



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ»**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

**Εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων (DT) και του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT) στην εφοδιαστική αλυσίδα: Η περίπτωση της βιομηχανίας τροφίμων**

**ΑΡΤΕΜΙΣ ΜΑΡΙΑ ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ**  
Α.Μ.: 806970911

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING**

**POSTGRADUATE PROGRAM OF STUDIES**

**«MSc IN INDUSTRIAL AUTOMATION»**

**Diploma Thesis**

**APPLICATION OF DIGITAL TWINS (DT) AND INTERNET OF THINGS (IoT) IN THE SUPPLY  
CHAIN: THE CASE OF THE FOOD INDUSTRY**

**ARTEMIS MARIA STAVROPOULOU**

Registration Number: 806970911

**SUPERVISOR:**

**PAPOUTSIDAKIS MICHAEL**

**ATHENS, OCTOBER 2024**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ»**

**ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ (DT) ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (IoT)  
ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

| <b>A/a</b> | <b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b> | <b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b> | <b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b> |
|------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1          | Παπουτσιδάκης Μιχαήλ | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ                |                         |
| 2          | Δροσος Χρήστος       | ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ<br>ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ   |                         |
| 3          | Συμεωνάκη Ελένη      | ΕΔΙΠ Α΄                  |                         |

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η .....ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΡΤΕΜΙΣ ΜΑΡΙΑ..... του.....ΑΡΗ....., με αριθμό μητρώου ...806970911..... φοιτητής/τρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του Διπλώματος μου».

Ο/Η  
Δηλών/ούσα



ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΡΤΕΜΙΣ ΜΑΡΙΑ

(Υπογραφή)

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με αφορμή το πέρας της μεταπτυχιακής μου μελέτης, σαν ελάχιστο δείγμα εκτίμησης και ευγνωμοσύνης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους τους ανθρώπους που με στηρίζαν, και ο καθένας με τον δικό του τρόπο συνέβαλε στη πραγματοποίηση της παρούσας προσπάθειας.

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Παπουτσιδάκη Μιχαήλ, για την ανάθεση του θέματος, καθώς και την κυρία Μισοκεφάλου Ελένη και για την αμέριστη εμπιστοσύνη που έδειξαν ως προς το πρόσωπό μου και τις δυνατότητες μου, αλλά και για τη πολύτιμη καθοδήγηση και γνώση που μου προσέφεραν απλόχερα για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, στους οποίους αφιερώνω τη παρούσα μελέτη, για την συνεχή υποστήριξη τους, τις συμβουλές και τη πίστη τους στις δυνάμεις μου. Ελπίζω πάντα να σας κάνω υπερήφανους!

Άρτεμις Μαρία Σταυροπούλου  
Αθήνα, Οκτώβριος 2024

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, σε συνδυασμό με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις ως προς την ποιότητα των παρεχόμενων προϊόντων και υπηρεσιών και τον ανταγωνισμό στην

αγορά, απαιτούν από την εφοδιαστική αλυσίδα προσαρμοστικότητα, ευελιξία και ενσωμάτωση της καινοτομίας.

Για την επίτευξη των παραπάνω, είναι καθοριστικής σημασίας ο ρόλος που κατέχουν οι προηγμένες τεχνολογίες του αυτοματισμού, όπως το Διαδίκτυο Πραγμάτων (IoT) και τα Ψηφιακά Δίδυμα (DT). Η βιομηχανία των τροφίμων, εξελισσόμενη με ταχείς ρυθμούς, αρχίζει σταδιακά να ενσωματώνει τα παραπάνω εργαλεία. Ωστόσο, ο βαθμός και ο τρόπος με τον οποίο αυτή η ενσωμάτωση λαμβάνει χώρα, αλλά και οι παθογένειες που έρχεται να αντιμετωπίσει, δεν είναι σαφώς καθορισμένα.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, έχοντας σκοπό να αποσαφηνίσει τα παραπάνω, χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, διεξάγεται συγκεντρωτική καταγραφή των παθογενειών της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και των ωφελειών της εφαρμογής των Ψηφιακών Διδύμων (DT) και του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT). Στο δεύτερο μέρος, μέσω ερωτηματολογίου, διερευνάται το επίπεδο του αυτοματισμού στην Ελληνική Βιομηχανία Τροφίμων, ενώ τα αποτελέσματα αναλύονται μέσω στατιστικής επεξεργασίας και συγκρίνονται με εκείνα παρόμοιων ερευνών που αφορούν την Ευρωπαϊκή Βιομηχανία Τροφίμων.

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα πιθανά οφέλη της εφαρμογής των παραπάνω τεχνολογιών στον συγκεκριμένο τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας και προτείνονται τυχόν βελτιωτικές προσαρμογές. Σκοπός είναι η ανάδειξη των σύγχρονων λειτουργικών προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας και του ρόλου των τεχνολογιών του αυτοματισμού στην άμεση εξάλειψη αυτών και στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και των παρεχόμενων προϊόντων στην Ελληνική Βιομηχανία Τροφίμων.

Λέξεις κλειδιά: Εφοδιαστική αλυσίδα, Βιομηχανία Τροφίμων και Ποτών, Βιομηχανία 4.0, Βιομηχανία 5.0, Τεχνολογίες αυτοματισμού, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Ψηφιακά Δίδυμα

## **ABSTRACT**

The rapid development of technology, combined with the continuously increasing demands for quality products and services and the market competition, requires adaptability, flexibility, and the integration of innovation in the supply chain.

To achieve these goals, the role of advanced automation technologies, such as the Internet of Things (IoT) and Digital Twins (DT), is of critical importance. The food industry, evolving at a fast pace, is gradually starting to integrate these tools. However, the degree and manner in which this integration takes place, as well as the challenges it aims to address, are not clearly defined.

This thesis, aiming to clarify the above, is divided into two parts. In the first part, through a literature review, a comprehensive recording of the pathologies of the global supply chain has been conducted, as well as the benefits of applying Digital Twins (DT) and the Internet of Things (IoT). In the second part, through a questionnaire, the level of automation in the Greek Food Industry has been investigated, while the results have been processed statistically and compared with those of similar studies concerning the European Food Industry.

Subsequently, the potential benefits of applying these technologies in the specific sector of the supply chain have been discussed, and potential improvement adaptations have been proposed. The purpose is to highlight the modern operational problems of the supply chain and the role of automation technologies in their immediate elimination, as well as the optimization of the production process and the provided products in the Greek Food Industry.

Key words: Supply Chain, Food and Drink Industry, Industry 4.0, Industry 5.0, Automation technologies, Internet of things, Digital Twins

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

|                |   |
|----------------|---|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....  | 5 |
| ABSTRACT ..... | 6 |

