαστών, των καναλιών logistics, των διανομέων και ακόμη και των πελατών, περιλαμβάνοντας την εφαρμογή ιδιόμορφων συνδυασμών ψηφιακών τεχνολογιών βάσει των στρατηγικών αναγκών και προτεραιοτήτων κάθε συστατικού της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Bigliardi et al., 2022; Chauhan and Singh, 2019; Ghobakhloo et al., 2025; Huong et al., 2025; SCHOLARONE Manuscript, 2018)

4. Η τεχνητή νοημοσύνη στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

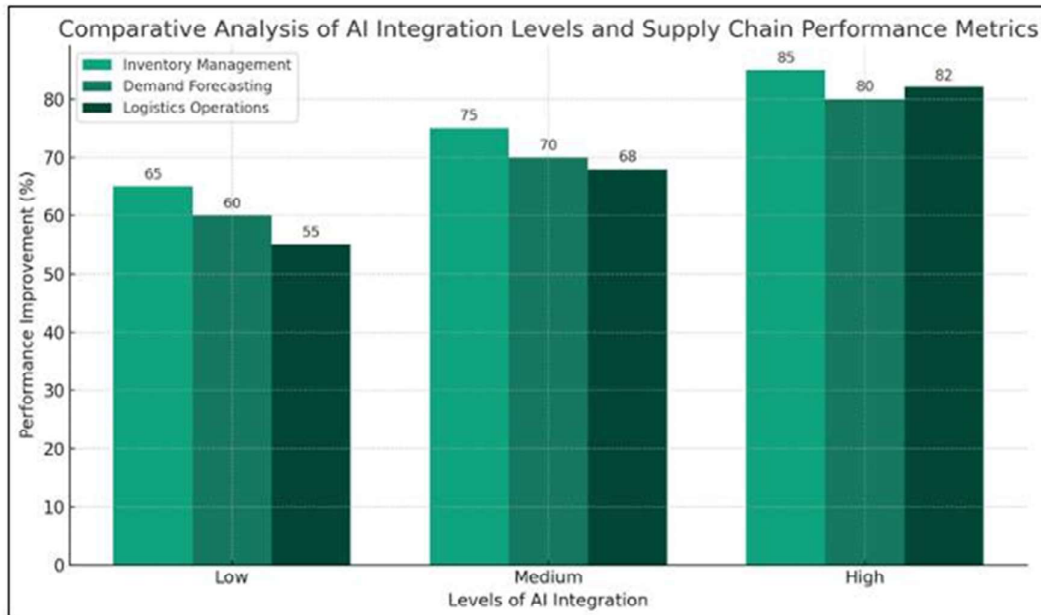
Η τεχνητή νοημοσύνη ορίζεται ως η νοημοσύνη μέσω της οποίας οι μηχανές μπορούν να επιδεικνύουν και να μιμούνται όλες τις γνωστικές λειτουργίες του ανθρώπου, όπως η επίλυση προβλημάτων και η λήψη αποφάσεων, προς όφελος της οργάνωσης, της βελτιστοποίησης και της αυτοματοποίησης ως εκ τούτου, η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν υψηλό βαθμό ακρίβειας και ταχύτητας.. Η παρουσία της τεχνητής νοημοσύνης είναι εμφανής στους τομείς της διαχείρισης αγροτικών εκμεταλλεύσεων, της εκπαίδευσης, της υγειονομικής περίθαλψης, της μόδας, του ηλεκτρονικού εμπορίου, των παιχνιδιών και του στρατού, με τις ρίζες της να εντοπίζονται στη δεκαετία του 1950, και οι βασικές της τεχνικές περιλαμβάνουν τη Μηχανική Μάθηση (Machine Learning – ML), τη Βαθιά Μάθηση (Deep Learning – DL), τα Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks – NNs), την Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing – NLP), την Υπολογιστική Όραση (Computer Vision – CV), την Αναπαράσταση Γνώσης και Συλλογισμό (Knowledge Representation & Reasoning – KR&R), τα Συστήματα Συστάσεων (Recommender Systems – RSs) και τη Βελτιστοποίηση (Optimization – OP) (Εικόνα 4.1.).



Εικόνα 4.1 Εκφάνσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης — Εικονίδια παραγόμενα μέσω τεχνητής νοημοσύνης.(Daios et al., 2025)

Πληθώρα των τεχνικών αυτών ενσωματώνουν τις μεθόδους προσομοίωσης ως βασικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση, τη δοκιμή και τη βελτιστοποίηση των αποφάσεων που βασίζονται σε αποτελέσματα προερχόμενα από μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, ιδιαίτερα σε σύνθετα και δυναμικά περιβάλλοντα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένας κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης είναι η Γενετική Τεχνητή Νοημοσύνη (Generative AI – GEN AI), η οποία μπορεί να παράγει διάφορες μορφές περιεχομένου, όπως κείμενο, γραφικά, ήχο, βίντεο ή άλλα δεδομένα, αξιοποιώντας μοντέλα Μηχανικής Μάθησης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της γενετικής τεχνητής νοημοσύνης είναι το ChatGPT (Έκδοση 4.0), το οποίο προσφέρει σημαντικά οφέλη αλλά και διάφορες απειλές και προκλήσεις για τη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στη διαδικασία ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας εμπλέκονται πολλές ψηφιακές τεχνολογίες, χάρη στην εφαρμογή των οποίων, καθίσταται δυνατός ο μετασχηματισμός μιας παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας σε ψηφιακή. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί έναν από τους τομείς που ωφελούνται περισσότερο από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης αποτελώντας μία από τις τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ιδίως στους τομείς της διαχείρισης αποθεμάτων, της πρόβλεψης ζήτησης και των logistics, έχει μετασχηματίσει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις λειτουργούν και ανταγωνίζονται στην παγκόσμια αγορά χάρη στην ικανότητά τους να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους δεδομένων, εισάγοντας υποσχόμενες λύσεις για την αντιμετώπιση των περιορισμών των παραδοσιακών προσεγγίσεων ορατότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας (Διάγραμμα 4.1.).



Διάγραμμα 4.1 Συγκριτική ανάλυση της βελτίωσης της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας σε διαφορετικά επίπεδα ενσωμάτωσης της τεχνητής νοημοσύνης (χαμηλό, μεσαίο, υψηλό) στους τομείς της διαχείρισης αποθεμάτων, της πρόβλεψης ζήτησης και των λειτουργιών logistics. (Choudhuri, 2022)

Τα έξυπνα συστήματα έχουν την ικανότητα να αξιολογούν και να ερμηνεύουν γρήγορα μεγάλα σύνολα δεδομένων, προσφέροντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τον προγραμματισμό της ζήτησης και της προσφοράς. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει αλλάξει δραματικά την λειτουργία της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας την δυνατότητα προληπτικής και προβλεπτικής ικανότητας, επιφέροντας μια εποχή προγνωστικών αναλύσεων, μηχανικής μάθησης, αλγορίθμων βασισμένων σε δεδομένα και λήψης αποφάσεων με γνώμονα τα δεδομένα, διαδικασίες που βελτιώνουν την επιχειρησιακή αποδοτικότητα, μειώνουν το κόστος και ενισχύουν την ικανοποίηση των πελατών σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης αποθεμάτων, πρόβλεψης ζήτησης και logistics, οι οποίες βασίζονταν σε στατικές προβλέψεις και άκαμπτα προγραμματισμένες ροές εργασίας, γίνονται ολοένα και πιο ανεπαρκείς απέναντι στις διακυμάνσεις της αγοράς, στα απρόβλεπτα δίκτυα προμηθευτών και στις αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών για βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει τη δυνατότητα μετασχηματισμού της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας παρέχοντας την δυνατότητα αντίδρασης σε πραγματικό χρόνο στις μεταβολές της προσφοράς και της ζήτησης, βελτιστοποίησης της διαχείρισης

Logistics και πρόβλεψης διαταραχών πριν αυτές συμβούν, ενώ παράλληλα μπορεί να ενισχύσει την ορατότητα αυτοματοποιώντας τη συλλογή δεδομένων, επεξεργαζόμενη μη δομημένες πληροφορίες και παράγοντας πληροφορίες που είναι δύσκολο να επιτευχθούν με συμβατικές μεθόδους. Αντιπροσωπεύει μια αλλαγή στον σχεδιασμό, την διαχείριση και την βελτιστοποίηση των εφοδιαστικών αλυσίδων με τον πυρήνα του αντίκτυπου της να βρίσκονται τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να διαχειριστούν τεράστιους όγκους δεδομένων, σε επίπεδα που ξεπερνούν τις ανθρώπινες δυνατότητες.

Τα πραγματικά οφέλη από την υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στις εφοδιαστικές αλυσίδες γίνονται ήδη εμφανή σε διάφορους κλάδους. Οι εταιρείες που έχουν ενσωματώσει τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης έχουν σημειώσει σημαντικές βελτιώσεις, όπως η μείωση κατά έως και 15% των εξόδων logistics, αύξηση κατά έως και 35% της ακρίβειας των αποθεμάτων και βελτίωση κατά έως και 65% των επιπέδων εξυπηρέτησης. Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν την αξία της τεχνητής νοημοσύνης όχι μόνο σε επίπεδο αποδοτικότητας, αλλά και σε ανταγωνιστικότητα, ικανοποίηση πελατών καθώς και στην βιωσιμότητα και στην ανάπτυξη των επιχειρήσεων μακροπρόθεσμα (Εικόνα 4.3.). (Achakzai et al., 2025; Bigliardi et al., 2022; Choudhuri, 2022; Daios et al., 2025; Mao, 2025; Verma, n.d.; Zheng and Brintrup, 2025)



Εικόνα 4.2 Δυναμική βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Verma, n.d.)

4.1. Η σημασία της ένταξης της τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική αλυσίδα

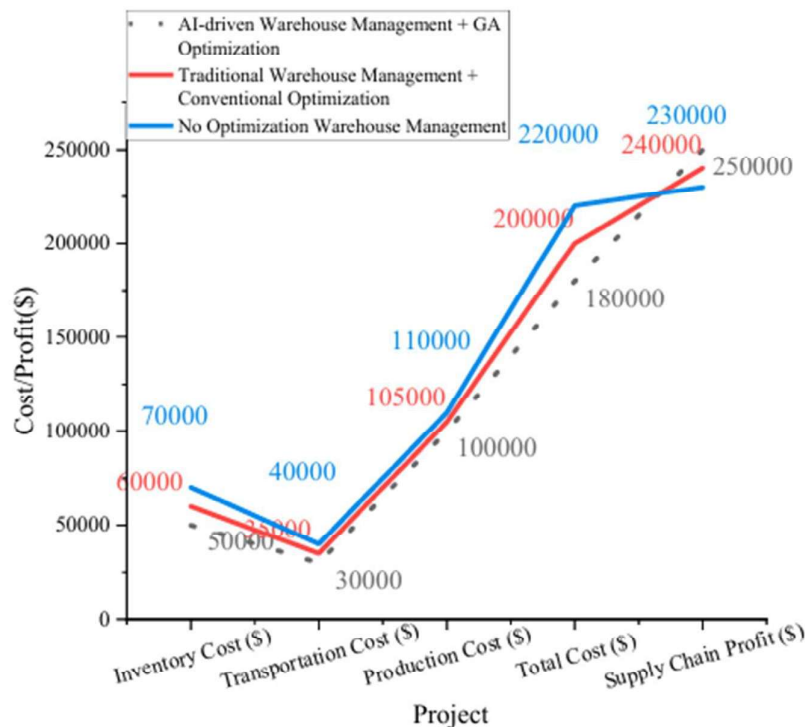
Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί στρατηγική αναγκαιότητα. Σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο περιβάλλον, οι οργανισμοί είναι αναγκαίο να υιοθετούν εργαλεία που ενισχύουν την ευελιξία και την ταχύτητα στην λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει ακριβώς αυτά τα χαρακτηριστικά μέσω της ικανότητάς της να αυτοματοποιεί επαναλαμβανόμενες εργασίες, να επεξεργάζεται τεράστιους όγκους δεδομένων και να προβλέπει αποτελέσματα με υψηλή ακρίβεια, οι επιχειρήσεις όχι μόνο βελτιώνουν την καθημερινή τους παραγωγικότητα, αλλά αποκτούν στρατηγικό πλεονέκτημα σε ανταγωνιστικές αγορές. Παράλληλα, ενισχύεται η συνεργασία σε όλα τα επιμέρους στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, προάγοντας την καλύτερη επικοινωνία και τον συντονισμό μεταξύ των συνεργατών και διευκολύνεται η έγκαιρη ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ προμηθευτών, κατασκευαστών, διανομέων και λιανοπωλητών, δημιουργώντας ένα περιβάλλον διαφάνειας και αμοιβαίας ορατότητας.

Αυτή η διασυνδεσιμότητα επιτρέπει σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να λειτουργούν με βάση ένα κοινό σύνολο πληροφοριών. Επιπλέον, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη βελτίωση των λειτουργιών, αλλά συμβάλλει και στον γενικότερο στρατηγικό μετασχηματισμό. Προάγοντας την καινοτομία, εντοπίζει νέα επιχειρηματικά μοντέλα, προβλέπει τις μελλοντικές ανάγκες των πελατών και μεγιστοποιεί την βιωσιμότητα των επιχειρήσεων. Οι επιχειρήσεις που υιοθετούν την τεχνητή νοημοσύνη όχι μόνο έχουν πολύ μεγαλύτερες πιθανότητες να επιβιώσουν απέναντι στις σύγχρονες προκλήσεις, αλλά και να οικοδομήσουν μια ανθεκτική υποδομή για το μέλλον, προάγοντας την ευελιξία και την καινοτομία έχοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. (Achakzai et al., 2025)

4.2. Οφέλη και προκλήσεις της ένταξης της τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική αλυσίδα

Η ενσωμάτωση της δυναμικής βελτιστοποίησης που καθοδηγείται από την τεχνητή νοημοσύνη στις εφοδιαστικές αλυσίδες προσφέρει σημαντικά οφέλη. Αρχικά, εξετάζονται τα πλεονεκτήματα των λύσεων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη στη

διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, με ιδιαίτερη έμφαση στην πρόβλεψη ζήτησης, τη διαχείριση αποθεμάτων και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών αποθήκης. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν υποστήριξη λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο μέσω της επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων, μειώνοντας τη σπατάλη αποθεμάτων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής. Στη συνέχεια, κατασκευάζεται ένα μοντέλο βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας βασισμένο στον γενετικό αλγόριθμο, στο οποίο προσδιορίζονται με σαφήνεια η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί, καλύπτοντας βασικούς στόχους βελτιστοποίησης όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους, η μεγιστοποίηση του κέρδους και η βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης (Διάγραμμα 4.2.).



Διάγραμμα 4.2 Συγκριτική απεικόνιση του κόστους τμημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας, για τα παραδοσιακά μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων, για μη βελτιστοποιημένα μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων και για μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης τα οποία και εμφανίζουν μειωμένο κόστος. (Mao, 2025)

Το μοντέλο επαναλαμβάνει και βελτιστοποιεί συνεχώς τη διαμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω των βασικών λειτουργικών σταδίων του γενετικού αλγορίθμου, τα οποία περιλαμβάνουν την αρχικοποίηση του πληθυσμού, την αξιολόγηση καταλληλότητας, την επιλογή, τη διασταύρωση και τη μετάλλαξη. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η τεχνητή νοημοσύνη και ο γενετικός αλγόριθμος μπορούν να μειώσουν σημαντικά το

κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής και να ενισχύσουν το επίπεδο εξυπηρέτησης, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα του μοντέλου σε πρακτικές εφαρμογές. Η αυξημένη ευελιξία και η ταχύτερη ανταπόκριση είναι από τα πιο αξιολογούμενα ενώ παράλληλα, οι εφοδιαστικές αλυσίδες μπορούν να προσαρμόζονται σε δεδομένα πραγματικού χρόνου, λαμβάνοντας προληπτικές αποφάσεις με βάση τις τρέχουσες και προβλεπτικές αναλύσεις. Αυτή η ικανότητα είναι ανεκτίμητη σε περιπτώσεις όπου η ζήτηση είναι ασταθής ή προκύπτουν εξωτερικές διαταραχές, όπως γεωπολιτικά γεγονότα, φυσικές καταστροφές ή μεταβολές της αγοράς. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να επεξεργάζεται τεράστιους όγκους δεδομένων που οι παραδοσιακές μέθοδοι αδυνατούν να διαχειριστούν, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ακρίβεια των αποφάσεων.

Ωστόσο, αυτά τα συστήματα συνοδεύονται και από προκλήσεις, κυρίως λόγω της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Η ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning) και ο δυναμικός προγραμματισμός απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και χρόνο εκπαίδευσης των μοντέλων, ιδιαίτερα σε εφοδιαστικές αλυσίδες μεγάλης κλίμακας με πολλαπλές μεταβλητές. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή λύσεων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να είναι περίπλοκη, καθώς απαιτεί προηγμένες υποδομές δεδομένων, ενσωμάτωση με υπάρχοντα (παλαιότερα) συστήματα και εξειδίκευση στις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης. Οι οργανισμοί είναι αναγκαίο να διαχειριστούν προσεκτικά την ισορροπία μεταξύ αυτοματοποίησης και ανθρώπινης επίβλεψης, ώστε τα συστήματα που καθοδηγούνται από την AI να ευθυγραμμίζονται με τους επιχειρηματικούς στόχους. (Mao, 2025; Verma, n.d.)

