



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

Ο ρόλος των νέων τεχνολογιών στην προώθηση της βιωσιμότητας στις παγκόσμιες
εφοδιαστικές αλυσίδες

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΑΜΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΓΓΕΛΟΣ ΚΟΤΙΟΣ

(ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2025)

Δήλωση

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 στον μεταπτυχιακό φοιτητή 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 στον μεταπτυχιακό φοιτητή 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 ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο.

Ο Φοιτητής

Κωνσταντίνος Σαμλής

Ο Επιβλέπων/Επιβλέπουσα

Άγγελος Κότιος

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τον ρόλο των νέων τεχνολογιών στην προώθηση της βιωσιμότητας στις παγκόσμιες εφοδιαστικές αλυσίδες. Μέσα από συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναδεικνύεται πώς τεχνολογίες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το Blockchain και τα Big Data συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της διαφάνειας και της περιβαλλοντικής ευθύνης των σύγχρονων αλυσίδων εφοδιασμού.

Η εργασία αναλύει θεωρητικά και εμπειρικά μοντέλα ενσωμάτωσης αυτών των τεχνολογιών, εστιάζοντας τόσο στις ευκαιρίες όσο και στις προκλήσεις υιοθέτησής τους, ιδιαίτερα για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις πολιτικές προσεγγίσεις, τη σημασία της θεσμικής και χρηματοδοτικής στήριξης, καθώς και στον ρόλο των πράσινων πρακτικών (Green Supply Chain Management) και της κυκλικής οικονομίας ως διαμεσολαβητών στη μετάβαση προς βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Τα συμπεράσματα της μελέτης δείχνουν ότι η τεχνολογία, αν και απαραίτητη, δεν είναι από μόνη της επαρκής για μια βιώσιμη μετάβαση. Χρειάζεται συντονισμένη δράση σε τεχνολογικό, οργανωσιακό και θεσμικό επίπεδο. Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα, με στόχο τη σύνδεση της καινοτομίας με τις αρχές της κοινωνικής δικαιοσύνης, της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας και της οικονομικής ανθεκτικότητας.

Abstract

This thesis explores the role of new technologies in promoting sustainability within global supply chains. Through a systematic literature review, it highlights how technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), Blockchain, and Big Data enhance operational efficiency, transparency, and environmental responsibility in modern supply chains.

The study analyzes theoretical and empirical models of technological integration, focusing on both the opportunities and challenges, particularly for small and medium-sized enterprises (SMEs). Special emphasis is placed on policy implications, the importance of institutional and financial support, and the mediating role of Green Supply Chain Management (GSCM) practices and Circular Economy (CE) strategies in enabling sustainable business transformation.

The findings indicate that while technology is a necessary enabler, it is not sufficient on its own. Coordinated action across technological, organizational, and institutional levels is required for a successful transition. The study concludes by suggesting future research directions aimed at bridging technological innovation with the principles of social justice, environmental responsibility, and economic resilience.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης.....	9
1.1 Ιστορικό και πλαίσιο	9
1.2 Διατύπωση του προβλήματος	10
1.3 Ερευνητικοί στόχοι και αντικείμενο μελέτης	11
1.4 Πεδίο Εφαρμογής και περιορισμοί	12
1.5 Ερευνητικά ερωτήματα.....	13
1.6 Δομή και οργάνωση της εργασίας.....	13
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό πλαίσιο και τεχνολογικές εξελίξεις.....	15
2.1 Εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας: Από τα παραδοσιακά στα ψηφιακά μοντέλα	15
2.1.1 Ανεπάρκειες παραδοσιακών μοντέλων	16
2.1.2 Δυνατότητες προηγμένων τεχνολογιών	16
2.2 Προηγμένες τεχνολογίες στην πράξη	18
2.2.1 Τεχνητή νοημοσύνη (AI)	18
2.2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT).....	19
2.2.3 Τεχνολογία Blockchain	20
2.2.4 Μαζικά δεδομένα (Big Data)	22
2.2.5 Ενσωμάτωση τεχνολογιών: Πραγματικά παραδείγματα και αντίκτυπος	24
2.3 Τεχνολογία, πολιτική και παγκόσμια σταθερότητα	26
2.3.1 Ευθυγράμμιση με διεθνείς στόχους βιωσιμότητας	26
2.3.2 Πολιτικές πρωτοβουλίες και διεθνείς τάσεις	27
2.3.3 Παραδείγματα πρωτοβουλιών	28

2.3.4 Ρόλος της πολιτικής σταθερότητας.....	29
Κεφάλαιο 3: Βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα	30
3.1 Θεμελιώδεις έννοιες και ορισμοί.....	30
3.1.1 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας (SCS)	30
3.1.2 Ολοκλήρωση και χαρτογράφηση (SCI, Mapping)	31
3.2 Ιστορική εξέλιξη βιώσιμων πρακτικών	32
3.3 Ηθική, διαφάνεια και κοινωνική υπευθυνότητα	34
3.4 Βιομηχανία 4.0 και βιωσιμότητα στις εφοδιαστικές αλυσίδες	35
Κεφάλαιο 4: Τεχνολογίες για βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες	38
4.1 Τεχνολογία Blockchain και βιώσιμη διαχείριση.....	38
4.1.1 Ασφάλεια δεδομένων	40
4.1.2 Ενίσχυση διαφάνειας	40
4.1.3 Αποδοτικότητα και αποκέντρωση.....	41
4.2 Τεχνητή νοημοσύνη και πράσινες εφοδιαστικές αλυσίδες	42
4.2.1 Εφαρμογές και οφέλη	43
4.2.2 Προκλήσεις υιοθέτησης.....	45
4.3 Καινοτομία προσανατολισμένη στη βιωσιμότητα (Sustainability-Oriented Innovation)...	47
4.3.1 Τεχνολογική και οργανωτική καινοτομία	48
4.3.2 Θεσμική και κοινωνική καινοτομία	50
4.3.3 Εμπόδια στην καινοτομία	51
Κεφάλαιο 5: Πρακτικές εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης.....	57
5.1 Εφαρμογή Blockchain στην εφοδιαστική τροφίμων: Η Περίπτωση Danone.....	57
5.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Big Data στη γρήγορη μόδα: Οι Περιπτώσεις H&M, Zara και Shein Εφαρμογής.....	59
5.2.1 Εφαρμογές και οφέλη	59

5.2.2 Ζητήματα βιωσιμότητας και ηθικής	60
5.3 Τεχνολογικές εφαρμογές στον κλάδο μόδας και κλωστοϋφαντουργίας.....	61
5.4 Τεχνολογίες στην εφοδιαστική αλυσίδα κρασιού	62
5.5 IoT και Blockchain στη ναυτιλία: Οι Περιπτώσεις Maersk και TradeLens	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μεθοδολογική προσέγγιση και περιορισμοί	64
6.1 Επιλογή μεθοδολογικής προσέγγισης.....	64
6.2 Περιορισμοί και παραδοχές της μελέτης	65
6.3 Στρατηγικές αντιμετώπισης των περιορισμών.....	65
6.3.1 Πολιτικά και θεσμικά κίνητρα	65
6.3.2 Επενδύσεις και υποδομές.....	66
6.3.3 Εκπαίδευση και κατάρτιση	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συζήτηση και συμπεράσματα	67
7.1. Σύνθεση και ανάλυση ευρημάτων	67
7.2. Πολιτικές και πρακτικές επιπτώσεις.....	69
7.3. Μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.....	70
Βιβλιογραφία	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης

1.1 Ιστορικό και πλαίσιο

Οι αλυσίδες εφοδιασμού αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του παγκόσμιου εμπορίου και της οικονομικής σταθερότητας, καθώς διευκολύνουν τη ροή αγαθών, υπηρεσιών και πληροφοριών σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνδέουν παραγωγούς, κατασκευαστές και καταναλωτές, επιτρέποντας την αποτελεσματική κατανομή των πόρων και την ενίσχυση της οικονομικής ανάπτυξης (Chopra & Meindl, 2020). Με την αυξανόμενη παγκοσμιοποίηση, οι επιδόσεις και η ανθεκτικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού καθίστανται ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της σταθερότητας των αγορών και την αποτροπή διαταραχών με εκτεταμένες οικονομικές επιπτώσεις (Chopra & Meindl, 2020; Ivanov & Dolgui, 2020).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις αλυσίδες εφοδιασμού έχει σημειώσει ραγδαία εξέλιξη, μετάβαση που ξεκινά από τη βασική ψηφιοποίηση και φθάνει μέχρι τις προηγμένες εφαρμογές ανάλυσης δεδομένων, αυτοματισμού και blockchain. Αυτές οι καινοτομίες ενισχύουν την αποδοτικότητα των πόρων, εξορθολογίζουν τις λειτουργίες, μειώνουν τα απόβλητα και εξασφαλίζουν ορατότητα σε πραγματικό χρόνο στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας (Okusi, 2024). Για παράδειγμα, οι συσκευές Internet of Things (IoT) παρέχουν λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων και τις συνθήκες αποστολής, ενώ η τεχνητή νοημοσύνη (AI) ενισχύει την πρόβλεψη της ζήτησης και τη λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την προσαρμογή των αλυσίδων εφοδιασμού σε πολύπλοκα ρυθμιστικά περιβάλλοντα, μέσω της αυτοματοποίησης της παρακολούθησης της συμμόρφωσης και της ενίσχυσης της διαφάνειας (KPMG, 2021; Okusi, 2024).

Στο σύγχρονο παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον, η ανάγκη για βιώσιμες και ανθεκτικές αλυσίδες εφοδιασμού έχει αυξηθεί ραγδαία. Η κλιματική αλλαγή, οι γεωπολιτικές εντάσεις και η πανδημία COVID-19 ανέδειξαν τις αδυναμίες των παραδοσιακών μοντέλων, τα οποία συχνά δεν διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για την απορρόφηση κρίσεων (KPMG, 2021). Οι βιώσιμες πρακτικές, όπως η πράσινη εφοδιαστική και τα κυκλικά μοντέλα, αντιμετωπίζουν τις περιβαλλοντικές προκλήσεις, ενώ η ενσωμάτωση ανθεκτικών πλαισίων διασφαλίζει τη συνέχεια

των δραστηριοτήτων σε περιόδους κρίσης. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής, οι επιχειρήσεις και οι ερευνητές επικεντρώνονται πλέον στην ενίσχυση αυτών των χαρακτηριστικών, προκειμένου να δημιουργήσουν μελλοντικά βιώσιμες και ανθεκτικές αλυσίδες εφοδιασμού (Ellen MacArthur Foundation, 2023; Jumoke et al., 2024).

Η σύγκλιση μεταξύ τεχνολογίας και βιωσιμότητας προσφέρει πρωτόγνωρες δυνατότητες για τον επαναπροσδιορισμό της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μέσω της υιοθέτησης τεχνολογικά καινοτόμων λύσεων, οι αλυσίδες εφοδιασμού μπορούν να εναρμονιστούν με οικονομικούς και πολιτικούς στόχους, διατηρώντας την ανταγωνιστικότητά τους και ανταποκρινόμενες στις μεταβαλλόμενες ανάγκες του διεθνούς περιβάλλοντος. Η παρούσα εργασία αναλύει αυτήν τη δυναμική, αναδεικνύοντας τον ρόλο των νέων τεχνολογιών στην οικοδόμηση βιώσιμων και ανθεκτικών εφοδιαστικών συστημάτων.

1.2 Διατύπωση του προβλήματος

Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού αντιμετωπίζουν πολλαπλές και σύνθετες προκλήσεις στην προσπάθειά τους να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των σύγχρονων οικονομιών. Η οικονομική παγκοσμιοποίηση, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες προσδοκίες των καταναλωτών, ενισχύει την ανάγκη για ευελιξία, διαφάνεια και λειτουργική αποτελεσματικότητα. Παράλληλα, οι περιβαλλοντικές πιέσεις και τα αυστηρότερα κανονιστικά πλαίσια ασκούν σημαντική πίεση στις επιχειρήσεις να υιοθετήσουν βιώσιμες πρακτικές. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι συμβατικές προσεγγίσεις συχνά αποδεικνύονται ανεπαρκείς, καθώς στερούνται της προσαρμοστικότητας και της τεχνολογικής καινοτομίας που απαιτείται για την αντιμετώπιση των νέων προκλήσεων (Symantec, 2020; World Economic Forum, 2022).

Μία από τις σημαντικότερες αδυναμίες των παραδοσιακών συστημάτων είναι ο κατακερματισμός τους. Οι απομονωμένες λειτουργίες και η περιορισμένη ανταλλαγή δεδομένων δημιουργούν εμπόδια στη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, αυξάνοντας τον κίνδυνο αναποτελεσματικότητας, καθυστερήσεων και σπατάλης πόρων. Για παράδειγμα, η ανεπαρκής διαχείριση αποθεμάτων μπορεί να οδηγήσει είτε σε υπερπαραγωγή είτε σε ελλείψεις, με αρνητικές επιπτώσεις στη σταθερότητα της αγοράς και το κόστος λειτουργίας.

Οι περιβαλλοντικές προκλήσεις επιδεινώνουν περαιτέρω αυτά τα προβλήματα. Οι αλυσίδες εφοδιασμού ευθύνονται για σημαντικό ποσοστό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, φθάνοντας έως και το 80% των συνολικών εκπομπών σε ορισμένες βιομηχανίες (McKinsey & Company, 2021). Η επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας που έχουν τεθεί σε διεθνές επίπεδο, όπως εκείνοι της Συμφωνίας των Παρισίων, απαιτεί δραστικό μετασχηματισμό στις πρακτικές logistics, στην ενέργεια, και στη διαχείριση πόρων.

Επιπρόσθετα, οι παραδοσιακές αλυσίδες παρουσιάζουν χαμηλή προσαρμοστικότητα σε μεταβαλλόμενα πολιτικά και κανονιστικά περιβάλλοντα. Παράγοντες όπως οι δασμοί, οι εμπορικοί περιορισμοί και τα πρότυπα περιβαλλοντικής συμμόρφωσης επιβάλλουν την ανάγκη για ισχυρά συστήματα παρακολούθησης, καταγραφής και προσαρμογής. Η αδυναμία αποτελεσματικής ευθυγράμμισης με αυτές τις απαιτήσεις οδηγεί σε αυξημένο λειτουργικό κόστος, νομικούς κινδύνους και διατάραξη της αλυσίδας αξίας.

Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων καθιστά επιτακτική την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών. Εργαλεία όπως τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins), η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το blockchain και το Internet of Things (IoT) προσφέρουν καινοτόμες λύσεις για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της ορατότητας και της συμμόρφωσης των αλυσίδων εφοδιασμού. Ιδιαίτερα, τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα προσομοίωσης σε πραγματικό χρόνο και προβλεπτικής ανάλυσης, επιτρέποντας τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων με βάση δυναμικά δεδομένα (Tao et al., 2022). Η παρούσα εργασία εξετάζει πώς αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να υπερβούν τους περιορισμούς των παραδοσιακών μοντέλων, συμβάλλοντας στη δημιουργία βιώσιμων και ανθεκτικών συστημάτων, ικανών να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του 21ου αιώνα (Markley & Davis, 2007).

1.3 Ερευνητικοί στόχοι και αντικείμενο μελέτης

Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει πώς οι τεχνολογικές καινοτομίες ενισχύουν την αποδοτικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού, ευθυγραμμιζόμενες παράλληλα με τους στόχους της πολιτικής και της βιωσιμότητας. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία στοχεύει στα εξής:

- Ανάλυση των περιορισμών των παραδοσιακών αλυσίδων εφοδιασμού στην ανταπόκριση σε οικονομικές, περιβαλλοντικές και ρυθμιστικές προκλήσεις.
- Διερεύνηση του ρόλου αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως το blockchain, το Internet of Things (IoT) και η τεχνητή νοημοσύνη (AI), στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ορατότητας και της συμμόρφωσης των σύγχρονων αλυσίδων εφοδιασμού.
- Αξιολόγηση περιπτώσιολογικών μελετών που τεκμηριώνουν πώς η τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει βιώσιμες και ανθεκτικές πρακτικές στον τομέα της εφοδιαστικής.

1.4 Πεδίο Εφαρμογής και περιορισμοί

Το πεδίο εφαρμογής της μελέτης εστιάζει στη διασταύρωση της τεχνολογίας, της βιωσιμότητας και της πολιτικής, στο πλαίσιο της διαχείρισης των εφοδιαστικών αλυσίδων. Εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ψηφιακά εργαλεία και τα καινοτόμα λειτουργικά πλαίσια μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών, τη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις (Saber et al., 2019).

Η μελέτη αναδεικνύει τις συνέπειες αυτών των τεχνολογικών εξελίξεων για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τις επιχειρήσεις και την επιστημονική κοινότητα. Παρέχει αξιοποιήσιμα δεδομένα και προτάσεις για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών και ανθεκτικών στο μέλλον εφοδιαστικών αλυσίδων, με βάση τις αρχές της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας (International Monetary Fund, 2022).

Τέλος, η έρευνα εντάσσεται στη διεθνή συζήτηση για τη βιώσιμη ανάπτυξη και το παγκόσμιο εμπόριο, προσφέροντας μία ολιστική ανάλυση του μετασχηματιστικού δυναμικού της τεχνολογίας στη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού. Τα ευρήματά της είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς που επιδιώκουν να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα, να εξασφαλίσουν συμμόρφωση με τα πρότυπα και να περιορίσουν τους κινδύνους που απορρέουν από διαταραχές στις εφοδιαστικές ροές. Στο πλαίσιο αυτό, η ενσωμάτωση εργαλείων τεχνολογικής διαφάνειας υποστηρίζει την παρακολούθηση και βελτίωση των δεικτών ESG

(Environmental, Social, Governance), οι οποίοι πλέον αποτελούν καθοριστικά κριτήρια αξιολόγησης για τις επιχειρήσεις και τους επενδυτές (OECD, 2023).

1.5 Ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να απαντήσει στα εξής βασικά ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες είναι οι βασικές τεχνολογικές προκλήσεις και δυνατότητες που αντιμετωπίζουν οι παγκόσμιες εφοδιαστικές αλυσίδες κατά τη μετάβασή τους προς ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μοντέλο λειτουργίας;
2. Πώς συμβάλλουν αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το blockchain, το Internet of Things (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins), στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της διαφάνειας και της συμμόρφωσης των αλυσίδων εφοδιασμού;
3. Ποιοι είναι οι βασικοί παράγοντες επιτυχίας ή αποτυχίας στην υιοθέτηση τεχνολογικών λύσεων, βάσει περιπτωσιολογικών μελετών επιχειρήσεων που εφαρμόζουν πρακτικές βιωσιμότητας στις εφοδιαστικές τους διαδικασίες;

1.6 Δομή και οργάνωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια, που αναλύουν διαδοχικά το θεωρητικό υπόβαθρο, τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις πρακτικές εφαρμογές και τις προοπτικές των βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού, με ιδιαίτερη έμφαση στον ρόλο των σύγχρονων τεχνολογιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της μελέτης, περιγράφονται οι βασικές έννοιες, το πρόβλημα, οι ερευνητικοί στόχοι και το πεδίο εφαρμογής, ενώ υπογραμμίζεται η σημασία της έρευνας.

Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στο θεωρητικό πλαίσιο, συγκρίνοντας τις παραδοσιακές με τις τεχνολογικά προηγμένες αλυσίδες εφοδιασμού. Παρουσιάζονται οι βασικές τεχνολογικές

καινοτομίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, το blockchain και τα Big Data, καθώς και η σχέση τους με την παγκόσμια πολιτική σταθερότητα.

Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται την έννοια της βιωσιμότητας στις εφοδιαστικές αλυσίδες, παρουσιάζοντας την ιστορική εξέλιξη των βιώσιμων πρακτικών, τη σύνδεση με την κοινωνική υπευθυνότητα και τη διαφάνεια, καθώς και την επίδραση της Βιομηχανίας 4.0. Επιπλέον, περιλαμβάνει αναφορές σε τεχνολογικές εξελίξεις στον κλάδο της μόδας και της κλωστοϋφαντουργίας, καθώς και εφαρμογές blockchain, AI και IoT στην αλυσίδα εφοδιασμού κρασιού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται επιμέρους τεχνολογίες, όπως το blockchain, η τεχνητή νοημοσύνη και τα Big Data, και η συμβολή τους στη βιωσιμότητα, την καινοτομία και τη διαφάνεια των εφοδιαστικών συστημάτων. Εξετάζονται επίσης τα εμπόδια υιοθέτησης και οι προκλήσεις που συνδέονται με την τεχνολογική καινοτομία.

Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει πρακτικές εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης, με έμφαση στην υιοθέτηση τεχνολογιών blockchain στην εφοδιαστική τροφίμων, όπως στην περίπτωση της Danone, στη χρήση AI και Big Data στον τομέα της γρήγορης μόδας με παραδείγματα από τις εταιρείες H&M, Zara και Shein, καθώς και στην ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT και blockchain στη ναυτιλία, με την περίπτωση της Maersk και της πλατφόρμας TradeLens.

Το έκτο κεφάλαιο αναλύει τη μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης, περιγράφει τους περιορισμούς που τη διέπουν και προτείνει στρατηγικές αντιμετώπισης, εστιάζοντας σε πολιτικά και θεσμικά κίνητρα, επενδύσεις και εκπαίδευση.

Τέλος, το έβδομο κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα, παρουσιάζει τις επιπτώσεις της μελέτης για την πολιτική και την επιχειρησιακή πρακτική και διατυπώνει προτάσεις για μελλοντική ερευνητική δραστηριότητα.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό πλαίσιο και τεχνολογικές εξελίξεις

2.1 Εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας: Από τα παραδοσιακά στα ψηφιακά μοντέλα

Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού, παρότι αποτελούν θεμέλιο του παγκόσμιου εμπορίου, εμφανίζουν σημαντικούς περιορισμούς στην ανταπόκρισή τους στις απαιτήσεις των σύγχρονων, ταχέως εξελισσόμενων οικονομιών. Βασίζονται κατά κανόνα σε κατακερματισμένες λειτουργίες, μη αυτοματοποιημένες διαδικασίες και περιορισμένη ροή δεδομένων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, γεγονός που οδηγεί σε προβλήματα όπως καθυστερήσεις, αναποτελεσματικότητα και αυξημένο κόστος λειτουργίας (Symantec, 2020).

Η έλλειψη ψηφιακής διασύνδεσης καθιστά δύσκολη την πρόβλεψη και διαχείριση της ζήτησης, ενώ η απουσία δυναμικής παρακολούθησης μειώνει την ικανότητα προσαρμογής σε εξωτερικές μεταβολές, όπως αλλαγές στις τιμές, στα ρυθμιστικά πλαίσια ή στις μεταφορικές συνθήκες (Ivanov et al., 2019).

Αντίθετα, οι τεχνολογικά προηγμένες αλυσίδες εφοδιασμού αξιοποιούν ψηφιακά εργαλεία και συστήματα πληροφορικής για τον εξορθολογισμό των ροών, την ενίσχυση της ορατότητας σε πραγματικό χρόνο και τη δυνατότητα προσαρμογής σε δυναμικά περιβάλλοντα αγοράς. Η χρήση τεχνολογιών όπως το Internet of Things (IoT), το blockchain, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τα Big Data συμβάλλει στη λήψη πιο τεκμηριωμένων αποφάσεων, στην πρόληψη διαταραχών και στη συμμόρφωση με κανονιστικές απαιτήσεις (World Economic Forum, 2022; Christopher, 2016).

Η μετάβαση από παραδοσιακές σε ψηφιακά ολοκληρωμένες αλυσίδες εφοδιασμού δεν αποτελεί μόνο τεχνολογική επιλογή, αλλά και στρατηγική ανάγκη για τη βελτίωση της βιωσιμότητας, της ανθεκτικότητας και της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων στο διεθνές περιβάλλον.

2.1.1 Ανεπάρκειες παραδοσιακών μοντέλων

Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού εμφανίζουν σημαντικές δομικές και λειτουργικές αδυναμίες, οι οποίες περιορίζουν την αποδοτικότητά τους σε σύνθετα και μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Πρώτον, παρουσιάζουν χαμηλό επίπεδο διαφάνειας, καθώς βασίζονται σε απομονωμένες λειτουργίες και ελάχιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των εμπλεκομένων φορέων. Η περιορισμένη ορατότητα σε κρίσιμες λειτουργίες, όπως η διαχείριση αποθεμάτων και η εφοδιαστική, οδηγεί συχνά σε καθυστερήσεις, λανθασμένες προβλέψεις και αυξημένη αναποτελεσματικότητα (Christopher, 2016). Δεύτερον, η περιορισμένη επεκτασιμότητα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα. Οι χειροκίνητες διαδικασίες και τα μη αυτοματοποιημένα συστήματα παρακολούθησης καθιστούν δύσκολη την έγκαιρη απόκριση σε αυξομειώσεις της ζήτησης ή σε διαταραχές της αγοράς. Η απουσία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο αποδυναμώνει τη λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερα σε συνθήκες αβεβαιότητας ή πίεσης (Ivanov et al., 2019). Τέλος, ένα από τα πιο σοβαρά μειονεκτήματα είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση. Τα παραδοσιακά μοντέλα εστιάζουν κυρίως στην οικονομική αποδοτικότητα, συχνά εις βάρος της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Αυτή η προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και εντατική χρήση φυσικών πόρων, ιδιαίτερα σε βιομηχανίες εντάσεως ενέργειας και μεταφορών (McKinsey & Company, 2021).