|  |    |
|--|----|
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....   | 10 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....  | 11 |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....   | 12 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....  | 13 |
| 1.1 Η σημασία των προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού.....                             | 14 |
| 1.2 Σκοπός μελέτης.....  | 16 |
| 1.3 Δομή μελέτης.....  | 16 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ .....                                | 18 |
| 2.1 Βιομηχανική Επανάσταση - Ιστορική Αναδρομή .....                                   | 19 |
| 2.1.1 Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση.....  | 19 |
| 2.1.2 Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση .....   | 21 |
| 2.1.3 Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση.....  | 21 |
| 2.1.4 Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση .....   | 22 |
| 2.2 Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση στην Ελλάδα.....                                       | 25 |
| 2.3 Η μετάβαση στην Βιομηχανία 5.0 .....   | 26 |
| 2.4 Μηχατρονική - Αυτοματισμός.....  | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ .....  | 32 |
| 3.1. Η αξία της εφοδιαστικής αλυσίδας και η σημασία των logistics .....                | 34 |
| 3.2 Βασικές λειτουργίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας .....                                | 36 |
| 3.3 Logistics.....   | 38 |
| 3.4 Προκλήσεις στην σύγχρονη εφοδιαστική αλυσίδα .....                                 | 39 |
| 3.5 Διαχείριση και αντιμετώπιση των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας.....            | 42 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ - ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....                                 | 47 |
| 4.1. Οι πρώτες τεχνολογίες αυτοματισμού .....  | 49 |
| 4.2 Τεχνολογίες αυτοματισμού στην Βιομηχανία 4.0: IoT & DT.....                        | 52 |
| 4.2.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) .....  | 54 |
| 4.2.2 Ψηφιακά δίδυμα (Digital twins) .....   | 55 |
| 4.3 Άλλες τεχνολογίες της βιομηχανίας 4.0 .....  | 57 |
| 4.4 Προκλήσεις και αδυναμίες των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (Cyber Security)..... | 67 |
| 4.4.1 Μέτρα ασφάλειας .....  | 69 |
| 4.4.2 Ηθικά ζητήματα εφαρμογής AI - Βιομηχανία Τροφίμων.....                           | 71 |
| 4.5 Συνολική αξιολόγηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 - Βιωσιμότητα.....         | 73 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ IoT & DT ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....                           | 76 |
| 5.1. Στατιστικά στοιχεία αναζητήσεων για την Βιομηχανία 4.0 .....                      | 77 |
| 5.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of things, IoT) .....                            | 78 |
| 5.3 Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins).....  | 83 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ IoT ΚΑΙ DT ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ .....           | 89 |



|   |     |
|---|-----|
| 6.1 Ο ρόλος της βιομηχανίας τροφίμων στην παγκόσμια βιωσιμότητα.....                  | 91  |
| 6.2 Εγγενή εμπόδια στην ψηφιοποίηση της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών.....           | 93  |
| 6.3 Η Βιομηχανία 4.0 στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών.....                          | 94  |
| 6.3.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....  | 95  |
| 6.3.2 Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin).....  | 99  |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ</b>                      |     |
| <b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b> .....  | 101 |
| 7.1 Μεθοδολογία έρευνας.....  | 103 |
| 7.2 Σχεδιασμός ερωτηματολογίου .....  | 104 |
| 7.3 Δομή.....   | 106 |
| 7.4 Αξιοπιστία και εγκυρότητα.....  | 106 |
| 7.5 Χρόνος και τόπος διεξαγωγής της έρευνας .....                                     | 107 |
| 7.6 Ανάλυση δεδομένων - Αποτελέσματα ερωτηματολογίου .....                            | 107 |
| 7.6.1 Μέθοδος στατιστικής ανάλυσης.....   | 108 |
| 7.6.3 Γενικά (Δημογραφικά) Στοιχεία.....  | 109 |
| 7.6.4 Εργατικό δυναμικό (Human Capital): Ψηφιακές Δεξιότητες.....                     | 112 |
| 7.6.5 Ενσωματωμένες τεχνολογίες αυτοματισμού (Integration of digital technology)..... | 114 |
| 7.6.6 Κρατική Υποστήριξη (Digital Public Services) .....                              | 123 |
| 7.6.7 Συμπεράσματα .....  | 124 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....                        | 125 |
| 8.1 Ευρωπαϊκές μελέτες για τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών.....                      | 126 |
| 8.1.1 Ιταλία .....  | 128 |
| 8.1.2 Ουγγαρία.....   | 130 |
| 8.1.3 Γερμανία .....  | 131 |
| 8.1.4 Γαλλία .....  | 132 |
| 8.2 Ευρωπαϊκές μελέτες για το σύνολο του βιομηχανικού τομέα.....                      | 133 |
| 8.3 Συμπεράσματα.....   | 141 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ</b> .....  | 144 |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....   | 152 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Εικόνα 2.1</b> Η εξέλιξη της βιομηχανικής επανάστασης στον χρόνο (Zaman, 2023).....  | 19  |
| <b>Εικόνα 2.2</b> Απεικόνιση της διασύνδεσης του φυσικού και ψηφιακού κόσμου (physical - to - digital - to - physical loop) (Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ, 2020). ....  | 24  |
| <b>Εικόνα 2.3</b> Πολιτικές επιτάχυνσης της ψηφιοποίησης από χώρες τις Ε.Ε. (ΣΕΒ, 2019). ....   | 25  |
| <b>Εικόνα 2.4</b> Οι τρεις θεμελιώδεις αξίες της Βιομηχανίας 5.0 (Xun Xu, 2021).....  | 28  |
| <b>Εικόνα 2.5</b> Αναπαράσταση των επιστημών / τεχνολογιών που αποτελούν την μηχανική (Parikh, 2021). ....  | 31  |
| <b>Εικόνα 3.1</b> Η αλυσίδα αξίας του Porter (Singh, 2009). ....  | 37  |
| <b>Εικόνα 3.2</b> Τα αποτελέσματα της Ετήσιας Έκθεσης Βιομηχανίας» της MHI (Material Handling Industry) σε συνεργασία με την Deloitte το 2023 (Simmons, 2023).....  | 42  |
| <b>Εικόνα 3.3</b> Η ολιστική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Robinson, 2024). ....  | 46  |
| <b>Εικόνα 4.1</b> Στην εικόνα αριστερά απεικονίζεται ένας πίνακας ρελέ (Library Automation Direct, n.d.) και στην εικόνα δεξιά ένα PLC (Nevatio Engineering, 2021). ....  | 50  |
| <b>Εικόνα 4.2</b> Βιομηχανικά Ρομπότ (Bong, 2022). ....   | 51  |
| <b>Εικόνα 4.3</b> Απεικόνιση του Κυβερνο-φυσικού συστήματος (Amir Parnianifard, 2020). ....   | 52  |
| <b>Εικόνα 4.4</b> Εφαρμογές IoT (University of Michigan: Business+Tech, n.d.).....  | 55  |
| <b>Εικόνα 4.5</b> Οι υποκατηγορίες των συστημάτων DT (Kritzinger, 2018).....  | 57  |
| <b>Εικόνα 4.6</b> Οι βασικές τεχνολογίες της βιομηχανίας 4.0 (Lvivity Team, 2020). ....   | 67  |
| <b>Εικόνα 4.7</b> Βαθμολογίες βιωσιμότητας των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 ως προς τις τρεις διαστάσεις των στόχων βιωσιμότητας (a: οικονομική, b: περιβαλλοντική, c: κοινωνική) (Chunguang Bai, 2020). ....  | 75  |
| <b>Εικόνα 5.1</b> Η αύξηση των αναζητήσεων στην Google για τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 από το 2011 ως το 2022 (Paraskevoropoulos, 2022). ....   | 77  |
| <b>Εικόνα 5.2</b> Η αύξηση των επιστημονικών δημοσιεύσεων για την Βιομηχανία 4.0 από το 2011 ως το 2022 (Paraskevoropoulos, 2022). ....   | 78  |
| <b>Εικόνα 5.3</b> Απεικόνιση του συστήματος ηλεκτρονικής γλώσσας (Rama Jayasundar, 2021). ....  | 81  |
| <b>Εικόνα 5.4</b> Στην ανωτέρω εικόνα απεικονίζεται μια πλατφόρμα ψηφιακού διδύμου (Predix) που χρησιμοποιεί η General Electric για την προβλεπτική συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού (Jarrell, 2024). ....  | 86  |
| <b>Εικόνα 6.1</b> Στατιστικά στοιχεία της βιομηχανίας τροφίμων στην Ευρώπη (Europe, 2023)...  | 90  |
| <b>Εικόνα 6.2</b> Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης ως το 2030 (Abdo Hassoun, 2022). ....  | 92  |
| <b>Εικόνα 6.3</b> Η συμβολή των τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0 στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Anet Režek Jambrak, 2021).....  | 95  |
| <b>Εικόνα 6.4</b> Εφαρμογές του IoT στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών (πορτοκαλί χρώμα: παραγωγική διαδικασία, μωβ χρώμα: ποιοτικός έλεγχος, κίτρινο χρώμα: συσκευασία, κόκκινο χρώμα: εφοδιαστική αλυσίδα, πράσινο χρώμα: αποθήκευση δεδομένων, μπλε χρώμα: πρωτογενής τομέας) (Harsh Dadhaneeya, 2023). .... | 96  |
| <b>Εικόνα 7.1</b> Αποτελέσματα ελέγχου αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου μέσω του συντελεστή «α του Cronbach» (Cases: ο αριθμός των έγκυρων απαντήσεων, Total: ο συνολικός αριθμός απαντήσεων, N of items: ο συνολικός αριθμός των στοιχείων των ερωτήσεων).....  | 107 |
| <b>Εικόνα 7.2</b> Ποσοστά εφαρμογής προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού στις επιχειρήσεις τροφίμων που απασχολείται το δείγμα. ....   | 115 |
| <b>Εικόνα 7.3</b> Αποτελέσματα ανάλυσης PCA μέσω του προγράμματος SPSS .....  | 120 |
| <b>Εικόνα 7. 4</b> Αποτελέσματα ανάλυσης K - Means μέσω του προγράμματος SPSS. ....   | 121 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Εικόνα 7.5</b> Ποσοστά επιλογής των ψηφιακών δεξιοτήτων που επιθυμούν οι ερωτώμενοι να αναπτύξουν στο μέλλον (η τιμή αριστερά από το ποσοστό αποτελεί την συχνότητα επιλογής).   | 124 |
| <b>Εικόνα 8.1</b> Τα εμπόδια στην υλοποίηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 στις επιχειρήσεις (Denis Pantini, 2017).  | 130 |
| <b>Εικόνα 8.2</b> Μέσες τιμές επαγγελματικών ικανοτήτων και δεξιοτήτων νέων εργαζομένων στον αγροδιατροφικό τομέα της Ουγγαρίας (1 = ανεπαρκής, 4 = εξαιρετική) (Hamza et al, 2018).  | 131 |
| <b>Εικόνα 8.3</b> Η αυτοματοποίηση στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων το 2019 (Karen Hamann, 2019).  | 132 |
| <b>Εικόνα 8.4</b> Τα ποσοστά των κενών θέσεων εργασίας στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2016 (Karen Hamann, 2019).   | 133 |
| <b>Εικόνα 8.5</b> Οι τέσσερις κατηγορίες επιχειρήσεων βάσει της χρήσης διαφορετικών τεχνολογιών σε διάφορους επιχειρησιακούς τομείς (από αριστερά προς δεξιά: βιομηχανία, κατασκευαστικός τομέας, τουριστικός τομέας, μεταφορές, χρηματοοικονομικά, άλλες υπηρεσίες) (Mandl, 2021). | 137 |
| <b>Εικόνα 8.6</b> Η εικόνα απεικονίζει την πρόοδο των κρατών μελών της Ε.Ε. ως προς το συνολικό επίπεδο ψηφιοποίησης τους (με βάση τα ανωτέρω) την τελευταία πενταετία (European Commission, 2022).   | 139 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|   |     |
|---|-----|
| <b>Πίνακας 7.1</b> Σύνολο μεταβλητών ερωτηματολογίου [(European Commission, 2022); (EFFAT, 2019); (European Commission, European enterprise survey on the use of technologies based on artificial intelligence, 2020)]. | 105 |
| <b>Πίνακας 7.2</b> Οι τύποι ελέγχου υποθέσεων – σημαντικότητας που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη, μέσω του προγράμματος SPSS (Ζαφειρόπουλος, 2015).   | 108 |
| <b>Πίνακας 7.3</b> Προσωπικά στοιχεία <sup>1*</sup>   | 109 |
| <b>Πίνακας 7.4</b> Εργασιακά στοιχεία <sup>1*</sup>   | 110 |
| <b>Πίνακας 7.5</b> Διερεύνηση του επιπέδου γνώσης του δείγματος ως προς τις κάτωθι ψηφιακές δεξιότητες (ICT skills).  | 113 |
| <b>Πίνακας 7.6</b> Εσωτερικά εμπόδια επιχειρήσεων στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας.  | 122 |
| <b>Πίνακας 7.7</b> Εξωτερικά εμπόδια επιχειρήσεων στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας.  | 123 |