4.3. Η εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει μεταβάλλει ριζικά το τοπίο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσθέτοντας δυνατότητες που παλαιότερα θεωρούνταν αδιανόητες. Πιο συγκεκριμένα, έχει εξελιχθεί πέρα από μεμονωμένες εφαρμογές, όπως η πρόβλεψη ζήτησης και η διαχείριση αποθεμάτων, αποτελώντας βασικό εργαλείο για τη συνολική βελτίωση της απόδοσης ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά της στην διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η δυνατότητα ορατότητας σε όλα τα στάδια της αλυσίδας. Καθώς οι εφοδιαστικές αλυσίδες διευρύνονται, αυξάνεται η πολυπλοκότητα της δομής τους, οι παραδοσιακές τεχνικές διαχείρισης αποδεικνύονται

ανεπαρκείς για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που δημιουργούνται από τις δυνάμεις της αγοράς και τις διαταραχές στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Τα παλαιότερα συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας λειτουργούσαν απομονωμένα (silos), με περιορισμένη ενσωμάτωση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων και εταίρων, καθιστώντας δύσκολη την πλήρη εποπτεία των διαδικασιών. Επίσης, βασίζονταν σε γραμμικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούσαν προκαθορισμένους κανόνες και ιστορικά δεδομένα, παρουσιάζοντας αδυναμίες υπό συνθήκες αβεβαιότητας και πολυπλοκότητας της αγοράς. Ως αποτέλεσμα, σημειωνόταν υψηλή εξάρτηση από χειροκίνητη λήψη αποφάσεων, η οποία ήταν χρονοβόρα και επιρρεπής σε σφάλματα.

Η εμφάνιση της τεχνητής νοημοσύνης σηματοδοτεί μια νέα εποχή στον τρόπο λειτουργίας των εφοδιαστικών αλυσίδων, ανοίγοντας τον δρόμο για τη μετάβαση από αντιδραστικές, στατικές διαδικασίες σε πιο ευέλικτες. Με την ενσωμάτωση αυτών των εργαλείων, δίνεται η δυνατότητα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τις εφοδιαστικές αλυσίδες πιο ευφείς και ευέλικτες, επιτρέποντας την ροή δεδομένων μεταξύ λειτουργιών όπως προμήθειες, παραγωγή και πωλήσεις. Αναλυτικότερα, καθίσταται εφικτή η επεξεργασία και ερμηνεία τεράστιων όγκων πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, προερχόμενων από ποικίλες πηγές, όπως η συμπεριφορά των καταναλωτών, οι τάσεις της αγοράς, τα καιρικά μοτίβα και ακόμη και τα παγκόσμια γεγονότα. Χάρη στην ικανότητά των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης να συνδυάζουν και να μαθαίνουν από τόσο ετερογενή σύνολα δεδομένων, παρέχουν προγνωστική ανάλυση που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να προβλέπουν την μελλοντική ζήτηση και να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων. Αυτή η ικανότητα πρόβλεψης και προληπτικής δράσης καθιστά την τεχνητή νοημοσύνη βασικό εργαλείο για τις επιχειρήσεις.

Με την περαιτέρω ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, όπως η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (Natural Language Processing), τα νευρωνικά δίκτυα και οι «ευφείς πράκτορες» (intelligent agents), στα συστήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρατηρείται μια ριζική αλλαγή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα της αλυσίδας. Οι νέες αυτές τεχνολογίες δεν αντικαθιστούν απλώς τις χειροκίνητες εργασίες, αλλά ενισχύουν και τις γνωστικές λειτουργίες στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ενδεικτικά, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας βελτιώνει την επικοινωνία μεταξύ προμηθευτών, διανομέων και πελατών, ενώ τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να αναγνωρίζουν πρότυπα μέσα από πολύπλοκα δεδομένα που πιθανώς να αγνοούνταν από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις. Οι ευφείς πράκτορες, ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων

προσαρμόζοντας αυτόματα τα προγράμματα παραγωγής, ελέγχοντας τα αποθέματα ή ανακατευθύνοντας αποστολές με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

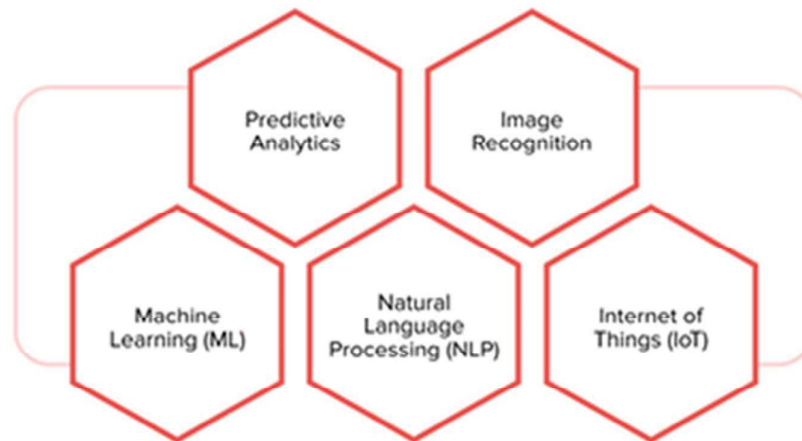
Έτσι, η αυξημένη διαφάνεια επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να έχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, να εντοπίζουν πιθανά εμπόδια και να παρακολουθούν την πρόοδο σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, διευκολύνοντας ταχύτερες και πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις. Κατά συνέπεια, η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στις εφοδιαστικές αλυσίδες όχι μόνο να αντιδρούν πιο αποτελεσματικά, αλλά και να αντιλαμβάνονται και να προσαρμόζονται προληπτικά στις αλλαγές. Αυτή η μετάβαση εντάσσεται σε μια ευρύτερη τάση ψηφιοποίησης, καθιστώντας την πλέον αναπόσπαστο μέρος και όχι συμπληρωματική τεχνολογία στον σύγχρονο, προσαρμοστικό σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Achakzai et al., 2025; Zougagh et al., 2020)

5. Ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης

Σε ένα έντονα ανταγωνιστικό περιβάλλον αγοράς, οι προμηθευτές αντιμετωπίζουν ατέρμονα προβλήματα σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης της ζήτησης της αγοράς, αναπόφευκτα προκύπτουν ελλείψεις ή υπερπροσφορά προϊόντων. Η πρόβλεψη ζήτησης αποτελεί βασικό παράγοντα που καθοδηγεί ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα, και τα χαμηλά ποσοστά σφάλματος στις προβλέψεις αποτελούν κοινό στόχο που επιδιώκεται από τον κλάδο. Με την αυξανόμενη διαφοροποίηση της ζήτησης, η δυσκολία της πρόβλεψης αυξάνεται.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από ανθρώπινους παράγοντες και στερούνται αντικειμενικής υποστήριξης δεδομένων, με αποτέλεσμα η συνολική εφοδιαστική αλυσίδα να ανταποκρίνεται με βραδύτητα στη ζήτηση της αγοράς. Προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα της πρόβλεψης ζήτησης και να ενισχυθεί η αποδοτικότητα της λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας αξιοποιείται η μηχανική μάθηση. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης παρέχει πολλαπλά οφέλη, όπως βελτιωμένο σχεδιασμό παραγωγής, στρατηγική κατανομή αποθεμάτων, μείωση κινδύνων και ανάπτυξη νέων προϊόντων. Τεχνικές

μηχανικής μάθησης, όπως τα support vector machines, τα νευρωνικά δίκτυα και τα δέντρα αποφάσεων, αξιοποιούν δεδομένα για να παράγουν πιο ακριβείς προβλέψεις και παρέχουν στις επιχειρήσεις εργαλεία για την ανάπτυξη δυναμικών πολιτικών αποθεμάτων, ώστε να ανταποκρίνονται στη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση (Εικόνα 5.1.).



Εικόνα 5.1 Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης αξιοποιούμενα για την βελτίωση της πρόβλεψης της ζήτησης στην εφοδιαστική αλυσίδα..(Kagalwala et al., 2025)

Η ενσωμάτωση της προγνωστικής ανάλυσης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει φέρει επανάσταση στην πρόβλεψη ζήτησης, ενισχύοντας την ακρίβεια, την αποδοτικότητα και την ευελιξία της διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση εκτεταμένων συνόλων δεδομένων, στην αναγνώριση προτύπων και στη δημιουργία ακριβών προβλέψεων ζήτησης. Επιπλέον, έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά εργαλεία, χάρη στην ικανότητά τους να αναγνωρίζουν πρότυπα και να βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, εφαρμόζονται όλο και περισσότερο για την αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεων. Αυτά τα μοντέλα υπερβαίνουν τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους, καθώς μπορούν να αποτυπώσουν μη γραμμικές σχέσεις και να προσαρμοστούν στις δυναμικές αλλαγές της αγοράς. (Daios et al., 2025; Kagalwala et al., 2025; Na, 2024)

5.1. Εξέλιξη της πρόβλεψης ζήτησης στις επιχειρήσεις

Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης ζήτησης συχνά υστερούν, λόγω κατακερματισμένων δεδομένων, καθυστερημένης ροής πληροφοριών και εξάρτησης από κεντρικοποιημένα συστήματα που είναι επιρρεπή σε αναποτελεσματικότητα και

σφάλματα. Οι περιορισμοί αυτοί οδηγούν συχνά σε ασυμφωνίες μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, προκαλώντας φαινόμενα υπεραποθεματοποίησης ή ελλείψεων αποθεμάτων, τα οποία συνεπάγονται σημαντικό κόστος. Επιπλέον, η έλλειψη διαφάνειας και εμπιστοσύνης στα συμβατικά συστήματα έχει ως αποτέλεσμα τα ενδιαφερόμενα μέρη να λαμβάνουν μη βέλτιστες αποφάσεις. Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης της ζήτησης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζονταν σε στατιστικές τεχνικές, λειτουργώντας υπό την παραδοχή ότι τα μελλοντικά πρότυπα ζήτησης θα αντικατοπτρίζουν τις ιστορικές τάσεις, με περιορισμένη ικανότητα ενσωμάτωσης εξωτερικών παραγόντων ή ανίχνευσης μη γραμμικών σχέσεων. Σημειώνεται σημαντική δυσκολία των παραδοσιακών μεθοδολογιών πρόβλεψης στην κατανόηση της πολυπλοκότητας της σύγχρονης καταναλωτικής συμπεριφοράς, ιδιαίτερα σε ψηφιακά περιβάλλοντα όπου οι αποφάσεις αγοράς επηρεάζονται ολοένα και περισσότερο από κοινωνικούς παράγοντες πέραν των οικονομικών, ενώ τα συμβατικά συστήματα συχνά δεν αξιοποιούν πολύτιμα δεδομένα από τα κοινωνικά μέσα, τα οποία θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων, δημιουργώντας ένα χάσμα μεταξύ της καταναλωτικής διάθεσης και των προβλέψεων ζήτησης. Αυτός ο περιορισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για προϊόντα με σύντομο κύκλο ζωής ή για εκείνα που επηρεάζονται από τάσεις της αγοράς, όπου οι έγκαιρες πληροφορίες είναι κρίσιμες.

Η εμφάνιση των τεχνολογιών μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης έχει μετασηματίσει πλήρως τις δυνατότητες πρόβλεψης της ζήτησης. Πιο συγκεκριμένα, τα έξυπνα συστήματα πρόβλεψης χρησιμοποιούν πλέον εξελιγμένους αλγόριθμους ικανούς να ανιχνεύουν πολύπλοκα πρότυπα σε πολυδιάστατα δεδομένα. Αυτές οι προηγμένες προσεγγίσεις υπερβαίνουν την απλή ανάλυση χρονοσειρών, ενσωματώνοντας ετερογενείς πηγές δεδομένων και εντοπίζοντας μη προφανείς συσχετισμούς, βελτιώνοντας συνεχώς τις προβλέψεις μέσω επαναληπτικής μάθησης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων συστημάτων πρόβλεψης είναι η ενσωμάτωση ποικίλων ροών δεδομένων. Οι οργανισμοί μπορούν να εξάγουν πληροφορίες για τον προγραμματισμό της ζήτησης, συνδυάζοντας ποσοτικά στοιχεία από πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης με ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων καταναλωτών. Η εφαρμογή αυτών των προσεγγίσεων απαιτεί προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (NLP) για τη μετατροπή μη δομημένου κειμένου σε δομημένες μεταβλητές κατάλληλες για μοντέλα πρόβλεψης. Οι επιχειρήσεις που υιοθετούν αυτές τις ολοκληρωμένες στρατηγικές αποκτούν ορατότητα σε παράγοντες ζήτησης που

παραμένουν αόρατοι στα παραδοσιακά συστήματα πρόβλεψης, επιτρέποντας την προληπτική λήψη αποφάσεων. Η μετάβαση στην πρόβλεψη σε πραγματικό χρόνο αποτελεί επίσης σημαντική πρόοδο στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τεχνολογίες βασισμένες σε πράκτορες επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση των σχετικών ροών δεδομένων και την δυναμική ενημέρωση των μοντέλων πρόβλεψης. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις παρτίδων, οι έξυπνοι πράκτορες μπορούν αυτόνομα να επεξεργάζονται νέες πληροφορίες και να προσαρμόζουν τις προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τα γρήγορης κυκλοφορίας καταναλωτικά αγαθά, όπου τα πρότυπα ζήτησης μπορεί να μεταβληθούν ταχέως λόγω προωθητικών ενεργειών, τάσεων της αγοράς ή εξωτερικών γεγονότων. Η δυνατότητα αντίχενωσης και αντίδρασης σε αυτές τις μεταβολές κατά τη διάρκεια που συμβαίνουν, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στην βελτιστοποίηση αποθεμάτων και τη διατήρηση επιπέδων εξυπηρέτησης. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης ενισχύουν τη διαχείριση αποθεμάτων και την συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας, εφαρμόζοντας προηγμένες τεχνολογίες πρόβλεψης μέσω οργανωτικής δέσμευσης στην ενσωμάτωση δεδομένων και την εκπαίδευση αλγορίθμων, αποφέροντας σημαντικά οφέλη μέσω της βελτιωμένης ακρίβειας προβλέψεων και της μείωσης του κόστους αποθεμάτων (Πίνακας 5.1.). (Barati, 2025; Verma, n.d.; Yarlagadda, n.d.)

Πίνακας 5.1 Δείκτες Απόδοσης: Εξέλιξη από τα παραδοσιακά συστήματα έως τα συστήματα πρόβλεψης που υποστηρίζονται από τεχνητή νοημοσύνη.

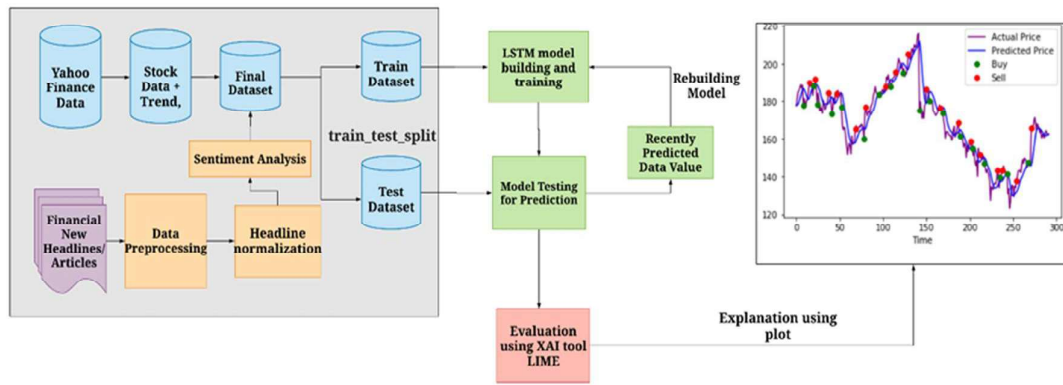
Forecasting Capability	Traditional Methods	Machine Learning Approaches	AI-Driven Systems with Social Media Integration
Pattern Recognition	Limited to linear patterns	Complex pattern detection	Multidimensional pattern analysis
External Data Integration	Minimal	Multiple data sources	Comprehensive (including social media)
Adaptation to Market Changes	Manual recalibration required	Self-improving capabilities	Continuous real-time adaptation
Early Trend Detection	Delayed (after sales impact)	Moderate	Advanced (before sales pattern changes)
Processing Type	Batch processing	Semi-automated	Real-time continuous
Human Intervention Needs	Frequent	Occasional	Minimal
Relationship Discovery	Basic correlations	Non-obvious correlations	Complex interdependencies, including social factors

5.2. Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης στις επιχειρήσεις

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη της ζήτησης και στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει γίνει μία από τις πιο αξιοσημείωτες τάσεις τα τελευταία χρόνια. Η ικανότητά της να βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων, να αυξάνει την ακρίβεια στις προβλέψεις και να βελτιστοποιεί τις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι εμφανής σε διάφορους κλάδους. Με την εμφάνιση της τεχνητής νοημοσύνης και των προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι επιχειρήσεις έχουν πλέον την δυνατότητα να αξιοποιήσουν τεράστια σύνολα δεδομένων και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, τα οποία θα οδηγήσουν σε πιο ακριβείς προβλέψεις και πιο αξιόπιστες αποφάσεις.