Οι αδυναμίες αυτές καταδεικνύουν την ανάγκη για έναν ριζικό μετασχηματισμό των εφοδιαστικών συστημάτων, μέσω της αξιοποίησης τεχνολογικών εργαλείων που ενισχύουν την ορατότητα, την ευελιξία και τη βιωσιμότητα. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι εφικτός χάρη στην εξέλιξη ενός ευρέος φάσματος τεχνολογιών, οι οποίες επαναπροσδιορίζουν τις βασικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

2.1.2 Δυνατότητες προηγμένων τεχνολογιών

Απαντώντας στις αδυναμίες των παραδοσιακών μοντέλων, οι αλυσίδες εφοδιασμού που βασίζονται σε προηγμένες τεχνολογίες υπερβαίνουν τους περιορισμούς τους, αξιοποιώντας

καινοτόμα εργαλεία και ψηφιακά πλαίσια για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της διαφάνειας και της προσαρμοστικότητας. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Μέσω αισθητήρων που βασίζονται στο Internet of Things (IoT), παρέχεται συνεχής πληροφόρηση σχετικά με την κατάσταση των αποστολών και των αποθεμάτων. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων, τη μείωση καθυστερήσεων και τη βελτιωμένη ανταπόκριση σε ενδεχόμενες διακοπές στη ροή της αλυσίδας (McKinsey & Company, 2021).

Παράλληλα, η αξιοποίηση τεχνητής νοημοσύνης (AI) και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (Big Data) επιτρέπει την πρόβλεψη της ζήτησης, τον εντοπισμό ανωμαλιών και την προώθηση οικονομικά αποδοτικών λύσεων. Αυτά τα εργαλεία ενισχύουν τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και βελτιστοποιούν τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσφέροντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (World Economic Forum, 2022). Ιδιαίτερη σημασία έχει και η τεχνολογία blockchain, η οποία προσφέρει δυνατότητα πλήρους ιχνηλασιμότητας σε κάθε στάδιο της αλυσίδας. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η συμμόρφωση με περιβαλλοντικούς και δεοντολογικούς κανονισμούς, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και τη διαφάνεια στις πρακτικές προμήθειας (Markley & Davis, 2007).

Συνολικά, οι προηγμένες τεχνολογίες δεν αποτελούν απλώς βελτιώσεις στις υπάρχουσες διαδικασίες, αλλά καταλύτες μετασχηματισμού, επιτρέποντας τη μετάβαση σε πιο ευέλικτες, υπεύθυνες και βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού. Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) χρησιμοποιείται πλέον και για την καταγραφή και πρόβλεψη εκπομπών Scope 3, διευκολύνοντας τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων με τα πρότυπα ESG (Accenture, 2023).

Παράλληλα, προηγμένες τεχνολογίες όπως τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins) και οι προβλεπτικές αναλύσεις (predictive analytics) ενισχύουν την ικανότητα προσομοίωσης σύνθετων σεναρίων, αξιολόγησης περιβαλλοντικών και επιχειρησιακών κινδύνων, καθώς και τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Μέσα από τη συνδυαστική τους εφαρμογή, συμβάλλουν καθοριστικά στη μετάβαση προς πιο ανθεκτικές, έξυπνες και βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες (Ghadge et al., 2022; Tachizawa & Wong, 2023).

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) έφερε στο προσκήνιο τεχνολογίες όπως το IoT, το blockchain, η τεχνητή νοημοσύνη και τα Big Data, οι οποίες επαναπροσδιορίζουν τις διαδικασίες στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Παράλληλα, η εμφάνιση της Industry 5.0

ενισχύει τον ρόλο του ανθρώπου και της βιωσιμότητας, εισάγοντας μια πιο ισορροπημένη προσέγγιση μεταξύ αυτοματισμού και κοινωνικής υπευθυνότητας (European Commission, 2021).

2.2 Προηγμένες τεχνολογίες στην πράξη

Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT), το blockchain και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data analytics), επιφέρει βαθύτατο μετασχηματισμό στις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν τη δυνατότητα στους οργανισμούς να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες, να αυξάνουν τη διαφάνεια σε όλα τα επίπεδα της αλυσίδας και να βελτιώνουν την αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων.

Ειδικότερα, η AI ενισχύει την πρόβλεψη της ζήτησης και την αυτόνομη λήψη αποφάσεων, το IoT διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση ροών και προϊόντων, το blockchain διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων και τη ιχνηλασιμότητα, ενώ τα Big Data analytics υποστηρίζουν στρατηγικές αποφάσεις με βάση εμπειρισταωμένες αναλύσεις.

Συνολικά, αυτά τα εργαλεία ενισχύουν την ανθεκτικότητα και την προσαρμοστικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο παγκόσμιο περιβάλλον, υποστηρίζοντας την ευθυγράμμισή τους με τους στόχους βιωσιμότητας και οικονομικής αποδοτικότητας (Ogbu, 2024).

2.2.1 Τεχνητή νοημοσύνη (AI)

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) αποτελεί μία από τις πλέον ριζοσπαστικές τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην εφοδιαστική αλυσίδα, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση κρίσιμων λειτουργιών και την αύξηση της προγνωστικής ικανότητας των οργανισμών. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, η AI αξιοποιεί μεγάλα σύνολα δεδομένων για την αναγνώριση

προτύπων και τη διαμόρφωση προβλέψεων σχετικά με τη ζήτηση, τη ροή προϊόντων και τις διακυμάνσεις της αγοράς (Attaran, 2020).

Πέρα από τις παραδοσιακές δυνατότητες πρόβλεψης, σύγχρονες εφαρμογές όπως η Generative AI και η predictive optimization ενσωματώνονται στα πληροφοριακά συστήματα για την αυτόματη αναπλήρωση αποθεμάτων, τη δημιουργία σεναρίων what-if σε πραγματικό χρόνο και την αυτόνομη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων. Τεχνολογικές πλατφόρμες, όπως η IBM Sterling, συνδυάζουν AI, Internet of Things (IoT) και blockchain για την ανάπτυξη ψηφιακών διδύμων (digital twins) της εφοδιαστικής αλυσίδας, διευκολύνοντας τη δυναμική προσομοίωση λειτουργιών και την πρόληψη διαταραχών (Ivanov, 2023).

Η ενσωμάτωση της AI στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει σημαντικά οφέλη: μείωση χρόνου απόκρισης, εξορθολογισμός του λειτουργικού κόστους, ακρίβεια στη διαχείριση αποθεμάτων και βελτιστοποίηση της διανομής. Επιπλέον, όταν συνδυάζεται με big data analytics και IoT, η AI συμβάλλει στη δημιουργία ενός συστήματος λήψης αποφάσεων που λειτουργεί αυτόνομα και με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, ενισχύοντας την προσαρμοστικότητα και την ανθεκτικότητα των εφοδιαστικών δικτύων σε δυναμικά περιβάλλοντα (Choi et al., 2022).

Συνεπώς, η AI δεν αποτελεί μόνο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, αλλά ένα θεμέλιο για τον μετασχηματισμό της εφοδιαστικής αλυσίδας προς ένα πιο έξυπνο, ευέλικτο και βιώσιμο μοντέλο λειτουργίας.

2.2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) αναδεικνύεται ως καταλύτης μετασχηματισμού για τις εφοδιαστικές αλυσίδες, προσφέροντας τη δυνατότητα συνεχούς και αυτόματης παρακολούθησης των ροών υλικών και πληροφοριών. Μέσω αισθητήρων, ετικετών RFID και συνδεδεμένων συσκευών, οι επιχειρήσεις αποκτούν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την τοποθεσία, την κατάσταση, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και άλλες κρίσιμες παραμέτρους των αποστολών (Taboada & Shee, 2021).

Η τεχνολογία IoT ενισχύει την ορατότητα και την ιχνηλασιμότητα σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας την άμεση εντόπιση αποκλίσεων, τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών logistics. Επιπλέον, παρέχει τη δυνατότητα για προληπτική διαχείριση κινδύνου, μέσω της έγκαιρης ανίχνευσης πιθανών διαταραχών, όπως καθυστερήσεις, απώλειες ή αλλοιώσεις φορτίων.

Χαρακτηριστική περίπτωση εφαρμογής της IoT τεχνολογίας συναντάται στον ναυτιλιακό κολοσσό Maersk, ο οποίος χρησιμοποιεί εμπορευματοκιβώτια εξοπλισμένα με αισθητήρες IoT. Οι συσκευές αυτές παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, διασφαλίζοντας την ασφαλή μεταφορά ευπαθών προϊόντων και παρέχοντας στους πελάτες διαφάνεια και έλεγχο κατά τη διάρκεια της αποστολής (Taboada & Shee, 2021).

Πέραν της μεταφοράς, η ενσωμάτωση του IoT στην αποθήκευση και την εσωτερική διαχείριση logistics συμβάλλει στη μείωση των απωλειών, στην αύξηση της απόδοσης και στην εξοικονόμηση πόρων, υποστηρίζοντας τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα των σύγχρονων εφοδιαστικών δικτύων (Mourtzis et al., 2020). Εν κατακλείδι, το IoT αποτελεί βασικό πυλώνα του ψηφιακού μετασχηματισμού των εφοδιαστικών αλυσίδων, διευκολύνοντας την υλοποίηση ευφυών, διασυνδεδεμένων και βιώσιμων επιχειρησιακών μοντέλων.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του IoT είναι η εταιρεία Maersk, η οποία χρησιμοποιεί αισθητήρες σε εμπορευματοκιβώτια για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της τοποθεσίας και των κραδασμών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται η ποιότητα ευαίσθητων φορτίων, ενώ παράλληλα ενισχύεται η διαφάνεια προς τους πελάτες και η έγκαιρη λήψη αποφάσεων σε περίπτωση απόκλισης (Maersk, 2023).

2.2.3 Τεχνολογία Blockchain

Η τεχνολογία blockchain συνιστά μία καινοτόμο μέθοδο κατανεμημένης αποθήκευσης και επαλήθευσης δεδομένων, με βασικά χαρακτηριστικά τη διαφάνεια, την ακεραιότητα και την ασφάλεια των πληροφοριακών ροών. Η αρχιτεκτονική της βασίζεται στη δημιουργία ενός αμετάβλητου, κοινόχρηστου καθολικού αρχείου (distributed ledger), στο οποίο καταγράφονται με

χρονολογική σειρά όλες οι συναλλαγές και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών (Crosby et al., 2016). Η προσέγγιση αυτή καθιστά το blockchain ιδανικό εργαλείο για την εφοδιαστική αλυσίδα, η οποία χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα, γεωγραφική διασπορά και υψηλές απαιτήσεις εμπιστοσύνης.

Ιχνηλασιμότητα και διαφάνεια

Ένας από τους σημαντικότερους ρόλους της τεχνολογίας blockchain στις αλυσίδες εφοδιασμού είναι η ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας (traceability). Μέσω της καταγραφής δεδομένων σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής διαδικασίας, καθίσταται εφικτή η παρακολούθηση της πορείας των προϊόντων από την πρώτη ύλη έως τον τελικό καταναλωτή (Kshetri, 2018; Montecchi et al., 2019). Η δυνατότητα αυτή είναι κρίσιμη για την πρόληψη απάτης, την επαλήθευση πιστοποιήσεων, αλλά και τη διαχείριση κρίσεων σε περιπτώσεις ανάκλησης προϊόντων.

Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η Walmart, η οποία έχει εφαρμόσει blockchain για την ανίχνευση της προέλευσης προϊόντων διατροφής. Η λύση αυτή έχει μειώσει τον χρόνο εντοπισμού πιθανής μόλυνσης από ημέρες σε λίγα δευτερόλεπτα, ενισχύοντας δραστικά τη διαχείριση της ασφάλειας τροφίμων (Cano et al., 2022). Παράλληλα, καταναλωτές και ρυθμιστικές αρχές μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση σε δεδομένα διαφάνειας, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη προς τον οργανισμό.

Η εφαρμογή green blockchain (όπως το IBM Food Trust) επεκτείνει την έννοια της ιχνηλασιμότητας και στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων, επιτρέποντας την παρακολούθηση εκπομπών άνθρακα και κατανάλωσης ενέργειας κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας (Liu et al., 2019).

Αυτόματα συμβόλαια και λειτουργική αποδοτικότητα

Η χρήση έξυπνων συμβολαίων (smart contracts), τα οποία ενεργοποιούνται αυτόματα όταν πληρούνται προκαθορισμένοι όροι, μειώνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος και τις καθυστερήσεις που σχετίζονται με την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι συμβάσεις αυτές ενσωματώνουν όρους σε κώδικα και υλοποιούνται με διαφάνεια και χωρίς τη μεσολάβηση τρίτων

(Sikorski et al., 2017). Μεγάλες επιχειρήσεις όπως η Nestlé και η Carrefour αξιοποιούν έξυπνα συμβόλαια σε συνδυασμό με blockchain για να διασφαλίσουν τη συμμόρφωση με κανονιστικά πρότυπα και να ενισχύσουν την αξιοπιστία προς τους καταναλωτές (World Economic Forum, 2024).

Πολυδιάστατες εφαρμογές στο Supply Chain Management

Πέρα από την ιχνηλασιμότητα και τα έξυπνα συμβόλαια, η τεχνολογία blockchain ενδυναμώνει την εφοδιαστική αλυσίδα μέσω επιπλέον λειτουργιών:

- Ανταλλαγή δεδομένων και διαλειτουργικότητα (van Engelenburg et al., 2019),
- Αύξηση της ανθεκτικότητας των αλυσίδων σε κρίσεις (Min, 2019),
- Αποτροπή παραποίησης προϊόντων (Montecchi et al., 2019),
- Υποστήριξη ευφών μεταφορών και logistics (Lei et al., 2017),
- Ενίσχυση της ασφάλειας και της βιωσιμότητας (Dorri et al., 2017; Liu et al., 2019).

Η τεχνολογία blockchain συνιστά καταλύτη μετασχηματισμού για τις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες. Μέσω της ενίσχυσης της ιχνηλασιμότητας, της αυτοματοποίησης συμβολαίων και της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, προσφέρει συστημικά πλεονεκτήματα σε όρους διαφάνειας, αποδοτικότητας και βιωσιμότητας. Η ευρύτερη υιοθέτησή της σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες του Industry 4.0, αναμένεται να συμβάλει καθοριστικά στην αντιμετώπιση προκλήσεων όπως η απάτη, η μη συμμόρφωση και η περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η συνεργασία της IBM με την Walmart, μέσω της οποίας εφαρμόστηκε τεχνολογία blockchain για την ιχνηλάτηση της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων. Συγκεκριμένα, το σύστημα επιτρέπει τον εντοπισμό της προέλευσης νωπών προϊόντων σε διάστημα λίγων δευτερολέπτων, ενισχύοντας τη διατροφική ασφάλεια και τη διαφάνεια έναντι των καταναλωτών (IBM Food Trust, 2023).

2.2.4 Μαζικά δεδομένα (Big Data)

Η τεχνολογία των Μαζικών Δεδομένων (Big Data) αποτελεί έναν από τους βασικότερους μοχλούς καινοτομίας στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας στους οργανισμούς να επεξεργάζονται τεράστιους όγκους ετερογενούς πληροφορίας που προέρχεται από πολλαπλές πηγές – όπως δεδομένα συναλλαγών, κοινωνικά μέσα, τάσεις της αγοράς, καιρικά φαινόμενα, αλλά και σχόλια πελατών (Wamba et al., 2017). Η ολοκληρωμένη αξιοποίηση αυτών των δεδομένων επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών, την ενίσχυση της ακρίβειας των προβλέψεων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

Η εφαρμογή Big Data analytics επιφέρει σημαντικά οφέλη, όπως η βελτιστοποίηση δρομολογίων μεταφοράς, η μείωση του κόστους αποθεμάτων και η πρόληψη διαταραχών στην αλυσίδα. Επιπλέον, επιτρέπει τη μετάβαση από αντιδραστική σε προληπτική στρατηγική, προσδιορίζοντας πιθανούς κινδύνους, όπως καθυστερήσεις, φυσικές καταστροφές ή γεωπολιτικές αστάθειες, πριν ακόμη επηρεάσουν τη ροή των υλικών (Choi et al., 2018).

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα πρακτικής αξιοποίησης των Big Data αποτελεί η πλατφόρμα Resilience360 της DHL. Η πλατφόρμα χρησιμοποιεί τεχνικές ανάλυσης δεδομένων για να παρακολουθεί παγκόσμιες εξελίξεις και να εντοπίζει δυνητικούς κινδύνους, επιτρέποντας στον οργανισμό να εφαρμόζει έγκαιρα σχέδια αντιμετώπισης κρίσεων και να διασφαλίζει την επιχειρησιακή συνέχεια της εφοδιαστικής αλυσίδας (Nuka & Osedahunsi, 2024).

Η στρατηγική ενσωμάτωση των Big Data στο πλαίσιο του Supply Chain Management δεν ενισχύει μόνο τη λειτουργική αποδοτικότητα αλλά και τη βιωσιμότητα, καθώς συμβάλλει στη μείωση αποβλήτων, την ακριβή πρόβλεψη ζήτησης και την καλύτερη αξιοποίηση των πόρων. Ως εκ τούτου, η ανάλυση μαζικών δεδομένων έχει πλέον καθιερωθεί ως κρίσιμο εργαλείο ενδυνάμωσης της ανθεκτικότητας, της ευελιξίας και της περιβαλλοντικής ευθύνης των σύγχρονων εφοδιαστικών δικτύων (Wamba & Mishra, 2022).

Για παράδειγμα, εταιρείες όπως η Unilever χρησιμοποιούν big data analytics για να προβλέπουν τη ζήτηση σε τοπικό επίπεδο, μειώνοντας την υπερπαραγωγή και περιορίζοντας τη σπατάλη πρώτων υλών και ενέργειας (Unilever Sustainable Living Report, 2022).

2.2.5 Ενσωμάτωση τεχνολογιών: Πραγματικά παραδείγματα και αντίκτυπος

Η πρακτική εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών στις εφοδιαστικές αλυσίδες αποδεικνύει τη σημαντική τους συμβολή στη βελτίωση της διαφάνειας, της λειτουργικής αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας σε πραγματικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα. Παγκόσμιες επιχειρήσεις και οργανισμοί αξιοποιούν τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το blockchain και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) για να αντιμετωπίσουν σύνθετες προκλήσεις στην εφοδιαστική και να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά τους.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Unilever, η οποία έχει υιοθετήσει το blockchain και την τεχνητή νοημοσύνη για τη βελτίωση της ηθικής και βιώσιμης προμήθειας πρώτων υλών. Με τη χρήση blockchain, η εταιρεία επιτυγχάνει ιχνηλασιμότητα στην προέλευση των προϊόντων της, ενώ οι αλγόριθμοι AI υποστηρίζουν την πρόβλεψη πιθανών διαταραχών στην αλυσίδα, επιτρέποντας την έγκαιρη λήψη μέτρων βελτιστοποίησης. Αυτές οι τεχνολογίες διευκολύνουν την επίτευξη υψηλών επιπέδων διαφάνειας και αποτελεσματικότητας, ευθυγραμμίζοντας παράλληλα τις επιχειρησιακές πρακτικές με τους περιβαλλοντικούς στόχους για μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα (Unilever, 2023).

Αντίστοιχα, η FedEx εφαρμόζει τεχνολογίες IoT και blockchain για την παρακολούθηση δεμάτων σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με κανονιστικά πρότυπα στις διεθνείς μεταφορές. Η παρακολούθηση κρίσιμων μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία και η θέση των φορτίων, επιτρέπει άμεση αντίδραση σε απρόβλεπτα περιστατικά, ενώ το blockchain εγγυάται την ακεραιότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων, μειώνοντας τον κίνδυνο απάτης και ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ συνεργατών (FedEx Institute of Technology, 2022).

Επιπλέον, η συνεργασία της Walmart με την IBM στο πλαίσιο της πλατφόρμας IBM Food Trust αποτελεί παράδειγμα αξιοποίησης του blockchain για τη διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας τροφίμων, τη μείωση του διατροφικού κινδύνου και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών. Επιπλέον, η περίπτωση της Maersk, μέσω της πλατφόρμας TradeLens, επιβεβαιώνει τη σημασία της ενσωμάτωσης blockchain και IoT στην παγκόσμια ναυτιλία, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας και της διαφάνειας στην εφοδιαστική αλυσίδα (βλ. αναλυτικά Κεφάλαιο 5.5).

Στο πεδίο της μεταποίησης, η ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών, όπως AI, μηχανική μάθηση, Big Data και IoT, προωθεί την ανάπτυξη έξυπνων εργοστασίων και ευφών συστημάτων διαχείρισης. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν αυτοματισμούς που βελτιώνουν την αποδοτικότητα, μειώνουν τα σφάλματα και υποστηρίζουν βιώσιμες πρακτικές παραγωγής, συμβάλλοντας παράλληλα στην αναδιάρθρωση των παραδοσιακών μοντέλων παραγωγής (Dirican, 2015; Wuest et al., 2016; Li et al., 2017). Ωστόσο, παραμένει σημαντική η ανάγκη για συνεχή εκπαίδευση του προσωπικού και η διαχείριση των κοινωνικών επιπτώσεων που προκύπτουν από αυτές τις τεχνολογικές αλλαγές (Seuring, 2017).

Παρά την πρόοδο, η επίδραση αυτών των νέων τεχνολογιών στην περιβαλλοντική και κοινωνική βιωσιμότητα στον τομέα της μεταποίησης εξακολουθεί να αποτελεί πεδίο ενεργούς έρευνας, ανοίγοντας δρόμους για μελλοντικές μελέτες που θα εξετάσουν βαθύτερα τις επιδόσεις βιωσιμότητας και τις στρατηγικές υλοποίησής τους (Chen et al., 2012; Wang et al., 2016).

Τα παραπάνω παραδείγματα αποδεικνύουν πώς η τεχνολογική καινοτομία, όταν ενσωματώνεται ολιστικά και στρατηγικά, μπορεί να μετασχηματίσει ριζικά την εφοδιαστική αλυσίδα, καθιστώντας την πιο ανθεκτική, βιώσιμη και ανταγωνιστική. Επιπλέον, δείχνουν τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των πρακτικών σε ευρύ φάσμα επιχειρησιακών περιβαλλόντων, ενισχύοντας τη μετάβαση σε ψηφιακές αλυσίδες εφοδιασμού επόμενης γενιάς (Kamble et al., 2020; Queiroz et al., 2020).

Παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι προαναφερθείσες τεχνολογίες, η επιλογή της κατάλληλης λύσης για κάθε επιχείρηση εξαρτάται από παράγοντες όπως το επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας, το μέγεθος της αλυσίδας, οι ρυθμιστικές απαιτήσεις και οι περιβαλλοντικοί στόχοι. Για παράδειγμα, το blockchain προσφέρει κορυφαία διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα, αλλά ενδέχεται να απαιτεί υψηλό αρχικό κόστος υλοποίησης. Αντίστοιχα, η τεχνητή νοημοσύνη παρέχει ισχυρά εργαλεία πρόβλεψης και βελτιστοποίησης, απαιτώντας ωστόσο δεδομένα υψηλής ποιότητας και εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό. Η κατανόηση των πλεονεκτημάτων και περιορισμών κάθε τεχνολογίας είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική τους ενσωμάτωση, ενισχύοντας τη στρατηγική μετάβαση προς βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες.

2.3 Τεχνολογία, πολιτική και παγκόσμια σταθερότητα

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στις αλυσίδες εφοδιασμού δεν ενισχύουν μόνο τη λειτουργική αποδοτικότητα των επιχειρήσεων, αλλά συμβάλλουν ουσιαστικά και στην ευθυγράμμιση με τους εγχώριους και διεθνείς στόχους πολιτικής. Η ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων επιτρέπει στις επιχειρήσεις να ανταποκρίνονται στις κανονιστικές απαιτήσεις, να προωθούν βιώσιμες πρακτικές και να ενισχύουν τη μακροοικονομική σταθερότητα σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο (Jumoke et al., 2024).