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

|              |  |  |
|--------------|--|--|
| <b>3PL</b>   | Υπηρεσίες Logistics                                    | Third Party Logistics                            |
| <b>AI</b>    | Τεχνητή Νοημοσύνη                                      | Artificial Intelligence                          |
| <b>AR</b>    | Επαυξημένη Πραγματικότητα                              | Augmented Reality                                |
| <b>CAD</b>   | Συστήματα Σχεδίασης με Βοήθεια Υπολογιστή              | Computer-aided design                            |
| <b>CAM</b>   | Κατασκευή με Υπολογιστή                                | Computer-aided manufacturing                     |
| <b>CNC</b>   | Λειτουργία μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή                | Computerized Numerical Control                   |
| <b>CPS</b>   | Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα                               | Cyber-Physical Systems                           |
| <b>DT</b>    | Ψηφιακά Δίδυμα   | Digital Twins                                    |
| <b>EDI</b>   | Ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων                        | Electronic data interchange                      |
| <b>ER</b>    | Εκτεταμένη πραγματικότητα                              | Extended Reality                                 |
| <b>ERP</b>   | Λογισμικό διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων             | Enterprise Resource Planning                     |
| <b>ICS</b>   | Συστήματα Βιομηχανικού Ελέγχου                         | Industrial Control System                        |
| <b>ICT</b>   | Τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών               | Information and communications technology        |
| <b>IIoT</b>  | Βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων                    | Industrial internet of things                    |
| <b>IoT</b>   | Διαδίκτυο των πραγμάτων                                | Internet of things                               |
| <b>ML</b>    | Μηχανική Μάθηση  | Machine Learning                                 |
| <b>MR</b>    | Μεικτή Πραγματικότητα                                  | Mixed Reality                                    |
| <b>PCA</b>   | Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών                              | Principal Component Analysis                     |
| <b>PLC</b>   | Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής                    | Programmable Logic Controller                    |
| <b>RFID</b>  | Ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων                       | Radio-frequency identification                   |
| <b>SC</b>    | Εφοδιαστική αλυσίδα                                    | Supply Chain                                     |
| <b>SCADA</b> | Σύστημα βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας | Supervisory Control and Data Acquisition         |
| <b>SCM</b>   | Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας                       | Supply Chain Management                          |
| <b>SCRM</b>  | Διαχείριση Κινδύνων Εφοδιαστικής Αλυσίδας              | Supply Chain Risk Management                     |
| <b>SDGs</b>  | Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης                              | Sustainable Development Goals                    |
| <b>STEM</b>  | Επιστήμη, Τεχνολογία, Μηχανική και Μαθηματικά          | Science, Technology, Engineering and Mathematics |
| <b>TBL</b>   | Μέθοδος αξιολόγησης αποδοτικότητας επιχειρήσεων        | Triple-Bottom Line                               |
| <b>VR</b>    | Εικονική Πραγματικότητα                                | Virtual Reality                                  |
| <b>E.E.</b>  | Ευρωπαϊκή Ένωση  | European Union                                   |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0), που έκανε την εμφάνιση της στις αρχές του 21ου αιώνα, σχετίζεται με την αυτοματοποίηση των παραδοσιακών κατασκευαστικών και βιομηχανικών πρακτικών, με σκοπό την επιτάχυνση της παραγωγικής διαδικασίας, χωρίς ωστόσο να υποβαθμίζεται η ποιότητα των προϊόντων, αλλά αντιθέτως να γίνεται η βέλτιστη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εφαρμογών της σύγχρονης τεχνολογίας, όπως τεχνικές αυτοματισμού και ρομποτικής.