Η πρόβλεψη ζήτησης βασίζεται αποκλειστικά σε ιστορικά δεδομένα για υπάρχοντα προϊόντα και υπηρεσίες. Σε περιπτώσεις νέου προϊόντος ή καινοτόμου υπηρεσίας, η απουσία χρονικών καταγραφών καθιστά δύσκολη οποιαδήποτε εκτίμηση ζήτησης. Ακριβώς σε αυτές τις περιπτώσεις, η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί βιώσιμη εναλλακτική για την πρόβλεψη πωλήσεων και τον προγραμματισμό. Παράλληλα, η ανάλυση κοινωνικών μέσων, όπως η ανάλυση συναισθήματος (sentiment analysis), μπορεί να παρέχει βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς και των προτιμήσεων των πελατών, επιτρέποντας στα προγνωστικά μοντέλα να εντοπίζουν πιθανά αγορές και περιθώρια κέρδους, εντοπίζοντας μοτίβα και τάσεις σε μεγάλους όγκους δεδομένων που προηγουμένως ήταν ανιχνεύσιμα, βελτιώνεται η ακρίβεια των προβλέψεων και η συνολική επιχειρησιακή απόδοση.

Η πρόβλεψη της ζήτησης αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς επηρεάζει άμεσα τα επίπεδα αποθεμάτων, τον προγραμματισμό παραγωγής, την προμήθεια και τη λογιστική. Η βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων έχει γίνει βασικός στόχος με τα μοντέλα που βασίζονται στην TN επιτρέποντας πιο ευέλικτα, κλιμακούμενα και ανταποκρινόμενα μοντέλα πρόβλεψης, τα οποία προσαρμόζονται σε διακυμάνσεις της καταναλωτικής ζήτησης, σε οικονομικές αλλαγές και σε άλλους εξωτερικούς παράγοντες. Χρησιμοποιώντας μηχανική μάθηση και προγνωστική ανάλυση, τα συστήματα TN μπορούν συνεχώς να μαθαίνουν και να εξελίσσονται από νέα δεδομένα, βελτιώνοντας την ακρίβεια των προβλέψεων με την πάροδο του χρόνου. Καθώς οι επιχειρήσεις υιοθετούν την TN για την πρόβλεψη ζήτησης, η επίδρασή της στη λήψη αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα γίνεται ακόμη πιο έντονη. Επιπρόσθετα, βοηθά τους οργανισμούς να λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την ανθεκτικότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων επιτρέποντας καλύτερο συγχρονισμό μεταξύ παραγωγής, διαχείρισης αποθεμάτων και ζήτησης, διασφαλίζοντας ότι οι πόροι κατανέμονται με τον βέλτιστο τρόπο. Η TN μπορεί επίσης να συνδράμει στη βελτιστοποίηση της μεταφοράς και της διανομής, προβλέποντας τις καλύτερες διαδρομές, καθορίζοντας τα βέλτιστα προγράμματα παράδοσης και μειώνοντας τα κόστη μεταφοράς. Αυτό το επίπεδο βελτιστοποίησης διασφαλίζει την αποδοτική χρήση των πόρων και την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων στους πελάτες, βελτιώνοντας την εμπειρία του πελάτη και την ανταγωνιστικότητα της επιχείρησης (Εικόνα 5.2.). (Daios et al., 2025; Jones, 2025; Verma, n.d.)



Εικόνα 5.2 Ενδεικτική απεικόνιση του μοντέλου της πρόβλεψης ζήτησης μέσω της αξιοποίησης της τεχνητής νοημοσύνης. (Verma, n.d.)

5.2.1. Τεχνολογία blockchain στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις

Μία από τις πλέον ανατρεπτικές τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης είναι η τεχνολογία blockchain. Μεταξύ των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρει η τεχνολογία blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα, έχουν αναγνωριστεί η δυνατότητα παροχής διαφάνειας και αποδοτικής ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των συμμετεχόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα, καθώς και η δυνατότητα ελαχιστοποίησης των κινδύνων και της αβεβαιότητας. Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως μια μετασχηματιστική δύναμη, αναδιαμορφώνοντας διάφορους κλάδους χάρη στην ικανότητά της να παρέχει αποκεντρωμένες, διαφανείς και ασφαλείς λύσεις. Έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, αντιμετωπίζοντας βασικές προκλήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, το δυναμικό της για ενίσχυση της αποδοτικότητας και μείωση του κόστους είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Ένα από τα κρίσιμα στοιχεία της βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η ακριβής πρόβλεψη ζήτησης, η οποία επηρεάζει άμεσα τη διαχείριση αποθεμάτων, την κατανομή πόρων και τη συνολική επιχειρησιακή απόδοση. Η τεχνολογία blockchain, με την ικανότητά της να δημιουργεί ένα αμετάβλητο και κοινόχρηστο καθολικό, προσφέρει μια υποσχόμενη λύση στις προκλήσεις όπως η διαφάνεια, η ακεραιότητα των δεδομένων, η πρόληψη της απάτης και η επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα, το blockchain ενισχύει την ακρίβεια των δεδομένων, μειώνει την ασυμμετρία πληροφορίας και ενδυναμώνει την εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών. Ειδικότερα, η

τεχνολογία αυτή επιτρέπει την ιχνηλάτηση των προϊόντων σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, αποτρέποντας τον κίνδυνο απάτης.

Η παρουσία παραποιημένων προϊόντων στην αγορά αποτελεί πρόβλημα που επηρεάζει πολλούς κλάδους, όπως ο κλάδος των τροφίμων ή της μόδας· συνεπώς, χάρη στο blockchain που υποστηρίζει τις συναλλαγές, οι καταναλωτές μπορούν να επαληθεύσουν την προέλευση των συστατικών ή των πρώτων υλών και να παρακολουθήσουν ολόκληρη τη διαδρομή παραγωγής του τελικού προϊόντος. Η πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και με εγγυημένη ακεραιότητα είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη για την πρόβλεψη ζήτησης, καθώς επιτρέπει στα προγνωστικά μοντέλα να ενσωματώνουν επικαιροποιημένες και αξιόπιστες εισροές, οδηγώντας σε ακριβέστερες προβλέψεις. Πέραν της βελτίωσης της ακρίβειας των προβλέψεων, το blockchain επηρεάζει και τη δυναμική της ζήτησης καθαυτή. Η αυξημένη διαφάνεια στην εφοδιαστική αλυσίδα επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αποκτούν βαθύτερη κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς και των τάσεων της αγοράς, ενδυναμώνοντάς τες να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις διακυμάνσεις. Η εν λόγω προσαρμοστικότητα όχι μόνο μειώνει τις αναποτελεσματικότητες, αλλά βοηθά επίσης τις επιχειρήσεις να ευθυγραμμίζουν τις στρατηγικές τους με τις συνθήκες της αγοράς σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τελικά την ικανοποίηση των πελατών και μειώνοντας το κόστος.

Η αμετάβλητη κοινοποίηση δεδομένων μέσω της τεχνολογίας blockchain έχει αναδειχθεί σε σημαντικό εργαλείο σε διάφορους κλάδους για την ενίσχυση της διαφάνειας, της εμπιστοσύνης και της ακρίβειας των δεδομένων. Το βασικό χαρακτηριστικό του blockchain, δηλαδή η δημιουργία ενός ασφαλούς έναντι αλλοίωσης και διαφανούς καθολικού, επιτρέπει στους οργανισμούς να ανταλλάσσουν δεδομένα χωρίς τον κίνδυνο τροποποίησης ή παραποίησης. Στο πλαίσιο του blockchain, η αμετάβλητη κοινοποίηση δεδομένων διασφαλίζει ότι πληροφορίες όπως το ιστορικό συναλλαγών, τα επίπεδα αποθεμάτων, η ιχνηλασιμότητα προϊόντων και η κατάσταση των αποστολών δεν μπορούν να τροποποιηθούν μετά την καταγραφή τους. Οι οργανισμοί μπορούν να επωφεληθούν από την αμετάβλητη κοινοποίηση δεδομένων, για την παρακολούθηση πληροφοριών όπως οι συνθήκες συγκομιδής, οι αξιώσεις ή οι αποστολές. Η διαφάνεια και η ακρίβεια που παρέχει το blockchain επιτρέπουν την παραγωγή ακριβέστερων προβλέψεων, την βελτιστοποίηση των λειτουργιών και την μείωση των κινδύνων που σχετίζονται με σφάλματα ή δόλια δεδομένα. Η δυνατότητα

αυτή του blockchain όχι μόνο υποστηρίζει την επιχειρησιακή αποδοτικότητα, αλλά ενισχύει και την εμπιστοσύνη και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, καθιστώντας το ένα μετασχηματιστικό εργαλείο για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων. Αναλυτικότερα, στον κλάδο των logistics, πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν την τεχνολογία blockchain για την ανταλλαγή αμετάβλητων δεδομένων σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μεταφορών μπορεί να αξιοποιήσει το blockchain για την παρακολούθηση της κατάστασης των αποστολών και των αποθεμάτων. Τα δεδομένα που κοινοποιούνται μεταξύ προμηθευτών, κατασκευαστών και λιανεμπόρων είναι αμετάβλητα, διασφαλίζοντας ότι όλα τα εμπλεκόμενα μέρη έχουν πρόσβαση στις ίδιες ακριβείς και σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες. Αυτή η διαφάνεια και η ακρίβεια των δεδομένων συμβάλλουν στη βελτίωση της πρόβλεψης ζήτησης και στη μείωση των αποκλίσεων στις προβλέψεις. (Barati, 2025; Bigliardi et al., 2022)

5.2.2. Μοντέλα πρόβλεψης χρονοσειρών (Time Series Forecasting Model) στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις

Μέσω της πρόβλεψης χρονοσειρών επιδιώκεται η προβλέψη μελλοντικών τιμών αναλύοντας τις παρατηρούμενες τιμές της σειράς. Ωστόσο, τα δεδομένα χρονοσειρών ενδέχεται να παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως αυξητικές ή μειωτικές τάσεις. Ορισμένες χρονοσειρές εμφανίζουν εποχικές τάσεις, όπου οι διακυμάνσεις είναι συγκεκριμένες για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αντίθετα, άλλες χρονοσειρές δεν παρουσιάζουν εποχικότητα, όπως για παράδειγμα τα δεδομένα της χρηματιστηριακής αγοράς. Επιπλέον, τα δεδομένα χρονοσειρών μπορεί να εμφανίζουν διαφορετικά επίπεδα μεταβλητότητας.

➤ ARIMA

Το κλασικό μοντέλο πρόβλεψης χρονοσειρών είναι το αυτοπαλίνδρομο μοντέλο (Auto-Regressive – AR), το οποίο προτάθηκε από τον Βρετανό στατιστικολόγο U. Yule. Το μοντέλο AR αποτελεί αναπαράσταση μιας στοχαστικής διαδικασίας, στην οποία οι μεταβλητές εξόδου εξαρτώνται γραμμικά από τις προηγούμενες τιμές τους καθώς και από τυχαίους παράγοντες. Με βάση το κλασικό αυτό μοντέλο, προτάθηκαν και άλλα βελτιωμένα αυτοπαλίνδρομα μοντέλα, όπως το μοντέλο κινούμενου μέσου (Moving Average – MA) και το αυτοπαλίνδρομο μοντέλο κινούμενου μέσου (Autoregressive Moving Average – ARMA). Το ARMA είναι ένα μοντέλο που αξιοποιεί την εξάρτηση μεταξύ μιας παρατήρησης και ενός υπολειμματικού σφάλματος από ένα μοντέλο

κινούμενου μέσου που εφαρμόζεται σε υστερημένες παρατηρήσεις. Ωστόσο, το μοντέλο ARMA δεν είναι κατάλληλο για μη στάσιμα δεδομένα χρονοσειρών. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει διαφοροποίηση των αρχικών παρατηρήσεων προκειμένου να καταστήσει τη χρονοσειρά στάσιμη. Για τον λόγο αυτό, προτάθηκε αργότερα το μοντέλο Αυτοπαλίνδρομου Ολοκληρωμένου Κινούμενου Μέσου (Autoregressive Integrated Moving Average – ARIMA). Τα μοντέλα ARIMA έχουν αποδείξει ότι μπορούν να προβλέψουν ικανοποιητικά τις τιμές των μετοχών σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.

➤ **EWMA**

Οι μέθοδοι εκθετικά σταθμισμένου κινητού μέσου όρου (Exponentially Weighted Moving Average – EWMA) έχουν αποδειχθεί χρήσιμα εργαλεία για την αποτύπωση τέτοιων χρονικών μεταβολών με έναν λιτό και αποτελεσματικό τρόπο [20]. Έχει αποδειχθεί ότι ο εκθετικά σταθμισμένος κινητός μέσος όρος (EWMA) παρέχει καλύτερη εκτίμηση του ρυθμού άφιξης σε σύγκριση με τον απλό κινητό μέσο όρο (Simple Moving Average – SMA).

➤ **Croston's method**

Η μέθοδος Croston, η οποία εφαρμόζει την εκθετική εξομάλυνση ξεχωριστά στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μη μηδενικών ζητήσεων και στα μεγέθη τους. Στην πραγματικότητα, βασίζεται στην εκθετική εξομάλυνση και, συγκεκριμένα, περιλαμβάνει ξεχωριστή απλή εκθετική εξομάλυνση τόσο του μεγέθους της ζήτησης όσο και του χρόνου. Αποτελεί τη πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των ζητημάτων που σχετίζονται με την πρόβλεψη διαλείπουσας ζήτησης. (Zougagh et al., 2020)

5.2.3. Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης (Regression Model) στην πρόβλεψη της ζήτησης στις επιχειρήσεις

➤ **Νευρωνικά δίκτυα**

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι το Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network – ANN), το οποίο ανήκει στον τομέα της Μηχανικής Μάθησης, καθώς η Μηχανική Μάθηση αποτελεί κλάδο της Τεχνητής Νοημοσύνης που ασχολείται με τη μελέτη, την ανάπτυξη και την εφαρμογή αλγορίθμων. Συγκεκριμένα, τα ANN επιτρέπουν την αναγνώριση προτύπων μέσα από μεγάλο όγκο δεδομένων. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην πρόβλεψη ζήτησης, την τιμολόγηση, την επιλογή προμηθευτών και την πρόβλεψη

κατανάλωσης. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελεί ένα μαθηματικό εργαλείο και είναι εμπνευσμένο από τη λειτουργία του βιολογικού ανθρώπινου εγκεφάλου, όπου οι νευρώνες αποτελούν τις βασικές μονάδες επεξεργασίας. Οι βασικές αυτές μονάδες λαμβάνουν πληροφορίες στους κόμβους εισόδου, τις επεξεργάζονται εσωτερικά και παράγουν μία απόκριση στον κόμβο εξόδου. Στα νευρωνικά αυτά δίκτυα, τα επιμέρους στοιχεία («νευρώνες») οργανώνονται σε στρώματα, με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα εξόδου των νευρώνων ενός δεδομένου στρώματος να μεταβιβάζονται σε όλους τους νευρώνες του επόμενου στρώματος. Έτσι, η ροή των νευρωνικών ενεργοποιήσεων πραγματοποιείται μονοκατευθυντικά, από στρώμα σε στρώμα. Ο ελάχιστος αριθμός στρωμάτων είναι δύο, δηλαδή το στρώμα εισόδου και το στρώμα εξόδου. Επιπλέον στρώματα, γνωστά ως κρυφά στρώματα, μπορούν να προστεθούν μεταξύ του στρώματος εισόδου και του στρώματος εξόδου. Ο ρόλος των κρυφών στρωμάτων είναι η αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των νευρωνικών δικτύων. Η υπεροχή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων έχει αποδειχθεί σε πολλούς τομείς, όπως η πρόβλεψη καιρού, η πρόβλεψη πτωχεύσεων, η πρόβλεψη συναλλαγματικών ισοτιμιών, η πρόβλεψη τιμών μετοχών, η πρόβλεψη ηλεκτρικού φορτίου, η πρόβλεψη πωλήσεων αυτοκινήτων, καθώς και σε άλλες εφαρμογές. Ένα νευρωνικό δίκτυο, λόγω της μη γραμμικότητάς του και της ικανότητάς του στην προσαρμοστική επεξεργασία πληροφοριών, αποτελεί έναν από τους πιο δημοφιλείς αλγόριθμους στη σύγχρονη χρήση. Η υπεροχή των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANNs) έχει αποδειχθεί σε πολλούς τομείς, όπως η πρόβλεψη ηλεκτρικού φορτίου. Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν εύκολα να μάθουν πολύπλοκες σχέσεις και διαθέτουν ισχυρή ικανότητα λήψης αποφάσεων υπό αβέβαιες συνθήκες.

➤ **Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης (Support Vector Machine – SVM)**

Η Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης (SVM), ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης, εφευρέθηκε από τον Vapnik το 1998. Η ανθεκτική απόδοσή της σε περιορισμένα, αραιά και θορυβώδη δεδομένα την καθιστά ευρέως χρησιμοποιούμενη σε πολλές εφαρμογές, όπως αναγνώριση προσώπων, ταξινόμηση και πρόβλεψη παλινδρόμησης. Το μοντέλο SVM έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για πρόβλεψη ταξινόμησης της ικανότητας αεροδρομίων. Αν και οι SVM προτάθηκαν αρχικά για την επίλυση γραμμικών προβλημάτων ταξινόμησης, μπορούν να εφαρμοστούν σε μη γραμμικές συναρτήσεις απόφασης χρησιμοποιώντας την τεχνική της λεγόμενης συνάρτησης πυρήνα (kernel function).