Αλυσίδες εφοδιασμού που βασίζονται στην τεχνολογία διευκολύνουν την υλοποίηση πολιτικών βιώσιμης ανάπτυξης, τη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα (π.χ. SDGs, ESG frameworks), και την ενίσχυση της διαφάνειας και της ανθεκτικότητας των κρίσιμων υποδομών. Ως εκ τούτου, αποτελούν πολύτιμο εργαλείο στα χέρια των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και των επιχειρηματικών φορέων που επιδιώκουν τον συντονισμό μεταξύ οικονομικής ανταγωνιστικότητας και κοινωνικής υπευθυνότητας.

Η παρούσα ενότητα εξετάζει πώς η τεχνολογία συνδέεται με πολιτικές επιδιώξεις σε τέσσερις βασικούς άξονες: εσωτερική πολιτική, εξωτερική πολιτική, διεθνείς πρωτοβουλίες και διασφάλιση της παγκόσμιας σταθερότητας, αναδεικνύοντας τον ρόλο της ψηφιοποίησης ως στρατηγικό καταλύτη ανάπτυξης.

2.3.1 Ευθυγράμμιση με διεθνείς στόχους βιωσιμότητας

Σε εθνικό επίπεδο, πολλές κυβερνήσεις θέτουν ως προτεραιότητα την οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη βιώσιμη μετάβαση των υποδομών. Οι τεχνολογικά ολοκληρωμένες αλυσίδες εφοδιασμού συνεισφέρουν καθοριστικά στην επίτευξη αυτών των στόχων, ενισχύοντας την καινοτομία, μειώνοντας την κατανάλωση πόρων και ενθαρρύνοντας την ψηφιοποίηση της παραγωγής και διανομής.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πρωτοβουλία Smart City Challenge του Υπουργείου Μεταφορών των ΗΠΑ, η οποία ενσωματώνει τεχνολογίες IoT και AI για τη

βελτιστοποίηση της αστικής εφοδιαστικής, τη μείωση των εκπομπών ρύπων και την ενίσχυση της αποδοτικότητας στην παράδοση αγαθών (US Department of Transportation, 2016).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) υπογραμμίζει την ανάγκη απανθρακοποίησης των εφοδιαστικών αλυσίδων. Στο πλαίσιο αυτό, οι επιχειρήσεις που υιοθετούν πράσινες τεχνολογίες –όπως ηλεκτρικά οχήματα μεταφοράς, συστήματα υπολογισμού ανθρακικού αποτυπώματος και blockchain για παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεδομένων– αποκτούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Η τεχνολογία καθίσταται, έτσι, όχι μόνο μέσο συμμόρφωσης με κανονισμούς, αλλά και εργαλείο στρατηγικής διαφοροποίησης (Al Mashalah et al., 2022).

Οι παραπάνω περιπτώσεις καταδεικνύουν ότι η ψηφιοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού δεν αποτελεί απλώς τεχνική βελτίωση, αλλά μέσο υλοποίησης δημόσιων πολιτικών, με οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

2.3.2 Πολιτικές πρωτοβουλίες και διεθνείς τάσεις

Το παγκόσμιο εμπόριο και η οικονομική σταθερότητα αποτελούν κεντρικούς άξονες της εξωτερικής πολιτικής των κρατών και των διακυβερνητικών οργανισμών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι τεχνολογικά προηγμένες αλυσίδες εφοδιασμού διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στην ενίσχυση του διασυνοριακού εμπορίου, μέσω της μείωσης γραφειοκρατικών εμποδίων, της βελτίωσης της ιχνηλασιμότητας και της συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα και κανονισμούς.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η στρατηγική του Παγκόσμιου Οργανισμού Εμπορίου (ΠΟΕ), ο οποίος έχει αναγνωρίσει τη δυναμική του blockchain ως εργαλείο για την απλοποίηση των τελωνειακών διαδικασιών και την προώθηση της διαφάνειας στις εμπορικές ροές. Μέσω της τεχνολογίας αυτής, επιδιώκεται η μείωση των καθυστερήσεων και του κόστους στα σύνορα, καθώς και η ενίσχυση της διεθνούς εμπιστοσύνης και συνεργασίας (Van Breedam, 2016; WTO, 2021 & 2022).

Η προώθηση τέτοιων τεχνολογικών πρωτοβουλιών σε διεθνές επίπεδο αποδεικνύει ότι η καινοτομία στην εφοδιαστική δεν αφορά μόνο τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, αλλά και τη

γεωπολιτική σταθερότητα και σύγκλιση. Οι τεχνολογικά ενισχυμένες αλυσίδες εφοδιασμού λειτουργούν ως υποδομές διπλωματικής και εμπορικής συνδεσιμότητας, υποστηρίζοντας την πολυμερή συνεργασία και την αειφόρο ανάπτυξη.

2.3.3 Παραδείγματα πρωτοβουλιών

Η σύνδεση της τεχνολογίας με τους πολιτικούς στόχους είναι εμφανής σε διεθνείς συμφωνίες και γεωστρατηγικές πρωτοβουλίες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό των αλυσίδων εφοδιασμού.

Η Συμφωνία των Παρισίων αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπου οι αλυσίδες εφοδιασμού καλούνται να συμβάλλουν ενεργά στην επίτευξη ουδέτερου ισοζυγίου άνθρακα. Οι επιχειρήσεις που ενσωματώνουν πράσινες τεχνολογίες, επενδύουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εφαρμόζουν βιώσιμες πρακτικές μεταφοράς και παρακολουθούν το ανθρακικό τους αποτύπωμα μέσω τεχνολογιών όπως το blockchain, είναι σε θέση να ευθυγραμμιστούν με τους διεθνείς στόχους. Επιπλέον, αποκτούν πρόσβαση σε χρηματοδοτικά κίνητρα και πολιτική στήριξη, γεγονός που δημιουργεί αμοιβαίο όφελος για τις επιχειρήσεις και την περιβαλλοντική πολιτική (UNFCCC, 2015; UNEP Emissions Gap Report, 2023).

Αντίστοιχα, η πρωτοβουλία Belt and Road Initiative (BRI) που ηγείται η Κίνα, στοχεύει στην ενίσχυση της παγκόσμιας εμπορικής συνδεσιμότητας. Η BRI αξιοποιεί τεχνολογίες αιχμής, όπως έξυπνα λιμάνια, ψηφιοποιημένα συστήματα logistics και δίκτυα παρακολούθησης φορτίων, για τη δημιουργία απρόσκοπτων εμπορικών διαδρόμων. Η τεχνολογία λειτουργεί εδώ ως μέσο διπλωματικής επιρροής και οικονομικής ανάπτυξης, ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ των συμμετεχουσών χωρών (Min et al., 2019).

Αυτές οι πρωτοβουλίες αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία λειτουργεί όχι μόνο ως βελτίωση της εφοδιαστικής απόδοσης, αλλά και ως στρατηγικό εργαλείο εξωτερικής πολιτικής και βιώσιμης ανάπτυξης.

2.3.4 Ρόλος της πολιτικής σταθερότητας

Οι τεχνολογικά προηγμένες αλυσίδες εφοδιασμού συμβάλλουν ενεργά στη διασφάλιση της παγκόσμιας σταθερότητας, ενισχύοντας τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και την ασφάλεια σε κρίσιμους επιχειρησιακούς και εμπορικούς τομείς. Μέσω της ιχνηλασιμότητας σε πραγματικό χρόνο, μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος απάτης, διαφθοράς και παραποίησης/απομίμησης προϊόντων, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών.

Ειδικά οι πλατφόρμες που βασίζονται στο blockchain εξασφαλίζουν την αυθεντικότητα αγαθών υψηλής αξίας, όπως πολυτελή προϊόντα, φαρμακευτικά σκευάσματα και τρόφιμα. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την καταγραφή και επαλήθευση κάθε συναλλαγής ή μετακίνησης ενός προϊόντος, περιορίζοντας τους κινδύνους από ψευδεπίγραφες ετικέτες, παράνομες διακινήσεις ή παραποιημένες προμήθειες.

Παράλληλα, οι καινοτομίες αυτές υποστηρίζουν την παγκόσμια οικονομική και περιβαλλοντική σταθερότητα, μέσω της ορθολογικής χρήσης πόρων, της μείωσης εμπορικών φραγμών και της ενσωμάτωσης βιώσιμων πρακτικών σε όλο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση, αναγνωρίζοντας την εξάρτηση της από κρίσιμες πρώτες ύλες, προωθεί πολιτικές όπως ο Κανονισμός για τις Κρίσιμες Πρώτες Ύλες (Critical Raw Materials Act), ενισχύοντας την στρατηγική αυτονομία και την ανθεκτικότητα των αλυσίδων εφοδιασμού της (European Commission, 2023).

Για να διατηρηθεί αυτός ο θετικός αντίκτυπος, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι επιχειρήσεις καλούνται να συνεχίσουν να επενδύουν σε ψηφιακές και διαλειτουργικές αλυσίδες εφοδιασμού, που να ενσωματώνουν κριτήρια ανθεκτικότητας, βιωσιμότητας και τεχνολογικής ευφυΐας, σε έναν συνεχώς μεταβαλλόμενο και αλληλοσυνδεδεμένο κόσμο (IBM, 2022).

Κεφάλαιο 3: Βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα

3.1 Θεμελιώδεις έννοιες και ορισμοί

3.1.1 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας (SCS)

Η έννοια της βιωσιμότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα (Sustainable Supply Chain – SCS) έχει αναδειχθεί σε βασικό κριτήριο αξιολόγησης επιχειρησιακών πρακτικών, καθώς οι οργανισμοί καλούνται να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις διαφάνειας, υπευθυνότητας και συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα. Το μοντέλο του "Triple Bottom Line" (Elkington, 1998), το οποίο εστιάζει στην ισορροπία οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών στόχων, εφαρμόζεται ολοένα και συχνότερα στην αξιολόγηση των αλυσίδων εφοδιασμού (Ahmed et al., 2019; Kusi-Sarpong et al., 2021; Seuring et al., 2008).

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις της βιωσιμότητας είναι η επικύρωση και επαλήθευση ότι οι δραστηριότητες, τα προϊόντα και οι διαδικασίες πληρούν τα κριτήρια πιστοποίησης βιώσιμης λειτουργίας (Grimm et al., 2016; Khan et al., 2021). Οι επιχειρήσεις καλούνται να υιοθετήσουν πρακτικές που ενσωματώνουν περιβαλλοντική ευαισθησία (π.χ. πράσινη εφοδιαστική), κοινωνική υπευθυνότητα (π.χ. ηθική προμήθεια) και οικονομική αποδοτικότητα.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο παίζει κρίσιμο ρόλο στην εφαρμογή αυτών των αρχών. Οι τεχνολογικές καινοτομίες –ιδίως η τεχνολογία blockchain– υποστηρίζουν τη διαφάνεια και την πιστοποίηση των διαδικασιών, λειτουργώντας ως κατανεμημένα καθολικά που διασφαλίζουν την ακρίβεια των δεδομένων και την ανιχνευσιμότητα.

Επιπλέον, η εμπειρική έρευνα και η θεωρητική βιβλιογραφία έχουν εστιάσει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, στη βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων, καθώς και στη σχεδίαση ανθεκτικών και αναστρέψιμων μοντέλων εφοδιαστικής (Chan et al., 2017; Yu et al., 2017). Πρακτικές όπως η αντίστροφη εφοδιαστική, η επιλογή βιώσιμων προμηθευτών, η ανακατασκευή προϊόντων και ο επανασχεδιασμός των αποθεμάτων ασφαλείας ενισχύουν την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της SC (Ahi & Searcy, 2015).

Συνολικά, η έννοια της SCS ενισχύεται συνεχώς ως στρατηγική προτεραιότητα που συνδυάζει την ανταγωνιστικότητα με την υπευθυνότητα, καθιστώντας τις επιχειρήσεις πιο ευέλικτες, ανθεκτικές και προσανατολισμένες σε ένα βιώσιμο μέλλον.

3.1.2 Ολοκλήρωση και χαρτογράφηση (SCI, Mapping)

Χαρτογράφηση εφοδιαστικής αλυσίδας (SC Mapping)

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, η χαρτογράφηση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο κατανόησης και απεικόνισης της δομής, των ροών και των συμμετεχόντων σε ένα δίκτυο SC. Πρώιμες μελέτες εστίασαν σε γραμμικά μοντέλα των εσωτερικών διαδικασιών (Stevens, 1989), ενώ στη συνέχεια εξελίχθηκαν σε πολυεπίπεδες δικτυακές απεικονίσεις, με έμφαση στις βαθμίδες, τις ροές προϊόντων και πληροφοριών, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ ανάντη και κατόντη συμμετεχόντων (Lambert et al., 1998; Mentzer et al., 2001).

Η χαρτογράφηση αναγνωρίζεται ως κρίσιμη για την αποτύπωση περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων, ιδίως όταν πρόκειται για την ιχνηλασιμότητα της προέλευσης των πρώτων υλών. Η περίπτωση της Danone, σε συνεργασία με το The Forest Trust, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα: η εταιρεία χαρτογράφησε τους προμηθευτές φοινικέλαιου μέχρι το επίπεδο του αγροκτήματος, με στόχο την ενίσχυση της διαφάνειας και την αξιολόγηση ρίσκου (Danone, 2015).

Ωστόσο, η διαδικασία αυτή παραμένει περίπλοκη. Η χαρτογράφηση προμηθευτών βαθμίδας 1 και πέρα από αυτούς, συχνά καθίσταται δύσκολη λόγω έλλειψης δεδομένων, συνδεσιμότητας ή προθυμίας συνεργασίας (Kashmanian, 2017; Sisco et al., 2011; BSR, 2015). Παρ' όλα αυτά, η χαρτογράφηση αποκαλύπτει ευκαιρίες αντιμετώπισης κινδύνου, ενίσχυσης βιωσιμότητας και βελτίωσης των επιχειρησιακών σχέσεων.

Ολοκλήρωση εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Integration – SCI)

Η SCI αναφέρεται στη στρατηγική συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης, της καινοτομίας και της ανταπόκρισης σε αλλαγές (Shou et al., 2018). Η ολοκλήρωση αυτή διακρίνεται σε:

- Εσωτερική ολοκλήρωση: συνεργασία μεταξύ εσωτερικών λειτουργιών (π.χ. παραγωγή, αποθήκευση, logistics), που ενισχύει τη συνοχή των αποφάσεων (Koufteros et al., 2005).
- Εξωτερική ολοκλήρωση: συνεργασία με πελάτες και προμηθευτές, συμπεριλαμβανομένης της κοινής ανάπτυξης προϊόντων, ανταλλαγής πληροφοριών και ευθυγράμμισης στρατηγικών (Wang & Zhang, 2020).

Η SCI συμβάλλει στην ευθυγράμμιση στόχων, την απλοποίηση διαδικασιών, και τη βελτίωση της καινοτομικής ικανότητας (Wiengarten et al., 2016; Zhang et al., 2018). Επιπλέον, επιτρέπει την ταχύτερη είσοδο νέων προϊόντων στην αγορά (Tracey, 2004), αλλά και τη βελτίωση του χαρτοφυλακίου προϊόντων και της συνολικής επιχειρησιακής απόδοσης (Flynn et al., 2010; Petersen et al., 2005).

Συνολικά, η SCI και η SC Mapping αποτελούν συμπληρωματικές στρατηγικές που ενισχύουν την ανθεκτικότητα, τη διαφάνεια και τη βιωσιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού. Πρόσφατες ευρωπαϊκές στρατηγικές, όπως το European Green Deal και το Critical Raw Materials Act, επηρεάζουν όλο και περισσότερο την πρακτική της βιώσιμης εφοδιαστικής, θέτοντας αυστηρότερες απαιτήσεις διαφάνειας και περιβαλλοντικής συμμόρφωσης για τις επιχειρήσεις.

3.2 Ιστορική εξέλιξη βιώσιμων πρακτικών

Η ιστορική πορεία της Βιώσιμης και Ηθικής Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Sustainable and Ethical Supply Chain Management – SESCO) αποτυπώνει τη σταδιακή ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής και κοινωνικής ευθύνης στις επιχειρησιακές στρατηγικές. Η εξέλιξη αυτή δεν υπήρξε γραμμική, αλλά διαμορφώθηκε ως ανταπόκριση σε κοινωνικές, κανονιστικές και περιβαλλοντικές πιέσεις που ανέδειξαν τη σημασία της υπεύθυνης διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού (Ejairu, 2024).

Οι ρίζες του SESCOM μπορούν να αναζητηθούν στις περιβαλλοντικές κινητοποιήσεις των δεκαετιών του 1960 και 1970, που ανέδειξαν την ανάγκη διαχείρισης των φυσικών πόρων και την επίγνωση των αρνητικών συνεπειών της βιομηχανικής δραστηριότητας. Η έκθεση Brundtland (1987) αποτέλεσε σημείο καμπής, εισάγοντας τη θεμελιώδη έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και τη σύνδεση της με οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις στις επιχειρηματικές αποφάσεις (Visser, 2017).

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών που ακολούθησαν, η έννοια της βιωσιμότητας ενισχύθηκε μέσω της ανάδειξης της Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης (CSR), της πίεσης των καταναλωτών και των δράσεων Μη Κυβερνητικών Οργανώσεων (ΜΚΟ). Η ηθική διάσταση της εφοδιαστικής άρχισε να ενσωματώνεται στις στρατηγικές των επιχειρήσεων, επεκτείνοντας το φάσμα του SESCOM σε κοινωνικά και εργασιακά ζητήματα. Ιδιαίτερη ήταν η συμβολή της Διεύθυνσης Ανθρώπινου Δυναμικού (HR), η οποία ανέλαβε ενεργό ρόλο στην προσέλκυση και ανάπτυξη εργαζομένων που ενστερνίζονται τις αρχές βιωσιμότητας (Lorincova et al., 2018; Udokwu et al., 2023).

Η είσοδος στον 21ο αιώνα σηματοδότησε μια στροφή προς τη στρατηγική ενσωμάτωση της βιωσιμότητας, με την ανάδειξη του SESCOM ως ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Εμφανίστηκαν προηγμένα πρότυπα, όπως συστήματα πιστοποίησης και πλαίσια υποβολής εκθέσεων (reporting frameworks), ενώ η ψηφιακή τεχνολογία διευκόλυνε την παρακολούθηση των επιπτώσεων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη διαφάνεια και τη λογοδοσία (Kleindorfer, Singhal & Van Wassenhove, 2005).

Προοπτικά, το SESCOM επηρεάζεται από τρεις κυρίαρχες τάσεις:

- α) την ψηφιοποίηση της εφοδιαστικής,
- β) την ενσωμάτωση των αρχών της κυκλικής οικονομίας,
- γ) και την αύξηση των κινδύνων λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Ο ρόλος του HR προβλέπεται καθοριστικός στην προώθηση μιας κουλτούρας ηθικής ηγεσίας και ανθεκτικότητας, καθώς οι επιχειρήσεις καλούνται να επιβιώσουν και να ευημερήσουν σε ένα παγκοσμιοποιημένο, ασταθές περιβάλλον (Ejairu, 2024).

Καταληκτικά, η πορεία του SESCOM από τις ρίζες του στον περιβαλλοντικό ακτιβισμό μέχρι την καθιέρωσή του ως στρατηγική προτεραιότητα, αναδεικνύει μια βαθιά μεταβολή στη θεώρηση του ρόλου των επιχειρήσεων απέναντι στην κοινωνία και το περιβάλλον. Η βιωσιμότητα και η

ηθική δεν αποτελούν πλέον απλώς ηθική επιταγή, αλλά κρίσιμες παραμέτρους μακροπρόθεσμης επιχειρηματικής επιτυχίας.

3.3 Ηθική, διαφάνεια και κοινωνική υπευθυνότητα

Η Βιώσιμη και Ηθική Διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Sustainable and Ethical Supply Chain Management – SESCO) έχει καταστεί καίριο ζήτημα στον παγκόσμιο επιχειρηματικό διάλογο, ως απόρροια της εντεινόμενης πίεσης από καταναλωτές, ρυθμιστικές αρχές και λοιπούς stakeholders για μεγαλύτερη περιβαλλοντική υπευθυνότητα και κοινωνική δικαιοσύνη. Σε αυτό το πλαίσιο, ο ρόλος της Διεύθυνσης Ανθρώπινου Δυναμικού (HR) αναδεικνύεται κομβικός, καθώς αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ οργανωτικής κουλτούρας, ηγεσίας και καθημερινών επιχειρησιακών πρακτικών (Popo-Olaniyan et al., 2022).

Η ανάγκη για SESCO αναδεικνύεται ως απάντηση σε σύνθετες παγκόσμιες προκλήσεις, όπως η κλιματική κρίση, η διεύρυνση των κοινωνικών ανισοτήτων, και η απαίτηση για διαφάνεια στις παγκόσμιες εφοδιαστικές αλυσίδες. Οι επιχειρήσεις καλούνται όχι μόνο να επιδιώκουν την οικονομική τους επιβίωση και κερδοφορία, αλλά και να λειτουργούν με τρόπο κοινωνικά και περιβαλλοντικά υπεύθυνο (Carter & Rogers, 2008). Η λειτουργία HR, με τη βαθιά της γνώση της οργανωσιακής συμπεριφοράς και του ανθρώπινου κεφαλαίου, αποτελεί καταλύτη για την ενσωμάτωση αυτών των αξιών στον πυρήνα της επιχειρησιακής στρατηγικής.

Μέσω προγραμμάτων κατάρτισης, πολιτικών ηθικής διακυβέρνησης και συστημάτων αξιολόγησης, το HR συμβάλλει ενεργά στην ευθυγράμμιση των εργαζομένων με τους στόχους βιωσιμότητας της επιχείρησης. Επιπλέον, διαμορφώνει κουλτούρα ηθικής λογοδοσίας και διαφάνειας που μπορεί να επεκταθεί και πέραν των εσωτερικών λειτουργιών, επηρεάζοντας τη συμπεριφορά προμηθευτών, υπεργολάβων και στρατηγικών συνεργατών (Ehnert, Harry & Zink, 2014).

Η εξέλιξη του SESCO απαιτεί από το HR προσαρμοστικότητα και στρατηγική διορατικότητα, προκειμένου να προετοιμαστεί για μελλοντικές προκλήσεις, όπως:

- η ψηφιοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού,

- η ενίσχυση της ηθικής ηγεσίας,
 - και η καινοτομία σε βιώσιμες πρακτικές.
- Ο στρατηγικός ρόλος του HR στο talent management, στην οργανωσιακή μάθηση και στην ενδυνάμωση των ομάδων καθίσταται κρίσιμος για την πραγματική μεταμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας (O'Riordan, 2014).

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση της ηθικής και της βιωσιμότητας στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας σηματοδοτεί μια θεμελιώδη μεταβολή στον τρόπο που οι επιχειρήσεις δημιουργούν αξία. Η συμμετοχή του HR δεν περιορίζεται σε λειτουργικά καθήκοντα, αλλά αναβαθμίζεται σε στρατηγικό μοχλό μετάβασης, καθιστώντας την επιχείρηση πιο ανθεκτική, υπεύθυνη και μακροπρόθεσμα βιώσιμη.

Επιπλέον, η σταδιακή εφαρμογή του Κανονισμού CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) στην ΕΕ, υποχρεώνει τις επιχειρήσεις να παρέχουν διαφανή δεδομένα για τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές τους επιδόσεις, επηρεάζοντας καθοριστικά τις εφοδιαστικές στρατηγικές (European Commission, 2023).

3.4 Βιομηχανία 4.0 και βιωσιμότητα στις εφοδιαστικές αλυσίδες

Η επιδίωξη της βιωσιμότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα για τις επιχειρήσεις των αναδυόμενων οικονομιών, ιδίως υπό το πρίσμα των αυξανόμενων διαταραχών που προκλήθηκαν από την πανδημία COVID-19 και τη ρωσο-ουκρανική σύρραξη. Τα γεγονότα αυτά ανέδειξαν τις αδυναμίες των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού, επιφέροντας σοβαρές καθυστερήσεις στην προμήθεια πρώτων υλών, την παραγωγή και τη διανομή βασικών αγαθών (Sharma et al., 2021· Alexander et al., 2022). Η βιομηχανία έτοιμων ενδυμάτων (RMG), ιδιαίτερα ευάλωτη σε τέτοιες διαταραχές, αντιμετώπισε σημαντικά προβλήματα στη ροή προϊόντων και εσόδων, γεγονός που εντείνει την ανάγκη για ανθεκτικές και βιώσιμες αλυσίδες.