Ωστόσο, η ανθρωπότητα έχει ήδη μπει στη 5η Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία δίνει έμφαση στο συμπληρωματικό και υποστηρικτικό ρόλο που έχουν τα ρομπότ και τα «έξυπνα» μηχανήματα στα άτομα που απασχολούνται στη βιομηχανία. Έτσι, δεν αντικαθιστά την Βιομηχανία 4.0, αλλά την εξελίσσει προσθέτοντας την ανθρωποκεντρική προσέγγιση στους πυλώνες του αυτοματισμού και της αποτελεσματικότητας, μέσω του συνδυασμού της συνέπειας και της ακρίβειας των μηχανών με τις προηγμένες γνωστικές ικανότητες των ατόμων. Επιπλέον, η Βιομηχανία 5.0 εισάγει τον όρο Βιωσιμότητα και την ευθυγράμμιση της παραγωγικής διαδικασίας με την Agenda 2030 των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη και την επίτευξη των 17 Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs), από όλα τα κράτη-μέλη του ΟΗΕ. Η κίνηση αυτή αποτελεί ορόσημο για τη διεθνή κοινότητα, καθώς για πρώτη φορά τέθηκαν διεθνώς «οικουμενικοί» στόχοι, τους οποίους καλούνται να υλοποιήσουν όλες οι χώρες από κοινού, τόσο ανεπτυγμένες όσο και αναπτυσσόμενες. Προϋπόθεση και κινητήριος δύναμη για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων είναι η ψηφιοποίηση. Και αυτό γιατί, για παράδειγμα, χωρίς υψηλής ευαισθησίας αλγόριθμους δεν θα ήταν εφικτή η εξασφάλιση της βέλτιστης διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας. Συγκεκριμένα, στην Βιομηχανία 4.0 ένα «έξυπνο» εργοστάσιο είναι μια αυτοματοποιημένη μονάδα που χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η μηχανική μάθηση (Machine Learning), το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing), οι αισθητήρες RFID, η ανάλυση «μεγάλων» δεδομένων (Big Data Analytics), το διαδίκτυο πραγμάτων (Internet of Things, IoT), τα ψηφιακά δίδυμα (Digital twins) και η προγνωστική συντήρηση (Predictive Maintenance).

Ειδικότερα, η ραγδαία αυτή ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις συνεχώς αυξανόμενες καταναλωτικές απαιτήσεις ως προς την ασφάλεια των τροφίμων και τα ποιοτικά και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, τις μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές των πρώτων υλών, τη άνοδο της ανάγκης για τρόφιμα λόγω αύξησης του πληθυσμού, τον μεγάλο ανταγωνισμό στην αγορά και το ταχύ ρυθμό μείωσης της διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων στη γεωργική παραγωγή, απαιτούν από τη βιομηχανία των τροφίμων προσαρμοστικότητα, ευελιξία, ενσωμάτωση της καινοτομίας και των σύγχρονων τεχνολογιών, καθώς και ολιστική και συνεργιστική δράση σε όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας (farm to fork). Μια ακόμη πρόκληση με την οποία έρχεται αντιμέτωπος ο κλάδος των τροφίμων είναι η εξάλειψη της σπατάλης τροφίμων (food waste). Μελέτες καταδεικνύουν, ότι περίπου 88 εκατομμύρια τόνοι (1/3 διεθνώς) ευπαθών (ευαλλοιώτων) τροφίμων απορρίπτονται χωρίς να καταναλωθούν κάθε χρόνο στην Ευρώπη, ενώ παγκοσμίως ένας στους επτά ανθρώπους είναι στα όρια της πείνας. Αυτή η σπατάλη, εκτός από ηθικό και οικονομικό ζήτημα, επηρεάζει και το περιβάλλον, αφού σχετίζεται άμεσα με την εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη και την άσκοπη κατανάλωση ενεργειακών φορτίων για την παραγωγική διαδικασία.

### **1.1 Η σημασία των προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού**

Στο σημείο αυτό έρχονται, λοιπόν, οι προαναφερθείσες τεχνολογίες συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση των παγκόσμιων προμηθειών, της παραγωγής και των πωλήσεων, στην αποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων και στη προστασία του οικοσυστήματος, στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας και στη μείωση του κόστους παραγωγής. Συγκεκριμένα, η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη εστιάζει στα οφέλη, αλλά και στα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή των τεχνολογιών διαδικτύου πραγμάτων (IoT) και ψηφιακών διδύμων (DT) στη βιομηχανία τροφίμων, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης και μελέτης περιπτώσεων.

Αναλυτικότερα, η τεχνολογία IoT μέσω της διασύνδεσης και επικοινωνίας όλων των μερών μιας βιομηχανικής εγκατάστασης με ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, μπορεί να παρέχει σε πραγματικό χρόνο (on line) πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και την απόδοση του εξοπλισμού μιας παραγωγικής μονάδας και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο παραγωγής και αποθήκευσης πρώτων υλών και τελικών προϊόντων (θερμοκρασία, υγρασία). Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται και αναλύονται μέσω αλγορίθμων, προκειμένου να καθοριστούν πρότυπα και να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες παραγωγής, επιτρέποντας στη βιομηχανία να λειτουργεί πιο αποδοτικά, οικονομικά και βιώσιμα. Τέλος, η προγνωστική συντήρηση (PM) είναι μια άλλη εφαρμογή του IoT, με σκοπό τη μείωση της εμφάνισης έκτακτων βλαβών στη παραγωγική διαδικασία και συνεπώς του χρόνου αντίδρασης και αποκατάστασης, καθώς και το καθορισμό ενός συγκεκριμένου προγράμματος συντήρησης. Ένα, επιπλέον, πολύ σημαντικό εργαλείο είναι το ψηφιακό δίδυμο (DT), το οποίο αναφέρεται σε ένα ψηφιακό αντίγραφο διαδικασιών και συστημάτων. Το DT χρησιμοποιεί αισθητήρες για να καταγράψει τη τρέχουσα κατάσταση ενός φυσικού αντικειμένου, συμπεριλαμβανομένης της θέσης, της κατάστασης λειτουργίας και της σύνθεσης του. Αυτά τα πρωτογενή δεδομένα μεταφέρονται έπειτα στο εικονικό τους αντίγραφο, σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι την ανάλυση και την επεξεργασία τους, είτε σε τοπικό δίκτυο είτε σε υπολογιστικό νέφος. Ουσιαστικά επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου. Δηλαδή τη μοντελοποίηση διαδικασιών παραγωγής σε ένα εικονικό περιβάλλον παρέχοντας τη δυνατότητα δοκιμών νέων προϊόντων και διαδικασιών. Οι δοκιμές αυτές επιτρέπουν στις βιομηχανίες να κατανοήσουν τον μελλοντικό αντίκτυπο και τις συνέπειες κάθε σεναρίου, χωρίς να αναλαμβάνουν κινδύνους αναφορικά με το κόστος και τη φήμη της επιχείρησης. Επίσης, μέσω του συστήματος αυτού είναι δυνατή η παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των δεικτών απόδοσης στη διαχείριση της ενέργειας και η δοκιμή εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Έτσι, λοιπόν, όλα τα παραπάνω συνθέτουν το «έξυπνο» εργοστάσιο, το οποίο αποτελεί ένα ευέλικτο σύστημα που μπορεί να «αυτό – βελτιστοποιεί» την απόδοσή του, να προσαρμόζεται σε νέες συνθήκες σε πραγματικό χρόνο και να εκτελεί αυτόνομα αποφάσεις και παραγωγικές διαδικασίες. Τα βασικά χαρακτηριστικά που απαιτείται να διαθέτει είναι τα εξής:

1. Ολιστική διασύνδεση και επικοινωνία: Τα πληροφοριακά συστήματα, ο μηχανολογικός εξοπλισμός και το εργατικό δυναμικό να μπορούν να επικοινωνούν αμφίδρομα σε πραγματικό χρόνο, μέσω ανταλλαγής δεδομένων.
2. Βελτιστοποίηση: Βέλτιστη αποδοτικότητα παραγωγικής διαδικασίας και ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και των ποιοτικών προβλημάτων.
3. Ευελιξία: Προσαρμοστικότητα σε κάθε είδους εξωτερική και εσωτερική αλλαγή (στον εξοπλισμό, στη παραγωγική διαδικασία, στις εγκαταστάσεις, στην αγορά).
4. Διαφάνεια: Αξιοπίστη βάση δεδομένων, προσβασιμότητα όλων των ενδιαφερόμενων μερών, ιχνηλασιμότητα και καθορισμός προτύπων και πρωτοκόλλων.