➤ Δέντρο Απόφασης (Decision Tree)

Το δέντρο απόφασης είναι ένας αλγόριθμος εξόρυξης δεδομένων που χρησιμοποιείται ευρέως τόσο για προβλήματα ταξινόμησης όσο και για προβλήματα παλινδρόμησης. Αρχικά, το δέντρο απόφασης προτάθηκε για την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης και στη συνέχεια επεκτάθηκε για να δημιουργηθεί δέντρο παλινδρόμησης, ικανό να υποστηρίξει ανάλυση παλινδρόμησης και ταξινόμηση. Το δέντρο απόφασης κατασκευάζει μοντέλα ταξινόμησης με τη μορφή δέντρων. Κάθε εσωτερικός κόμβος στο δέντρο αντιπροσωπεύει μία από τις εισαγωγικές μεταβλητές και έχει έναν αριθμό κλάδων ίσο με τον αριθμό των πιθανών τιμών αυτής της μεταβλητής. Κάθε φύλλο (leaf node) κρατά την τιμή του στόχου (target attribute). Το φύλλο αντιπροσωπεύει την απόφαση που λαμβάνεται με βάση τις τιμές των εισαγωγικών μεταβλητών από τη ρίζα έως το φύλλο. Τα δέντρα αποφάσεων, είναι αποτελεσματικά στον εντοπισμό πολύπλοκων διαδικασιών λήψης αποφάσεων και στην πρόβλεψη αποτελεσμάτων βάσει διαφόρων μεταβλητών εισόδου. (Bigliardi et al., 2022; Zougagh et al., 2020)

5.3. Προκλήσεις υιοθέτησης της τεχνητής νοημοσύνης στην πρόβλεψη ζήτησης στις επιχειρήσεις

Η χρήση της πρόβλεψης ζήτησης εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις. Η ποιότητα και η διαθεσιμότητα των δεδομένων παραμένουν σημαντικά εμπόδια, καθώς τα ανακριβή ή ελλιπή δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες προβλέψεις. Λανθασμένα, ελλιπή ή μεροληπτικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε εσφαλμένες προβλέψεις, επηρεάζοντας τελικά την συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, η ορθή και πλήρης ερμηνεία των πολύπλοκων μοντέλων TN εξακολουθεί να αποτελεί ζήτημα, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη τεχνικών επεξήγησης της τεχνητής νοημοσύνης (Explainable AI – XAI) για την ενίσχυση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης. Η επιτυχημένη υλοποίησή απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογία, υποδομές και εξειδίκευση. Πολλές οργανώσεις αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ενσωμάτωση της TN με τα υπάρχοντα συστήματα τους, τα οποία μπορεί να μην είναι συμβατά με τις προηγμένες λύσεις. Αυτά τα τεχνικά και λειτουργικά εμπόδια επιδεινώνονται περαιτέρω από την αντίσταση στην αλλαγή ορισμένων εμπλεκόμενων, οι οποίοι μπορεί να διστάζουν να εμπιστευτούν συστήματα βασισμένα στην TN σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους πρόβλεψης.

Παρά αυτές τις προκλήσεις, η αυξανόμενη υιοθέτηση της TN στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας υποδηλώνει ότι τα οφέλη υπερτερούν των εμποδίων, ιδιαίτερα καθώς οι οργανισμοί συνεχίζουν να αναπτύσσουν πιο ανθεκτικές πρακτικές διαχείρισης δεδομένων και να βελτιώνουν την τεχνολογική τους υποδομή. Η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης στην προγνωστική ανάλυση έχει βελτιώσει σημαντικά την πρόβλεψη ζήτησης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα προηγμένα αλγοριθμικά μοντέλα, σε συνδυασμό με τα μεγάλα δεδομένα (big data), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), έχουν αυξήσει την ακρίβεια και την προσαρμοστικότητα των προβλέψεων. Οι μελλοντικές εξελίξεις στα υβριδικά μοντέλα και στην ενσωμάτωση του blockchain αναμένεται να βελτιστοποιήσουν περαιτέρω τις λειτουργίες της SCM. (Kagalwala et al., 2025)

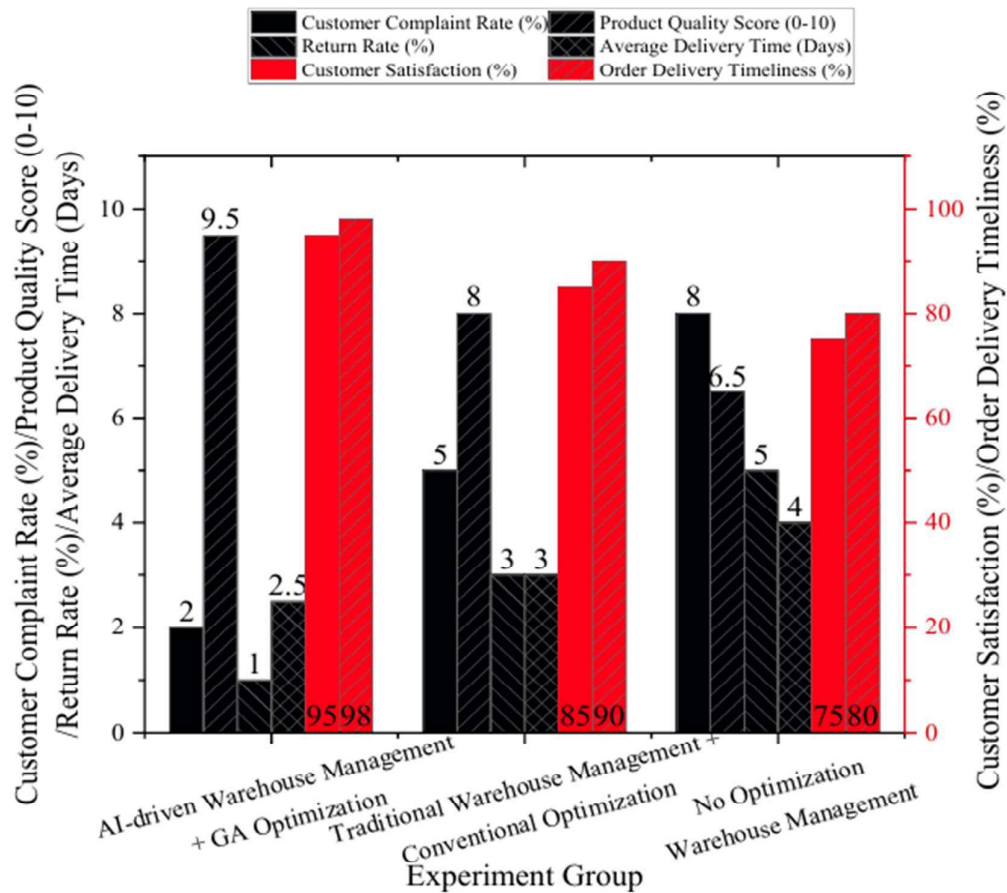
6. Η τεχνητή νοημοσύνη στην διαχείριση αποθεμάτων

Με την ταχεία ανάπτυξη της παγκοσμιοποίησης και της τεχνολογίας της πληροφορίας, η διαχείριση αποθηκών, ως κρίσιμος κρίκος στην εφοδιαστική αλυσίδα, έχει καταστεί όλο και πιο σημαντική, σε συνδυασμό με την ενίσχυση της στρατηγικής θέσης του κλάδου αποθήκευσης, έχουν οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη του μεγέθους της αγοράς της ευφυούς αποθήκευσης. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η διαχείριση αποθεμάτων και το σχετικό κόστος, καθώς τα πρότυπα ζήτησης μεταβάλλονται για να εξυπηρετήσουν διαφορετικές ανάγκες.

Τα συστήματα που τροφοδοτούνται από AI μπορούν να βελτιστοποιούν τα αποθέματα λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ζήτηση, το κόστος αποθήκευσης, ο χρόνος παράδοσης και ακόμη και οι περιορισμοί της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ενσωμάτωση της TN στη διαχείριση αποθεμάτων προσφέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των ελλείψεων, η ελαχιστοποίηση των πλεοναζόντων αποθεμάτων, οι στρατηγικές εκπτώσεις εκκαθάρισης και η βελτίωση των περιθωρίων κέρδους. Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης παρέχουν νέους και καινοτόμους τρόπους αντιμετώπισης των προκλήσεων στον έλεγχο και τον προγραμματισμό αποθεμάτων, ανιχνεύοντας πρότυπα που είναι αόρατα στο ανθρώπινο μάτι. Η αυτοματοποίηση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα των αποθηκών, η οποία είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το έξυπνο σύστημα λήψης αποφάσεων για τη διαχείριση αποθηκών βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη έχει γίνει

προϊόν της εποχής μας. Η πρόβλεψη ζήτησης με υποστήριξη τεχνητής νοημοσύνης βοηθά τις επιχειρήσεις να διατηρούν βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων, προβλέποντας τις διακυμάνσεις της καταναλωτικής ζήτησης μέσω της εξόρυξης και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων αποθήκης, παρέχοντας ισχυρή υποστήριξη για την ευφυή ανάπτυξη ολόκληρης της εφοδιαστικής βιομηχανίας.

Η βελτιστοποίηση των αποθεμάτων αποτελεί βασική λειτουργία της διαχείρισης της σύγχρονης εφοδιαστικής αλυσίδας, έχοντας άμεσο αντίκτυπο στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα και την ικανοποίηση των πελατών, ενώ το κόστος αποθήκευσης αντιστοιχεί σχεδόν στο ένα τρίτο του συνολικού κόστους εφοδιαστικής μιας επιχείρησης, και η αποδοτικότητα της διαχείρισής του επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα απόκρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και την ικανοποίηση των πελατών. Ενδεικτικά, σε σχετική μελέτη που πραγματοποιήθηκε, προέκυψε ότι η έγκαιρη παράδοση των παραγγελιών φτάνει το 98%, διασφαλίζοντας ότι οι περισσότεροι πελάτες λαμβάνουν τα προϊόντα τους εγκαίρως, γεγονός που αντανακλά την υψηλή αποδοτικότητα της διαχείρισης αποθήκης. Επιπλέον, η βαθμολογία ποιότητας προϊόντων είναι 9,5, υποδεικνύοντας ότι η ποιότητα των προϊόντων αξιολογείται ιδιαίτερα θετικά από τους πελάτες και συμβάλλει περαιτέρω στη συνολική ικανοποίησή τους. Η ικανοποίηση πελατών ανέρχεται στο 95%, η υψηλότερη μεταξύ όλων των ομάδων, γεγονός που καταδεικνύει τις εξαιρετικές δυνατότητες διαχείρισης αποθήκης και συντονισμού της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το ποσοστό παραπόνων πελατών είναι χαμηλό, μόλις 2%, υποδεικνύοντας περιορισμένη δυσαρέσκεια ως προς την εξυπηρέτηση και την ποιότητα των προϊόντων. Ο μέσος χρόνος παράδοσης είναι μόνο 2,5 ημέρες, αποδεικνύοντας ταχύτερη παράδοση και σημαντική μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών. Παράλληλα, το ποσοστό επιστροφών είναι 1%, το χαμηλότερο μεταξύ όλων των ομάδων. (Εικόνα 6.1.).

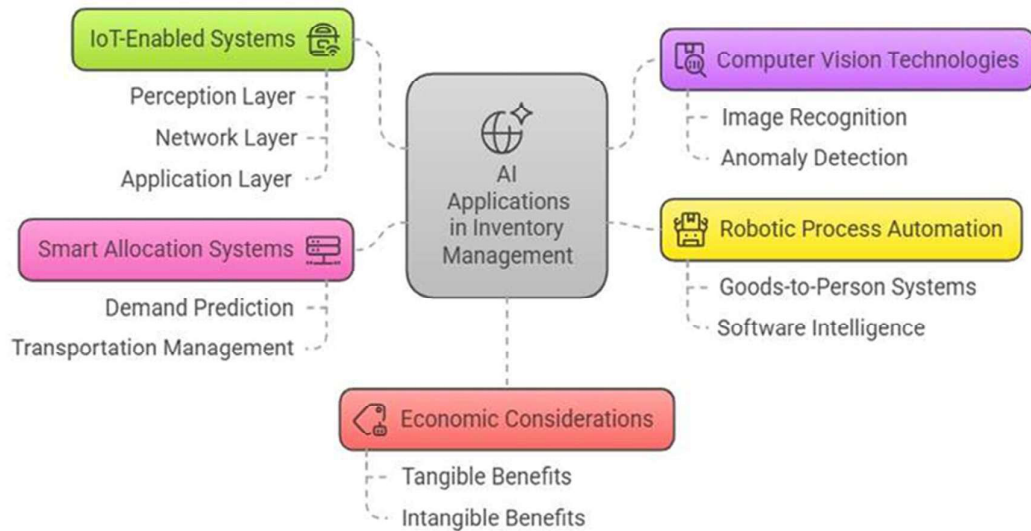


Διάγραμμα 6.1 Σύγκριση βασικών δεικτών απόδοσης διαχείρισης αποθήκης (ικανοποίηση πελατών, ποιότητα προϊόντων, χρόνος και έγκαιρη παράδοση, ποσοστό παραπόνων και επιστροφών) μεταξύ διαφορετικών μεθόδων διαχείρισης αποθήκης.(Mao, 2025)

Η σημασία του ευφυούς συστήματος υποστήριξης αποφάσεων στη διαχείριση αποθήκης δεν περιορίζεται μόνο στη βελτίωση των οικονομικών οφελών των επιχειρήσεων, αλλά προωθεί επίσης τη μετατροπή και αναβάθμιση ολόκληρης της εφοδιαστικής βιομηχανίας. Μέσω του ευφυούς συστήματος, οι επιχειρήσεις μπορούν να επιτύχουν βέλτιστη κατανομή των αποθηκευτικών πόρων, παρακολούθηση της κατάστασης των αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο και ταχεία ανταπόκριση σε έκτακτες καταστάσεις. Το σύστημα μπορεί επίσης να παρέχει υποστήριξη λήψης αποφάσεων βασισμένη σε δεδομένα, ώστε οι επιχειρήσεις να εφαρμόζουν λεπτομερή διαχείριση και επιστημονική λήψη αποφάσεων. Η εύρεση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ επαρκούς αποθέματος για την κάλυψη της ζήτησης και αποφυγής υπερβολικής αποθεματοποίησης αποτελεί διαχρονικό πρόβλημα για τις επιχειρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, η υπερβολική αποθεματοποίηση συνεπάγεται υψηλά κόστη διατήρησης, όπως έξοδα αποθήκευσης,

απόσβεση και πιθανή απαξίωση προϊόντων. Αντίθετα, η ανεπαρκής διαθεσιμότητα αποθεμάτων οδηγεί σε ελλείψεις, καθυστερημένες παραδόσεις και απώλειες πωλήσεων.

Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης αποθεμάτων βασίζονται συνήθως σε σταθερούς κανόνες ή μέσους όρους του παρελθόντος, οι οποίοι μπορεί να αποδειχθούν αναποτελεσματικοί σε ταχέως μεταβαλλόμενες αγορές. Η χειροκίνητη διαχείριση αποθήκης δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις υψηλές απαιτήσεις απόδοσης, κόστους και ακρίβειας των σύγχρονων επιχειρήσεων. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να συλλέγουν και να επεξεργάζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων από διάφορες πηγές, αναγνωρίζοντας πρότυπα και προβλέποντας διακυμάνσεις και την ζήτηση αποθεμάτων τόσο σε μακροεπίπεδο όσο και σε μικροεπίπεδο. Στη διαχείριση αποθήκης, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επεξεργάζονται με ευφυή τρόπο τα δεδομένα της αποθήκης. Η TN αναλύει και προβλέπει τα ιστορικά δεδομένα πωλήσεων για την επίτευξη ακριβούς ελέγχου των αποθεμάτων, μέσω αυτών των δεδομένων, καθίσταται εφικτή μία πιο στρατηγική λήψη αποφάσεων, όπως τότε να πραγματοποιηθεί αναπλήρωση, ποια ποσότητα να αποθηκευτεί και πού να επενδυθούν οι πόροι σε ολόκληρο το δίκτυο εφοδιασμού. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης δεν είναι στατικοί, βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου και εκπαιδεύονται με νέα δεδομένα και αποτελέσματα, οι προβλέψεις τους γίνονται όλο και πιο ακριβείς, επιτρέποντάς την συνεχή προσαρμογή σε πραγματικά γεγονότα. Η ικανότητα προσαρμογής τους καθιστά τα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη ιδιαίτερα χρήσιμα σε περιόδους αβεβαιότητας, όπως κατά τη διάρκεια παγκόσμιων διαταραχών στην εφοδιαστική αλυσίδα ή οικονομικής ύφεσης. Η τεχνητή νοημοσύνη, μέσω της αυτόματης λήψης αποφάσεων αναπλήρωσης και την βελτιστοποίηση των επιπέδων αποθεμάτων εκ των προτέρων, συμβάλλει στην μείωση της σπατάλης στις επιχειρήσεις, στην εξοικονόμηση κόστους και στην διασφάλιση των υπηρεσιών, οδηγώντας τελικά σε μια πιο ευέλικτη και ανθεκτική εφοδιαστική αλυσίδα (Εικόνα 6.2.).(Achakzai et al., 2025; Kagalwala et al., 2025; Mao, 2025; Verma, n.d.; Yarlagadda, n.d.; Zhang et al., 2025)



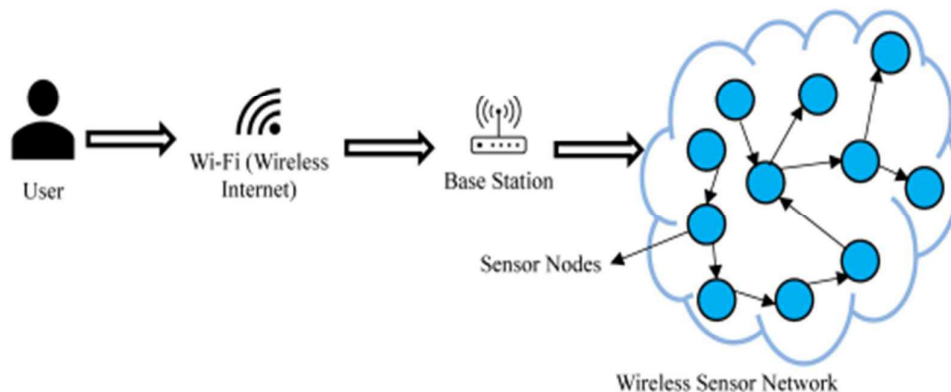
Εικόνα 6.1 Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση αποθεμάτων στην εφοδιαστική αλυσίδα.(Yarlagadda, n.d.)