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0 – I4.0), όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), οι αισθητήρες, η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data) και τα κυβερνοφυσικά συστήματα, προσφέρει νέα εργαλεία για τη βελτιστοποίηση των

λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο (Ivanov et al., 2021). Οι τεχνολογίες αυτές ενισχύουν την παρακολούθηση, την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των διαδικασιών, επιτρέποντας την ταχύτερη και ευέλικτη προσαρμογή σε εξωτερικές μεταβολές του περιβάλλοντος (Ambrogio et al., 2022).

Ωστόσο, σημαντικός αριθμός μελετών επισημαίνει ότι η συμβολή της I4.0 εστιάζει κυρίως στη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης, ενώ οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις παραμένουν σχετικά υποτονικές (Taddei et al., 2022). Σε αυτό το σημείο αποκτούν ιδιαίτερη σημασία οι πρακτικές Πράσινης Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Green Supply Chain Management – GSCM), οι οποίες λειτουργούν ως μηχανισμός ενίσχυσης της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Τέτοιες πρακτικές περιλαμβάνουν την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον πρώτων υλών, τη μείωση αποβλήτων και την ενσωμάτωση του περιβαλλοντικού κριτηρίου στη διαχείριση των προμηθευτών (Umar et al., 2022).

Παράλληλα, η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας (Circular Economy – CE) ενισχύει την προσπάθεια για μακροπρόθεσμη αποδοτικότητα των πόρων μέσω ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και σχεδιασμού προϊόντων με βάση τον κύκλο ζωής (Ogunmakinde et al., 2022). Η συνδυαστική εφαρμογή τεχνολογιών I4.0, πρακτικών GSCM και μοντέλων CE μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για την ανάκαμψη της βιωσιμότητας στις SC του κλάδου RMG σε αναδυόμενες αγορές, όπως το Μπαγκλαντές (Birkel & Müller, 2021· Nabi et al., 2022).

Η ανάλυση αυτής της σύνθετης σχέσης μπορεί να ενισχυθεί θεωρητικά με τη Θεωρία των Πόρων (Resource-Based View – RBV), σύμφωνα με την οποία οι επιχειρήσεις επιτυγχάνουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσα από την αξιοποίηση σπάνιων, πολύτιμων, δυσαναπλήρωτων και μη υποκαταστάσιμων πόρων (Barney, 2001). Στο πλαίσιο της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας, οι τεχνολογίες I4.0, η GSCM και η CE μπορούν να θεωρηθούν στρατηγικοί οργανωσιακοί πόροι που, όταν ενσωματωθούν αποτελεσματικά, ενισχύουν τις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιδόσεις των επιχειρήσεων (Touboullic & Walker, 2015· Nandi et al., 2020).

Συμπερασματικά, η μετάβαση προς πλήρως βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνολογία, αλλά απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που ενσωματώνει τις πρακτικές της πράσινης εφοδιαστικής, της κυκλικής οικονομίας και της στρατηγικής διαχείρισης πόρων. Η παρούσα ερευνητική προσέγγιση τεκμηριώνει ότι ο

συνδυασμός των I4.0 – GSCM – CE, υπό το πρίσμα της RBV, δύναται να δημιουργήσει ένα λειτουργικό μοντέλο για την ενίσχυση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας των εφοδιαστικών αλυσίδων σε μεταβαλλόμενα παγκόσμια περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο 4: Τεχνολογίες για βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες

4.1 Τεχνολογία Blockchain και βιώσιμη διαχείριση

Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως μια από τις πλέον καινοτόμες τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαετίας, με εφαρμογές που εκτείνονται πέρα από τον χρηματοπιστωτικό τομέα, επηρεάζοντας καταλυτικά τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί διαχειρίζονται δεδομένα, συναλλαγές και επιχειρηματικές σχέσεις (Pereira et al., 2019; Pólvora et al., 2020). Πρωτοεμφανίστηκε το 2008 ως θεμέλιο του ψηφιακού νομίσματος Bitcoin, όταν ο Satoshi Nakamoto πρότεινε ένα peer-to-peer σύστημα ηλεκτρονικών πληρωμών, το οποίο αξιοποιεί ψηφιακές υπογραφές και κατανεμημένο καθολικό για την αποτροπή της διπλής δαπάνης (Nakamoto, 2008).

Αν και η πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας σχετιζόταν με τα κρυπτονομίσματα, η σημασία του blockchain εκτείνεται πολύ πέρα από αυτά. Ορίζεται ως ένα «ανοικτό, κατανεμημένο καθολικό που καταγράφει συναλλαγές μεταξύ δύο μερών με ασφαλή, επαληθεύσιμο και αμετάβλητο τρόπο» (Iansiti & Lakhani, 2017). Η δομή του βασίζεται στη δημιουργία διαδοχικών μπλοκ, καθένα εκ των οποίων περιλαμβάνει δεδομένα συναλλαγών, έναν χρονικό δείκτη και έναν κρυπτογραφικό συνδετικό κρίκο (hash) με το προηγούμενο μπλοκ, διαμορφώνοντας έτσι μια αδιάσπαστη αλυσίδα.

Η λειτουργία της τεχνολογίας blockchain διαρθρώνεται σε τρία βασικά στάδια: (i) οι συμμετέχοντες ανταλλάσσουν δεδομένα, (ii) το δίκτυο επαληθεύει τις συναλλαγές και τις ομαδοποιεί σε «μπλοκ», (iii) το κάθε νέο μπλοκ συνδέεται με το προηγούμενο μέσω ενός μοναδικού κρυπτογραφικού αποτυπώματος (Tillemann et al., 2019). Αυτό το σύστημα δημιουργεί ένα διαφανές, ασφαλές και αμετάβλητο ψηφιακό αρχείο, που λειτουργεί χωρίς την ανάγκη κεντρικής αρχής, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών.

Στο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, το blockchain προσφέρει τεράστια πλεονεκτήματα σε επίπεδο ιχνηλασιμότητας, συμμόρφωσης, ασφάλειας και διαχείρισης κινδύνων. Η τεχνολογία επιτρέπει την καταγραφή κάθε συναλλαγής ή αλλαγής κατά μήκος της αλυσίδας, από την

προμήθεια πρώτων υλών μέχρι την τελική παράδοση στον καταναλωτή. Αυτή η δυνατότητα αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε κρίσιμους τομείς, όπως τα τρόφιμα και τα φάρμακα, όπου η ιχνηλασιμότητα μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, να αποτρέψει την παραποίηση προϊόντων και να διασφαλίσει τη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα (Cano et al., 2022).

Η τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη από κολοσσούς της αγοράς, όπως η Walmart, για την παρακολούθηση της διακίνησης ευπαθών τροφίμων, καθώς και από τις Nestlé και Carrefour, οι οποίες αξιοποιούν blockchain για την ενίσχυση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης των καταναλωτών στα προϊόντα τους (World Economic Forum, 2024). Παράλληλα, οι εφαρμογές των έξυπνων συμβολαίων (smart contracts) επιτρέπουν την αυτόματη εκτέλεση συμφωνιών όταν πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις, μειώνοντας τα κόστη και τους χρόνους συναλλαγών και αποφεύγοντας ενδεχόμενες νομικές διαμάχες (Sikorski et al., 2017).

Η σύγχρονη ερευνητική συζήτηση επικεντρώνεται επίσης στην έννοια του “green blockchain”, το οποίο ενσωματώνει περιβαλλοντικούς δείκτες για την παρακολούθηση του ανθρακικού αποτυπώματος προϊόντων και διαδικασιών. Πλατφόρμες όπως το IBM Food Trust αξιοποιούν το blockchain για την ενίσχυση της βιωσιμότητας και της υπευθυνότητας στην εφοδιαστική διαχείριση. Επιπλέον, το “green blockchain” αναπτύσσεται ως εργαλείο για την περιβαλλοντική παρακολούθηση, καθώς επιτρέπει την καταγραφή και ανάλυση του ανθρακικού αποτυπώματος προϊόντων και διεργασιών μέσω έξυπνων μετρητών, token εκπομπών και συνδεδεμένων IoT συσκευών (Treiblmaier, 2023). Παράδειγμα αποτελεί η χρήση blockchain από τη Circularise, μια πλατφόρμα που υποστηρίζει τη βιώσιμη ιχνηλασιμότητα πρώτων υλών στη βιομηχανία πλαστικών και αυτοκινήτων (Circularise, 2023).

Συμπερασματικά, το blockchain αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο ψηφιακού μετασχηματισμού για τις εφοδιαστικές αλυσίδες, προσφέροντας διαφάνεια, ασφάλεια και αποδοτικότητα. Η δυνατότητα ιχνηλασιμότητας, η αυτοματοποίηση μέσω έξυπνων συμβολαίων και η παρακολούθηση περιβαλλοντικών επιδόσεων καθιστούν την τεχνολογία καταλύτη για τη μετάβαση προς πιο βιώσιμες, υπεύθυνες και ανθεκτικές αλυσίδες εφοδιασμού.

4.1.1 Ασφάλεια δεδομένων

Οι αλυσίδες μπλοκ θεωρούνται ως ένας εξαιρετικά ασφαλής τρόπος αποθήκευσης δεδομένων, καθώς κάθε νέα καταχώριση προϋποθέτει τη συναίνεση όλων των συμμετεχόντων κόμβων του δικτύου (Crosby et al., 2016). Ο μηχανισμός αυτός διασφαλίζει την ακεραιότητα και την αξιοπιστία των συναλλαγών και καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την τροποποίηση των εγγραφών, αποτρέποντας φαινόμενα παραποίησης (Wang et al., 2021). Η λεγόμενη «αμετάβλητη φύση» του blockchain εγγυάται ότι εγκεκριμένες εγγραφές δεν μπορούν να διαγραφούν ή να τροποποιηθούν.

Επιπλέον, η χρήση κρυπτογράφησης δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού διασφαλίζει την αυθεντικότητα και την ταυτοποίηση των συμμετεχόντων. Χαρακτηριστική είναι η χρήση blockchain από τη φαρμακευτική εταιρεία Pfizer στο πλαίσιο του προγράμματος MediLedger, το οποίο εφαρμόζει blockchain για την προστασία της αλυσίδας διανομής φαρμάκων από παραποιημένα προϊόντα (Chong et al., 2019).

Πρόσφατες μελέτες υπογραμμίζουν ότι η ασφάλεια δεδομένων μέσω blockchain παραμένει βασική προτεραιότητα για τις επιχειρήσεις, ιδιαίτερα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και της φαρμακοβιομηχανίας, όπου η ανάγκη για ασφαλή διαχείριση ιατρικών δεδομένων είναι κρίσιμη (OECD, 2024).

4.1.2 Ενίσχυση διαφάνειας

Η διαφάνεια αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της τεχνολογίας blockchain. Ενώ η πρόσβαση στο περιεχόμενο των καταχωρήσεων περιορίζεται σε εξουσιοδοτημένους χρήστες, η καταγραφή των συναλλαγών γίνεται με τρόπο που είναι ορατός σε όλους τους συμμετέχοντες του δικτύου, αυξάνοντας τη λογοδοσία και μειώνοντας τις πιθανότητες δόλου (Mukkamala et al., 2018; Kim & Shin, 2019).

Σημαντικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση του blockchain από την εταιρεία Walmart, σε συνεργασία με την IBM, για την παρακολούθηση της προέλευσης τροφίμων. Το σύστημα IBM Food Trust επιτρέπει την ιχνηλασιμότητα προϊόντων όπως το μαρούλι ή το χοιρινό, μειώνοντας

τον χρόνο εντοπισμού πιθανής μόλυνσης από 7 ημέρες σε 2,2 δευτερόλεπτα (IBM, 2020). Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη του World Bank Group (2023), η εφαρμογή blockchain στα logistics ενισχύει τη διαφάνεια στις τελωνειακές ροές και μειώνει τη διαφθορά μέσω πλήρους ψηφιακού αρχείου συναλλαγών.

4.1.3 Αποδοτικότητα και αποκέντρωση

Η τεχνολογία blockchain προάγει σημαντικά την αποδοτικότητα των επιχειρησιακών διαδικασιών, επιτρέποντας την άμεση και αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών μέσω έξυπνων συμβολαίων (*smart contracts*). Τα έξυπνα συμβόλαια αποτελούν προγραμματιζόμενες συμφωνίες που ενεργοποιούνται αυτόματα όταν πληρούνται προκαθορισμένες συνθήκες, εξαλείφοντας την ανάγκη για τρίτα μέρη και μειώνοντας τόσο το κόστος όσο και τον απαιτούμενο χρόνο εκτέλεσης (Szabo, 1997; Alharby & Van Moorsel, 2017).

Η εφαρμογή των *smart contracts* ενισχύει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, επιτρέποντας την ασφαλή μεταβίβαση αξίας χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης (Chang et al., 2019; Cong & He, 2019). Επιπλέον, συμβάλλει στην αποτελεσματική διαχείριση συμβάσεων, στη διατήρηση της προέλευσης των περιουσιακών στοιχείων και στη μείωση σφαλμάτων (Magazzeni et al., 2017).

Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι οι εφαρμογές των έξυπνων συμβολαίων επεκτείνονται σε τομείς όπως η μεταφορά εμπορευμάτων, η διαχείριση αποθεμάτων και οι αυτοματοποιημένες πληρωμές. Ενδεικτικά, η πλατφόρμα TradeLens, μια συνεργασία της IBM και της Maersk, χρησιμοποιεί έξυπνα συμβόλαια για τον αυτοματισμό των εφοδιαστικών ροών και την επιτάχυνση των τελωνειακών διαδικασιών, εξοικονομώντας πόρους και χρόνο (Jensen et al., 2022).

Παράλληλα, η αποκεντρωμένη φύση του blockchain καθιστά τη διαχείριση των δεδομένων λιγότερο ευάλωτη σε επιθέσεις ή αποτυχίες ενός μόνο κόμβου. Κάθε μέλος του δικτύου διαθέτει το δικό του αντίγραφο του κατανεμημένου καθολικού, ενώ καμία κεντρική οντότητα δεν έχει αποκλειστικό έλεγχο (Wang et al., 2021). Αυτή η δομή ενισχύει την ανθεκτικότητα του

συστήματος και υποστηρίζει ασφαλείς συναλλαγές ακόμη και μεταξύ μερών που δεν διατηρούν προϋπάρχουσα σχέση εμπιστοσύνης (Kosba et al., 2016; Batwa & Norrman, 2020).

Επιπρόσθετα, η χρήση *smart contracts* συμβάλλει και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, περιορίζοντας την ανάγκη για φυσικά έγγραφα, την αναποτελεσματικότητα των χειροκίνητων διαδικασιών και την αχρείαστη κατανάλωση ενέργειας στις παραδοσιακές δομές επικύρωσης (Treiblmaier, 2023). Έτσι, η blockchain τεχνολογία ενισχύει ταυτόχρονα την αποδοτικότητα, την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των σύγχρονων αλυσίδων εφοδιασμού. Καθώς η τεχνολογία blockchain προσφέρει κρίσιμες δυνατότητες για την ψηφιοποίηση και την ευφυή διαχείριση των εφοδιαστικών ροών, οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης αναδεικνύονται ως το επόμενο βήμα για τη βελτιστοποίηση και τη βιωσιμότητα των παγκόσμιων αλυσίδων.

4.2 Τεχνητή νοημοσύνη και πράσινες εφοδιαστικές αλυσίδες

Η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) στις εφοδιαστικές αλυσίδες έχει αναδειχθεί ως καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας στον τομέα της μεταποίησης. Πλήθος μελετών έχουν τεκμηριώσει τη συμβολή της AI στη βελτιστοποίηση βασικών λειτουργιών, όπως η προγνωστική συντήρηση εξοπλισμού, η ακριβής πρόβλεψη της ζήτησης και η ευφυής διαχείριση αποθεμάτων (Wang et al., 2020; Dubey et al., 2022). Οι δυνατότητες αυτές οδηγούν σε λιγότερα λειτουργικά σφάλματα, μειωμένες απώλειες και πιο αποδοτική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, η τεχνητή νοημοσύνη συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και πρώτων υλών, μέσω της βελτιστοποίησης των δρομολογίων μεταφοράς, της εξοικονόμησης ενέργειας στην παραγωγή και της ελαχιστοποίησης αποβλήτων (Belhadi et al., 2021). Τεχνολογίες όπως η machine learning (ML) και η υπολογιστική νοημοσύνη αξιοποιούνται για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων που ελαχιστοποιούν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της αλυσίδας (Kamble et al., 2020).

Ωστόσο, η υιοθέτηση λύσεων ΑΙ σε «πράσινες» αλυσίδες εφοδιασμού συναντά προκλήσεις. Οι σημαντικότερες αφορούν την πολυπλοκότητα των συστημάτων και την ανάγκη για διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών πηγών δεδομένων. Επιπλέον, η έλλειψη κατάλληλης υποδομής και εξειδικευμένου προσωπικού περιορίζει τις δυνατότητες πλήρους αξιοποίησης των εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης, ιδιαίτερα σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (Bag et al., 2021; Margherita et al., 2022).

Συνολικά, η τεχνητή νοημοσύνη δύναται να επιταχύνει τη μετάβαση προς βιώσιμα μοντέλα εφοδιασμού, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης ισχυρής τεχνολογικής βάσης και οργανωσιακής ετοιμότητας. Η παρούσα βιβλιογραφική σύνθεση εντοπίζει ερευνητικά κενά αναφορικά με την εμπειρική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ΑΙ σε πραγματικά περιβάλλοντα «πράσινης» παραγωγής, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω ποσοτικές και ποιοτικές μελέτες στο πεδίο.

Στις επόμενες υποενότητες εξετάζονται οι βασικές εφαρμογές της ΑΙ στον τομέα των «πράσινων» αλυσίδων καθώς και τα εμπόδια που περιορίζουν την υιοθέτησή της σε ευρεία κλίμακα.

4.2.1 Εφαρμογές και οφέλη

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) έχει αναδειχθεί ως πυλώνας μετασχηματισμού στις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες, επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο οργανισμοί σχεδιάζουν, παρακολουθούν και βελτιστοποιούν τις λειτουργίες τους. Η ΑΙ περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, όπως η μηχανική μάθηση (machine learning), τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, οι ευφυείς πράκτορες, τα συστήματα προγνωστικής ανάλυσης, καθώς και η υπολογιστική όραση και η φυσική γλώσσα (natural language processing), τα οποία εφαρμόζονται σε πολλαπλά στάδια της αλυσίδας αξίας (Fahimnia et al., 2019; Kamble et al., 2020).

Οι εφαρμογές της ΑΙ έχουν συμβάλει σημαντικά στην ενίσχυση της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας, επιτρέποντας την αξιοποίηση μεγάλων όγκων δεδομένων (big data), την

ακριβέστερη πρόβλεψη ζήτησης, τη δυναμική ανακατανομή αποθεμάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών διανομής (Dubey et al., 2022; Wang et al., 2020). Για παράδειγμα, εταιρείες logistics χρησιμοποιούν αλγόριθμους AI για να μειώσουν τις άσκοπες μεταφορές, εξοικονομώντας καύσιμα και μειώνοντας τις εκπομπές CO₂, ενώ στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης, η AI βοηθά στη διαχείριση της εφοδιαστικής ιατροτεχνολογικών προϊόντων με ακρίβεια και διαφάνεια (Belhadi et al., 2021).

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της AI στη λιτή λειτουργία (lean operations), η οποία αποσκοπεί στη μείωση των αποβλήτων και των μη αποδοτικών ενεργειών. Μέσω της προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance), για παράδειγμα, οι επιχειρήσεις μπορούν να ανιχνεύσουν έγκαιρα βλάβες ή αστοχίες σε εξοπλισμό, αποφεύγοντας δαπανηρές διακοπές (Rauf et al., 2024). Επιπλέον, οι προγνωστικοί αλγόριθμοι συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση του χρόνου παραγωγής και διανομής, ελαχιστοποιώντας καθυστερήσεις και περιορίζοντας το πλεονάζον απόθεμα (Joy et al., 2024).

Στον τομέα της βιώσιμης ανάπτυξης, η AI υποστηρίζει την εφαρμογή «πράσινων» στρατηγικών, μέσω της ενεργειακής αποδοτικότητας, της μείωσης των απορριμμάτων και της διαχείρισης των εκπομπών ρύπων (Toorajipour et al., 2021). Έξυπνα συστήματα επιτήρησης μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, επιτρέποντας στους οργανισμούς να λαμβάνουν διορθωτικές ενέργειες, να συμμορφώνονται με τα πρότυπα ESG (Environmental, Social, Governance) και να ενισχύουν τη διαφάνεια έναντι των καταναλωτών (Saghaei et al., 2020).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση της AI δεν περιορίζεται μόνο σε τεχνικά ή περιβαλλοντικά οφέλη. Αποτελεί ταυτόχρονα και στρατηγικό εργαλείο για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας (resilience) των αλυσίδων, ιδιαίτερα υπό συνθήκες αβεβαιότητας όπως γεωπολιτικές κρίσεις, φυσικές καταστροφές ή διαταραχές στην προσφορά. Οι ευφυείς αλγόριθμοι διευκολύνουν τη μοντελοποίηση σεναρίων και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ανταποκρίνονται άμεσα σε μεταβαλλόμενες συνθήκες (Younus, Pathan, et al., 2024; Ivanov, 2023).

Συνολικά, η τεχνητή νοημοσύνη συνιστά κρίσιμο εργαλείο του ψηφιακού μετασχηματισμού στις εφοδιαστικές αλυσίδες, με σημαντικές προεκτάσεις τόσο σε επίπεδο λειτουργικής βελτιστοποίησης όσο και στρατηγικής βιωσιμότητας. Η συστηματική ενσωμάτωσή της ενισχύει

την ανταγωνιστικότητα των οργανισμών και διευκολύνει τη μετάβαση προς πιο υπεύθυνα και περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένα επιχειρηματικά μοντέλα. Ωστόσο, η υλοποίηση αυτών των εφαρμογών προϋποθέτει ένα ώριμο τεχνολογικό και οργανωσιακό περιβάλλον, γεγονός που δεν ισχύει για όλους τους οργανισμούς, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

4.2.2 Προκλήσεις υιοθέτησης

Παρά τις πολλαπλές δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης (AI) για την ενίσχυση της βιωσιμότητας στις εφοδιαστικές αλυσίδες, η ευρεία εφαρμογή της αντιμετωπίζει μια σειρά από σημαντικές προκλήσεις, τόσο τεχνικής όσο και οργανωσιακής φύσης. Οι δυσκολίες αυτές δεν περιορίζονται αποκλειστικά στον τομέα της μεταποίησης, αλλά εντοπίζονται επίσης σε κλάδους όπως οι μεταφορές, η υγειονομική περίθαλψη και η αγροδιατροφή, όπου η AI μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη βιώσιμη διαχείριση πόρων.

Ένα από τα πλέον καθοριστικά εμπόδια είναι η ενοποίηση και διαχείριση δεδομένων. Η τεχνητή νοημοσύνη προϋποθέτει την πρόσβαση σε μεγάλους όγκους δεδομένων υψηλής ποιότητας, που να είναι διαλειτουργικά, έγκυρα και διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο (Zarbakhshnia et al., 2018). Ωστόσο, σε πολλές επιχειρήσεις –ιδίως στις μικρομεσαίες– εξακολουθούν να κυριαρχούν κατακερματισμένα πληροφοριακά συστήματα ή υποδομές παλαιού τύπου που δεν είναι συμβατές με τις απαιτήσεις των AI εφαρμογών (Wu & Olson, 2008). Η απουσία κοινών προτύπων για τα δεδομένα και η δυσκολία στην ανταλλαγή τους μεταξύ τμημάτων ή εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας δημιουργούν επιπλέον τριβές, οδηγώντας σε λανθασμένα αποτελέσματα ή περιορισμένη αξιοποίηση των προβλέψεων της AI (Sharma et al., 2020).

Προσθετικά, η πολυπλοκότητα των συστημάτων και η απαίτηση για προηγμένες υποδομές (π.χ. υπολογιστικά νέφη, IoT αισθητήρες, συστήματα ροής δεδομένων) αποτελεί σοβαρό τεχνικό εμπόδιο. Σε τομείς όπως οι μεταφορές, όπου απαιτείται διαχείριση δεδομένων από γεωεντοπισμό, θερμοκρασίες, δρομολόγια και κατανάλωση καυσίμου, η ενσωμάτωση όλων αυτών των μεταβλητών σε ένα κοινό πλαίσιο λειτουργίας AI είναι ιδιαίτερα απαιτητική (Wichmann et al., 2018). Η υλοποίηση τέτοιων λύσεων απαιτεί όχι μόνο υψηλό αρχικό κόστος αλλά και συνεχή

τεχνική υποστήριξη, καθιστώντας την ΑΙ λιγότερο προσβάσιμη για οργανισμούς περιορισμένων πόρων (da Silva et al., 2020).