5. Πρόληψη: Προγνωστική συντήρηση, αυτοματοποιημένη ενημέρωση για ανάγκες σε πρώτες ύλες και πρόβλεψη ποιοτικών προβλημάτων ή άμεση αντιμετώπιση αυτών.

## **1.2 Σκοπός μελέτης**

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη των σύγχρονων λειτουργικών προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας και ο ρόλος των τεχνολογιών του αυτοματισμού στην άμεση εξάλειψη τους, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Επιπλέον, η διερεύνηση του επιπέδου του αυτοματισμού στην Ελληνική Βιομηχανία Τροφίμων, μέσω συμπλήρωσης ερωτηματολογίου από στελέχη αυτής και τα πιθανά οφέλη της εφαρμογής των παραπάνω τεχνολογιών στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και των παρεχόμενων προϊόντων με γνώμονα τη βιωσιμότητα.

Κατόπιν, όσο το δυνατόν, ενδελεχούς αναζήτησης των δημοσιευμένων μελετών μέχρι σήμερα, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν μελέτες που πραγματεύονται εφαρμογές του Διαδικτύου Πραγμάτων και των Ψηφιακών Διδύμων σε ποικίλες περιπτώσεις παραγωγικών διαδικασιών. Ωστόσο, δεν υπάρχει κάποια μελέτη με συγκεντρωτική καταγραφή και σύγκριση των αποτελεσμάτων, ενώ δεν ανευρέθη κάποια έρευνα που να αφορά τον αυτοματισμό στην ελληνική βιομηχανία τροφίμων. Η συγκεκριμένη έλλειψη αποτέλεσε και το έναυσμα για τη παρούσα μελέτη.

Συνοψίζοντας, τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας έχουν ως εξής:

1. Ποιες είναι οι παθογένειες της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας και της βιομηχανίας τροφίμων;
2. Πως μπορεί ο αυτοματισμός, και συγκεκριμένα το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και τα Ψηφιακά Δίδυμα (DT), να συμβάλλουν στην εξάλειψη τους;
3. Σε τι επίπεδο βρίσκεται ο αυτοματισμός στην Ελληνική Βιομηχανία Τροφίμων;

## **1.3 Δομή μελέτης**

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης, διεξάγεται συγκεντρωτική καταγραφή των παθογενειών της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και των οφελειών της εφαρμογής των Ψηφιακών Διδύμων (DT) και του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT). Στο δεύτερο μέρος, μέσω ερωτηματολογίου, διερευνάται το επίπεδο του αυτοματισμού στην Ελληνική Βιομηχανία Τροφίμων, ενώ τα αποτελέσματα εξήχθησαν μέσω στατιστικής επεξεργασίας και συγκρίνονται με εκείνα παρόμοιων ερευνών που αφορούν την Ευρωπαϊκή Βιομηχανία Τροφίμων. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στα πιθανά οφέλη της εφαρμογής των παραπάνω τεχνολογιών στον συγκεκριμένο τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και σε τυχόν βελτιωτικές προσαρμογές.

Πιο αναλυτικά, στο Κεφάλαιο 2 εξετάζεται η ιστορική εξέλιξη από τη Βιομηχανική Επανάσταση μέχρι τις πιο πρόσφατες τάσεις της Βιομηχανίας 4.0 και 5.0, δίνοντας έμφαση στη μηχανική και τον αυτοματισμό ως βασικούς παράγοντες της βιομηχανικής ανάπτυξης.

Το Κεφάλαιο 3 εστιάζει στην εφοδιαστική αλυσίδα, αναλύοντας τον ρόλο και τις βασικές λειτουργίες της, τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα, καθώς και τις στρατηγικές διαχείρισης κινδύνων.



Στη συνέχεια, το Κεφάλαιο 4 εξετάζει την εξέλιξη του αυτοματισμού και τις σύγχρονες τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη Βιομηχανία 4.0, όπως το IoT (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) και τα ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins).

Το Κεφάλαιο 5 επικεντρώνεται στις εφαρμογές του IoT και των ψηφιακών διδύμων στην εφοδιαστική αλυσίδα, αξιολογώντας τη συμβολή τους στην τεχνολογική εξέλιξη του τομέα.

Στο Κεφάλαιο 6 εξετάζεται η χρήση αυτών των τεχνολογιών στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται η μέθοδος ανάπτυξης του ερωτηματολογίου και γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα στο Κεφάλαιο 8, όπου γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με ευρωπαϊκές έρευνες και συνοψίζονται τα ευρήματα της μελέτης. Επιπλέον, προτείνονται προοπτικές για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της βιομηχανίας τροφίμων και της εφοδιαστικής αλυσίδας.

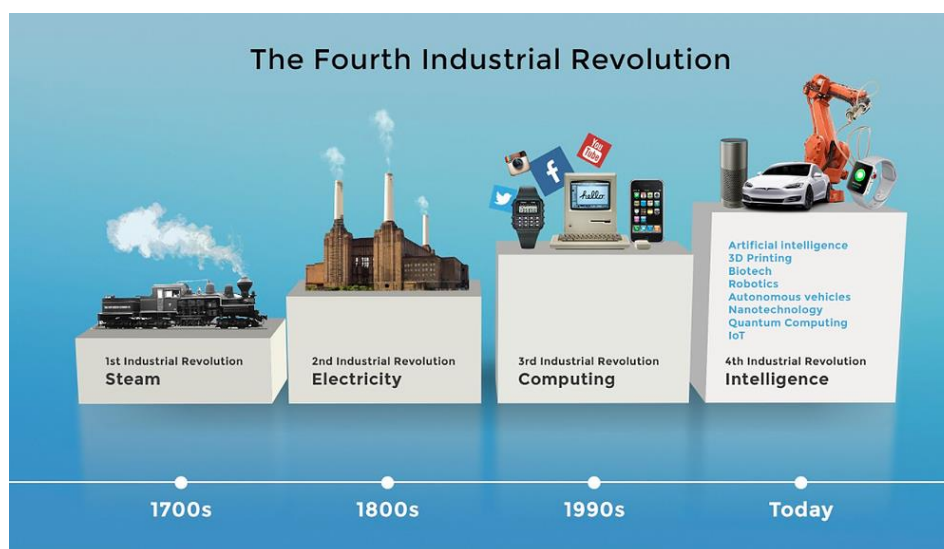
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ**

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της βιομηχανίας και της τεχνολογίας από τη πρώτη βιομηχανική επανάσταση μέχρι τις σύγχρονες τάσεις της Βιομηχανίας 4.0 και 5.0.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια ιστορική αναδρομή στη Βιομηχανική Επανάσταση, αναλύοντας τις θεμελιώδεις αλλαγές που διαμόρφωσαν τη βιομηχανική ανάπτυξη. Στη συνέχεια, εξετάζονται οι αρχές και οι προκλήσεις των σύγχρονων βιομηχανικών προτύπων, εστιάζοντας στις τεχνολογίες που καθορίζουν τη Βιομηχανία 4.0 και την προοπτική της Βιομηχανίας 5.0. Τέλος, αναλύονται οι έννοιες της μηχαντρονικής και του αυτοματισμού, οι οποίες αποτελούν κεντρικό άξονα για την εφαρμογή των νέων βιομηχανικών τεχνολογιών.