6.1. Έξυπνα συστήματα κατανομής στην διαχείριση αποθεμάτων

Η ευφυής διαχείριση αποθήκης, ως ένα προηγμένο μοντέλο διαχείρισης αποθήκευσης, έχει ως κεντρικό στοιχείο τη χρήση τεχνολογιών έχουν ως στόχο την αυτοματοποίηση, την ευφυΐα και την αποδοτικότητα της διαχείρισης αποθήκης. Τα έξυπνα συστήματα κατανομής έχουν μεταμορφώσει τη διανομή αποθεμάτων σε δίκτυα ηλεκτρονικού εμπορίου με πολλαπλές τοποθεσίες. Τα στοιχεία δείχνουν ότι τα παραδοσιακά μοντέλα διανομής, τα οποία βασίζονται σε σταθερούς κανόνες κατανομής, αποτυγχάνουν να ανταποκριθούν στην πολυπλοκότητα των σύγχρονων συστημάτων λιανικής.

Οι βασικοί κρίκοι της διαχείρισης αποθήκης περιλαμβάνουν την εισερχόμενη και εξερχόμενη ροή αγαθών, την καταμέτρηση αποθεμάτων και άλλα. Η αποδοτικότητα της αποθήκευσης, η ακρίβεια των αποθεμάτων και ο έλεγχος κόστους αποτελούν τα πλέον σημαντικά ζητήματα. Στον κρίκο της εισερχόμενης αποθήκευσης εισάγεται η τεχνολογία αυτοματοποιημένης αναγνώρισης, χρησιμοποιώντας σάρωση γραμμωτού κώδικα για την ταχεία και ακριβή καταγραφή των στοιχείων των προϊόντων. Στον κρίκο της εξερχόμενης αποθήκευσης, ο ευφυής αλγόριθμος προγραμματισμού σχεδιάζει αυτόματα την βέλτιστη διαδρομή και σειρά εξόδου των προϊόντων βάσει των πληροφοριών παραγγελίας και της κατάστασης των αποθεμάτων. Αυτό όχι μόνο μειώνει το κόστος αποστολής, αλλά εξασφαλίζει και την έγκαιρη και ακριβή παράδοση των προϊόντων στους πελάτες.

Παράλληλα, σημαντική είναι η συμβολή των ασύρματων δικτύων αισθητήριων (WIRELESS Sensor Networks - WSN), τα οποία αποτελούν έναν κοινό τύπο υποκείμενης τεχνολογίας δικτύου. Τα WSN αποτελούνται από πολλούς κόμβους μικροαισθητήρων που διαθέτουν περιορισμένες δυνατότητες επικοινωνίας, αποθήκευσης και επεξεργασίας. Οι συνδεδεμένοι κόμβοι μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω οποιουδήποτε καναλιού, είτε άμεσα είτε μέσω καθιερωμένων πρωτοκόλλων. Λόγω της αρχιτεκτονικής τους χωρίς προκαθορισμένη δομή, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν πολλούς ανεξάρτητους κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με ποικίλους τρόπους. Καθώς η τοπολογία του δικτύου είναι ευέλικτη, οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο δίκτυο. Σε αντίθεση με τις παθητικές τοπολογίες, τα WSN είναι ενεργά αυτο-οργανούμενα. Επειδή η δικτύωση WSN δεν απαιτεί τη χρήση καλωδίων, μπορεί να εφαρμοστεί σε περιβάλλοντα όπως κατοικίες και γραφεία, όπου η εγκατάσταση ενός ενσύρματου δικτύου θα ήταν διαφορετικά υπερβολικά δαπανηρή. Τα WSN βασίζονται σε μεθόδους ραδιοεπικοινωνίας, όπως και οι διαχειριστές τους. Η προστασία ευαίσθητων πληροφοριών αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς, ενώ η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ενεργειακή απόδοση των κόμβων και του δικτύου. Λόγω της ευελιξίας τους, οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλα περιβάλλοντα. Τα χαρακτηριστικά αυτά προσφέρουν μια δυναμική προσέγγιση για την ανίχνευση και διαχείριση λειτουργιών όπως η ισχύς, η επικοινωνία και η επεξεργασία, ενώ μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα. Οι εφαρμογές απαιτούν πολλαπλά επίπεδα διαχείρισης, παρακολούθησης και εντοπισμού λόγω της ποικιλόμορφης φύσης των δικτύων. Η αρχιτεκτονική ενός WSN για τη διαχείριση αποθεμάτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.3..



Εικόνα 6.2 Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής των ασύρματων δικτύων αισθητηρίων για την διευκόλυνση της διαχείρισης των αποθεμάτων.(Kotru and Batra, 2024)

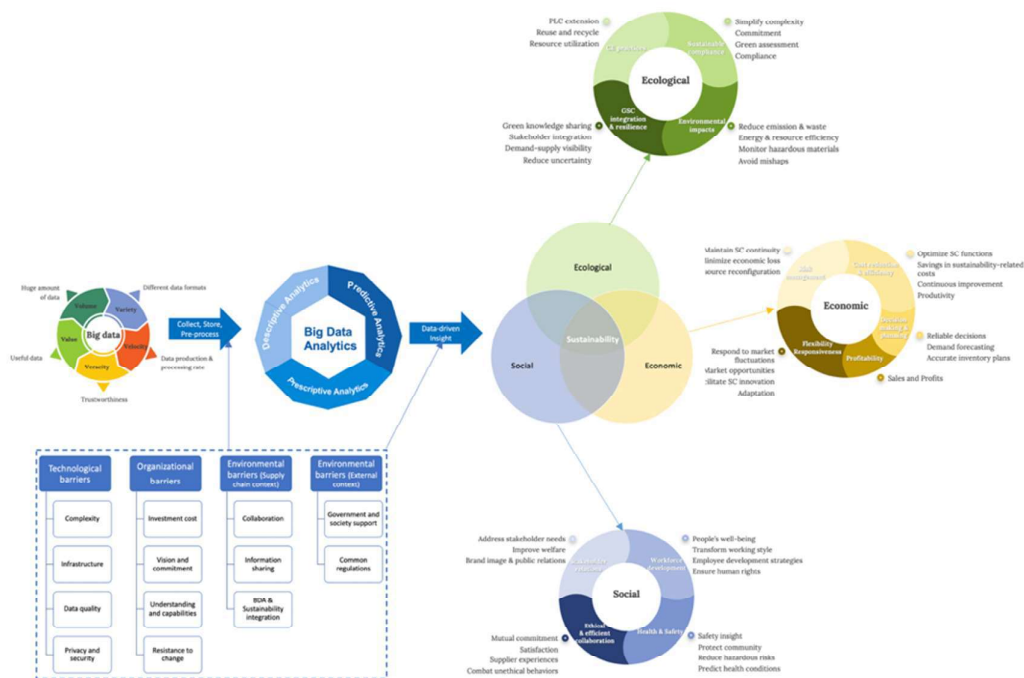
Οι λειτουργίες ηλεκτρονικού εμπορίου απαιτούν πλέον ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των αποθεμάτων μεταξύ κέντρων εκτέλεσης παραγγελιών, φυσικών καταστημάτων και «dark stores», ώστε να διασφαλίζεται η αποδοτική εκτέλεση παραγγελιών από οποιοδήποτε κανάλι. Τα έξυπνα συστήματα κατανομής αξιολογούν συνεχώς τις βέλτιστες πηγές εκτέλεσης παραγγελιών, λαμβάνοντας υπόψη τα επίπεδα αποθεμάτων, τα έξοδα μεταφοράς, τα υποσχόμενα χρονικά πλαίσια παράδοσης και τους περιορισμούς χωρητικότητας. Η μελέτη δείχνει ότι η αποτελεσματική κατανομή βασίζεται ολόενα και περισσότερο στην τεχνητή νοημοσύνη, η οποία προβλέπει πρότυπα ζήτησης σε λεπτομερές, τοπικό επίπεδο, επιτρέποντας τον προληπτικό προγραμματισμό της τοποθέτησης των αποθεμάτων πριν από τις αναμενόμενες πωλήσεις. Αυτή η προγνωστική ικανότητα αποδεικνύεται ιδιαίτερα πολύτιμη για τη διαχείριση εποχικών μεταβάσεων και προωθητικών ενεργειών που δημιουργούν αιχμές στη ζήτηση. (Kotru and Batra, 2024; Yarlagadda, n.d.; Zhang et al., 2025)

6.1.1. Big Data

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και η προγνωστική ανάλυση (BDPA) αποτελούν εξαιρετικά εργαλεία για τη μεγιστοποίηση της επιχειρησιακής αξίας και τη βελτίωση της επιχειρηματικής απόδοσης. Αυτά τα μεγάλα δεδομένα είναι κρίσιμα για τις εφοδιαστικές αλυσίδες, καθώς επιτρέπουν τον εντοπισμό των βαθύτερων αιτιών προβλημάτων για συνεχή βελτίωση και τη μέτρηση της απόδοσης. Ωστόσο, τα δεδομένα αυτά είναι πολύπλοκα, δομημένα και μη δομημένα, και απαιτούν προηγμένες τεχνικές για την αποθήκευση, ανάλυση και εξαγωγή ουσιαστικών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, ώστε να υποστηρίζονται καλύτερες αποφάσεις.

Συνεπώς, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics – BDA) διαδραματίζει καίριο ρόλο και έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη στρατηγική προμήθεια, στον σχεδιασμό δικτύων, στον προγραμματισμό, στα logistics, στην ευελιξία και στη βιωσιμότητα ενισχύοντας τη διαφάνεια, την ολοκλήρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη συνεργασία. Παράλληλα, επιτρέπει τον εντοπισμό μη βιώσιμων τμημάτων και μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας, ώστε να λαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων περιλαμβάνει τόσο τα «μεγάλα δεδομένα» όσο και τις αναλυτικές διαδικασίες για την εξαγωγή ουσιαστικών γνώσεων. Τα μεγάλα δεδομένα είναι ευρέως γνωστά για τα χαρακτηριστικά των «5V»: όγκος (volume), ποικιλία (variety), ταχύτητα (velocity), αξιοπιστία (veracity) και αξία (value). Μεγάλοι όγκοι δεδομένων παράγονται συνεχώς από διαφορετικές βάσεις δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, που προέρχεται από τις παραδοσιακές μεθόδους ανάλυσης δεδομένων, χρησιμοποιεί εξελιγμένες στατιστικές τεχνικές σε τρία επίπεδα ανάλυσης: περιγραφική, προγνωστική και κανονιστική (prescriptive). Η περιγραφική ανάλυση εφαρμόζεται στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων για την εξαγωγή γνώσεων και προτύπων με σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης. Η προγνωστική ανάλυση αξιοποιεί σύνθετους στατιστικούς αλγορίθμους για την ακριβή πρόβλεψη μελλοντικών γεγονότων, ενώ η κανονιστική ανάλυση παρέχει εισροές για αποτελεσματική λήψη αποφάσεων, όπως η βελτιστοποίηση και η προσομοίωση (Εικόνα 6.4.).



Εικόνα 6.3 Σχηματική απεικόνιση του ολοκληρωμένου πλαισίου της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και προγνωστικής ανάλυσης, που συνδέει τα χαρακτηριστικά των μεγάλων δεδομένων (5V: όγκος, ποικιλία, ταχύτητα, αξιοπιστία, αξία) με τα τρία επίπεδα ανάλυσης (περιγραφική, προγνωστική, κανονιστική) και την εφαρμογή τους στη λήψη αποφάσεων, τη βελτίωση της απόδοσης και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Huong et al., 2025)

Η αναδυόμενη αυτή τεχνολογία έχει υιοθετηθεί ευρέως σε διάφορους κλάδους για τη βελτίωση της απόδοσης και της ανταγωνιστικότητας των εφοδιαστικών αλυσίδων. Στη βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη αποδόσεων παραγωγής και την αξιολόγηση και πρόβλεψη κινδύνων που σχετίζονται με την ασφάλεια τροφίμων, με στόχο την αποτελεσματική εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού. Στο λιανεμπόριο, αξιοποιείται για την πρόβλεψη παραγγελιών βάσει των αναγκών των πελατών, την αυτοματοποίηση των ροών αγαθών και την έγκαιρη ειδοποίηση για ελλείψεις. Όσον αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα φαρμάκων, η χρήση ανάλυσης μεγάλων δεδομένων σε δεδομένα κοινωνικών μέσων επιτρέπει στους οργανισμούς να εντοπίζουν κρυφά προβλήματα για ανάλυση βασικών αιτιών, όπως χαμηλής ποιότητας εμπορικά σήματα, έλλειψη εμπιστοσύνης και αδιάκριτη πώληση φαρμάκων. Στο μεταποιητικό περιβάλλον, συμβάλει στον εντοπισμό ανωμαλιών και στην προγνωστική συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα διακριτικά χαρακτηριστικά των μεγάλων δεδομένων, όπως όγκος, ταχύτητα, ποικιλία, ακρίβεια και αξία, για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των εφοδιαστικών τους αλυσίδων.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της TN στην ποσοτικοποίηση και παραγωγή πληροφοριών μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στην ανάπτυξη νέων προϊόντων. Η υιοθέτηση τεχνολογιών μεγάλων δεδομένων έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως η βελτίωση της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η δημιουργία βιώσιμων αλυσίδων και η αντιμετώπιση προκλήσεων κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, οι βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει σε επίπεδο εφοδιαστικής αλυσίδας αφορούν τη διακυβέρνηση και συμμόρφωση, την ενσωμάτωση και συνεργασία, τις πληροφορίες, τις IT ικανότητες, την κυβερνοασφάλεια και την υποδομή. Οι μελλοντικές τάσεις σε αυτόν τον τομέα θα επικεντρωθούν στην εύρεση λύσεων για αυτά τα τέσσερα κύρια ζητήματα, ώστε η BDA να αυξήσει την αξία της εφοδιαστικής αλυσίδας για την εταιρεία. (Huong et al., 2025; Zhang et al., 2024)

6.2. Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) στην διαχείριση αποθεμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων που είναι ψηφιακά συνδεδεμένα με σκοπό την ανίχνευση, την παρακολούθηση και την αλληλεπίδραση τόσο εντός μιας επιχείρησης όσο και μεταξύ της επιχείρησης και της εφοδιαστικής της αλυσίδας, επιτρέποντας ευελιξία, ορατότητα, ιχνηλασιμότητα και ανταλλαγή πληροφοριών, ώστε να διευκολύνεται ο έγκαιρος σχεδιασμός, ο έλεγχος και ο συντονισμός των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαχείριση αποθεμάτων έχει υποστεί μια βαθιά μεταμόρφωση μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, παρέχοντας παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και ορατότητα στα επίπεδα αποθεμάτων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ικανό να επηρεάσει την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας με διάφορους τρόπους. Οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων επιτρέπουν απρόσκοπτες αλληλεπιδράσεις τόσο μεταξύ συσκευών (device-to-device) όσο και μεταξύ ανθρώπων και συσκευών (human-to-device) βελτιώνοντας την αξιοπιστία της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, την ανταλλαγή πληροφοριών και την ορατότητας των αντικειμένων, συμβάλλοντας στη μείωση των λειτουργικών κοστών που προκύπτουν από τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας ενώ παράλληλα επιτρέπει την αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων μέσω της παρακολούθησης της ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αυξάνει την ευελιξία της εφοδιαστικής αλυσίδας διευκολύνοντας τη ροή των πληροφοριών.

Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές IoT, συλλέγουν συνεχώς δεδομένα σχετικά με την κατάσταση των αποθεμάτων (π.χ. επίπεδα αποθέματος, τοποθεσία και συνθήκες) και αποστέλλουν αυτά τα δεδομένα σε πλατφόρμες που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη. Τα συστήματα διαχείρισης αποθηκών βασισμένα στο IoT, επαναπροσδιορίζουν θεμελιωδώς τις διαδικασίες ελέγχου αποθεμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθείται μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων, η οποία περιλαμβάνει ένα επίπεδο αντίληψης (perception layer), που χρησιμοποιεί ετικέτες αναγνώρισης μέσω ραδιοσυχνότητας (RFID), αισθητήρες και συσκευές συλλογής δεδομένων, ένα δικτυακό επίπεδο (network layer), που διευκολύνει τη μετάδοση των δεδομένων, και ένα επίπεδο εφαρμογών (application layer), το οποίο υποστηρίζει τη λήψη έξυπνων αποφάσεων.

Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία για την αυτόματη αναγνώριση και παρακολούθηση ετικετών που είναι προσαρτημένες σε αντικείμενα. Οι ετικέτες αποθηκεύουν πληροφορίες σε ηλεκτρονική μορφή και μπορούν να αναγνωσθούν χωρίς φυσική επαφή, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμες σε ποικίλες εφαρμογές αναγνώρισης. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση δημιουργεί πρωτοφανή ορατότητα στις κινήσεις των αποθεμάτων σε όλη τη διάρκεια των λειτουργιών της αποθήκης. Τα ευρήματα δείχνουν ότι τα παραδοσιακά συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων λειτουργούν με περιορισμένη επίγνωση σε πραγματικό χρόνο, βασιζόμενα κυρίως σε περιοδικές καταμετρήσεις και χειροκίνητες διαδικασίες επαλήθευσης, οι οποίες αναπόφευκτα εισάγουν σφάλματα και καθυστερήσεις. Αντίθετα, τα συστήματα αποθεμάτων που βασίζονται στο IoT διατηρούν συνεχή επίγνωση της θέσης και κατάστασης των αποθεμάτων, επιτρέποντας δυναμική και άμεση βελτιστοποίηση. Ωστόσο, η ταχεία αύξηση του αριθμού των συσκευών IoT έχει οδηγήσει σε άνοδο των επιθέσεων κυβερνοασφάλειας, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στους οργανισμούς. Η διαχείριση της ασφάλειας στο IoT είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της δυναμικής φύσης των συνδέσεων των συσκευών και των περιορισμών σε υπολογιστικούς και ενεργειακούς πόρους. Παρά την προβλεπόμενη ανάπτυξη της αγοράς ασφάλειας IoT, πολλοί οργανισμοί στερούνται αποτελεσματικών στρατηγικών ασφάλειας, γεγονός που τους καθιστά ευάλωτους. Συγκεκριμένα, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αντιμετωπίζει σημαντικούς κινδύνους από κυβερνοτρομοκρατία, κακόβουλο λογισμικό και κλοπή δεδομένων. Για τον περιορισμό αυτών των κινδύνων, συνήθη μέτρα κυβερνοασφάλειας περιλαμβάνουν την προμήθεια εξοπλισμού αποκλειστικά από

αξιόπιστους προμηθευτές και την αποσύνδεση κρίσιμων μηχανημάτων από εξωτερικά δίκτυα. (Bigliardi et al., 2025, 2022; Yarlagadda, n.d.)

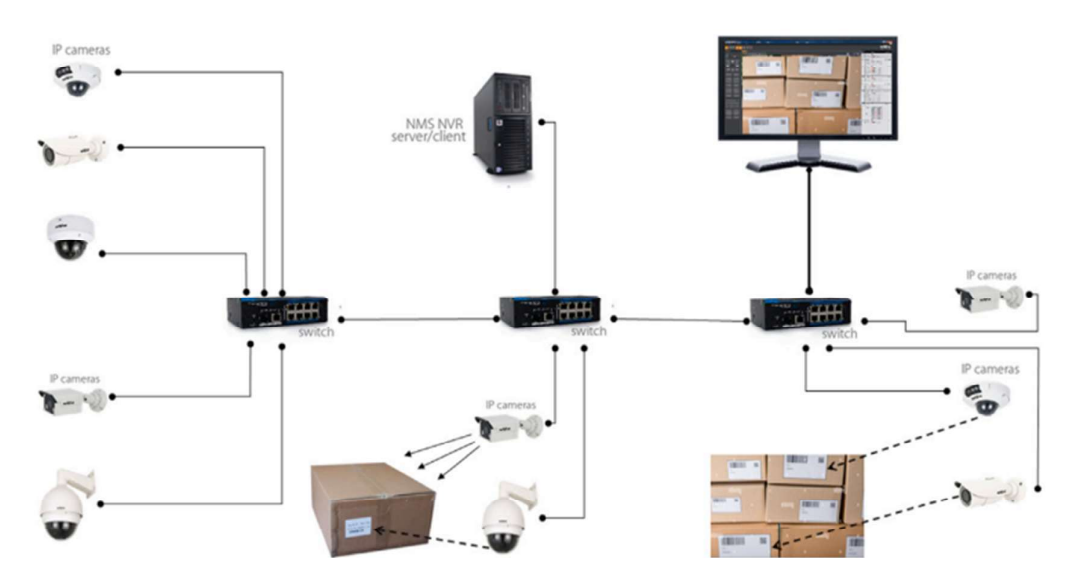
6.3. Συστήματα όρασης υπολογιστή στην διαχείριση αποθεμάτων

Οι τεχνολογίες όρασης υπολογιστή (computer vision) έχουν αναδειχθεί σε ισχυρά εργαλεία για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ακρίβειας στις αποθήκες, στο πλαίσιο των έξυπνων συστημάτων logistics. Τα συστήματα όρασης υπολογιστή αντιπροσωπεύουν μια σημαντική εξέλιξη πέρα από τις παραδοσιακές τεχνολογίες γραμμωτού κώδικα ή RFID, καθώς επιτρέπουν επαφή, χωρίς παρακολούθηση των δραστηριοτήτων της αποθήκης από πολλαπλές οπτικές γωνίες ταυτόχρονα.

Οι κάμερες και οι διακομιστές (servers) αποτελούν βασικό υλικό εξοπλισμό με τους ερευνητές να τεκμηριώνουν εφαρμογές όπου κάμερες τοποθετημένες στην οροφή παρακολουθούν συνεχώς τις θέσεις αποθήκευσης, ανιχνεύοντας αποκλίσεις μεταξύ του φυσικού αποθέματος και των εγγραφών του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι κάμερες, τοποθετημένες στρατηγικά σε κρίσιμα σημεία της αποθήκης, καταγράφουν λεπτομερείς εικόνες του αποθέματος. Η επιλογή των καμερών πραγματοποιείται βάσει πολλών κριτηρίων που είναι καθοριστικά για τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος όρασης. Συχνά, επιλέγονται κάμερες υψηλής ανάλυσης, ικανές να καταγράφουν εικόνες ανάλυσης 1080p ή υψηλότερης, λόγω της δυνατότητάς τους να αναγνωρίζουν λεπτομέρειες στις ετικέτες των προϊόντων και μοναδικά χαρακτηριστικά που είναι κρίσιμα για την ακριβή αναγνώριση προτύπων, διασφαλίζοντας ότι ακόμη και μικρά ή πυκνά τοποθετημένα αντικείμενα είναι ορατά και διακριτά, στοιχείο ζωτικής σημασίας για την ακριβή διαχείριση αποθεμάτων. Οι κάμερες διαθέτουν επίσης αυτόματη εστίαση με δυνατότητες δυναμικής προσαρμογής ώστε να αντιμετωπίζονται οι μεταβολές στις συνθήκες φωτισμού. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε ένα περιβάλλον αποθήκης, όπου ο φωτισμός μπορεί να κυμαίνεται από έντονο φωτισμό LED έως διάχυτο φυσικό φως. Η διατήρηση της καθαρότητας της εικόνας υπό μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού εξασφαλίζει σταθερή ποιότητα στην καταγραφή εικόνων, η οποία είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία του συστήματος. Επιπλέον, οι κάμερες διαθέτουν δυνατότητες οπτικού ζουμ, απαραίτητες για την αντιμετώπιση της ποικιλομορφίας στο μέγεθος και το σχήμα των προϊόντων εντός της αποθήκης. Το οπτικό ζουμ επιτρέπει δυναμικές προσαρμογές κατά τη λειτουργία, προσφέροντας ευελιξία και

διασφαλίζοντας ότι προϊόντα σε διαφορετικές αποστάσεις καταγράφονται με επαρκή λεπτομέρεια.

Όσον αφορά τη στρατηγική τοποθέτηση, οι κάμερες εγκαθίστανται σε κρίσιμα σημεία όπως οι χώροι παραλαβής, οι χώροι αποθήκευσης και τα σημεία αποστολής. Η στρατηγική αυτή αναπτύχθηκε έπειτα από ενδελεχή ανάλυση της λειτουργικής ροής της αποθήκης. Τα σημεία όπου η ροή των προϊόντων είναι πιο έντονη και η ορατότητα είναι καθοριστική για την αποτελεσματική παρακολούθηση των αποθεμάτων προσδιορίστηκαν ως τα πλέον κατάλληλα για την εγκατάσταση, διασφαλίζοντας ολοκληρωμένη παρακολούθηση της κίνησης των προϊόντων, από την είσοδο έως την έξοδο, ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος διαχείρισης αποθεμάτων (Εικόνα 6.5.).



Εικόνα 6.4 Απεικόνιση της τυπικής διάταξης των καμερών σε μια αποθήκη, δείχνοντας πώς καλύπτονται όλα τα βασικά σημεία ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης ορατότητα του αποθέματος.(Villegas-Ch et al., 2024)

Οι διακομιστές που χρησιμοποιούνται είναι εξοπλισμένοι με πολυπύρηνους επεξεργαστές (CPUs) και υψηλής απόδοσης μονάδες επεξεργασίας γραφικών (GPUs), ώστε να ανταποκρίνονται στο σημαντικό υπολογιστικό φορτίο που απαιτείται για την επεξεργασία των οπτικών δεδομένων που συλλέγονται από τις κάμερες. Οι GPUs επιλέγονται ειδικά για την ικανότητά τους να επιταχύνουν παράλληλες υπολογιστικές διεργασίες, στοιχείο κρίσιμο για την ταχεία επεξεργασία εικόνων και την εκτέλεση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα αντιμετωπίζει μία από τις πιο επίμονες προκλήσεις στη διαχείριση αποθηκών: τη διατήρηση ακρίβειας

θέσης σε περιβάλλοντα υψηλής κινητικότητας. Οι τεχνολογίες όρασης υπολογιστή είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη διαχείριση αντικειμένων ακανόνιστου σχήματος ή προϊόντων με μεταβλητή συσκευασία, που δυσκολεύουν τις παραδοσιακές μεθόδους αναγνώρισης. (Villegas-Ch et al., 2024; Yarlagadda, n.d.)

6.4. Ρομποτική αυτοματοποίηση διεργασιών στην διαχείριση αποθεμάτων

Οι τεχνολογίες εξελίσσονται συνεχώς, παράγοντας νέα προϊόντα και ευκαιρίες. Στο πλαίσιο της ψηφιακής μετασχηματισμού, ούτε η αυτοματοποίηση ούτε η ρομποτική αποτελούν νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα. Ωστόσο, πρόσφατα η ρομποτική αυτοματοποίηση διεργασιών (Robotic Process Automation – RPA) έχει τραβήξει μεγάλη προσοχή λόγω της επίδρασης που μπορεί να έχει στη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας και στις πρωτοβουλίες αυτοματοποίησης. Ανάμεσα στις κορυφαίες τεχνολογίες που θα επηρεάσουν την εφοδιαστική αλυσίδα την επόμενη δεκαετία, η Ρομποτική και η Αυτοματοποίηση εκτιμήθηκε ότι θα έχουν ποσοστό 87%. Τα ρομπότ και η αυτοματοποίηση μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική αποδοτικότητα των διαδικασιών αντικαθιστώντας παραδοσιακές χειρωνακτικές εργασίες, όπως η ταξινόμηση, η επιθεώρηση, η αποθήκευση, η διαχείριση, η κατηγοριοποίηση προϊόντων και η εισαγωγή δεδομένων. Η ρομποτική αυτοματοποίηση διεργασιών έχει φέρει επανάσταση στις λειτουργίες εκτέλεσης παραγγελιών μέσω βελτιωμένων δυνατοτήτων χειρισμού υλικών. Η έρευνα εξετάζει πώς οι λειτουργίες logistics στο ηλεκτρονικό εμπόριο βασίζονται όλο και περισσότερο στην αυτοματοποίηση για τη διαχείριση του μεγάλου εύρους κωδικών προϊόντων (SKU) και των υψηλών προσδοκιών για ταχύτητα εκπλήρωσης.

Οι έξυπνες αποθήκες χρησιμοποιούν πλέον ρομπότ για διάφορες λειτουργίες, με αυτόματα οχήματα να μεταφέρουν αποθηκευμένες μονάδες και τις παραδίδουν σε σταθερούς σταθμούς συλλογής. Ρομποτικά συστήματα υποβοηθούμενα από AI και drones μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες της αποθήκης και να αυτοματοποιήσουν διαδικασίες, όπως η συλλογή (picking), η συσκευασία (packing) και η καταμέτρηση αποθεμάτων, στον τομέα της λογιστικής, η RPA χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της διαδικασίας αποθέματος, την παρακολούθηση πληροφοριών αποστολής και την επικοινωνία με πελάτες ή προμηθευτές βάσει προκαθορισμένων γεγονότων, παρέχοντας τη δυνατότητα αυτοματοποίησης πολλών περιπτώσεων χρήσης

στη διαχείριση αποθεμάτων, τη διαχείριση εμπορευμάτων και τη διαχείριση προμηθευτών, οδηγώντας σε βελτίωση της ακρίβειας και καλύτερη αξιοποίηση των ανθρώπινων πόρων. Σε όλα τα διαθέσιμα σενάρια συλλογής, έχουν προταθεί πολυάριθμες λύσεις βασισμένες σε προσομοιώσεις και μαθηματικά μοντέλα. Μια μέθοδος βασισμένη σε ευφυείς πράκτορες (intelligent agent-based method) μπορεί να χειριστεί την αυξημένη πολυπλοκότητα που προκαλείται από την αυξανόμενη υιοθέτηση νέων και premium υπηρεσιών. Αυτά τα συστήματα αναδιαμορφώνουν ριζικά τις παραδοσιακές ροές εργασίας, εξαλείφοντας τον χρόνο μετακίνησης που συνδεόταν με τη συλλογή παραγγελιών.

Αδιαμφισβήτητα, η ρομποτική αυτοματοποίηση προσφέρει πολλά οφέλη γενικά, αλλά και ειδικά στον τομέα της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας, όπου ο συνολικός στόχος είναι να παρέχει τον συντομότερο δρόμο προς την αυτοματοποίηση. Η RPA μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, αντιμετωπίζοντας συστηματικά προβλήματα αυτοματοποίησης που βασίζονται στην επαναληψιμότητα, και αντιμετωπίζοντας κρίσιμες προκλήσεις ανθρώπινου δυναμικού στις λειτουργίες logistics, όπως η έλλειψη εργατικού δυναμικού, οι ανάγκες εκπαίδευσης και οι περιορισμοί παραγωγικότητας. Τα κύρια οφέλη της τεχνολογίας RPA, περιλαμβάνουν: ακρίβεια, βελτίωση του ηθικού των εργαζομένων, παραγωγικότητα, αξιοπιστία, συνέπεια, μη επεμβατική τεχνολογία, συμμόρφωση και χαμηλό τεχνικό φράγμα. Κάποια από τα σημαντικά οφέλη της RPA στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιγράφονται ως εξής:

➤ **Ακρίβεια**

Η RPA μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια των λειτουργιών της SCM, καθώς είναι λιγότερο επιρρεπής σε διαδικαστικά λάθη. Οποιοδήποτε ρομπότ προγραμματιστεί σωστά και ελεγχθεί η λειτουργικότητά του θα εκτελεί την εργασία με συνεπή ακρίβεια. Οποιαδήποτε τροποποίηση μιας μεταβλητής που προκαλεί αποτυχία στην ολοκλήρωση μιας διαδικασίας επισημαίνει τα λάθη στον χρήστη, υποδεικνύοντας ότι η διαδικασία δεν ολοκληρώθηκε όπως αναμενόταν.

➤ **Συνέπεια**

Η RPA μπορεί να αυτοματοποιήσει οποιαδήποτε επαναλαμβανόμενη και κανόνων-βασισμένη επιχειρηματική διαδικασία της SCM με εξαιρετική ακρίβεια και υψηλή ταχύτητα εκτέλεσης. Τα ρομπότ εκτελούν μόνο προγραμματισμένες εντολές οποιαδήποτε

απροσδόκητη απόκλιση δεν είναι δυνατή. Αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς επιτρέπει τον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

➤ **Συμμόρφωση**

Τα «ρομπότ» της RPA συμμορφώνονται με κανόνες και κανονισμούς, καθώς μπορούν να λειτουργούν μόνο μέσω μιας ακολουθίας προκαθορισμένων ενεργειών. Αν μια εταιρεία διαθέτει πολιτική ή πρότυπο που πρέπει να ακολουθείται κατά τη διεκπεραίωση μιας ενέργειας, η τεχνολογία RPA μπορεί να συμμορφωθεί με αυτό το πρότυπο. Παρέχει επίσης ιστορικό ελέγχου (audit trail) των ενεργειών που εκτελέστηκαν. Η RPA επιτρέπει ταχύτερη ανίχνευση προβλημάτων και συμμόρφωση με αυστηρότερα πρότυπα. Στο πλαίσιο της SCM, αυτό σημαίνει ότι οι ενέργειες ενός ρομπότ μπορούν να επαληθευτούν μετά την ολοκλήρωσή τους, εντοπίζοντας νέα στοιχεία για την επιτυχημένη βελτίωση των επιχειρησιακών διαδικασιών.