Επιπλέον, παραμένει οξύ το πρόβλημα της έλλειψης εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Η επιτυχής υλοποίηση ΑΙ σε ένα οργανισμό προϋποθέτει προσωπικό με δεξιότητες στην επιστήμη δεδομένων, την ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data analytics), καθώς και την κατανόηση των επιχειρησιακών διαδικασιών (Luna & Ballini, 2011). Οι απαιτήσεις αυτές δεν περιορίζονται στους μηχανικούς, αλλά επεκτείνονται και σε στελέχη διοίκησης και σχεδιασμού στρατηγικής, που καλούνται να κατανοήσουν τον ρόλο της ΑΙ ως εργαλείου βιώσιμης καινοτομίας (Holweg et al., 2004). Το ταχέως εξελισσόμενο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης ξεπερνά συχνά τις δυνατότητες των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων να ανταποκριθούν με επάρκεια, προκαλώντας σημαντικό χάσμα δεξιοτήτων (Ain et al., 2019).

Παράλληλα, η υιοθέτηση της ΑΙ συναντά εμπόδια ψυχολογικής και πολιτισμικής φύσης. Πολλοί εργαζόμενοι και διοικητικά στελέχη αντιμετωπίζουν με επιφύλαξη την ενσωμάτωση ευφών συστημάτων, κυρίως λόγω του φόβου αντικατάστασης ή μεταβολής του ρόλου τους (Grover et al., 2020; Azadnia et al., 2012). Η τεχνητή νοημοσύνη συχνά θεωρείται απειλή αντί για συμπληρωματικό εργαλείο. Η επιτυχής υιοθέτηση, επομένως, απαιτεί καλλιέργεια ψηφιακής κουλτούρας, στοχευμένη κατάρτιση και συμμετοχή των εργαζομένων στον σχεδιασμό της αλλαγής (Georgiadis et al., 2005; Pavlou & Fygenson, 2006).

Τέλος, ένα επιπλέον εμπόδιο αφορά την κανονιστική συμμόρφωση και τις ηθικές ανησυχίες που σχετίζονται με την αξιοποίηση της ΑΙ. Η διαχείριση προσωπικών ή ευαίσθητων δεδομένων – όπως για παράδειγμα στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης ή των «έξυπνων» πόλεων– επιβάλλει αυστηρά πρωτόκολλα προστασίας της ιδιωτικότητας και διαφάνειας (Margherita et al., 2022). Η απουσία ενιαίου κανονιστικού πλαισίου μεταξύ διαφορετικών χωρών ή κλάδων εντείνει τις προκλήσεις υλοποίησης σε διεθνές επίπεδο.

Εν κατακλείδι, η τεχνητή νοημοσύνη παρουσιάζει τεράστιες προοπτικές για βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες, ωστόσο η υιοθέτησή της απαιτεί πολύπλευρες παρεμβάσεις: τεχνολογικές, εκπαιδευτικές, πολιτισμικές και θεσμικές. Η υπέρβαση των προκλήσεων αυτών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχή ενσωμάτωση της ΑΙ ως μοχλού βιώσιμης ανάπτυξης σε έναν ταχέως μεταβαλλόμενο κόσμο. Συνεπώς, η απρόσκοπτη ενσωμάτωση της ΑΙ στις εφοδιαστικές αλυσίδες

δεν είναι απλώς τεχνικό ζήτημα, αλλά στρατηγικό εγχείρημα που απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό.

4.3 Καινοτομία προσανατολισμένη στη βιωσιμότητα (Sustainability-Oriented Innovation)

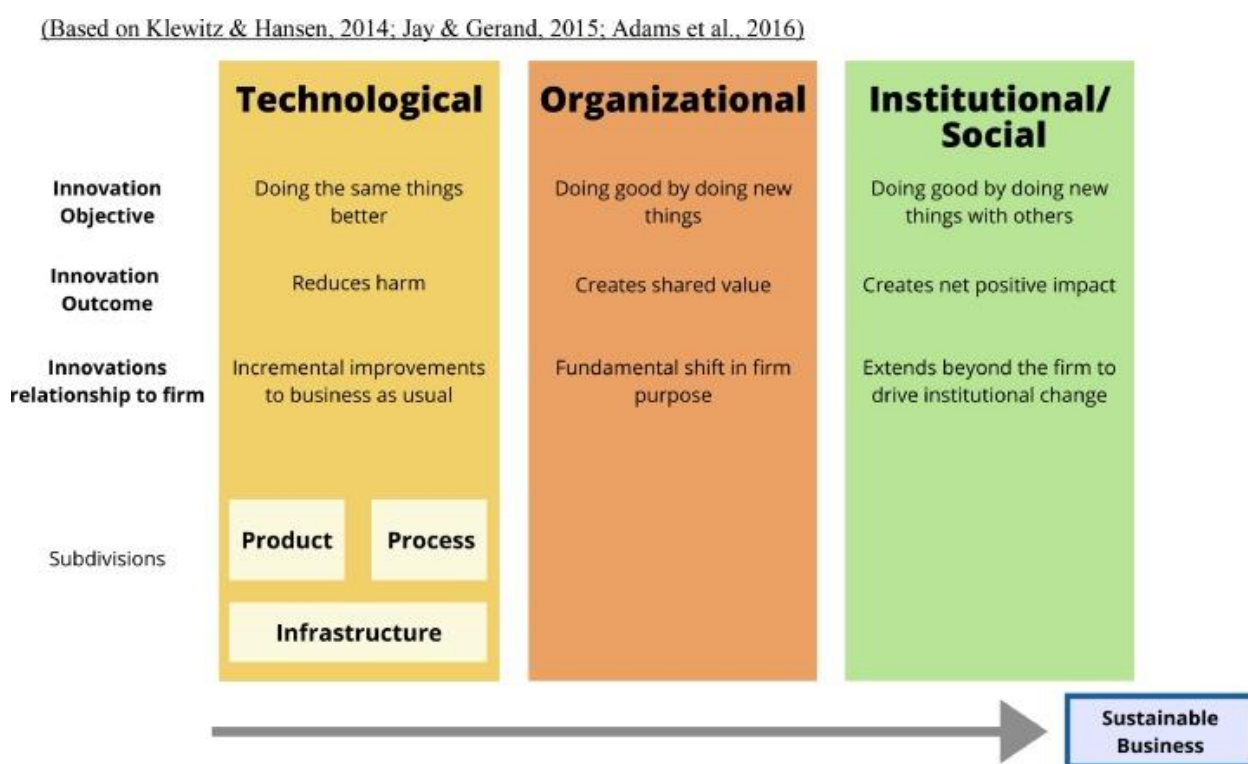
Η καινοτομία προσανατολισμένη στη βιωσιμότητα (Sustainability-Oriented Innovation – SOI) αποτελεί μία προσέγγιση που υπερβαίνει τους παραδοσιακούς στόχους αποδοτικότητας και οικονομικού κέρδους, επιδιώκοντας τη δημιουργία περιβαλλοντικής και κοινωνικής αξίας παράλληλα με την επιχειρηματική απόδοση. Όπως ορίζεται από τους Adams et al. (2016), η SOI «περιλαμβάνει την πραγματοποίηση σκόπιμων αλλαγών στη φιλοσοφία και τις αξίες ενός οργανισμού, καθώς και στα προϊόντα, τις διαδικασίες ή τις πρακτικές του, για την εξυπηρέτηση του συγκεκριμένου σκοπού της δημιουργίας και της υλοποίησης κοινωνικής και περιβαλλοντικής αξίας εκτός από τις οικονομικές αποδόσεις» (σ. 181).

Η σχετική βιβλιογραφία έχει διαμορφώσει ένα εννοιολογικό πλαίσιο που κατατάσσει την SOI σε τρεις βασικούς τύπους καινοτομίας: τεχνολογική, οργανωτική και θεσμική/κοινωνική (Adams et al., 2016· Jay & Gerard, 2015· Klewitz & Hansen, 2014). Οι διαστάσεις αυτές απεικονίζονται σε ένα συνεχές, το οποίο εκτείνεται από εσωτερικές αλλαγές στον οργανισμό (π.χ. τεχνολογικές καινοτομίες που βελτιώνουν την αποδοτικότητα) έως και συστημικές αλλαγές που επηρεάζουν τις σχέσεις του οργανισμού με το εξωτερικό του περιβάλλον, όπως η αναθεώρηση θεσμών, πολιτικών και κοινωνικών πρακτικών (Adams et al., 2016· Bocken et al., 2014).

Η υλοποίηση καινοτομίας με γνώμονα τη βιωσιμότητα προϋποθέτει όχι μόνο τεχνολογικές παρεμβάσεις αλλά και ευρύτερες οργανωσιακές αναδιαρθρώσεις και κοινωνικο-θεσμικές μεταβολές. Για παράδειγμα, η μετάβαση σε προϊόντα με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα αποτελεί ένα μόνο μέρος της διαδικασίας· εξίσου κρίσιμη είναι η ενσωμάτωση της βιωσιμότητας στη στρατηγική και τις αξίες του οργανισμού, καθώς και η δημιουργία ευρύτερων συνεργασιών με ενδιαφερόμενους φορείς και κοινότητες (Buhl et al., 2019· Jay et al., 2015).

Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι η SOI δεν εξελίσσεται γραμμικά. Αντίθετα, ακολουθεί ένα εξελικτικό μονοπάτι που ξεκινά από σταδιακές, εσωτερικές αλλαγές και καταλήγει σε ριζοσπαστικές, συστημικές παρεμβάσεις. Όπως υπογραμμίζουν οι Adams et al. (2016), το SOI κινείται από την αποδοτικότητα προς τον μετασχηματισμό, από τη μεμονωμένη δράση προς την κοινωνική καινοτομία, και από το βραχυπρόθεσμο όφελος προς τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα.

Γράφημα 1: Ένα συνεχές καινοτομιών με βιώσιμο προσανατολισμό



4.3.1 Τεχνολογική και οργανωτική καινοτομία

Η τεχνολογική καινοτομία αποτελεί συχνά το αρχικό στάδιο στην πορεία ενός οργανισμού προς τη βιωσιμότητα. Εστιάζει σε βελτιώσεις που αφορούν κυρίως αλλαγές σε προϊόντα, διαδικασίες και υποδομές, με στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την

αύξηση της τεχνολογικής αποδοτικότητας (Adams et al., 2016). Η καινοτομία προϊόντων περιλαμβάνει τη σχεδίαση ή τη βελτίωση αγαθών και υπηρεσιών με περιβαλλοντικά και κοινωνικά υπεύθυνα χαρακτηριστικά. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά, η ανακυκλωσιμότητα, η ανθεκτικότητα, η μακροβιότητα των προϊόντων, καθώς και τα προϊόντα που προέρχονται από δίκαιο εμπόριο ή βιολογική καλλιέργεια (Jay & Gerard, 2015· Klewitz & Hansen, 2014).

Η καινοτομία διαδικασιών αφορά την τροποποίηση των παραγωγικών ή λειτουργικών διαδικασιών με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης οικολογικής αποδοτικότητας ή κοινωνικής δικαιοσύνης. Τέτοιες παρεμβάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν λιγότερο ρυπογόνες και πιο αποδοτικές ως προς τους πόρους τεχνικές παραγωγής, αυξημένη ασφάλεια στο εργασιακό περιβάλλον ή πρακτικές που ενισχύουν τα εργασιακά δικαιώματα (Jay & Gerard, 2015· Klewitz & Hansen, 2014). Επιπλέον, η καινοτομία υποδομών περιλαμβάνει ευρύτερες επενδύσεις που επανακαθορίζουν ολόκληρες αλυσίδες παραγωγής και κατανάλωσης – όπως η εγκατάσταση μονάδων ανακύκλωσης ή η ενίσχυση συστημάτων υγείας και εκπαίδευσης για τους εργαζομένους (Jay & Gerard, 2015). Και στις τρεις περιπτώσεις, η τεχνολογική καινοτομία έχει ως βασικό γνώμονα τη βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης με όρους βιωσιμότητας, χωρίς να αλλοιώνει ριζικά το επιχειρηματικό υπόδειγμα.

Σε αντίθεση, η οργανωτική καινοτομία πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα, αμφισβητώντας τον συμβατικό τρόπο ενσωμάτωσης της βιωσιμότητας ως «συμπληρωματικό στόχο» και επιχειρώντας τη βαθιά ενσωμάτωσή της στον πυρήνα της στρατηγικής, της ταυτότητας και της κουλτούρας του οργανισμού (Adams et al., 2016). Σε αυτό το πλαίσιο, η οργανωτική SOI συνδέεται με μια ουσιαστική αναδιατύπωση της πρότασης αξίας του οργανισμού, μετατοπίζοντας το ενδιαφέρον από τη βελτιστοποίηση της υφιστάμενης λειτουργίας προς την εξάλειψη της «μη βιωσιμότητας» από τη ρίζα της (Bocken et al., 2014).

Η υιοθέτηση οργανωτικής καινοτομίας προϋποθέτει αλλαγές στον τρόπο δημιουργίας, παράδοσης και αποτύπωσης αξίας, ενσωματώνοντας κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια σε όλα τα στάδια λειτουργίας του οργανισμού. Μελέτες έχουν δείξει ότι η επαναπροσέγγιση των επιχειρηματικών μοντέλων υπό το πρίσμα της βιωσιμότητας μπορεί να ενισχύσει την οργανωτική ανθεκτικότητα και ανταγωνιστικότητα, επιτρέποντας την ευθυγράμμιση με τις σύγχρονες προσδοκίες των ενδιαφερομένων μερών (Buhl et al., 2019· Adams et al., 2016).

Εν τέλει, οι τεχνολογικές και οργανωτικές καινοτομίες αποτελούν συμπληρωματικές προσεγγίσεις για την επίτευξη βιωσιμότητας. Ενώ η τεχνολογική SOI εστιάζει στη βελτίωση υπάρχοντων συστημάτων, η οργανωτική SOI επιδιώκει μετασχηματισμό σε πιο βαθύ επίπεδο, θέτοντας τις βάσεις για μακροπρόθεσμη βιώσιμη ανάπτυξη.

4.3.2 Θεσμική και κοινωνική καινοτομία

Η θεσμική ή κοινωνική καινοτομία (institutional/social innovation) συνιστά την πιο προωθημένη μορφή καινοτομίας με προσανατολισμό στη βιωσιμότητα, καθώς υπερβαίνει τα όρια του μεμονωμένου οργανισμού και επιδιώκει ευρύτερους κοινωνικούς και συστημικούς μετασχηματισμούς. Όπως αναφέρουν οι Adams et al. (2016), η θεσμική καινοτομία απαιτεί μια ριζική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο νοείται ο ρόλος των επιχειρήσεων στην κοινωνία, δίνοντας έμφαση όχι μόνο στην οικονομική απόδοση, αλλά και στη δημιουργία κοινωνικής και περιβαλλοντικής αξίας.

Κεντρική ιδέα της θεσμικής καινοτομίας είναι η αναδιάρθρωση των υφιστάμενων κανόνων του παιχνιδιού μέσω της ενεργοποίησης διαφορετικών ενδιαφερομένων μερών – κυβερνητικών, επιχειρηματικών, μη κυβερνητικών οργανισμών και τοπικών κοινωνιών. Η επίτευξη συστημικών αλλαγών προϋποθέτει πολυμερή συνεργασία, διάλογο και ανάπτυξη συλλογικής δράσης, συχνά μέσω δημόσιων πολιτικών, διατομεακών πρωτοβουλιών ή συμπράξεων κοινωνικής καινοτομίας (Jay et al., 2015· Adams et al., 2016).

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, η θεσμική SOI δεν είναι μια γραμμική διαδικασία, αλλά μια δυναμική εξελικτική πορεία που εκτείνεται σε ένα συνεχές: από εσωτερικά οργανωμένες τεχνολογικές παρεμβάσεις, σε μετασχηματισμούς οργανωτικών πρακτικών, και τελικά σε αλλαγές στο επίπεδο των θεσμών, των αντιλήψεων και των κοινωνικών δομών (Klewitz & Hansen, 2014· Adams et al., 2016). Οι καινοτομίες αυτού του τύπου έχουν τη δύναμη να αλλάξουν τα συστήματα (system-changing innovations), δηλαδή να επηρεάσουν δομικά τον τρόπο με τον οποίο παράγονται, καταναλώνονται και ρυθμίζονται αγαθά και υπηρεσίες.

Ενδεικτικά παραδείγματα θεσμικής καινοτομίας περιλαμβάνουν την υιοθέτηση κυκλικών μοντέλων οικονομίας σε τοπικό επίπεδο, την εφαρμογή πολιτικών κοινωνικής ευθύνης με υποχρεωτικό χαρακτήρα, καθώς και την προώθηση νέων θεσμικών μηχανισμών διακυβέρνησης, όπως τα συμβούλια πολιτών για την κλιματική αλλαγή. Η σημασία τέτοιων καινοτομιών δεν περιορίζεται στα αποτελέσματα, αλλά επεκτείνεται και στη διαδικασία μέσω της οποίας συν-δημιουργούνται λύσεις με κοινωνική αποδοχή και θεσμική νομιμοποίηση.

Συνεπώς, η θεσμική/κοινωνική SOI συνιστά ένα κρίσιμο εργαλείο για τη μετάβαση προς πιο βιώσιμες κοινωνίες, καθώς ευθυγραμμίζει τις επιχειρηματικές πρακτικές με τις ευρύτερες κοινωνικές προσδοκίες και δημιουργεί τις συνθήκες για μακροπρόθεσμες και διαρθρωτικές αλλαγές. Η διερεύνηση αυτών των αλλαγών είναι αναγκαία προτού εξεταστεί πώς τεχνολογίες, όπως το blockchain, εντάσσονται ή προκαλούν αντίσταση σε αυτό το πλαίσιο μετασχηματισμού.

4.3.3 Εμπόδια στην καινοτομία

Παρά τα τεκμηριωμένα οφέλη των καινοτομιών προσανατολισμένων στη βιωσιμότητα, η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και πρακτικών συχνά συναντά αντιστάσεις, τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο. Η έννοια της αντίστασης στην καινοτομία (innovation resistance) αποτελεί θεμελιώδες θεωρητικό εργαλείο για την κατανόηση των εμποδίων που παρεμποδίζουν την υιοθέτηση βιώσιμων λύσεων, ιδίως όταν αυτές επιφέρουν ριζικές αλλαγές σε καθιερωμένα συστήματα και πρακτικές (Ram & Sheth, 1989; Heidenreich & Handrich, 2015).

Η αντίσταση ορίζεται ως η *αρνητική στάση, η αναβολή ή ακόμη και η απόρριψη* μιας καινοτομίας, όχι απαραίτητα λόγω έλλειψης πληροφόρησης ή κατανόησης, αλλά επειδή η καινοτομία θεωρείται ότι διαταράσσει ένα ικανοποιητικό status quo ή συγκρούεται με βαθιά ριζωμένες πεποιθήσεις και συνήθειες (Kleijnen et al., 2009; Huang et al., 2021). Η σχετική βιβλιογραφία, αποστασιοποιούμενη από τη θετικιστική προσέγγιση της καινοτομίας ως *a priori* επιθυμητής, αντιμετωπίζει την αντίσταση ως μια *φυσιολογική, δομική και συχνά αναγκαία διαδικασία*, μέσω της οποίας τα νέα συστήματα αξιολογούνται κριτικά πριν την ενσωμάτωσή τους (Bauer, 2017; Godin & Vinck, 2017).

Στο πλαίσιο της βιώσιμης καινοτομίας, η θεωρία της αντίστασης αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι αλλαγές που προτείνονται συχνά αφορούν *συστημικές μεταμορφώσεις* —όχι μόνο σε επίπεδο τεχνολογίας, αλλά και κουλτούρας, θεσμών και σχέσεων ισχύος (Thomas et al., 2017). Ειδικά στην περίπτωση τεχνολογιών όπως το blockchain ή η τεχνητή νοημοσύνη, η αντίσταση δεν αφορά μόνο την πολυπλοκότητα ή το κόστος, αλλά και το ποιος ελέγχει την πληροφορία, ποιος ωφελείται από τη διαφάνεια και πώς μεταβάλλεται η εξουσία εντός της αλυσίδας εφοδιασμού (Hietschold et al., 2020).

Η βιβλιογραφία προτείνει δύο βασικούς τύπους αντίστασης (Talke & Heidenreich, 2014):

- Παθητική αντίσταση, η οποία εκδηλώνεται πρόωρα, πριν από οποιαδήποτε αξιολόγηση της καινοτομίας, συχνά λόγω συντηρητισμού, εσωτερικής αδράνειας ή ικανοποίησης με το υπάρχον σύστημα (Joachim et al., 2018).
- Ενεργητική αντίσταση, που πηγάζει από την αξιολόγηση της καινοτομίας ως ακατάλληλης ή επικίνδυνης, και περιλαμβάνει λειτουργικά και ψυχολογικά εμπόδια, όπως θα αναλυθεί στις επόμενες ενότητες.

Η προσέγγιση της αντίστασης, όχι ως παρεκτροπή αλλά ως κρίσιμο φίλτρο νομιμοποίησης της καινοτομίας, προσφέρει νέες προοπτικές για την κατανόηση της αργής ή άνισης διάδοσης ακόμη και τεχνολογιών με υψηλό δυνητικό όφελος για τη βιωσιμότητα (Godin & Vinck, 2017). Επομένως, η εστίαση στην αντίσταση επιτρέπει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, στους επιχειρηματίες και στους σχεδιαστές λύσεων να διαμορφώσουν στρατηγικές που δεν επιδιώκουν απλώς την υιοθέτηση της καινοτομίας, αλλά την *ενσυνείδητη και συμμετοχική ενσωμάτωσή της* σε κοινωνικά και οργανωσιακά συμφραζόμενα.

Λειτουργικά εμπόδια στην καινοτομία

Τα λειτουργικά εμπόδια συνιστούν μία από τις βασικότερες μορφές ενεργητικής αντίστασης στην καινοτομία, καθώς αφορούν την αντίληψη ότι μια νέα τεχνολογία ή πρακτική δεν ανταποκρίνεται επαρκώς στις ανάγκες, στις προσδοκίες ή στις δυνατότητες εφαρμογής από τους αποδέκτες της (Talke & Heidenreich, 2014). Στην περίπτωση της καινοτομίας προσανατολισμένης

στη βιωσιμότητα, και ειδικότερα τεχνολογιών όπως το blockchain ή η AI, οι αντιστάσεις αυτές εμφανίζονται έντονα και συχνά συνδέονται με το αντιλαμβανόμενο λειτουργικό ρίσκο, το κόστος, την πολυπλοκότητα και την έλλειψη εμφανών πλεονεκτημάτων σε σύγκριση με τις υφιστάμενες λύσεις (Ram & Sheth, 1989; Antioco & Kleijnen, 2010).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι βασικές κατηγορίες λειτουργικών φραγμών περιλαμβάνουν:

- **Φραγμοί αξίας (value barriers):** εμφανίζονται όταν η καινοτομία δεν θεωρείται ότι προσφέρει ουσιαστικά μεγαλύτερη αξία ή βελτίωση σε σχέση με τις υπάρχουσες λύσεις. Ιδίως σε περιβάλλοντα χαμηλού περιθωρίου κέρδους ή υψηλής ρυθμιστικής πίεσης, όπως οι αγροτικές ή περιβαλλοντικά ρυθμισμένες αγορές, οι οργανισμοί συχνά διστάζουν να επενδύσουν σε καινοτομίες χωρίς άμεσο και μετρήσιμο οικονομικό όφελος (Joachim et al., 2018; Hietschold et al., 2020).
- **Φραγμοί πολυπλοκότητας (complexity barriers):** σχετίζονται με την αντίληψη ότι η καινοτομία είναι πολύπλοκη στη χρήση ή δύσκολη στην ενσωμάτωση με υφιστάμενα συστήματα. Ιδιαίτερα οι τεχνολογίες αιχμής, όπως το blockchain, συχνά συνοδεύονται από δυσνόητους τεχνικούς όρους, έλλειψη χρηστικών διεπαφών και ανάγκη για συνεχή τεχνική υποστήριξη (Kleijnen et al., 2009; Rogers, 2003).
- **Φραγμοί μεταδοτικότητας (communicability barriers):** προκύπτουν όταν τα πλεονεκτήματα μιας καινοτομίας δεν είναι εύκολα κατανοητά ή διαφανή για τους χρήστες. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές blockchain στη διαφάνεια της εφοδιαστικής τροφίμων μπορεί να μην είναι εμφανείς στους καταναλωτές ή στους ενδιαμέσους κρίκους της αλυσίδας, περιορίζοντας έτσι τη διάθεση υιοθέτησης (Talke & Heidenreich, 2014).
- **Φραγμοί δοκιμαστικής χρήσης (trialability & observability barriers):** παρατηρούνται όταν η καινοτομία δεν μπορεί να δοκιμαστεί ή να παρατηρηθεί πριν την πλήρη υιοθέτησή της, καθιστώντας δύσκολη την εκτίμηση του πραγματικού της οφέλους. Αυτό το εμπόδιο είναι ιδιαίτερα έντονο σε λύσεις που απαιτούν αλλαγές σε ολόκληρες πλατφόρμες ή διαδικασίες (Rogers, 2003).
- **Φραγμοί συμβατότητας (compatibility barriers):** εμφανίζονται όταν η καινοτομία δεν ευθυγραμμίζεται με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, διαδικασίες ή ακόμη και αξίες και κουλτούρα ενός οργανισμού. Για παράδειγμα, η απαίτηση ψηφιοποίησης των εγγράφων ή

των πρακτικών καταγραφής μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με παραδοσιακά πρότυπα λειτουργίας (Joachim et al., 2018).