## 2.1 Βιομηχανική Επανάσταση - Ιστορική Αναδρομή

Ιστορικά έχουν υπάρξει τέσσερις βιομηχανικές επαναστάσεις γνωστές ως εξής: η πρώτη ως η Μηχανική Επανάσταση, η δεύτερη ως η Ηλεκτρική Επανάσταση και η τρίτη ως η Επανάσταση της Αυτοματοποίησης. Επί του παρόντος, η σύγχρονη κοινωνία διανύει την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση ή αλλιώς την Ψηφιακή Επανάσταση, κατά την οποία τα παγκόσμια δίκτυα παραγωγής αντιμετωπίζουν ανατρεπτικές προκλήσεις εξαιτίας των νέων τεχνολογιών, όπως είναι τα Big Data, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η τεχνητή νοημοσύνη και η τεχνολογία αισθητήρων (Groumpos, 2021).



**Εικόνα 2.1** Η εξέλιξη της βιομηχανικής επανάστασης στον χρόνο (Zaman, 2023).

### 2.1.1 Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση αναγνωρίζεται ως καθοριστική καμπή στην ιστορία της ανθρωπότητας, διότι επηρέασε σχεδόν κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής παγκοσμίως. Η εκβιομηχάνιση μετέβαλε την οικονομία, τις μεταφορές, την υγεία και την ιατρική, οδηγώντας σε πολλές εφευρέσεις και πρωτότυπες εξελίξεις.

Ξεκίνησε από τη Μεγάλη Βρετανία στα μέσα του 18ου αιώνα, όπου καθοριστικοί παράγοντες ήταν η ανάπτυξη του εμπορίου και η άνοδος των επιχειρήσεων. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1790, οι τεχνολογικές καινοτομίες αναπτύχθηκαν επίσης στις Ηνωμένες Πολιτείες, με την πρώτη Αμερικανική Βιομηχανική Επανάσταση να πραγματοποιείται στο βόρειο τμήμα της χώρας. Ειδικότερα, το μέσο εισόδημα και ο πληθυσμός παρουσίασαν πρωτοφανή ανάπτυξη. Ορισμένοι οικονομολόγοι υποστηρίζουν, ότι η κύρια επίδραση της

Βιομηχανικής Επανάστασης ήταν η σταθερή αύξηση του βιοτικού επιπέδου του γενικού πληθυσμού στον δυτικό κόσμο για πρώτη φορά στην ιστορία (Groumpos, 2021).

Στην Ευρώπη η βιομηχανική επανάσταση διήρκεσε πολύ περισσότερο από ότι σε οποιαδήποτε άλλη περιοχή στον κόσμο και οδήγησε σε μια εκτεταμένη «διαίρεση» της σε δύο επίπεδα: α) Στα πλούσια βιομηχανικά κράτη ή σε γεωγραφικές ζώνες, που διακρίνονταν για το υψηλό βιοτικό τους επίπεδο, την καλύτερη εκπαίδευση, τα συστήματα κοινωνικής ασφάλισης, τα σταθερά δημοκρατικά πολιτεύματα (με τις καταστροφικές εξαιρέσεις της Γερμανίας και της Αυστρίας), το χαμηλό δείκτη μετανάστευσης και τον υψηλό δείκτη εξαγωγών κεφαλαίου και βιομηχανικών αγαθών και β) στην περιφέρεια, κυρίως αγροτική, η οποία χαρακτηρίζονταν από χαμηλό βιοτικό επίπεδο, υψηλό δείκτη θνησιμότητας και χαμηλό προσδόκιμο ζωής, εκτεταμένο αναλφαβητισμό, ανύπαρκτη σχεδόν δημόσια και κοινωνική ασφάλιση, μετανάστευση, ολοένα αυξανόμενη εξάρτηση από τις πλούσιες περιοχές της Ευρώπης και, σε πολιτικό επίπεδο, τάση προς τα δεσποτικά καθεστώτα και τις δικτατορίες. Αυτό το ρήγμα, που διευρύνθηκε κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα και εξακολούθησε να είναι ιδιαίτερα αισθητό στο Μεσοπόλεμο, άρχισε να αμβλύνεται μόνο μετά τη δεκαετία του 1950 (Hartmut Kaelble, n.d.).

Ο διττός αυτός χαρακτήρας της εκβιομηχάνισης στην Ευρώπη αφορά τρία κεντρικά ζητήματα: την αστικοποίηση, την εκπαίδευση και το κοινωνικό ζήτημα. Η περίοδος της εκβιομηχάνισης, συνολικά και όχι μόνο η πρώιμη φάση της, υπήρξε ταυτόχρονα μια περίοδος αξιοσημείωτης ανάπτυξης των πόλεων. Η εικόνα των βιομηχανικών αστικών κέντρων της Ευρώπης άλλαξε θεαματικά με την εμφάνιση δημόσιων μέσων μεταφοράς, πολιτιστικών κέντρων, μουσείων, θεάτρων, ζωολογικών κήπων, σιδηροδρομικών σταθμών, νέων εμπορικών συνοικιών και, κυρίως, νέου πολεοδομικού σχεδιασμού που επέβαλε τη διαίρεση του αστικού χώρου σε συνοικίες με βάση τις κοινωνικές τάξεις (Hartmut Kaelble, n.d.).

Ως συνέπεια της εκβιομηχάνισης, η δευτεροβάθμια και η ανώτατη εκπαίδευση άρχισαν να γενικεύονται από το τέλος του 19ου αιώνα, εξαιτίας της ζήτησης για πιο εξειδικευμένη εργασία από τις βιομηχανίες, αλλά και εξαιτίας της διεύρυνσης των περιφερειακών και κεντρικών κυβερνητικών διοικήσεων. Ο αναλφαβητισμός άρχισε τότε να μειώνεται, παρόλο που η γενική εκπαίδευση είχε εισαχθεί πολύ νωρίτερα σε ορισμένες χώρες. Οι φυσικές επιστήμες και οι τεχνολογίες αναβαθμίστηκαν, ενώ ιδρύθηκαν τεχνικά σχολεία και συστάθηκαν τεχνικές ειδικότητες. Ταυτόχρονα, η ευρωπαϊκή ήπειρος διαιρέθηκε με βάση την παρεχόμενη εκπαίδευση. Η ανώτατη εκπαίδευση ήταν πολύ πιο προηγμένη στις πλούσιες βιομηχανικές χώρες και προσέλκυε φοιτητές από τις φτωχότερες αγροτικές περιοχές της Ευρώπης. Ωστόσο, ο αναλφαβητισμός παρέμεινε αρκετά υψηλός μέχρι και το 1950 στη νότια και ανατολική Ευρώπη (Hartmut Kaelble, n.d.).

Η αργή και διαιρεμένη εκβιομηχάνιση στην Ευρώπη συνέβαλε σε μια επιπλέον ευρωπαϊκή ιδιαιτερότητα: το σκεπτικισμό σημαντικού αριθμού Ευρωπαίων απέναντι στη νεωτερισμό της βιομηχανικής κοινωνίας. Ο σκεπτικισμός ενθαρρύνθηκε από μεγάλα τμήματα των ευρωπαϊκών κοινωνιών που φαινομενικά δεν άγγιξε η Βιομηχανική Επανάσταση, όπως ευρείες πληθυσμιακές ομάδες των αγροτικών κοινωνιών, της εκκλησίας, της αριστοκρατίας, των θεωρητικών επιστημόνων, των πανεπιστημίων, των μικρών πόλεων, των βιοτεχνών και των καλλιτεχνών κατά τη διάρκεια του 19ου και του πρώιμου 20ου αιώνα. Αυτός ο «αντι-βιομηχανικός σκεπτικισμός» είχε ισχυρό αντίκτυπο στην πολιτική. Ουσιαστικά αμβλύθηκε μόλις μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, ωστόσο είναι ακόμα εμφανής μέχρι και σήμερα (Hartmut Kaelble, n.d.).