➤ **Συμβατότητα**

Κάθε ρομπότ πρέπει να μπορεί να αλληλεπιδρά με τα στοιχεία μιας διεπαφής, αλλά η δυνατότητα αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τον τρόπο προγραμματισμού της διεπαφής. Η συμβατότητα αποτελεί εμπόδιο στην υιοθέτηση της RPA στη SCM, όπου ο αντίκτυπος της υιοθέτησης είναι δύσκολο να προσδιοριστεί λόγω περιορισμένων διαθέσιμων πληροφοριών. Η αυτοματοποίηση μειώνει τον χρόνο/τις εργασίες και αυξάνει την παραγωγικότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, δίνεται η δυνατότητα μετάβασης σε πλατφόρμες συμβατές με RPA.

➤ **Χρόνος προγραμματισμού**

Πριν η RPA αρχίσει να παρέχει διαδικαστικά οφέλη, η λειτουργικότητα πρέπει να προγραμματιστεί. Αυτό σημαίνει ότι ο οργανισμός πρέπει να διαθέτει την κατάλληλη εσωτερική τεχνογνωσία και την ικανότητα να εντοπίζει κατάλληλες περιοχές για την εφαρμογή ρομπότ.

➤ **Ανάγκη για καλή οργάνωση και συνέπεια**

Η RPA είναι διαδικαστική από τη φύση της και, επομένως, κάθε τμήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να διασφαλίζει καλή και συνεπή οργάνωση μέσα στις ψηφιακές της δομές. Αν οι διαδρομές αρχείων και οι συμβάσεις ονοματολογίας του σχετικού περιεχομένου δεν τηρούνται, είναι πιο δύσκολο να προγραμματιστούν τα ρομπότ ώστε να εκτελούν επαναλαμβανόμενες εργασίες χωρίς διαδικαστικά λάθη. Για τον λόγο αυτό,

δίνεται μεγάλη σημασία στον καθορισμό και την εφαρμογή σωστής οργανωτικής δομής. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης εξισορροπούν συνεχώς τα φορτία εργασίας μεταξύ των αυτοματοποιημένων πόρων, εξασφαλίζοντας βέλτιστη αξιοποίηση και αποτρέποντας τη συμφόρηση στις διαδρομές κίνησης. Η ενσωμάτωση αυτών των αυτοματοποιημένων συστημάτων με το λογισμικό διαχείρισης αποθήκης δημιουργεί ένα ενιαίο περιβάλλον ελέγχου, όπου οι άνθρωποι χειριστές επιβλέπουν αντί να εκτελούν τις διαδικασίες εκπλήρωσης. (Daios et al., 2025; Puica, 2022; Yarlagadda, n.d.)

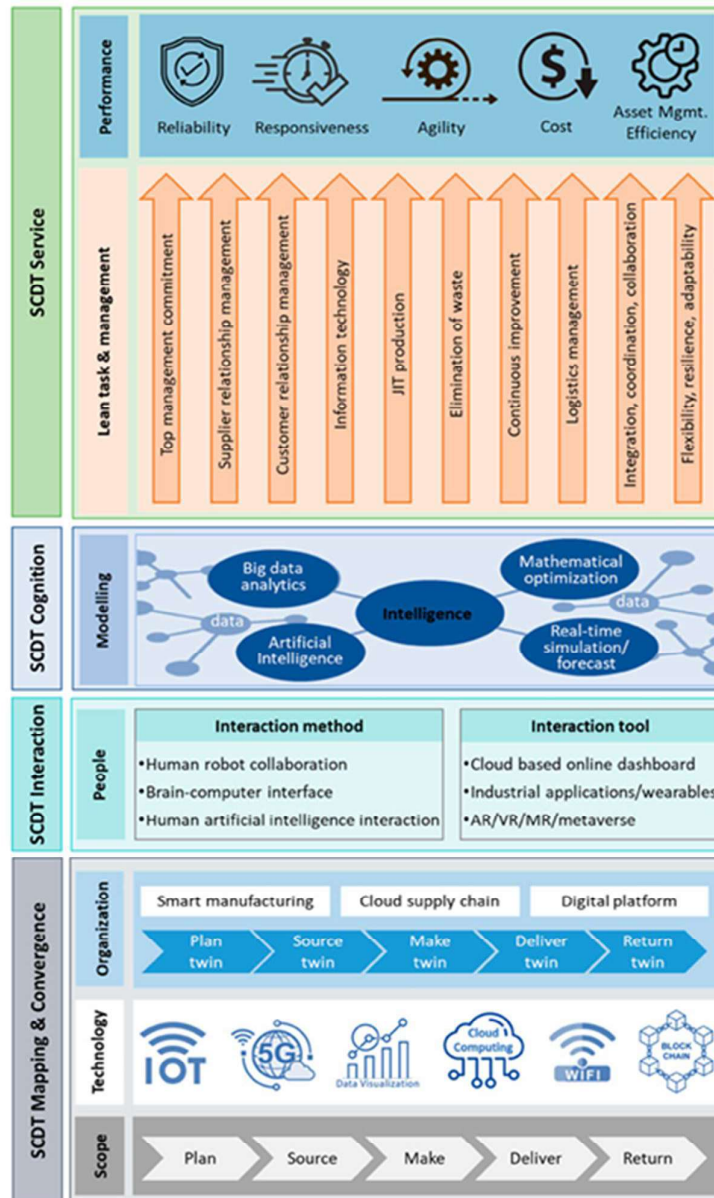
6.5. Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) στην διαχείριση αποθεμάτων

Μια βασική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στη διαχείριση αποθεμάτων είναι η χρήση των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins). Το ψηφιακό δίδυμο, το οποίο ορίζεται ως μια εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου, διεργασίας ή συστήματος, επιτρέπει την παρακολούθηση, ανάλυση και βελτιστοποίηση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο. Ο Michael Grieves πρότεινε πρώτος την ιδέα των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) σε παρουσίαση του στο University of Michigan για τη Διαχείριση Κύκλου Ζωής Προϊόντων (Product Lifecycle Management) το 2003 [64]. Η NASA δημιούργησε τα πρώτα λειτουργικά Ψηφιακά Δίδυμα το 2011 ως μέσο πρόβλεψης της δομικής απόδοσης αεροσκαφών, εξετάζοντας και σχεδιάζοντας τα για να προσομοιώνονται ως εικονικά αντικείμενα. Οι επιστήμονες της NASA περιέγραψαν αργότερα τα Digital Twins ως μια διαδραστική, πολυφυσική, πολυκλίμακας, πιθανολογική προσομοίωση ενός οχήματος ή συσκευής που χρησιμοποιεί τα υψηλότερης ποιότητας φυσικά μοντέλα, ενημερώσεις αισθητήρων, ιστορικό στόλου και ούτω καθεξής, για να αντικατοπτρίζει τη ζωή του πτητικού του διδύμου. Ένα Digital Twin αποτελεί μια μοναδική, εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου, που παρακολουθεί και προσομοιώνει τόσο την φυσική κατάσταση όσο και τη συμπεριφορά του αντικειμένου. Το ψηφιακό αντίγραφο παραμένει συνεχώς συνδεδεμένο με το φυσικό αντικείμενο και ενημερώνεται ώστε να αντανakλά τις αλλαγές του πραγματικού κόσμου (Εικόνα 6.6.).



Εικόνα 6.5 Αρχιτεκτονική Digital Twin: αμφίδρομη ροή δεδομένων μεταξύ φυσικού συστήματος και ψηφιακής αναπαράστασης για προσομοίωση, πρόβλεψη και υποστήριξη αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα.(Moshood et al., 2021)

Με την πάροδο των ετών, η πρόοδος διαφόρων τεχνολογιών, όπως η συλλογή, διαχείριση και επεξεργασία δεδομένων, οι τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, καθώς και η προσομοίωση, έχει μετατρέψει το ψηφιακό δίδυμο σε μια ολοκληρωμένη έννοια που περιλαμβάνει ψηφιακές αναπαραστάσεις αντικειμένων, διεργασιών και συστημάτων, οι οποίες ενημερώνονται δυναμικά καθώς εξελίσσονται τα πραγματικά μοντέλα. Με την ενσωμάτωση δεδομένων από φυσικές διεργασίες και αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης, οι εταιρείες μπορούν να προσομοιώσουν διάφορα σενάρια, όπως αλλαγές στη ζήτηση, διακοπές στην εφοδιαστική αλυσίδα ή καθυστερήσεις στην παραγωγή και γενικότερα να αποκτήσουν ευφυή πληροφόρηση που ενισχύει την ανταποκρισιμότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων τόσο από το παρελθόν, όσο και για την βελτιστοποίηση του παρόντος και ακόμη και για την προβλέψη της μελλοντικής απόδοσης. Αυτό τους επιτρέπει να οπτικοποιούν τα επίπεδα των αποθεμάτων και να βελτιστοποιούν δυναμικά τις στρατηγικές διαχείρισής τους. Ως αποτέλεσμα, τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν μια προληπτική προσέγγιση στη διαχείριση αποθεμάτων, προβλέποντας τις αλλαγές και προσαρμόζοντας ανάλογα τις διαδικασίες (Εικόνα 6.7.). (Guo and Mantravadi, 2025; Moshood et al., 2021; Verma, n.d.)



Εικόνα 6.6 Απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο τα Ψηφιακά Δίδυμα συνδέουν τα φυσικά συστήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας με ψηφιακές τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και το cloud, υποστηρίζοντας την παρακολούθηση, την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποθεμάτων και της επιχειρησιακής απόδοσης.(Guo and Mantravadi, 2025)

6.6. Οικονομικές παράμετροι των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης στην διαχείριση αποθεμάτων

Οι οικονομικές παράμετροι που σχετίζονται με την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στα συστήματα διαχείρισης αποθεμάτων αποκαλύπτουν σημαντικά οφέλη. Ειδικότερα, συμβάλλουν στη μείωση των αναγκών σε ανθρώπινο δυναμικό, στη βελτιωμένη

αξιοποίηση του αποθηκευτικού χώρου, στην αύξηση της ακρίβειας των αποθεμάτων, και στη επιτάχυνση της εκτέλεσης παραγγελιών. Παρόλα αυτά, οι επενδύσεις σε TN χρήζουν αξιολόγησης από τις επιχειρήσεις, μέσα στο πλαίσιο των ραγδαία εξελισσόμενων προσδοκιών των πελατών, όπου η βελτίωση των επιπέδων εξυπηρέτησης επηρεάζει άμεσα τη ανταγωνιστική θέση και το μερίδιο αγοράς. Οι επιτυχημένες εφαρμογές ξεκινούν συνήθως με στοχευμένες παρεμβάσεις που αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα λειτουργικά προβλήματα, πριν επεκταθούν σε επίπεδο ολόκληρου οργανισμού. Αυτή η σταδιακή προσέγγιση επιτρέπει στους οργανισμούς να αναπτύξουν τεχνογνωσία υλοποίησης, ενώ ταυτόχρονα αποφέρουν χειροπιαστά οφέλη που δικαιολογούν τη συνέχιση της επένδυσης. Επιπλέον, η ανάλυση δείχνει ότι τα μοντέλα ανάπτυξης μέσω cloud έχουν μειώσει σημαντικά τα εμπόδια υλοποίησης, καθιστώντας την προηγμένη “έξυπνη” διαχείριση αποθεμάτων προσιτή σε επιχειρήσεις διαφόρων μεγεθών. (Yarlagadda, n.d.)

7. Μελλοντικές τάσεις

Στη νέα αυτή εποχή, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα σύνθετο και δυναμικό περιβάλλον καθώς και από μια ιδιαίτερα ανταγωνιστική επιχειρηματική αγορά, η ψηφιοποίηση έχει αναδειχθεί ως ένα νέο φαινόμενο που έχει επηρεάσει πολλαπλές πτυχές της ζωής σε παγκόσμιο επίπεδο. Το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης φαίνεται πολλά υποσχόμενο σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας και καινοτομίας, συγκεντρώνοντας σημαντικό ακαδημαϊκό ενδιαφέρον. Σημαντικές διαταράξεις, όπως η πανδημία COVID-19, έχουν ξεκινήσει μια συζήτηση σχετικά με την αντιστροφή της εξωτερικής ανάθεσης στην εφοδιαστική αλυσίδα και την περαιτέρω ανάπτυξη τοπικής και εσωτερικής παραγωγής, αξιοποιώντας το μοντέλο Manufacturing-as-a-Service (MaaS) (Εικόνα 7.1.).



Εικόνα 7.1 Βασικά βήματα και κατευθύνσεις για το μέλλον της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας με τεχνητή νοημοσύνη: Εμπλοκή (Engage), Σχεδιασμός (Plan), Αναγνώριση (Identify) και Ανάλυση (Analyse). (Verma, n.d.)

Αναμένεται μια στροφή προς την ανθρωποκεντρική ΑΙ στη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία θα εκδηλωθεί με την εκπαίδευση και εξειδίκευση του ανθρώπινου δυναμικού, ενώ παράλληλα θα αυξηθεί η εξοικείωση με την ΑΙ στο ευρύ κοινό. Υπάρχει μια σαφής τάση στη χρήση εφαρμογών ΑΙ για την αντιμετώπιση τόσο παραδοσιακών όσο και νέων προβλημάτων.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας τεχνητής νοημοσύνης και ειδικότερα του γενετικού αλγορίθμου (GA), στη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, δείχνει τη σημαντική της δυνατότητα στη βελτίωση της διαχείρισης αποθεμάτων, της αποδοτικότητας της εφοδιαστικής και της συνολικής απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Καινοτομίες όπως η κβαντική υπολογιστική, οι προηγμένοι αλγόριθμοι μηχανικής και η ρομποτική που υποστηρίζεται από ΤΝ προβλέπεται να βελτιώσουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, την ταχύτητα και την αποδοτικότητα των λειτουργιών. Η προβλεπτική ανάλυση με τη χρήση ΑΙ αναμένεται να γίνει ακόμη πιο εξελιγμένη, προσφέροντας ακριβέστερες προβλέψεις και βελτιωμένη διαχείριση αποθεμάτων και ζήτησης και να συμβάλλει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων. Επιπλέον, τα αυτόνομα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας που αξιοποιούν την ΑΙ για τη διαχείριση όλων των διαδικασιών —από την προμήθεια έως τα logistics— θα μειώσουν την ανθρώπινη παρέμβαση και θα βελτιστοποιήσουν περαιτέρω τις λειτουργίες. Οι γενετικοί αλγόριθμοι, μέσω των δυνατοτήτων παγκόσμιας βελτιστοποίησης, βοηθούν τις επιχειρήσεις να εντοπίσουν το βέλτιστο σχέδιο κατανομής πόρων όταν αντιμετωπίζουν πολύπλοκα

δίκτυα εφοδιαστικής, μειώνουν τις καθυστερήσεις αποθεμάτων, μειώνουν τα κόστη logistics και βελτιώνουν την ανταπόκριση και την ευελιξία της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ οι δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο της ΑΙ παρέχουν στη διαχείριση της εφοδιαστικής πιο ακριβείς προβλέψεις ζήτησης και διαχείριση αποθεμάτων, βελτιστοποιώντας έτσι τη συνολική λειτουργική αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Καθώς οι τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης εξελίσσονται, ανακύπτουν και σημαντικές ηθικές και κανονιστικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή τους. Ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων και ασφάλειας αποτελούν ύψιστη προτεραιότητα, δεδομένου ότι οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας συνεπάγονται τη συλλογή και τη διακίνηση μεγάλου όγκου ευαίσθητων δεδομένων. Σήμερα, η TN αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, όπως η αλγοριθμική προκατάληψη (algorithmic bias), η κυβερνοασφάλεια και τα ηθικά ζητήματα, η έλλειψη διαφάνειας και τεκμηρίωσης, η έλλειψη εξειδικευμένων επαγγελματιών και οι δυσκολίες στην εφαρμογή. Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη τεκμηρίωσης για την αξιολόγηση της απόδοσης επένδυσης (ROI) της TN σε επιχειρήσεις διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, καθιστώντας δύσκολη την εκτίμηση της αξίας της. Περαιτέρω προκλήσεις για την TN στη SCM είναι η ισχυρή εξάρτηση από λογισμικό υπολογιστών, οι δυσκολίες στην εφαρμογή και η ακαταλληλότητα για λήψη αποφάσεων σε διαλειτουργικά και διεθνή πλαίσια εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις πρέπει να προχωρήσουν και να ενισχύσουν το βαθμό ψηφιακής ωριμότητας στον οργανωσιακό τους πολιτισμό πριν επιχειρήσουν να εφαρμόσουν λύσεις TN στη SCM. Πέρα από τις τεχνικές προκλήσεις, υπάρχουν και οργανωσιακά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, όπως η επανασχεδίαση διαδικασιών, ρόλων και αρμοδιοτήτων. Η ανάπτυξη σαφών κανονιστικών πλαισίων είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση ζητημάτων που σχετίζονται με τις αποφάσεις που λαμβάνονται βάσει τεχνητής νοημοσύνης, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και τη δικαιοσύνη. Παράλληλα, καθώς η τεχνητή νοημοσύνη αναλαμβάνει ολοένα και περισσότερους ρόλους στη λήψη αποφάσεων, οι επιχειρήσεις θα πρέπει να αποφεύγουν αλγοριθμικές προκαταλήψεις και ανήθικες πρακτικές.