- **Φραγμοί υλοποίησης (implementation barriers):** σχετίζονται με τον χρονικό ορίζοντα απόδοσης της καινοτομίας, όταν τα οφέλη αναμένονται σε βάθος χρόνου, γεγονός που αποθαρρύνει επενδύσεις σε περιβάλλοντα που απαιτούν άμεσα αποτελέσματα ή λειτουργούν υπό πιεστικούς οικονομικούς όρους (Huang et al., 2021).

Η αντιμετώπιση των λειτουργικών εμποδίων δεν είναι απλή υπόθεση, καθώς απαιτεί στοχευμένες παρεμβάσεις: από το σχεδιασμό πιο χρηστικών και προσαρμόσιμων λύσεων, μέχρι την επιμόρφωση των χρηστών και την πιλοτική εφαρμογή σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Η κατανόηση των λειτουργικών αντιστάσεων αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη στρατηγική διάχυσης της καινοτομίας, καθώς συνδέεται άμεσα με το αν, τότε και πώς μια καινοτομία θα γίνει αποδεκτή και θα ενσωματωθεί σε βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα.

Ψυχολογικά εμπόδια στην καινοτομία

Τα ψυχολογικά εμπόδια αποτελούν κρίσιμη διάσταση της ενεργητικής αντίστασης στην καινοτομία, καθώς συνδέονται με βαθύτερες γνωστικές, συναισθηματικές και πολιτισμικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αποδοχή ή την απόρριψη μιας τεχνολογικής ή οργανωσιακής αλλαγής (Ram & Sheth, 1989; Antiooco & Kleijnen, 2010). Σε αντίθεση με τα λειτουργικά εμπόδια που σχετίζονται με πρακτικά ζητήματα, τα ψυχολογικά φράγματα εδράζονται σε υποκειμενικές αντιλήψεις, προκαταλήψεις, φόβους και αξιακά συστήματα που επηρεάζουν τη στάση των χρηστών απέναντι στην καινοτομία.

Οι κυριότερες κατηγορίες ψυχολογικών εμποδίων που αναδεικνύει η σχετική βιβλιογραφία περιλαμβάνουν:

- **Φραγμοί εικόνας (image barriers):** σχετίζονται με τη συνολική αντίληψη για την προέλευση, τη φήμη ή την "ταυτότητα" της καινοτομίας. Για παράδειγμα, μια τεχνολογία μπορεί να θεωρείται αμφιλεγόμενη λόγω της χώρας προέλευσής της ή των εμπλεκόμενων

φορέων, επηρεάζοντας αρνητικά την αποδοχή της ανεξαρτησίας των πραγματικών της χαρακτηριστικών (Ram & Sheth, 1989; Joachim et al., 2018).

- **Φραγμοί κοινωνικών κανόνων (norm barriers):** προκύπτουν όταν η καινοτομία συγκρούεται με κοινωνικούς, πολιτισμικούς ή ηθικούς κανόνες και αξίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε καινοτομίες που απαιτούν αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών ή στην καθημερινότητα των χρηστών, παραβιάζοντας καθιερωμένα πρότυπα (Kleijnen et al., 2009). Στο πλαίσιο της βιώσιμης καινοτομίας, τέτοιοι φραγμοί συναντώνται συχνά στην αποδοχή νέων υλικών, διαδικασιών ή προτύπων πιστοποίησης.
- **Φραγμοί χρήσης (usage barriers):** συνδέονται με την ασυμβατότητα της καινοτομίας με τις υφιστάμενες συνήθειες, δεξιότητες ή προσδοκίες των χρηστών. Για παράδειγμα, εργαζόμενοι μπορεί να αντιδράσουν αρνητικά σε συστήματα AI ή blockchain αν θεωρήσουν ότι απαιτούν αλλαγή στον τρόπο εργασίας τους ή απειλούν τον επαγγελματικό τους ρόλο (Ram & Sheth, 1989; Heidenreich & Handrich, 2015).
- **Φραγμοί κινδύνου (risk barriers):** αποτελούν μια ευρεία κατηγορία που αφορά την αντίληψη του κινδύνου που συνοδεύει την καινοτομία. Περιλαμβάνουν τον:
 - **Λειτουργικό κίνδυνο** (π.χ. αν η τεχνολογία δεν λειτουργήσει όπως αναμένεται),
 - **Οικονομικό κίνδυνο** (π.χ. απώλεια επένδυσης),
 - **Προσωπικό ή επαγγελματικό κίνδυνο** (π.χ. φόβος αντικατάστασης),
 - **Κοινωνικό κίνδυνο** (π.χ. αποδοκιμασία από κοινωνικούς κύκλους ή επαγγελματικές ομάδες) (Joachim et al., 2018; Talke & Heidenreich, 2014).

Η υπέρβαση των ψυχολογικών εμποδίων απαιτεί συστηματική προσπάθεια οικοδόμησης εμπιστοσύνης, ενημέρωσης και ενδυνάμωσης των χρηστών. Οι στρατηγικές ενδέχεται να περιλαμβάνουν:

- συμμετοχικές διαδικασίες κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση της καινοτομίας,
- διαφανή επικοινωνία σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τους κινδύνους,
- και αξιοποίηση θετικών παραδειγμάτων (case studies) που επιδεικνύουν οφέλη και ομαλή ενσωμάτωση.

Η κατανόηση των ψυχολογικών εμποδίων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για τις καινοτομίες με προσανατολισμό στη βιωσιμότητα, καθώς αυτές συχνά απαιτούν αλλαγές τόσο στη λογική των επιχειρηματικών μοντέλων όσο και στον κοινωνικό συμβολισμό της καινοτομίας. Η αναγνώριση των αντιστάσεων ως φυσικό και εν δυνάμει παραγωγικό φαινόμενο –παρά ως εμπόδιο προς εξάλειψη– μπορεί να οδηγήσει σε πιο συμπεριληπτικές και ανθεκτικές διαδικασίες καινοτομίας.

Κεφάλαιο 5: Πρακτικές εφαρμογές και μελέτες περίπτωσης

5.1 Εφαρμογή Blockchain στην εφοδιαστική τροφίμων: Η Περίπτωση Danone

Η Danone, ως μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες εταιρείες διατροφής, έχει υιοθετήσει την τεχνολογία blockchain στην αλυσίδα εφοδιασμού της βρεφικής διατροφής μέσω της υπηρεσίας Track & Connect. Αυτή η καινοτόμος πλατφόρμα παρέχει ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας που επιτρέπει στους καταναλωτές και στους λιανοπωλητές να παρακολουθούν την προέλευση, το ταξίδι και την αυθεντικότητα των προϊόντων βρεφικού γάλακτος, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια.

Η επιλογή της Κίνας ως πρώτη αγορά εκκίνησης δεν ήταν τυχαία, δεδομένων των σοβαρών κρίσεων ασφάλειας προϊόντων που έχουν σημειωθεί εκεί τα τελευταία χρόνια (π.χ. το σκάνδαλο με τη μελαμίνη το 2008). Η ανάγκη για αυστηρότερο έλεγχο και διασφάλιση ποιότητας έκανε επιτακτική τη χρήση τεχνολογιών που εγγυώνται την ακεραιότητα και διαφάνεια των δεδομένων (Saber et al., 2019; Ballandies et al., 2021).

Η υλοποίηση του Track & Connect βασίζεται σε τεχνολογία blockchain, η οποία παρέχει ένα αποκεντρωμένο, αμετάβλητο καθολικό (distributed ledger technology - DLT). Στο καθολικό αυτό καταγράφονται όλες οι συναλλαγές με χρονολογική σειρά, δημιουργώντας ένα μόνιμο και ασφαλές αρχείο. Η αποκεντρωμένη φύση του blockchain μειώνει την πιθανότητα παραποίησης και επιτρέπει στους χρήστες να επαληθεύουν ανεξάρτητα την αυθεντικότητα του προϊόντος (Crosby et al., 2016; Nakamoto, 2008).

Η καινοτομία στη συσκευασία με διπλούς κωδικούς QR επιτρέπει δύο στάδια επαλήθευσης:

- Ο πρώτος κωδικός QR, ορατός στην εξωτερική συσκευασία, παρέχει πληροφορίες για την κατασκευή και την αλυσίδα διανομής, δίνοντας στους καταναλωτές διαφάνεια σχετικά με το ταξίδι του προϊόντος.

- Ο δεύτερος κωδικός QR, εκτυπωμένος με λέιζερ κάτω από σφραγίδα ανθεκτική στην παραβίαση, ενεργοποιείται μετά το άνοιγμα της συσκευασίας και επαληθεύει την αυθεντικότητα, αποτρέποντας την κυκλοφορία απομιμήσεων (Kakavand et al., n.d.; Magazzeni et al., 2017).

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών blockchain επιτρέπει επίσης στην Danone να συλλέγει και να αναλύει δεδομένα για τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής, με προγνωστικά μοντέλα ζήτησης και διαχείρισης αποθεμάτων που μειώνουν τα απόβλητα και αυξάνουν την αποδοτικότητα (Dubey et al., 2022; Wamba et al., 2020).

Πέραν της Danone, και άλλοι κολοσσοί του κλάδου τροφίμων και βρεφικής διατροφής, όπως η Nestlé, η Carrefour και η Kraft Heinz, έχουν ενσωματώσει λύσεις blockchain (IBM Food Trust, TE-FOOD) για την αντιμετώπιση ζητημάτων ιχνηλασιμότητας, ασφάλειας και ποιότητας (Chang et al., 2019; Cano et al., 2022).

Παρά τα οφέλη, η ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στην αλυσίδα εφοδιασμού αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως:

- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και συντήρησης (Min, 2019).
- Έλλειψη τεχνικής εξειδίκευσης και κατανόησης των δυνατοτήτων (Margherita et al., 2022).
- Αντιδράσεις και δισταγμοί από τους προμηθευτές και τα μικρότερα μέλη της αλυσίδας (Thomas et al., 2017).
- Θέματα διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών blockchain πλατφορμών και υφιστάμενων συστημάτων ERP (Cong & He, 2019; van Engelenburg et al., 2019).

Η εμπειρία της Danone και άλλων εταιρειών καταδεικνύει ότι η επιτυχής υιοθέτηση blockchain προϋποθέτει:

- Συνδυασμό τεχνολογίας με καινοτόμες πρακτικές βιωσιμότητας και διαχείρισης ποιότητας.
- Συνεργασία μεταξύ διαφόρων ενδιαφερομένων, από παραγωγούς μέχρι λιανοπωλητές και καταναλωτές.

- Συνεχή ενημέρωση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού.

Συνολικά, η τεχνολογία blockchain συμβάλλει καθοριστικά στη μετάβαση σε διαφανείς, βιώσιμες και αξιόπιστες εφοδιαστικές αλυσίδες, ιδίως στον ευαίσθητο τομέα των τροφίμων βρεφικής διατροφής (Kshetri, 2018; Treiblmaier, 2023).

5.2 Τεχνητή Νοημοσύνη και Big Data στη γρήγορη μόδα: Οι Περιπτώσεις H&M, Zarakai Shein Εφαρμογής

5.2.1 Εφαρμογές και οφέλη

Η γρήγορη μόδα αποτελεί ένα από τα πιο δυναμικά φαινόμενα στον κλάδο του λιανικού εμπορίου ένδυσης, προσφέροντας μοντέρνα προϊόντα με γρήγορους ρυθμούς παραγωγής και κατανάλωσης σε προσιτές τιμές (Niinimäki et al., 2020). Ωστόσο, οι αλυσίδες εφοδιασμού αυτής της βιομηχανίας αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις βιωσιμότητας και ηθικής, που σχετίζονται με την περιβαλλοντική ρύπανση και τις συνθήκες εργασίας σε χώρες παραγωγής.

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) έχουν εξελιχθεί σε κρίσιμα εργαλεία για τη βελτιστοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού γρήγορης μόδας. Εφαρμογές της AI περιλαμβάνουν την ανάλυση καταναλωτικών προτιμήσεων, την πρόβλεψη ζήτησης, τη βελτιστοποίηση αποθεμάτων και την εξατομίκευση της αγοραστικής εμπειρίας (McKinsey, 2019; Sharma et al., 2021). Μέσω της συλλογής και επεξεργασίας τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, οι εταιρείες γρήγορης μόδας μπορούν να αντιδρούν ταχύτερα σε αλλαγές στην αγορά και να μειώνουν τα αποθέματα που δεν πωλούνται, περιορίζοντας ταυτόχρονα τα απόβλητα.

Shein: Ως ένας από τους κορυφαίους διαδικτυακούς προορισμούς για γρήγορη μόδα, η Shein αξιοποιεί προηγμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση αλλαγών στη ζήτηση και την προσαρμογή της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Με έως και 600.000 προϊόντα διαθέσιμα σε πάνω από 220 χώρες, η εταιρεία έχει καταφέρει να ανταποκρίνεται γρήγορα στις τάσεις της αγοράς (EMarketer, 2022). Ωστόσο, έχει δεχτεί κριτική για το σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και τις δυσμενείς εργασιακές συνθήκες που επικρατούν στα

εργοστάσιά της (Apparel Impact Institute, 2023). Η ίδια η Shein ισχυρίζεται ότι η ΑΙ συμβάλλει στη μείωση αποβλήτων, όμως οι ειδικοί προειδοποιούν για τον κίνδυνο υπερκατανάλωσης και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

H&M: Η σουηδική εταιρεία επενδύει σημαντικά στην ανάπτυξη ομάδας επιστημόνων δεδομένων που χρησιμοποιούν αλγόριθμους ΑΙ για την ανάλυση δεδομένων πωλήσεων και τάσεων μόδας. Μέσω αυτών των αναλύσεων, η H&M προβλέπει τις καταναλωτικές προτιμήσεις, διαχειρίζεται τα αποθέματά της και λαμβάνει αποφάσεις που στοχεύουν στη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα (Thomas, 2020). Έχει αναπτυχθεί σύστημα ΑΙ που βοηθά στην πρόβλεψη των τάσεων και στην εξατομίκευση των προσφορών.

Zara: Αντιστοίχως, η Zara χρησιμοποιεί τεχνολογίες παρακολούθησης προϊόντων με μικροτσίπ στις ετικέτες ασφαλείας, καθώς και πλατφόρμες πρόβλεψης συμπεριφοράς καταναλωτών όπως η Jetlore, που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση αποθεμάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών της αλυσίδας εφοδιασμού, ενισχύοντας την ταχύτητα και την ακρίβεια στην πρόβλεψη ζήτησης (Jetlore, 2020; Thomas, 2020).

Η χρήση ΑΙ και Big Data στις αλυσίδες εφοδιασμού γρήγορης μόδας προσφέρει πολλαπλά οφέλη, όπως η βελτίωση της αποδοτικότητας, η μείωση των αποβλήτων και η ενίσχυση της πελατειακής εμπειρίας. Εργαλεία όπως chatbots και αυτοματοποιημένες λειτουργίες αποθήκης υποστηρίζουν την καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών και τη διαχείριση αποθεμάτων (Sharma et al., 2021).

5.2.2 Ζητήματα βιωσιμότητας και ηθικής

Παρά τα οφέλη, εγείρονται σημαντικά ηθικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλλει στην υπερκατανάλωση, ενώ υπάρχουν κίνδυνοι παραβίασης πνευματικών δικαιωμάτων μέσω αλγοριθμικής αναπαραγωγής σχεδίων (Akter et al., 2023). Επίσης, το θέμα της κοινωνικής ανισότητας λόγω αυτοματισμού και η αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση απαιτούν υπεύθυνες πρακτικές και διαφάνεια (Perkins, 2023; Made2Flow, 2024).

Επομένως, η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών οφείλει να συνοδεύεται από αυστηρό κανονιστικό πλαίσιο και συνεργασία ανάμεσα σε επιχειρήσεις, πολιτεία και κοινωνία, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα και η ηθική διάσταση του κλάδου (Harreis, 2023; CXG, 2024).

5.3 Τεχνολογικές εφαρμογές στον κλάδο μόδας και κλωστοϋφαντουργίας

Ο κλάδος της μόδας και της κλωστοϋφαντουργίας αποτελεί έναν από τους πλέον δυναμικούς, αλλά ταυτόχρονα περιβαλλοντικά επιβαρυνμένους τομείς παγκοσμίως. Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, η κατασκευή μόδας παραμένει έντασης εργασίας σε πολλές περιοχές, κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας φθηνού εργατικού δυναμικού, του υψηλού κόστους για την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και του ανταγωνισμού σε χαμηλές τιμές προϊόντων. Συνεπώς, πολλές παραγωγικές διαδικασίες συνεχίζουν να βασίζονται σε χειρωνακτικές μεθόδους, περιορίζοντας την ταχύτητα υιοθέτησης τεχνολογικών καινοτομιών (Saber et al., 2019; Bai & Sarkis, 2020).

Ωστόσο, η αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμα προϊόντα και η ανάγκη συμμόρφωσης με περιβαλλοντικά και κοινωνικά πρότυπα ωθούν τον κλάδο προς την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών όπως το blockchain, το IoT και η τεχνητή νοημοσύνη. Μέσω της χρήσης αυτών των τεχνολογιών, οι εταιρείες επιδιώκουν την ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας, της διαφάνειας και της αποδοτικότητας, με τελικό στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την κοινωνική υπευθυνότητα (Klump & Loske, 2021; Stindt, 2017).

Η υιοθέτηση πλατφορμών ιχνηλασιμότητας, σε συνδυασμό με το ψηφιακό δίδυμο και την αξιοποίηση αισθητήρων IoT, επιτρέπει την καταγραφή κάθε σημαντικού βήματος της αλυσίδας αξίας, από την προμήθεια πρώτων υλών μέχρι την τελική διανομή. Αυτή η ψηφιακή αποτύπωση είναι κρίσιμη για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας, η οποία στοχεύει στη μείωση των αποβλήτων μέσω της επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών (Limata, 2019; Muñoz-Torres et al., 2021).

Συνολικά, η συνδυαστική χρήση των τεχνολογιών αυτών στον κλάδο μόδας προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για βελτίωση της βιωσιμότητας, ωστόσο απαιτείται περαιτέρω έρευνα και

εφαρμογή για την υπέρβαση των υφιστάμενων εμποδίων, όπως το κόστος και η έλλειψη τεχνικής κατάρτισης (Saber et al., 2019).

5.4 Τεχνολογίες στην εφοδιαστική αλυσίδα κρασιού

Η παραγωγή κρασιού, με μακραίωνη ιστορία και σημαντική πολιτιστική και οικονομική σημασία, αντιμετωπίζει σύγχρονες προκλήσεις που απαιτούν την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών. Η ενσωμάτωση καινοτομιών όπως το Internet of Things (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το blockchain (BCT) στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού του κρασιού προσφέρει σημαντικά οφέλη για τη βελτίωση της ποιότητας, της διαφάνειας και της βιωσιμότητας (da Cruz & Cruz, 2020; Muñoz-Torres et al., 2021).

Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της παραγωγής, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, διασφαλίζοντας τη βέλτιστη ποιότητα και την αυθεντικότητα του προϊόντος. Επιπλέον, η αποκεντρωμένη φύση των blockchain διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων και τη διαφάνεια μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων στην αλυσίδα, από τον αμπελώνα έως τον τελικό καταναλωτή (Ballandies et al., 2021; Kakavand et al., n.d.).

Παράλληλα, η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών συμβάλλει στην αντιμετώπιση σύνθετων προκλήσεων όπως η ασφάλεια των τροφίμων, η ιχνηλασιμότητα και η πιστοποίηση των προϊόντων, βελτιώνοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και προωθώντας την κοινωνική και περιβαλλοντική υπευθυνότητα στον τομέα (Choudhury, 2014; Fletcher, 2014).

Παρότι τα οφέλη είναι σαφή, η ενσωμάτωση τεχνολογιών blockchain, IoT και AI στον κλάδο του κρασιού παραμένει περιορισμένη και απαιτεί περαιτέρω έρευνα και βελτίωση της τεχνολογικής υιοθέτησης, ειδικά σε θέματα ασφάλειας, περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και οικονομικής αποδοτικότητας (Treiblmaier, 2023; Grover et al., 2020).

5.5 IoT και Blockchain στη ναυτιλία: Οι Περιπτώσεις Maersk και TradeLens

Η Maersk έχει ξεκινήσει την εφαρμογή της νέας ψηφιακής πλατφόρμας συνδεσιμότητας IoT σε 450 πλοία, περιλαμβάνοντας τόσο ιδιόκτητα όσο και ναυλωμένα πλοία. Αυτή η πλατφόρμα προωθεί την πραγματοποίηση παρακολούθησης φορτίων σε πραγματικό χρόνο, αυξάνοντας την ορατότητα και την αποδοτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού (Maersk, 2025).

Η αναβάθμιση από την παλιά υποδομή 2G σε 4G τεχνολογία επιτρέπει σημαντική αύξηση στην ακρίβεια και συχνότητα συλλογής δεδομένων, παρόμοια με τη μετάβαση των κινητών δικτύων 2G σε 4G που βελτίωσε δραστικά την ταχύτητα και αξιοπιστία επικοινωνίας (Maersk, 2025). Η πλατφόρμα υποστηρίζει πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες και προσφέρει διαλειτουργικότητα μεταξύ ιδιωτικών και δημόσιων δικτύων, διευκολύνοντας την παρακολούθηση φορτίων σε θάλασσα, λιμάνι ή ξηρά (Maersk, 2025).

Παράλληλα, η τεχνολογία blockchain αποτελεί έναν κατακεντρωμένο, αποκεντρωμένο και μη αλλοιώσιμο ψηφιακό κατάλογο, που εγγυάται τη διαφάνεια, ασφάλεια και ιχνηλασιμότητα των συναλλαγών μεταξύ των μελών της αλυσίδας εφοδιασμού (Nakamoto, 2008; Yaga et al., 2019). Η χρήση permissioned blockchain επιτρέπει μόνο εξουσιοδοτημένους συμμετέχοντες να προσθέτουν δεδομένα, δημιουργώντας ένα περιβάλλον εμπιστοσύνης και συνεργασίας (Wang et al., 2018; Cole et al., 2019).

Η ενσωμάτωση blockchain με IoT επιτρέπει τη συλλογή και ασφαλή καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως στοιχεία θερμοκρασίας, τοποθεσίας και χρόνου διακίνησης φορτίων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και τη διαφάνεια στην εφοδιαστική αλυσίδα (Blossey et al., 2019; Chang et al., 2020). Τα οφέλη αυτά είναι κρίσιμα για τη ναυτιλιακή βιομηχανία και την παγκόσμια εφοδιαστική, καθώς προωθούν την αποτελεσματικότητα, τη μείωση λαθών και την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των συνεργαζόμενων μερών (Yang, 2019; Wang et al., 2021).

Η εφαρμογή blockchain στην εφοδιαστική ενισχύει επίσης την ασφάλεια, μειώνει την ανάγκη μεσαζόντων και προσφέρει πλήρη ορατότητα των συναλλαγών, συμβάλλοντας σημαντικά στη βελτίωση της απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού (De Giovanni, 2020; Hald & Kinra, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μεθοδολογική προσέγγιση και περιορισμοί

6.1 Επιλογή μεθοδολογικής προσέγγισης

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, με σκοπό την καταγραφή, αποτίμηση και ερμηνεία της συμβολής των προηγμένων τεχνολογιών στη βιωσιμότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων. Ακολουθείται η μεθοδολογία δομημένης θεματικής ανάλυσης (Braun & Clarke, 2006), επιτρέποντας την κατηγοριοποίηση εννοιών σε άξονες όπως: τύπος τεχνολογίας, στρατηγικές εφαρμογής, φραγμοί και επιδράσεις.