Συνοψίζοντας, από τη μία πλευρά, οι επισφαλείς συνθήκες εργασίας υπήρξαν εντονότερες και η ρύπανση του περιβάλλοντος από τον άνθρακα και το φυσικό αέριο αναδεικνύεται ως κληρονομιά, με την οποία η σύγχρονη κοινωνία έρχεται αντιμέτωπη ως και σήμερα. Από την άλλη, η αστική μετακίνηση και οι καινοτόμες εφευρέσεις στον τομέα των ενδυμάτων, της επικοινωνίας και των μεταφορών κατέστησαν αυτές τις υπηρεσίες πιο προσιτές και προσβάσιμες στον ευρύ πληθυσμό, με αποτέλεσμα να αλλάξουν την πορεία της παγκόσμιας ιστορίας. Ανεξαρτήτως αυτών των ζητημάτων, η Βιομηχανική Επανάσταση είχε κείμενο οικονομικό, κοινωνικό και πολιτιστικό αντίκτυπο και διαδραμάτισε αναπόσπαστο ρόλο στη θεμελίωση των βάσεων για τη σύγχρονη κοινωνία (History.com Editors, 2023).

### 2.1.2 Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση

Η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε τον 19ο αιώνα μεταξύ 1870 και 1914 (πριν την έναρξη του Α' Παγκοσμίου Πολέμου), μέσω της ανακάλυψης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της γραμμής συναρμολόγησης με τη χρήση νέων τεχνολογιών στην παραγωγή αυτοκινήτων από τον Henry Ford. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία κατασκευής και παραγωγής επέτρεψαν την ευρεία υιοθέτηση τεχνολογικών συστημάτων, όπως τα σιδηροδρομικά δίκτυα, την παροχή αερίου και νερού, καθώς και τα συστήματα αποχέτευσης. Οι άνθρωποι άρχισαν να μετακινούνται προς τις πόλεις και στις αρχές του 1900 οι εργάτες εγκατέλειπαν τις αγροτικές περιοχές. Μέχρι το 1900, το 40% του πληθυσμού των ΗΠΑ διέμενε σε πόλεις, σε σύγκριση με μόλις 6% το 1800. Παράλληλα με την αυξανόμενη αστικοποίηση, εφευρέσεις, όπως ο ηλεκτρικός φωτισμός, το ραδιόφωνο και τα τηλέφωνα άλλαξαν ριζικά τον τρόπο ζωής και επικοινωνίας των ανθρώπων. Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκε η εργατική τάξη, διεκδικεί καλύτερες συνθήκες εργασίας και αναδύονται νέες ιδεολογίες, όπως ο μαρξισμός (Groupros, 2021).

### 2.1.3 Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση

Η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε αμέσως μετά την ολοκλήρωση του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, περίπου τη δεκαετία του 1950, μέσω της εισαγωγής των υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών. Με την εισαγωγή αυτών των τεχνολογιών, καθίσταται δυνατή η αυτοματοποίηση ολόκληρης της διαδικασίας παραγωγής χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ανάλογα παραδείγματα περιλαμβάνουν τα ρομπότ που εκτελούν προγραμματισμένες ακολουθίες ανεξάρτητα από ανθρώπους και η αυτοματοποιημένη προσγείωση αεροσκάφους χωρίς τη συμμετοχή πιλότου. Η επανάσταση αυτή ενσωμάτωσε τους ημιαγωγούς, τους υπολογιστές μεγάλου συστήματος, τους προσωπικούς υπολογιστές και το διαδίκτυο, βαθμιαία μετατρέποντας αναλογικές τεχνολογίες σε ψηφιακές. Οι τεχνολογίες πληροφορικής άρχισαν να αυτοματοποιούν την παραγωγή και να διεθνοποιούν τις αλυσίδες εφοδιασμού. Η ανάπτυξη και διάδοση των ψηφιακών δεξιοτήτων αποτελούν σημαντικό σημείο αναφοράς πολλών εθνικών και διεθνών πολιτικών εκπαίδευσης, επιμόρφωσης και κατάρτισης (Groupros, 2021).

Περαιτέρω, υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη των επικοινωνιών, καθώς περιορίστηκε σημαντικά το κόστος μεταφοράς δεδομένων, ενώ υπήρξε και διεύρυνση των δυνατοτήτων διάδοσης πληροφοριών. Καθώς υπήρξε μετάβαση από την ηλεκτρομηχανική στην ψηφιακή τεχνολογία, υπήρξε αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης των επικοινωνιακών δικτύων, ενώ μετάβαση έγινε και από τα χάλκινα καλώδια στις οπτικές ίνες, γεγονός που συνέβαλε καθοριστικά στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων. Παράλληλα, υπήρξε και ανάπτυξη των

δορυφορικών επικοινωνιών και έτσι επεκτάθηκαν περισσότερο οι δυνατότητες επικοινωνίας (Παραλόπουλος, 2022).

#### 2.1.4 Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

Το φαινόμενο της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 2011 στη Γερμανία ως πρόταση για την ανάπτυξη μιας νέας αντίληψης της γερμανικής οικονομικής πολιτικής, βασισμένης σε στρατηγικές υψηλής τεχνολογίας, προσφέροντας εντυπωσιακά επιτεύγματα στον βιομηχανικό τομέα, όπου η ψηφιοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών διευκολύνει την παροχή των σωστών πληροφοριών στο κατάλληλο άτομο τη σωστή στιγμή (Groupros, 2021).

Πριν από το 2014, ο όρος «Βιομηχανία 4.0» ήταν σχεδόν ανύπαρκτος στις αναζητήσεις της Google. Ωστόσο μέχρι το 2019, το 68% των ερωτηθέντων σε μια παγκόσμια έρευνα της McKinsey θεωρούσε την Βιομηχανία 4.0 ως κορυφαία στρατηγική προτεραιότητα και οι εταιρείες που εκπροσωπούσαν, είτε εφαρμόζαν πιλοτικά κάποια νέα τεχνολογία είτε βρίσκονταν σε διαδικασία ανάπτυξης μιας στρατηγικής προς αυτή τη κατεύθυνση. Επιπλέον, εν μέσω των προκλήσεων που αναδύθηκαν από την πανδημία COVID-19, η εφαρμογή των εν λόγω τεχνολογιών κατέστη ιδιαίτερα ωφέλιμη και αναγκαία, καθώς οι αυστηροί περιορισμοί και οι μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών, οδήγησαν τις εταιρείες να υιοθετήσουν ψηφιοποιημένες και ανέπαφες λειτουργίες με ταχύ ρυθμό, καθώς και να αναμορφώσουν τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουν, παράγουν και διανέμουν τα προϊόντα τους (McKinsey & Company, 2022).

Είναι γεγονός ότι η 4η βιομηχανική επανάσταση αναπτύσσεται και προωθείται σε ένα περιβάλλον όπου κυρίαρχα χαρακτηριστικά είναι η στασιμότητα, καθώς επίσης και η κρίση. Ουσιαστικά, η 4η βιομηχανική επανάσταση απορρέει από την διαρκή ανάπτυξη του τεχνολογικού τομέα και στηρίζεται στην πρόοδο και εξέλιξη των υπολογιστών πάνω σε ζητήματα επεξεργασίας, ανάλυσης και αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων, καθώς επίσης και στη δημιουργία προγραμμάτων τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και στην αύξηση της ταχύτητας του διαδικτύου.