Οι κύριες απειλές της παρουσίας της TN στις ανθρώπινες κοινωνίες είναι η διατάραξη της υπάρχουσας αγοράς εργασίας, η χρήση της για κακόβουλους σκοπούς, η στρατιωτική αξιοποίησή της και η αύξηση των κοινωνικών ανισοτήτων. Ο θόρυβος γύρω από τη Βιομηχανία 4.0 δεν συμβαδίζει με την ετοιμότητα των επιχειρήσεων να

υιοθετήσουν τις τεχνολογίες της, καθώς τους λείπει η εξειδίκευση που συνδέεται με το υφιστάμενο επιχειρησιακό τους πεδίο. Οι διευθυντές θα πρέπει να είναι προσεκτικοί και να μην τρέφουν υπερβολικές προσδοκίες όσον αφορά τις επιπτώσεις της TN στην απόδοση, δεδομένου ότι οι οργανωσιακές παράμετροι είναι επίσης κρίσιμες. Ωστόσο, όσο εξελίσσονται οι τεχνολογίες TN, τόσο αυξάνονται και οι ηθικές και κανονιστικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή τους. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα των γενετικών αλγορίθμων είναι υψηλή, ιδιαίτερα σε μεγάλης κλίμακας συστήματα εφοδιαστικής, γεγονός που μπορεί να απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους και να αυξάνει το χρόνο επίλυσης της διαδικασίας. Επιπλέον, στις πρακτικές εφαρμογές, οι δυναμικές αλλαγές στην εφοδιαστική αλυσίδα και εξωτερικοί παράγοντες (όπως διακυμάνσεις της αγοράς, αλλαγές πολιτικής κ.ά.) μπορεί να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα του μοντέλου, και το μοντέλο χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση ώστε να προσαρμόζεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα αγοράς. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την ακρίβεια των γενετικών αλγορίθμων συνδυάζοντάς τους με πιο εξελιγμένους αλγορίθμους, όπως η βαθιά μάθηση (deep learning) και η ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning). Σε κάθε περίπτωση, η βιωσιμότητα και η ανθεκτικότητα αποτελούν πλέον βασικούς στόχους των σύγχρονων εφοδιαστικών αλυσίδων, με την τεχνητή νοημοσύνη να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξή τους. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση πόρων, να μειώσει τα απόβλητα και να περιορίσει το ανθρακικό αποτύπωμα μέσω της βελτίωσης του σχεδιασμού δρομολογίων, της διαχείρισης ενέργειας και της αποδοτικότητας της παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η ανθεκτικότητα απέναντι σε παγκόσμιες προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, οι φυσικές καταστροφές ή οι πανδημίες. Καθώς η βιωσιμότητα καθίσταται επιχειρησιακή προτεραιότητα, η τεχνητή νοημοσύνη θα συμβάλει ουσιαστικά στην κάλυψη κανονιστικών απαιτήσεων και στην ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης των καταναλωτών για φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές. (Ageron et al., 2020; Daios et al., 2025; Mao, 2025; Verma, n.d.)

7.1. Ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα (Digital Supply Chain-DSC)

Η εισαγωγή της έννοιας της «ψηφιοποίησης» κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει σε πολυάριθμες αλλαγές και προόδους σε διάφορους τομείς. Η αποτελεσματική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) έχει δώσει

γέννηση στην έννοια της «ψηφιακής εφοδιαστικής αλυσίδας» (DSC), η οποία μετασχηματίζει και βελτιώνει την καθιερωμένη εφοδιαστική αλυσίδα με πολλούς τρόπους. Οι διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας έχουν επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από την ψηφιοποίηση και είναι προφανές ότι η μετάβαση από την παραδοσιακή εφοδιαστική αλυσίδα σε μια ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα (Digital Supply Chain – DSC) αποτελεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, δημιουργώντας βιώσιμη αξία για τους οργανισμούς. Η ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα μπορεί να οριστεί ως η ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων και η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών που ενισχύουν την ολοκλήρωση και την ευελιξία της εφοδιαστικής αλυσίδας, βελτιώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την εξυπηρέτηση πελατών και τη βιώσιμη απόδοση του οργανισμού. Καθώς οι επιχειρήσεις αναζητούν νέες μεθόδους για την ταχεία παράδοση προϊόντων, ένας από τους πιο σημαντικούς πυλώνες της DSC θα είναι η γρήγορη αντιστοίχιση πληροφοριών με κατάλληλους προμηθευτές.

Η διαμόρφωση της ψηφιακής εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζεται στη δομή ενός ψηφιακού δικτύου εφοδιασμού αποτελώντας ένα περισσότερο δυναμικό σύστημα, το οποίο αξιοποιεί την τεχνολογία πληροφοριών για την ενοποίηση των δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη διασφάλιση ομαλών ροών υλικών. Η διαμόρφωσή της εξαρτάται από τους στόχους και τις στρατηγικές του οργανισμού προσφέροντας αυξημένη ορατότητα των ροών υλικών κατά μήκος της αλυσίδας αξίας και παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες επιτρέπουν τη λήψη ακριβών και έγκαιρων αποφάσεων που υποστηρίζουν τους στόχους οργανωσιακής απόδοσης, όπως τα έσοδα, το κέρδος, το μερίδιο αγοράς, η ποιότητα, η ανταπόκριση, το κόστος, η αξιοπιστία και η βιωσιμότητα. Παράλληλα, η ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα, επιτρέπει τον στρατηγικό μετασχηματισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού διαδικασιών, της βελτιστοποίησης προϊόντων, της αποδοτικότητας στον προγραμματισμό και τη διαχείριση αποθεμάτων, της διαχείρισης κινδύνων, της συνεργασίας με προμηθευτές, της λειτουργικής αποδοτικότητας, της βελτιστοποίησης των logistics, της βελτιστοποίησης των πωλήσεων και της υποστήριξης μετά την πώληση. (Ageron et al., 2020; Zhang et al., 2024)

7.1.1. Οφέλη ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας

Η ψηφιοποίηση αναμένεται να μετασχηματίσει σε σημαντικό βαθμό τα εργασιακά περιβάλλοντα. Θα επιφέρει αλλαγές στις διαδικασίες των χρηματοοικονομικών, των

πωλήσεων, της συντήρησης, των logistics και της εφοδιαστικής αλυσίδας, εισάγοντας νέες έννοιες όπως η έξυπνη παραγωγή, τα έξυπνα συμβόλαια και η έξυπνη εφοδιαστική αλυσίδα, καθώς και αυξάνοντας τον διαμοιρασμό πληροφοριών και τον βαθμό αυτοματοποίησης. Οι επιπτώσεις της θα είναι εκτεταμένες ως προς τα εργασιακά καθήκοντα, τα επαγγελματικά προφίλ, καθώς και την οργάνωση και το περιβάλλον εργασίας. Ως αποτέλεσμα, οι εργαζόμενοι θα κληθούν να αντιμετωπίσουν μετασχηματισμένες εργασιακές διαδικασίες που απαιτούν ένα ευρύτερο φάσμα νέων δεξιοτήτων. Καθώς η εργασία τους θα είναι περισσότερο αυτοματοποιημένη, διασυνδεδεμένη και διεπιστημονική, θα απαιτηθεί η απόκτηση και η ανάπτυξη πολλαπλών και ποικίλων ικανοτήτων. Ορισμένες από αυτές τις ικανότητες σχετίζονται με την τεχνολογία και βασίζονται σε θεμελιώδεις δεξιότητες στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η πρόκληση αυτή που αφορά τις δεξιότητες, και η οποία εισάγεται από την ψηφιοποίηση των εφοδιαστικών αλυσίδων, ανακύπτει σε πολλαπλά επίπεδα. Για τις επιχειρήσεις, το ζήτημα αφορά πρωτίστως την ικανότητά τους να καθορίσουν επαγγελματικά προφίλ που να ευθυγραμμίζονται με τις ανάγκες της ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Παράλληλα, θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τους εργαζομένους τους στην απόκτηση και ανάπτυξη βασικών ικανοτήτων, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στα καθήκοντά τους. Επιπλέον, το ζήτημα της στελέχωσης και της προσέλκυσης προσωπικού θα αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα, ιδίως δεδομένου ότι ο τομέας των logistics και της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) αντιμετωπίζει αυξανόμενες πιέσεις όσον αφορά το ανθρώπινο δυναμικό του. Για τους εργαζομένους, η απόκτηση και η ανάπτυξη δεξιοτήτων προϋποθέτει την επίγνωση των αλλαγών που συντελούνται στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας λόγω της ψηφιοποίησης. Επιπλέον, θα χρειαστούν υποστήριξη και καθοδήγηση από τα στελέχη της εφοδιαστικής αλυσίδας και τα τμήματα ανθρώπινου δυναμικού για την ανάπτυξη των εν λόγω δεξιοτήτων. Τα πανεπιστήμια, επίσης, καλούνται να ανταποκριθούν σε αυτή την πρόκληση, προσφέροντας προγράμματα εκπαίδευσης που να ανταποκρίνονται στις νέες απαιτήσεις της ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τέλος, για την υποστήριξη της ψηφιοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι εργαζόμενοι οφείλουν να διαθέτουν ένα σύνολο γνώσεων, δεξιοτήτων, στάσεων, ικανοτήτων, στρατηγικών και επίγνωσης, το οποίο είναι απαραίτητο για τη χρήση των ΤΠΕ και των ψηφιακών μέσων κατά την εκτέλεση των εργασιακών τους καθηκόντων. Οι ανησυχίες σχετικά με την προστασία των προσωπικών

δεδομένων και την ασφάλεια πληροφοριών είναι πρωταρχικής σημασίας, καθώς οι λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας συχνά περιλαμβάνουν τη συλλογή και μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ευαίσθητων δεδομένων.

Οι εταιρείες πρέπει να δίνουν προτεραιότητα σε ασφαλείς πρακτικές διαχείρισης δεδομένων και να συμμορφώνονται με διεθνείς κανονισμούς προστασίας δεδομένων, όπως ο GDPR (Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων) και ο CCPA (Νόμος της Καλιφόρνια για την Προστασία της Ιδιωτικότητας των Καταναλωτών). Η ανάπτυξη σαφών κανονιστικών πλαισίων είναι απαραίτητη για να αντιμετωπιστούν ζητήματα που σχετίζονται με αποφάσεις καθοδηγούμενες από την AI, διασφαλίζοντας διαφάνεια, λογοδοσία και δικαιοσύνη. Παράλληλα, καθώς η AI αναλαμβάνει όλο και περισσότερους ρόλους λήψης αποφάσεων, οι επιχειρήσεις πρέπει να αποφεύγουν αλγοριθμικές προκαταλήψεις και ανήθικες πρακτικές. Η βιωσιμότητα και η ανθεκτικότητα αποτελούν ολόένα και πιο σημαντικούς στόχους για τις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες, και η AI έχει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξή τους. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση των πόρων, να μειώσει τα απόβλητα και να περιορίσει το ανθρακικό αποτύπωμα μέσω της βελτίωσης του προγραμματισμού διαδρομών, της διαχείρισης ενέργειας και της αποτελεσματικότητας της παραγωγής. Επιπλέον, τα συστήματα που βασίζονται στην AI μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα πρόβλεψης και απόκρισης σε διαταραχές, εντοπίζοντας ευπάθειες της εφοδιαστικής αλυσίδας και προτείνοντας εναλλακτικά σχέδια δράσης. Με αυτόν τον τρόπο, ενισχύεται η ανθεκτικότητα απέναντι σε παγκόσμιες προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, οι φυσικές καταστροφές ή οι πανδημίες. Καθώς η βιωσιμότητα εξελίσσεται σε επιχειρηματική προτεραιότητα, η AI θα βοηθήσει τις εταιρείες να συμμορφωθούν με τους κανονισμούς και να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των καταναλωτών για πιο οικολογικές πρακτικές. (Ageron et al., 2020; Verma, n.d.)

Βιβλιογραφία

- Achakzai, M.K., Rehman, A., Ahmed, A., Haider, S.O., 2025. The Role of Artificial Intelligence in Transforming Supply Chain Management: A Focus on Demand Forecasting and Inventory Optimization 3.
- Ageron, B., Bentahar, O., Gunasekaran, A., 2020. Digital supply chain: challenges and future directions. *Supply Chain Forum Int. J.* 21, 133–138. <https://doi.org/10.1080/16258312.2020.1816361>
- Barati, S., 2025. A system dynamics approach for leveraging blockchain technology to enhance demand forecasting in supply chain management. *Supply Chain Anal.* 10, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100115>
- Bigliardi, B., Dolci, V., Gianatti, E., Petroni, A., Pini, B., Barani, A., 2025. Taking a snapshot of artificial intelligence in supply chain management: A bibliometric study. *Procedia Comput. Sci.* 253, 2625–2634. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.322>
- Bigliardi, B., Filippelli, S., Petroni, A., Tagliente, L., 2022. The digitalization of supply chain: a review. *Procedia Comput. Sci.* 200, 1806–1815. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.381>
- Chauhan, C., Singh, A., 2019. A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. *J. Manuf. Technol. Manag.* 31, 863–886. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2018-0105>
- Choudhuri, S.S., 2022. AI - Driven Supply Chain Optimization: Enhancing Inventory Management, Demand Forecasting, and Logistics Within ERP Systems. *Int. J. Sci. Res. IJSR* 7.
- Daios, A., Kladovasilakis, N., Kelemis, A., Kostavelis, I., 2025. AI Applications in Supply Chain Management: A Survey. *Appl. Sci.* 15, 2775. <https://doi.org/10.3390/app15052775>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M.-L., Nikbin, D., Khanfar, A.A.A., 2025. Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: a comprehensive review and a strategic roadmap. *Prod. Plan. Control* 36, 61–91. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376>
- Guo, D., Mantravadi, S., 2025. The role of digital twins in lean supply chain management: review and research directions. *Int. J. Prod. Res.* 63, 1851–1872. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2372655>
- Huong, D.G., Azmat, M., Hadeed, R., 2025. Exploring big data analytics adoption for sustainable manufacturing supply Chains: Insights from a TOE-guided systematic review. *Clean. Logist. Supply Chain* 16, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100256>
- Jones, J., 2025. The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Demand Forecasting and Supply Chain Decision-Making. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.0502.v1>
- Kagalwala, H., Radhakrishnan, G.V., Mohammed, I.A., Kothinti, R.R., Kulkarni, D.N., 2025. Predictive Analytics in Supply Chain Management: The Role of AI and Machine Learning in Demand Forecasting. *Adv. Consum. Res.* 2.

- Kotru, A., Batra, I., 2024. Optimizing Resource Allocation in IoT for Improved Inventory Management. *Int. J. Comput. Digit. Syst.* 15, 685–704. <https://doi.org/10.12785/ijcds/160151>
- Mao, H., 2025. The Optimization Strategy and Application Practice of Business Management Supply Chain Based on Artificial Intelligence Technology. *Procedia Comput. Sci.* 261, 707–715. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.324>
- Moshood, T., Nawanir, G., Sorooshian, S., Okfalisa, O., 2021. Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics. *Appl. Syst. Innov.* 4, 29. <https://doi.org/10.3390/asi4020029>
- Na, N., 2024. Research on Supply Chain Demand Prediction Model Based on LSTM. *Procedia Comput. Sci.* 243, 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.039>
- Puica, E., 2022. How Is it a Benefit using Robotic Process Automation in Supply Chain Management? *J. Supply Chain Cust. Relatsh. Manag.* 1–11. <https://doi.org/10.5171/2022.221327>
- Rana, J., Ahmad, M.Z., Islam, M.F., Jihad, M.N.I., Rashed, Md., Kamruzzaman, M., 2025. Optimizing supply chain performance through sustainable manufacturing practices and capabilities in emerging markets: an integrated linear (PLS-SEM) and non-linear (fsQCA) approach. *Clean. Logist. Supply Chain* 16, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100257>
- SCHOLARONE Manuscript, 2018. Supply Chain 4.0: Concepts, Maturity and Research Agenda. *EMERALD Publ.* 36.
- Verma, P., n.d. Transforming Supply Chains Through AI: Demand Forecasting, Inventory Management, and Dynamic Optimization.
- Villegas-Ch, W., Navarro, A.M., Sanchez-Viteri, S., 2024. Optimization of inventory management through computer vision and machine learning technologies. *Intell. Syst. Appl.* 24, 200438. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200438>
- Yarlagadda, K.C., n.d. AI-Powered Supply Chain Optimization: Enhancing Demand Forecasting and Logistics.
- Zhang, F., Yang, X., Dang, Y., Wu, C., Chen, B., 2025. Construction and Practice of Intelligent Warehouse Management Decision Support System Based on Artificial Intelligence. *Procedia Comput. Sci.* 259, 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.022>
- Zhang, S., Yu, Q., Wan, S., Cao, H., Huang, Y., 2024. Digital supply chain: literature review of seven related technologies. *Manuf. Rev.* 11, 8. <https://doi.org/10.1051/mfreview/2024006>
- Zheng, G., Brintrup, A., 2025. A machine learning approach for enhancing supply chain visibility with graph-based learning. *Supply Chain Anal.* 11, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100135>
- Zougagh, N., Charkaoui, A., Echchatbi, A., 2020. Prediction models of demand in supply chain. *Procedia Comput. Sci.* 177, 462–467. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.063>