Η επιλογή των πηγών έγινε με βάση κριτήρια εγκυρότητας (peer-reviewed), θεματικής συνάφειας και επικαιρότητας, κυρίως από τη δεκαετία 2014–2024. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν Scopus, Web of Science, ScienceDirect και Google Scholar, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε περιπτωσιολογικές μελέτες, τεχνικές αναφορές διεθνών οργανισμών (π.χ. WEF, UN, EU) και αναλύσεις πολιτικών (π.χ. Digital Europe, Green Deal).

Η ανασκόπηση καθοδηγήθηκε από τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες τεχνολογίες (π.χ. AI, Blockchain, IoT, Big Data) συμβάλλουν στην ενίσχυση της βιωσιμότητας;
- Ποιοι φραγμοί (τεχνικοί, θεσμικοί, ψυχολογικοί) εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτησή τους;
- Ποιες στρατηγικές διευκολύνουν την υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών σε ετερογενή περιβάλλοντα;

Η μεθοδολογική προσέγγιση συνδυάζει ποιοτικά και περιγραφικά στοιχεία, παρέχοντας ένα ερμηνευτικό πλαίσιο για τις παρατηρούμενες τάσεις και τις προοπτικές μελλοντικής εφαρμογής (Adams et al., 2016; Chang et al., 2019; Kshetri, 2018).

6.2 Περιορισμοί και παραδοχές της μελέτης

Η μελέτη επηρεάστηκε από την ασυνέπεια και την ετερογένεια των δεδομένων σε κλαδικό και γεωγραφικό επίπεδο (Kashmanian, 2017). Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων περιορίζεται, αφενός, από την απουσία ενοποιημένων μετρικών σε πολλούς τομείς και, αφετέρου, από τις ελλείψεις δεδομένων από ΜΜΕ ή χώρες χαμηλού ψηφιακού δείκτη.

Παραδείγματος χάριν, το IoT παράγει υψηλής ποιότητας δεδομένα σε εφοδιαστικές αλυσίδες τροφίμων ή φαρμάκων, αλλά οι ίδιες δυνατότητες απουσιάζουν από την παραδοσιακή βιοτεχνία ή τις αγροτικές εφοδιαστικές αλυσίδες (Kamilaris et al., 2019). Τα συστήματα legacy αποτελούν βασική πρόκληση στην προτυποποίηση δεδομένων (Wiengarten et al., 2016).

Η γενίκευση των ευρημάτων είναι περιορισμένη λόγω της σημαντικής διαφοροποίησης ανάμεσα σε κλάδους, περιοχές και θεσμικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, η εφαρμογή τεχνολογιών blockchain έχει προχωρήσει ταχύτερα σε τομείς όπως η ναυτιλία (TradeLens) σε σχέση με το λιανεμπόριο ή τη γεωργία (Chang et al., 2019; Rieple & Snijders, 2018).

Επιπλέον, η πολιτισμική αποδοχή, το θεσμικό πλαίσιο και η ωριμότητα του ανθρώπινου δυναμικού αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και την ποιότητα ενσωμάτωσης, αλλά δεν μπορούν να αποτυπωθούν επαρκώς σε θεωρητικό μοντέλο (Heidenreich & Handrich, 2015; Adams et al., 2016).

6.3 Στρατηγικές αντιμετώπισης των περιορισμών

6.3.1 Πολιτικά και θεσμικά κίνητρα

Η ενίσχυση θεσμικών πλαισίων και χρηματοδοτικών εργαλείων αποτελεί κρίσιμο μοχλό για την ενίσχυση της τεχνολογικής υιοθέτησης (BSR, 2015; EU, 2023). Πρωτοβουλίες όπως το “Digital Europe Programme”, η “European Blockchain Services Infrastructure” και το “Green Deal Industrial Plan” παρέχουν ουσιαστική υποστήριξη για τεχνολογική καινοτομία με βιώσιμο πρόσημο.

6.3.2 Επενδύσεις και υποδομές

Οι συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ) είναι καταλύτης για την επέκταση κρίσιμων υποδομών (π.χ. 5G, edge computing, blockchain platforms) σε περιοχές με ψηφιακή υστέρηση (IBM, 2022). Παράλληλα, η μετάβαση σε πιο "data-driven" λειτουργικά μοντέλα απαιτεί επένδυση σε data centers, logistics hubs και ενοποιημένα συστήματα παρακολούθησης (Kamilaris et al., 2019).

6.3.3 Εκπαίδευση και κατάρτιση

Η ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων και η αναβάθμιση του εργατικού δυναμικού κρίνονται απαραίτητες για τη βιώσιμη ενσωμάτωση της καινοτομίας (Ehnert et al., 2014; Buhl et al., 2019). Η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ επιχειρήσεων και πανεπιστημίων, καθώς και η προώθηση ευέλικτων μοντέλων δια βίου μάθησης (π.χ. SkillsBuild της IBM), υποστηρίζουν την καλλιέργεια τεχνολογικής κουλτούρας προσανατολισμένης στη βιωσιμότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συζήτηση και συμπεράσματα

7.1. Σύνθεση και ανάλυση ευρημάτων

Η παρούσα μελέτη, μέσω συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ανέδειξε τον κρίσιμο ρόλο των προηγμένων τεχνολογιών στις σύγχρονες εφοδιαστικές αλυσίδες και κατέγραψε τις προοπτικές, τις ευκαιρίες, αλλά και τις πολυδιάστατες προκλήσεις που συνδέονται με την υιοθέτησή τους. Τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το blockchain και τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) αποδεικνύεται ότι συνιστούν πλέον ακρογωνιαίο λίθο για την ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας των εφοδιαστικών αλυσίδων (Adams et al., 2016· Baryannis et al., 2018).

Οι τεχνολογικές αυτές καινοτομίες επιτρέπουν την ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης, τη βελτιστοποίηση των αποθεμάτων, την ενίσχυση της διαφάνειας μέσω ιχνηλασιμότητας και την ουσιαστική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τις αλυσίδες εφοδιασμού όχι μόνο πιο αποδοτικές, αλλά και περισσότερο βιώσιμες και ευέλικτες απέναντι σε εξωγενείς πιέσεις (Kamble et al., 2020· Wang et al., 2021).

Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι οι προηγμένες τεχνολογίες δεν λειτουργούν απλώς ως εργαλεία βελτίωσης, αλλά ως μοχλοί στρατηγικού μετασχηματισμού. Οι εφοδιαστικές αλυσίδες μετατοπίζονται από στατικά, αντιδραστικά μοντέλα προς δυναμικά, προγνωστικά και ευθυγραμμισμένα οικοσυστήματα. Η συμβολή των τεχνολογιών αυτών είναι πολυεπίπεδη: αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης υποστηρίζουν την πρόβλεψη ζήτησης, αισθητήρες IoT επιτρέπουν τη σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση αγαθών, ενώ οι αποκεντρωμένες πλατφόρμες blockchain ενισχύουν τη διαφάνεια και μειώνουν την ανάγκη για πλεονάζοντα αποθέματα.

Παράλληλα, διαπιστώνεται ότι νέα μοντέλα διαχείρισης, βασισμένα στην τεχνολογική διασύνδεση των εμπλεκόμενων μερών, προωθούν τη συνεργασία και ενισχύουν τη συνοχή της εφοδιαστικής αλυσίδας, περιορίζοντας τις εσωτερικές τριβές και αυξάνοντας τη συνολική αποδοτικότητα. Ωστόσο, η τεχνολογική καινοτομία δεν μπορεί να εξεταστεί μεμονωμένα. Απαιτείται θεσμική, πολιτική και κοινωνική υποστήριξη, η οποία ενδυναμώνει και επιταχύνει την εφαρμογή της.

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας αναδεικνύει την αυξανόμενη σύγκλιση των προηγμένων τεχνολογιών με διεθνείς στρατηγικές για τη βιωσιμότητα, όπως η Συμφωνία του Παρισιού και η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (Green Deal). Παράλληλα, ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες όπως το πρόγραμμα «Ψηφιακή Ευρώπη» λειτουργούν ως σημαντικοί καταλύτες για την ενίσχυση της ψηφιακής ωριμότητας των επιχειρήσεων και την ενσωμάτωση πράσινων τεχνολογικών λύσεων. Η δυνατότητα συμμόρφωσης προς τους στόχους αειφορίας προσδίδει στις επιχειρήσεις συγκριτικό πλεονέκτημα, τόσο ως προς τη βιωσιμότητα όσο και ως προς τη μακροχρόνια ανταγωνιστικότητα.

Επιπλέον, η τεχνολογική ενσωμάτωση ενισχύει την παγκόσμια σταθερότητα και την ικανότητα διαχείρισης συστημικών κινδύνων. Η ικανότητα πρόβλεψης, πρόληψης και ταχείας απόκρισης σε κρίσεις – όπως πανδημίες, γεωπολιτικές εντάσεις ή φυσικές καταστροφές – συνιστά σημαντικό πλεονέκτημα. Τεχνολογίες όπως το blockchain επιτρέπουν την ακριβή ιχνηλασιμότητα αγαθών και ενισχύουν την εμπιστοσύνη στα διασυννοριακά δίκτυα. Ενδεικτικά παραδείγματα, όπως η πλατφόρμα TradeLens της συνεργασίας Maersk–IBM και οι πρωτοβουλίες βιώσιμης ιχνηλασιμότητας της Unilever, επιβεβαιώνουν την επιχειρησιακή αξία αυτών των λύσεων.

Παρά τα παραπάνω, η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών δεν είναι απρόσκοπτη. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις (MME) αντιμετωπίζουν σημαντικά εμπόδια, όπως το υψηλό αρχικό κόστος, η δυσκολία ενσωμάτωσης με υφιστάμενα (legacy) πληροφοριακά συστήματα και η έλλειψη τεχνικής κατάρτισης. Επιπλέον, αναγνωρίζονται και μη τεχνολογικοί φραγμοί. Η θεωρία της αντίστασης στην καινοτομία (innovation resistance theory) υπογραμμίζει ότι παράγοντες όπως η αντίληψη της πολυπλοκότητας, η έλλειψη εμπιστοσύνης, η ασυμβατότητα με τις καθιερωμένες πρακτικές και η απροθυμία για αλλαγή συνιστούν κρίσιμες ψυχολογικές και οργανωσιακές αντιστάσεις (Talke & Heidenreich, 2014).

Η παρούσα μελέτη προσφέρει μια πολυδιάστατη προσέγγιση, συνδυάζοντας τεχνολογική, στρατηγική και θεσμική διάσταση. Καταδεικνύει ότι η τεχνολογική καινοτομία, για να είναι αποτελεσματική, απαιτεί ενίσχυση ανθρώπινων δεξιοτήτων, θεσμική υποστήριξη και ενεργό συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Οι προηγμένες τεχνολογίες λειτουργούν ως καταλύτες – όχι ως πανάκεια – για τη μετάβαση σε ένα νέο πρότυπο εφοδιαστικής αλυσίδας, που θα χαρακτηρίζεται από προσαρμοστικότητα, διαφάνεια, συστημική συνείδηση και μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα.

Εν συντομία, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών αποτελεί αναγκαία αλλά όχι επαρκή προϋπόθεση για τη μετάβαση σε βιώσιμες εφοδιαστικές αλυσίδες. Απαιτείται συντονισμένη δράση σε τεχνολογικό, θεσμικό και οργανωσιακό επίπεδο, ώστε να διαμορφωθούν ανθεκτικά και ευέλικτα οικοσυστήματα, ικανά να ανταποκρίνονται στις προκλήσεις ενός μεταβαλλόμενου και αβέβαιου παγκόσμιου περιβάλλοντος.

7.2. Πολιτικές και πρακτικές επιπτώσεις

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης αναδεικνύουν την ανάγκη για στοχευμένες και πολυεπίπεδες πολιτικές παρεμβάσεις που θα ενισχύσουν την ψηφιακή μετάβαση των εφοδιαστικών αλυσίδων, με τρόπο βιώσιμο, δίκαιο και τεχνολογικά ώριμο. Η υλοποίηση ενός ευνοϊκού κανονιστικού και χρηματοδοτικού πλαισίου, το οποίο θα ενθαρρύνει την καινοτομία και θα διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των τεχνολογικών λύσεων, συνιστά κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή υιοθέτηση τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το blockchain και το IoT (McKinsey & Company, 2021· UNFCCC, 2015).

Οι εθνικές και υπερεθνικές πολιτικές καλούνται να υιοθετήσουν πολυδιάστατες στρατηγικές, που περιλαμβάνουν:

- Χρηματοδοτικά κίνητρα για την απόκτηση ψηφιακών υποδομών.
- Εκπαιδευτικά προγράμματα που ενισχύουν τις δεξιότητες των εργαζομένων.
- Κανονιστικά πλαίσια που ενδυναμώνουν την καινοτομία και μειώνουν τους κινδύνους εφαρμογής.

Σε επίπεδο βιομηχανίας, η επένδυση σε ψηφιακές τεχνολογίες και ανθρώπινο κεφάλαιο αποτελεί προϋπόθεση για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Οι επιχειρήσεις καλούνται να διαμορφώσουν στρατηγικές συνεργασίες με τεχνολογικούς παρόχους, ερευνητικά κέντρα και ακαδημαϊκούς φορείς, ώστε να διασφαλίσουν την ομαλή ενσωμάτωση και λειτουργία προηγμένων τεχνολογιών (KPMG, 2021· IBM, 2022). Παράλληλα, η ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της ευελιξίας των αλυσίδων εφοδιασμού – ιδίως

σε κλάδους με υψηλή εξάρτηση από τα δεδομένα και χαμηλή ανοχή σε διακοπές – μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα (Kamble et al., 2020).

Ιδιαίτερη μέριμνα απαιτείται για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ), οι οποίες συχνά στερούνται πρόσβασης σε τεχνογνωσία, κεφάλαιο και εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό. Η ανάπτυξη κλιμακούμενων, οικονομικά προσβάσιμων και τεχνικά απλών λύσεων, προσαρμοσμένων στις ανάγκες τους, είναι αναγκαία για την άρση του ψηφιακού αποκλεισμού και την προώθηση μιας δίκαιης και καθολικής ψηφιακής μετάβασης (European Commission, 2023).

Από την πλευρά της ερευνητικής κοινότητας, επισημαίνεται η ανάγκη για διεπιστημονικές μελέτες που να ενσωματώνουν εργαλεία από τη διοίκηση, την τεχνολογία και τις περιβαλλοντικές επιστήμες. Η περαιτέρω διερεύνηση αναδυόμενων τεχνολογιών – όπως η ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning), τα αυτόνομα συστήματα και οι έξυπνες συμβάσεις (smart contracts) – μέσα σε πραγματικά βιομηχανικά περιβάλλοντα, θα αυξήσει τη λειτουργική εφαρμοσιμότητα και την αποδοτικότητα των βιώσιμων πρακτικών (Treiblmaier, 2023).

Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτει ένα κρίσιμο ερευνητικό ερώτημα για το μέλλον:

Πώς η υιοθέτηση των τεχνολογιών Industry 4.0 βελτιώνει ουσιαστικά την απόδοση βιώσιμων εφοδιαστικών αλυσίδων (SSC) στις βιομηχανίες ένδυσης (RMG) αναδυόμενων οικονομιών, υπό τον διαμεσολαβητικό ρόλο των πρακτικών Green Supply Chain Management (GSCM) και Κυκλικής Οικονομίας (CE);

Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών και επιχειρηματικών στρατηγικών, ικανών να προωθήσουν καινοτόμα, ανθεκτικά και βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα, ειδικά σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα, πολυπλοκότητα και μεταβλητότητα.

7.3. Μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

Η παρούσα μελέτη ανοίγει σημαντικούς ορίζοντες για περαιτέρω έρευνα, εστιάζοντας στην ανάγκη κατανόησης και βελτιστοποίησης των τεχνολογικά υποστηριζόμενων εφοδιαστικών αλυσίδων. Ειδικότερα, αναδεικνύεται η σημασία της διερεύνησης αναδυόμενων τεχνολογιών,

όπως η ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning), τα αυτόνομα συστήματα (autonomous systems) και τα συστήματα λήψης αποφάσεων με βάση πολλαπλά κριτήρια (multi-criteria decision-making systems), τα οποία μπορούν να επιφέρουν σημαντική βελτιστοποίηση στη δυναμική διαχείριση ρίσκου, στην αποδοτικότητα της εφοδιαστικής και στην πρόβλεψη μεταβολών σε περίπλοκα περιβάλλοντα (Younus et al., 2024; Ain et al., 2019).

Παράλληλα, η μελλοντική έρευνα καλείται να ενισχύσει τη μελέτη των κοινωνικών και ηθικών επιπτώσεων που συνδέονται με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, με έμφαση σε θέματα όπως η απώλεια θέσεων εργασίας λόγω αυτοματοποίησης, η ψηφιακή ανισότητα μεταξύ αναπτυγμένων και αναδυόμενων αγορών, καθώς και η αναγκαιότητα για συνεχή εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού (Grover et al., 2020; Heidenreich & Handrich, 2015). Το ερευνητικό ενδιαφέρον θα πρέπει να στραφεί στην αξιολόγηση του κοινωνικού αντικτύπου της Industry 4.0 και στην ανάπτυξη πλαισίων για «δίκαιη τεχνολογική μετάβαση».

Επιπλέον, προτείνεται η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης μέσω έξυπνων αισθητήρων, η μείωση της σπατάλης πόρων με τη χρήση predictive analytics, και η διαχείριση αποβλήτων μέσω blockchain logistics, αποτελούν παραδείγματα που χρήζουν συστηματικής μελέτης, ειδικά στο πλαίσιο της πράσινης ανάπτυξης (Zhong et al., 2016; Gunasekaran et al., 2017). Ανακύπτει επομένως το ερώτημα κατά πόσο αυτές οι τεχνολογίες έχουν πράγματι από και μετρήσιμο αντίκτυπο στους στόχους βιωσιμότητας που τίθενται από διεθνείς οργανισμούς όπως ο ΟΗΕ (SDGs) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Green Deal, Circular Economy Action Plan).

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στις Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις (ΜΜΕ), οι οποίες συχνά υστερούν σε ψηφιακή ωριμότητα λόγω περιορισμένων πόρων. Η ανάπτυξη και μελέτη προσαρμοσμένων λύσεων, χαμηλού κόστους και υψηλής ευελιξίας, που να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των ΜΜΕ, αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη μελλοντική έρευνα (Wamba et al., 2017). Η συγκριτική μελέτη πιλοτικών εφαρμογών σε ΜΜΕ διαφόρων γεωγραφικών περιοχών θα μπορούσε να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για τη διαμόρφωση στοχευμένων πολιτικών στήριξης.

Ένα ακόμη ερευνητικό πεδίο με ιδιαίτερο δυναμισμό είναι η διερεύνηση του ρόλου των πρακτικών Green Supply Chain Management (GSCM) και της Κυκλικής Οικονομίας (CE) ως παραγόντων που ενισχύουν τη συμβατότητα των νέων τεχνολογιών με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Η εξέταση του εξής ερευνητικού ερωτήματος:

«Κατά πόσο η υιοθέτηση τεχνολογιών Industry 4.0 ενισχύει την απόδοση βιώσιμων εφοδιαστικών αλυσίδων (SSC) στον κλάδο ένδυσης (RMG) των αναδυόμενων οικονομιών, μέσω της διαμεσολάβησης των πρακτικών GSCM και CE;» μπορεί να προσφέρει κρίσιμες απαντήσεις για την χάραξη στρατηγικών σε αναπτυσσόμενες αγορές (Kamble et al., 2020; Ain et al., 2019).

Τέλος, είναι απαραίτητη η ενίσχυση της διεθνούς επιστημονικής συνεργασίας, σε ευθυγράμμιση με τις πρωτοβουλίες της Ε.Ε. (π.χ. Horizon Europe, Digital Europe Programme) και άλλων διεθνών φορέων. Ένα μελλοντικό ερευνητικό πλαίσιο θα μπορούσε να βασίζεται στη διατομεακή συνεργασία βιομηχανίας, πανεπιστημίων και πολιτείας, προωθώντας την πειραματική εφαρμογή τεχνολογιών σε ζωντανά εργαστήρια (living labs), αλλά και τη συστηματική αποτίμηση των κοινωνικο-οικονομικών και περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι η προώθηση βιώσιμων εφοδιαστικών αλυσίδων μέσω τεχνολογίας απαιτεί μια διεπιστημονική και πολυεπίπεδη προσέγγιση. Το μέλλον της έρευνας καλείται να συνδέσει την τεχνολογική καινοτομία με τις αξίες της κοινωνικής δικαιοσύνης, της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας και της οικονομικής ανθεκτικότητας.

Βιβλιογραφία

- Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. (2016). *Sustainability-oriented innovation: A systematic review*. *International Journal of Management Reviews*, 18(2), 180–205. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12068>
- Ain, N., Vaia, G., DeLone, W. H., & Waheed, M. (2019). *Two decades of research on business intelligence system adoption, utilization and success – A systematic literature review*. *Decision Support Systems*, 125, 113113. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113113>
- Agarwal, A., Kant, R., & Shankar, R. (2022). A framework for sustainable performance in supply chains: A study of the ready-made garment industry. *Journal of Cleaner Production*, 343, 130960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130960>
- Agarwal, R., Narain, R., & Banerjee, P. (2022). Role of Circular Economy in enhancing supply chain sustainability during crises. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.013>
- Ahi, P., & Searcy, C. (2015). An analysis of metrics used to measure performance in green and sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 86, 360–377.
- Ahmed, W., Ahmed, M., & Kusi-Sarpong, S. (2019). A systematic review of sustainable supply chain management practices and performance. *Journal of Supply Chain Management*, 17(3), 225–246.
- Akter, S., Grant, D., & Perkins, L. (2023). Ethical and sustainability challenges of AI in fashion supply chains. *Journal of Sustainable Fashion*, 12(1), 45-60.
- Alexander, A., Walker, H., Naim, M. M., & Childe, S. J. (2022). Global supply chains and resilience: A post-pandemic outlook. *International Journal of Production Research*, 60(3), 888–902. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1956670>
- Alharby, M., & Van Moorsel, A. (2017). *Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study*. arXiv preprint arXiv:1710.06372.

Alfalla-Luque, R., Medina-Lopez, C., & Dey, P. K. (2013). Supply chain integration framework using literature review. *Production Planning & Control*, 24(8–9), 800–817.

Al Mashalah, S. A., Almalki, M. J., & Elazab, A. (2022). Integrating blockchain and carbon tracking technologies in green logistics: Toward sustainable supply chains. *Sustainable Technologies and Entrepreneurship*, 2(1), 1–12.

AIMultiple Research. (2025). Top 6 Supply Chain Sustainability Technologies in 2025. <https://research.aimultiple.com/supply-chain-sustainability-technology/AIMultiple>

Ambrogio, G., Gagliardi, F., & Filice, L. (2022). Industry 4.0 in sustainable supply chains: A systematic review and future directions. *Sustainability*, 14(3), 1159. <https://doi.org/10.3390/su14031159>

Antioco, M., & Kleijnen, M. (2010). *Consumer adoption of technological innovations: Effects of psychological and functional barriers in a lack of content versus a presence of content context*. *European Journal of Marketing*, 44(11/12), 1700–1724.

Apparel Impact Institute. (2023). *Fast fashion and environmental impact*. Ανακτήθηκε από <https://apparelimpact.org>

Aste, T., Tasca, P., & Di Matteo, T. (2017). Blockchain technologies: The foreseeable impact on society and industry. *Computer*, 50(9), 18–28.

Attaran, M. (2020). Artificial intelligence and machine learning in industry 4.0: A global revolution in the making. *International Journal of Business Information Systems*, 35(4), 491–526. <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2020.110467>

Bag, S., Wood, L. C., Xu, L., Dhamija, P., & Kayikci, Y. (2021). Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105157.

Batwa, A., & Norrman, A. (2020). *A framework for exploring blockchain technology in supply chain management*. *Operations and Supply Chain Management*, 13(1), 1-13.

Barney, J. B. (2001). Resource-based theories of competitive advantage: A ten-year retrospective on the resource-based view. *Journal of Management*, 27(6), 643–650.

- Baryannis, G., Dani, S., Antoniou, G., & Aivaloglou, E. (2018). Decision support systems and artificial intelligence in supply chain management: A review. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 725–745.
- Belhadi, A., Kamble, S. S., Jabbour, C. J. C., Gunasekaran, A., & Ndubisi, N. O. (2021). Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: Lessons learned from the automotive and airline industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120447.
- Benzidia, S., Makaoui, N., & Bendjelil, B. (2021). Improving supply chain sustainability through green practices and Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127964. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127964>
- Birkel, H. S., & Müller, J. M. (2021). Potentials of industry 4.0 for supply chain sustainability in emerging economies. *Sustainability*, 13(9), 4801. <https://doi.org/10.3390/su13094801>
- Blossey, H., Stieger, D., & Kaefer, F. (2019). Blockchain-enabled transparency in supply chains: A case study approach. *International Journal of Information Management*, 45, 123-135.
- Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). *A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes*. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>
- Brandon-Jones, A., Squire, B., Autry, C. W., & Petersen, K. J. (2014). A contingent resource-based perspective of supply chain resilience and robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 55–73. <https://doi.org/10.1111/jscm.12050>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). *Using thematic analysis in psychology*. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.
- BSR (Business for Social Responsibility). (2015). *Supply Chain Sustainability: A Practical Guide*. <https://www.bsr.org>
- Buhl, A., Blazejewski, S., & Dierksmeier, C. (2019). *The ethics of sustainability-oriented innovation: A critical review*. *Journal of Business Research*, 99, 324–337.

Burger, A., Dierks, M., & Stocker, M. (2016). Blockchain in logistics and supply chain: Use cases and potential. *Journal of Logistics*.

Cano, M., Perboli, G., Rosano, M., & Gastaldi, M. (2022). Blockchain for sustainable supply chains: Current trends and future research opportunities. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 213–228.

Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360–387.

Chan, H. K., He, H., & Wang, W. Y. C. (2017). Green marketing and its impact on supply chain resilience. *International Journal of Production Economics*, 181, 350–361.

Chang, Y., Iakovou, E., & Shi, W. (2019). *Blockchain in global supply chains and cross border trade: A critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities*. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1-18.

Chang, S., Wang, J., & Chen, Y. (2020). IoT and blockchain for enhanced supply chain traceability. *Journal of Supply Chain Management*, 56(4), 89-101.

Chen, D., Liu, S., & Zhao, X. (2012). Big data analytics for smart manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(5), 801–813.

Chopra, S., & Meindl, P. (2020). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (7th ed.). Pearson.

Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson.

Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: Implications for operations and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 39(6), 1-20.

Cong, L. W., & He, Z. (2019). *Blockchain Disruption and Smart Contracts*. *The Review of Financial Studies*, 32(5), 1754–1797.

Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply chain management: More than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 1–14.

Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation Review*, 2, 6–10.

Danone. (2015). *Palm oil sourcing and traceability progress report*. <https://www.danone.com>

De Giovanni, P. (2020). Blockchain technology and supply chain transparency: A systematic review. *Supply Chain Management Review*, 24(3), 45-59.

Deloitte Insights. (2018). *Blockchain for supply chains: A must or a maybe?*

Dirican, C. (2015). The impacts of Industry 4.0 on the supply chain. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1219–1225.

Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R., & Gauravaram, P. (2017). Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. *Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, 618–623.

Dubey, R., Bryde, D. J., Blome, C., Roubaud, D., & Giannakis, M. (2022). Facilitating artificial intelligence-powered supply chain analytics through alliance management during the pandemic crises in the B2B context. *Industrial Marketing Management*, 99, 154–166.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., & Papadopoulos, T. (2020). Supply chain agility, adaptability and alignment: Empirical evidence from the Indian auto components industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 40(1), 89–111. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-04-2018-0220>

Ehnert, I., Harry, W., & Zink, K. J. (2014). Sustainability and HRM: A model and suggestions for future research. *Journal of Human Resource Management*, 3(2), 8–19.

Ejairu, E. (2024). *Sustainable and ethical supply chain management: The role of HR in current practices and future directions*. <https://www.researchgate.net/publication/380207529>

Elkington, J. (1998). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. New Society Publishers.

Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Circular economy in the supply chain*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>

EMarketer. (2022). Shein's rise in fast fashion: AI-driven supply chain dynamics. Ανακτήθηκε από <https://emarketer.com>

European Commission. (2023). *Proposal for a regulation on establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0160>

Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2019). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101–114.

FedEx Institute of Technology. (2022). *How IoT and Blockchain Revolutionize Global Logistics*. Retrieved from <https://www.fedex.com/en-us/institute/research.html>

FedEx Institute of Technology. (2022). Smart logistics and blockchain applications.

Flynn, B. B., Huo, B., & Zhao, X. (2010). The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. *Journal of Operations Management*, 28(1), 58–71.

Fu, H., Wang, H., & Zhang, J. (2022). Digital technologies, resilience, and sustainability in supply chains: Evidence from Chinese manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121228. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121228>

Galen, D., Lakhani, K. R., & Lobel, O. (2019). *Blockchain and the law: The rule of code*. Harvard Business Review.

Gjerdrum, J., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2001). A combined optimization and agent-based approach to supply chain modelling and performance assessment. *Production Planning & Control*, 12(1), 81–88.

Godin, B., & Vinck, D. (Eds.). (2017). *Critical Studies of Innovation: Alternative Approaches to the Pro-Innovation Bias*. Edward Elgar Publishing.

Green, K. W., Zelbst, P. J., Meacham, J., & Bhadauria, V. S. (2012). Green supply chain management practices: Impact on performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(3), 290–305. <https://doi.org/10.1108/13598541211227126>

Grimm, J. H., Hofstetter, J. S., & Sarkis, J. (2016). Exploring sustainability reporting practices and transparency. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 58–70.

Grover, V., Chiang, R. H. L., Liang, T. P., & Zhang, D. (2020). *Creating Strategic Business Value from Big Data Analytics: A Research Framework*. *Journal of Management Information Systems*, 35(2), 388–423.

Harreis, H. (2023). The future of AI in sustainable fashion retail. *CXG Consulting Report*.

Hartmann, E., & Moeller, S. (2014). Chain liability in multitier supply chains? Responsibility attributions for unsustainable supplier behavior. *Journal of Operations Management*, 32(5), 281–294.

Hasan, M. R., Khan, M. A., & Wuest, T. (2024). Towards Industry 5.0: A systematic literature review on sustainable and green composite materials supply chains. *arXiv preprint arXiv:2402.06100*. <https://arxiv.org/abs/2402.06100arXiv>

Heidenreich, S., & Handrich, M. (2015). *What about passive innovation resistance? Investigating adoption-related behavior from a resistance perspective*. *Journal of Product Innovation Management*, 32(6), 878–903.

Hietschold, N., Reinhardt, R., & Gurtner, S. (2020). *Measuring passive and active innovation resistance: Scale development and validation*. *Journal of Business Economics*, 90(3), 345–387.

Huang, M.-H., Lee, S.-Y., & Chou, C.-Y. (2021). *The influences of passive and active innovation resistance on the decision to adopt mobile payment services*. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 59, 102421.

Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2017). *The truth about blockchain*. *Harvard Business Review*, 95(1), 118–127.

IBM. (2022). *Building smarter supply chains for a sustainable world*. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/smarter-supply-chains>

IntegrityNext. (2025). How emerging technologies are shaping sustainable supply chains. *Supply & Demand Chain Executive*. <https://www.sdcexec.com/sustainability/carbon-footprint/article/22930256/integritynext-how-emerging-technologies-are-shaping-sustainable-supply-chains>

International Monetary Fund. (2022). *Resilient supply chains: The role of technology and trade*. <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2022>

Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2021). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 59(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1792000>

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). *A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0*. *Production Planning & Control*, 32(9), 775–788. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>

Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829–846. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>

Jay, J., & Gerard, F. (2015). *Sustainability-oriented innovation: Insights from institutional theory*. In *Research Handbook of Innovation and Sustainability* (pp. 98–121). Edward Elgar Publishing.

Jensen, T., Hedman, J., & Henningsson, S. (2022). *How TradeLens Delivers Business Value With Blockchain Technology*. *MIS Quarterly Executive*, 21(2), 93–109.

Joachim, V., Spieth, P., & Heidenreich, S. (2018). *Active innovation resistance: An empirical study on functional and psychological barriers to innovation adoption in different contexts*. *Industrial Marketing Management*, 71, 95–107. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.12.002>

Joy, A., Soares, A. L., & Leite, J. C. (2024). Data-driven approaches for smart manufacturing: A bibliometric analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 181, 109196.

Jumoke, F., Adebayo, T., & Chen, Y. (2024). Green logistics and adaptive frameworks in post-COVID supply chain resilience. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27(1), 45–60.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt Industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 123, 103330.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2020). Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105157.

Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *arXiv preprint arXiv:1908.07391*. <https://arxiv.org/abs/1908.07391>arXiv

Kashmanian, R. M. (2017). Mapping supply chains for sustainability: A guide for business. *Environmental Quality Management*, 27(2), 7–16.

Kano, T., & Nakajima, T. (2018). Distributed trust for public blockchain: A model-based approach. *Future Internet*, 10(8), 74.

Khan, S. A., Dong, Q. L., & Zhang, Y. (2021). The role of transparency in sustainable supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105439.

Khaqqi, K. N., Sikorski, J. J., Hadinoto, K., & Kraft, M. (2018). Incorporating seller/buyer reputation-based system in blockchain-enabled emission trading application. *Applied Energy*, 209, 8–19.

Kim, H. M., & Shin, H. (2019). *The impact of blockchain technology application on supply chain processes*. *Journal of International Logistics and Trade*, 17(1), 19–28.

Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. *Production and Operations Management*, 14(4), 482–492.

Kleijnen, M., Lee, N., & Wetzels, M. (2009). *An exploration of consumer resistance to innovation and its antecedents*. *Journal of Economic Psychology*, 30(3), 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2009.02.004>

Klewitz, J., & Hansen, E. G. (2014). *Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review*. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>

Kosba, A., Miller, A., Shi, E., Wen, Z., & Papamanthou, C. (2016). *Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts*. In 2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (pp. 839–858). IEEE.

Koufteros, X. A., Vonderembse, M. A., & Doll, W. J. (2005). The impact of organizational structure on supply chain integration and performance. *Journal of Operations Management*, 23(5), 522–539.

KPMG. (2021). *Future of supply chains: Building resilience through technology and sustainability*.

Kriares, E. (1987). *Resistance to innovation: The role of conflict and ambiguity*. *International Journal of Research in Marketing*, 4(2), 99–114.

Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80–89.

Kumar, S., Sureka, R., & Bhardwaj, A. (2021). Exploring green supply chain management practices and performance: Evidence from India. *Operations Research Perspectives*, 8, 100233. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2021.100233>

Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., & Sarkis, J. (2021). A supply chain sustainability assessment framework. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 1–13.

Lambert, D. M., Cooper, M. C., & Pagh, J. D. (1998). Supply chain management: Implementation issues and research opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 9(2), 1–20.

Lei, C., Liu, Y., & Wang, Y. (2017). An intelligent transportation system architecture with blockchain-based services. *IEEE Access*, 5, 30439–30450.

Li, L., et al. (2017). Smart manufacturing systems and IoT technologies. *IEEE Access*, 5, 12315–12324.

Liu, Y., Zhou, M., & Zhu, Q. (2019). A blockchain-based framework for green logistics and sustainable development. *Sustainability*, 11(6), 1667.

Liu, J., Yeoh, W., Qu, Y., & Gao, L. (2022). Blockchain-based digital twin for supply chain management: State-of-the-art review and future research directions. *arXiv preprint arXiv:2202.03966*. <https://arxiv.org/abs/2202.03966>

Lorincova, S., et al. (2018). Sustainability in human resource management and its impact on organizational performance. *Sustainability*, 10(11), 3869.

Maersk. (2025). Digital connectivity platform for enhanced cargo tracking. Επίσημη ανακοίνωση.

Magazzeni, D., McBurney, P., & Nash, W. (2017). *Smart Contracts: Security Challenges and Research Opportunities*. *IEEE Internet Computing*, 21(2), 78–84.

Margherita, A., Braccini, A. M., & Ferraris, A. (2022). Digital transformation in the manufacturing industry: A review of the literature and a research agenda. *Technovation*, 118, 102220.

Markley, M. J., & Davis, L. (2007). Exploring future competitive advantage through sustainable supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(9), 763–774. <https://doi.org/10.1108/09600030710840859>

McKinsey & Company. (2021). *How the supply chain can support the net-zero transition*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability>

McKinsey & Company. (2019). The impact of AI on the fashion industry. Ανακτήθηκε από <https://mckinsey.com>

- Md Mahfuzur, R., et al. (2024). Predictive maintenance using AI in smart manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 71, 259–274.
- Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, 210, 870–880.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25.
- Mettler, M. (2016). Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here. *Proceedings of the IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, 1–3.
- Min, H. (2019). Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*, 62(1), 35–45.
- Min, H., Kim, H. J., & Chen, H. (2019). The Belt and Road Initiative and the role of digital technologies in trade facilitation. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 22(3), 252–269.
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Paul, S. K., & Shukla, N. (2021). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 1005–1021. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.042>
- Moldavska, A., & Goldenberg, J. (2004). *Resistance to technological change: A conceptual framework for sustainable innovation. Technology Analysis & Strategic Management*, 16(3), 313–327.
- Montecchi, M., Plangger, K., & Etter, M. (2019). It's real, trust me! Establishing supply chain provenance using blockchain. *Business Horizons*, 62(3), 283–293.
- Mukkamala, R. R., Vatrappu, R., & Hussain, A. (2018). *Blockchain for social good: A technological perspective*. *Computer*, 51(10), 70–77.
- Munim, Z. H., Schramm, H. J., & Ng, A. K. (2022). COVID-19 disruptions and emerging economy apparel value chains: Implications for resilience. *Maritime Economics & Logistics*, 24, 314–337. <https://doi.org/10.1057/s41278-021-00201-w>

- Nabi, I., Shahbaz, M., & Rauf, A. (2022). Gaining competitive advantage through resource-based strategies: Evidence from emerging market firms. *Journal of Business Research*, 145, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.02.016>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Nandi, S., Dey, P. K., & Tripathi, S. (2020). Impact of blockchain on supply chain sustainability: A resource-based view. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120942. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120942>
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(4), 189–200.
- Nuka, D., & Osedahunsi, T. (2024). Leveraging Big Data Analytics in Supply Chain Risk Management: The Case of DHL's Resilience360. *Journal of Logistics and Digital Transformation*, 12(1), 58–74.
- Ogbu, C. (2024). *Emerging Technologies in Sustainable Supply Chains: A Global Perspective*. *Journal of Supply Chain Innovation*, 15(1), 22–38.
- Ogunmakinde, O. E., Sher, W. D., & Olatunji, O. A. (2022). Circular economy practices and sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106206. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106206>
- Ojha, R., Shah, J., & Dey, A. (2018). Supply chain agility: Exploring the role of AI and advanced analytics. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 11(3), 121–130.
- Okusi, J. (2024). *Digital transformation and sustainable supply chain operations*. *Journal of Supply Chain Innovation*, 15(2), 100–115.
- Ølnes, S., Ubacht, J., & Janssen, M. (2017). Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing. *Government Information Quarterly*, 34(3), 355–364.

Orhan, M. A. (2022). The impact of war and pandemic on the supply chain: The case of ready-made garments. *Journal of Risk and Financial Management*, 15(6), 260. <https://doi.org/10.3390/jrfm15060260>

O'Riordan, L. (2014). Sustainability and ethics in human resource management: Developing CSR strategies. In I. Ehnert et al. (Eds.), *Sustainability and Human Resource Management* (pp. 13–32). Springer.

Pereira, Â., Tavalaei, M. M., & Bernus, P. (2019). *Investigating the use of blockchain technology in the manufacturing industry*. IFAC-PapersOnLine, 52(13), 1022–1027.

Perkins, L. (2023). Responsible AI for sustainable supply chains. *Apparel Impact Institute White Paper*.

Petersen, K. J., Handfield, R. B., & Ragatz, G. L. (2005). Supplier integration into new product development: Coordinating product, process and supply chain design. *Journal of Operations Management*, 23(3–4), 371–388.

Popo-Olaniyan, A. B., Bada, T. A., & Olatunji, O. O. (2022). Human resource management and ethical supply chain governance. *Journal of Sustainable Business and Management*, 5(1), 24–36.

Priore, P., de la Fuente, D., Pino, R., & Rosillo, R. (2018). A review of machine learning applications in supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 103, 47–57.

Queiroz, M., Wamba, S. F., & Gunasekaran, A. (2020). Blockchain adoption in supply chains: A review and future directions. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2102–2116.

Ram, S., & Sheth, J. N. (1989). *Consumer resistance to innovations: The marketing problem and its solutions*. *Journal of Consumer Marketing*, 6(2), 5–14. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000002542>

Rauf, M., Ahmad, S., & Ali, S. (2024). Energy-efficient production scheduling using AI: A green manufacturing perspective. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 32, 100655.

Reiner, G. (2005). Supply chain performance measurement: A conceptual framework and application. *International Journal of Production Economics*, 96(3), 369–382.

Rieple, A., & Snijders, S. (2018). *Blockchain and the food supply chain: Potential applications and barriers*. *British Food Journal*, 120(9), 1951–1963. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2017-0365>

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.

Saghaei, A., Heydari, M., & Baghestani, M. (2020). Application of artificial intelligence in green supply chain: A state-of-the-art review. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118700.

Sengupta, K., Heiser, D. R., & Cook, L. S. (2006). Manufacturing and service supply chain performance: A comparative analysis. *Journal of Supply Chain Management*, 42(4), 4–15.

Seuring, S. (2017). Sustainability management beyond corporate boundaries. *Journal of Cleaner Production*, 162, 101–113.

Seuring, S., Müller, M., & Gold, S. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710.

Sharma, H., Garg, R., Sewani, H., & Kashef, R. (2023). Towards a sustainable and ethical supply chain management: The potential of IoT solutions. *arXiv preprint arXiv:2303.18135*. <https://arxiv.org/abs/2303.18135arXiv>

Sharma, A., Adhikary, A., & Borah, S. B. (2021). COVID-19's impact on supply chain decisions: Strategic insights from NASDAQ 100 firms using Twitter data. *Journal of Business Research*, 117, 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.035>

Shermin, V. (2017). Disrupting governance with blockchains and smart contracts. *Strategic Change*, 26(5), 499–509.

Shou, Y., Xia, Y., Zhang, J., & Park, Y. (2018). The impact of supply chain integration on firm performance: Evidence from China. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(9), 857–875.

Sisco, M. R., Chorn, B., & Pruzan-Jorgensen, P. M. (2011). *Supply chain sustainability: A practical guide for continuous improvement*. United Nations Global Compact Office.

- Sikorski, J. J., Haughton, J., & Kraft, M. (2017). Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. *Applied Energy*, 195, 234–246.
- Slack, N., & Brandon-Jones, A. (2018). *Operations and Process Management: Principles and Practice for Strategic Impact* (5th ed.). Pearson Education.
- Stevens, G. C. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19(8), 3–8.
- Symantec. (2020). *The state of supply chain security*.
- Sustainable Supply Chains Network. (2023). Sustainable Global Supply Chains Annual Report 2023. <https://www.sustainablesupplychains.org/wp-content/uploads/2024/01/SustainableGlobalSupplyChains-Report2023.pdf>[sustainablesupplychains.org](https://www.sustainablesupplychains.org)
- Szabo, N. (1997). *Formalizing and securing relationships on public networks*. First Monday, 2(9).
- Taboada, H. A., & Shee, H. (2021). Real-time IoT applications in smart logistics: A case study of Maersk's container tracking. *International Journal of Logistics Management*, 32(3), 702–718. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2020-0345>
- Taddei, R., Lima, C. E. S., & Oliveira, D. S. (2022). The paradox of Industry 4.0: Economic vs. environmental performance in supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(3), 551–572. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2021-0089>
- Talke, K., & Heidenreich, S. (2014). *How to overcome pro-change bias: Incorporating passive and active innovation resistance in innovation decision models*. *Journal of Product Innovation Management*, 31(5), 894–907. <https://doi.org/10.1111/jpim.12130>
- Tang, C. S., Tomlin, B., & Vossen, T. (2008). Supply and demand management in closed-loop supply chain systems. *Operations Research*, 56(1), 139–154.
- Thomas, A. (2020). *How the Zara Supply Chain Taps into Top Clothing, Retail Trends*. Fashion Industry Publishing.

Thomas, L. D. W., Autio, E., & Gann, D. M. (2017). *Architectural leverage: Putting platforms in context. Academy of Management Perspectives*, 28(2), 198–219. <https://doi.org/10.5465/amp.2011.0105>

Tillemann, T., Hitchen, K., & Smalley, E. (2019). *The transformational promise of blockchain for supply chains*. Atlantic Council.

Toorajipour, R., et al. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517.

Touboulic, A., & Walker, H. (2015). Theories in sustainable supply chain management: A structured literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 45(1/2), 16–42. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2013-0106>

Tracey, M. (2004). A holistic approach to new product development: New insights. *Journal of Supply Chain Management*, 40(4), 37–55.

Treiblmaier, H. (2023). *Sustainable Supply Chain Management through Blockchain Technology—Current State and Research Opportunities*. *Logistics*, 7(1), 9.

Udokwu, J. C., et al. (2023). HRM strategies in ethical supply chain performance. *Journal of Business Ethics*, 180(1), 67–84.

Umar, M., Wang, J., & Ali, S. (2022). Green practices as mediators in Industry 4.0 and supply chain sustainability. *Journal of Environmental Management*, 306, 114365.

UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Unilever. (2023). *Driving supply chain transparency through AI and blockchain technologies*. Retrieved from <https://www.unilever.com/news/news-search/2023/supply-chain-transparency-with-ai/>

United Nations. Global trends in sustainable development: Implications for supply chain management. Available from: <https://www.un.org/sustainabledevelopment>

US Department of Transportation. (2016). *Smart City Challenge: Lessons for building cities of the future*. <https://www.transportation.gov/smartcity>

Van Breedam, A. (2016). Blockchain in international trade: Reducing friction and increasing transparency. *World Customs Journal*, 10(1), 15–27.

van Engelenburg, S., Janssen, M., & Klievink, B. (2019). Designing context-aware data infrastructures for blockchain-based supply chains. *Information Systems Frontiers*, 21(3), 559–576.

Veuger, J. (2017). Trust in a viable real estate economy with disruption and blockchain. *Facilities*, 35(1/2), 103–120.

Visser, W. (2017). *Sustainable Frontiers: Unlocking Change through Business, Leadership and Innovation*. Routledge.

Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77–84.

Wamba, S. F., Queiroz, M. M., Trinchera, L., & Kamdjoug, J. R. K. (2020). Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107791.

Wang, Y., Han, J., & Beynon-Davies, P. (2021). *Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda*. *Supply Chain Management: An International Journal*, 26(1), 35–61.

Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2020). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110.

Wang, Y., & Zhang, D. (2020). Supply chain integration: A review and future research directions. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 23(3), 243–265.

Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 221-236.

Wang, Y., Wang, S., & Wei, J. (2021). Blockchain and IoT integration in maritime supply chains. *Journal of Maritime Technology*, 45(1), 67-82.

Wiengarten, F., Humphreys, P., Cao, G., & McHugh, M. (2016). Exploring the importance of integration in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(6), 632–647.

Winkelmann, S., Guennoun, R., Möller, F., Schoormann, T., & van der Valk, H. (2024). A resilient future: Digital technologies for a sustainable supply chain. *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10257-024-00677-z>SpringerLink

World Economic Forum. (2024). How digitalization can drive sustainable supply chains. <https://www.weforum.org/stories/2024/09/digitalization-sustainable-supply-chains-least-developed-countries/>World Economic Forum

World Economic Forum. (2022). *The Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity*. <https://www.weforum.org>

Wuest, T., et al. (2016). Smart manufacturing technologies and operations. *Journal of Manufacturing Systems*, 41, 1–7.

Yang, X. (2019). Enhancing supply chain transparency with blockchain technology. *Journal of Business Logistics*, 40(2), 101-114.

Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). *Where is current research on blockchain technology?—A systematic review*. PloS one, 11(10), e0163477.

Younus, M., Hossen, M., et al. (2024). Leveraging AI to enable sustainable smart manufacturing systems. *Computers in Industry*, 153, 103848.

Younus, M., Pathan, M. R., et al. (2024). The role of predictive analytics in AI-based production planning. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139763.

Yu, W., Chavez, R., Feng, M., & Wiengarten, F. (2017). Integrated green supply chain management and operational performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 22(2), 152–165. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2016-0224>

Yu, M., Wang, Y., & Xue, Y. (2017). Evaluating green supply chain practices using a triple bottom line approach. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9), 1864–1881.

Zhang, Y., Vonderembse, M. A., & Lim, J. S. (2018). Innovation and supply chain integration: Effects on performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(3), 517–534.

Zhong, R. Y., Xu, C., Chen, C., & Huang, G. Q. (2016). Big Data Analytics for physical internet-based intelligent manufacturing shop floors. *International Journal of Production Research*, 55(9), 2610-2621.

Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2005). Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(5), 449–468. <https://doi.org/10.1108/01443570510593148>

Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2008). Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.029>