Ουσιαστικά, συνδυάζει την τεχνολογία αυτοματισμού με την τεχνολογία στον κυβερνοχώρο, ενώ κυριαρχούν ο αυξημένος όγκος δεδομένων, η συνδεσιμότητα, η ανάλυση, η επιχειρηματική ευφυΐα, οι νέες μορφές αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, η ρομποτική, η τρισδιάστατη εκτύπωση, η ενσωμάτωση μηχανών και συστημάτων, τα έξυπνα δίκτυα, η τεχνητή νοημοσύνη, οι wearable συσκευές, η επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality), η εικονική πραγματικότητα (virtual reality), η απτική τεχνολογία (haptics), η προσομοίωση (simulation), τα αυτόνομα οχήματα, τα κυβερνοφυσικά συστήματα και η προσθετική κατασκευαστική (additive manufacturing) (Παναγιωτόπουλος, 2021).

Με τα ανωτέρω εργαλεία, ενισχύεται η δυνατότητα ψηφιακής μετάβασης, όπου οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τα επίπεδα παραγωγικότητας τους, καθώς επίσης και να παράγουν περισσότερο ανταγωνιστικά προϊόντα και υπηρεσίες. Εξίσου σημαντικό είναι και το γεγονός ότι οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε παγκόσμιες αλυσίδες αξίας.

Στην έκθεση «Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0», που δημοσιεύθηκε από την Acatech το 2013, επισημαίνονται τρία βασικά χαρακτηριστικά της Βιομηχανίας 4.0 (Cristina Orsolin Klingenberg, 2022):



1. Οριζόντια ολοκλήρωση μέσω δικτύων αξίας (horizontal integration through value networks): Αναφέρεται στην ενοποίηση όλων των δραστηριοτήτων που προσθέτουν αξία σε ένα προϊόν ή μια υπηρεσία πέρα από τα όρια της εταιρείας, με τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων στη διαδικασία.
2. Ολιστική ψηφιακή ολοκλήρωση (end-to-end digital integration of engineering): Επιτρέπει διαφάνεια σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, διευκολύνοντας την λήψη αποφάσεων (holistic decision making).
3. Κάθετη ολοκλήρωση και δικτυωμένη παραγωγή (vertical integration and networked manufacturing): Συνδυάζει τους διάφορους τομείς μέσα σε μια επιχείρηση.

Τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η συνδεσιμότητα cloud, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση είναι πλέον στενά συνδεδεμένες με τη διαδικασία παραγωγής, συλλέγοντας δεδομένα που διευκολύνουν την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Αυτή η ενοποιημένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση στην παραγωγή έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη προϊόντων, εργοστασίων και περιουσιακών στοιχείων που είναι συνδεδεμένα και «έξυπνα», καθώς και ενός νέου επιπέδου ορατότητας σε πραγματικό χρόνο. Σε εποχές αυξημένου ανταγωνισμού και αστάθειας, τα ανωτέρω εργαλεία και οι στρατηγικές της Βιομηχανίας 4.0 συμβάλλουν στη βελτίωση, όχι μόνο της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας, αλλά και της ικανότητας πρόβλεψης και απόκτησης ουσιαστικού ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος (SAP, n.d.).

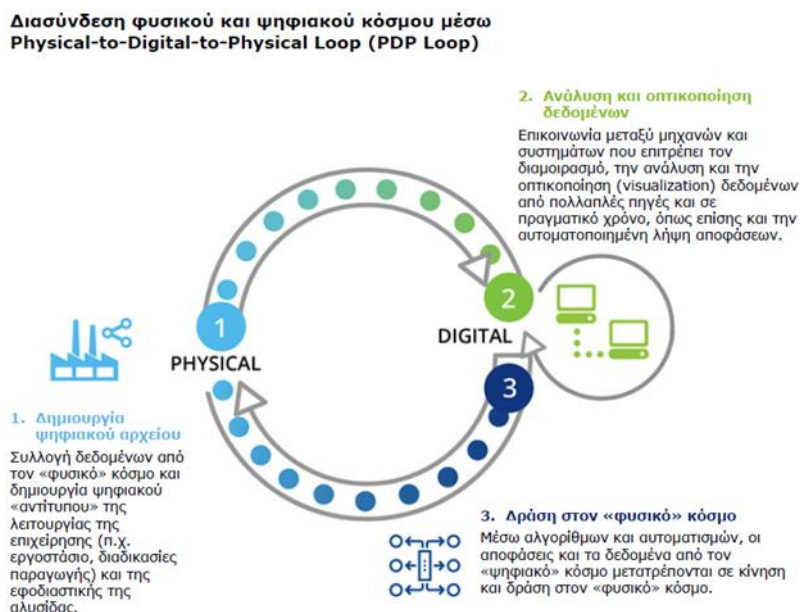
Ωστόσο, η ενσωμάτωση των προηγμένων τεχνολογιών αποτελεί μόνο το ήμισυ της εξίσωσης της Βιομηχανίας 4.0. Οι εταιρείες, για να είναι λειτουργικές και αποδοτικές, πρέπει να εξασφαλίσουν την ενημέρωση και επαρκή εκπαίδευση του εργατικού δυναμικού τους. Στόχος είναι η συνεχής εξέλιξη των ψηφιακών δεξιοτήτων τους, καθώς όταν η ακρίβεια και η ταχύτητα των εργαλείων 4.0 συγχωνεύονται με τη δημιουργικότητα, το ταλέντο και την καινοτομία του ανθρώπινου δυναμικού, προκύπτουν οφέλη τόσο για το εργατικό δυναμικό όσο και για το τελικό αποτέλεσμα που επιδιώκει μια επιχείρηση. Ειδικότερα, η ζήτηση για χειρωνακτικές δεξιότητες και για βασικό επίπεδο εκπαίδευσης (ανάγνωση, γραφή) αναμένεται να μειωθεί περίπου κατά 25%, ενώ οι απαιτήσεις για ψηφιακές και ICT δεξιότητες, καθώς και για οριζόντιες δεξιότητες (soft skills) αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 50% (McKinsey & Company, 2022).

Συνεπώς, ο ψηφιακός μετασχηματισμός που σχετίζεται με την Βιομηχανία 4.0 επιφέρει πολιτιστική και λειτουργική εξέλιξη. Η ενοποίηση και η σύνδεση των ατόμων και των δεδομένων επιτρέπει τη δημιουργία ενός μεγάλου φάσματος βελτιστοποιήσεων. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα ενίσχυσης της αποτελεσματικότητας, της ορατότητας και της βιωσιμότητας στις αλυσίδες παραγωγής και εφοδιασμού (SAP, n.d.):

1. Προβλεπτική συντήρηση (predictive maintenance): Μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων IoT και ανάλυσης δεδομένων, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης του μηχανολογικού εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο. Οι αλγόριθμοι προβλεπτικής συντήρησης εντοπίζουν πιθανές βλάβες πριν αυτές συμβούν, επιτρέποντας την εφαρμογή προληπτικών διαδικασιών που ενδέχεται να μειώσουν τους χρόνους διακοπής λειτουργίας τους ως και 50% και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους ως και 40%.
2. Βελτιστοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας (end to end transparency & connected community): Η Βιομηχανία 4.0 ενισχύει τη διαφάνεια σε ολόκληρη την παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού. Αναλυτικότερα, με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από

προμηθευτές, επίπεδα αποθέματος, χρονοδιαγράμματα παραγωγής και ζήτηση πελατών είναι δυνατή η εξέλιξη των logistics, η εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης και η βελτίωση της διεκπεραίωσης των παραγγελιών.

3. Ευελιξία στη σχεδίαση νέων διαδικασιών ή προϊόντων («always - on» agility): Η τεχνητή νοημοσύνη και τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν την ψηφιακή απεικόνιση της πραγματικότητας και τη συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (λογική του Physical-to-Digital-to-Physical Loop). Η ενσωμάτωση των ανωτέρω στη διαδικασία σχεδίασης διευκολύνει την ανάπτυξη εξατομικευμένων λύσεων και την ταχύτερη ανάπτυξη προϊόντων που ευθυγραμμίζονται άμεσα με τις δυναμικές απαιτήσεις της αγοράς (Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ, 2020).



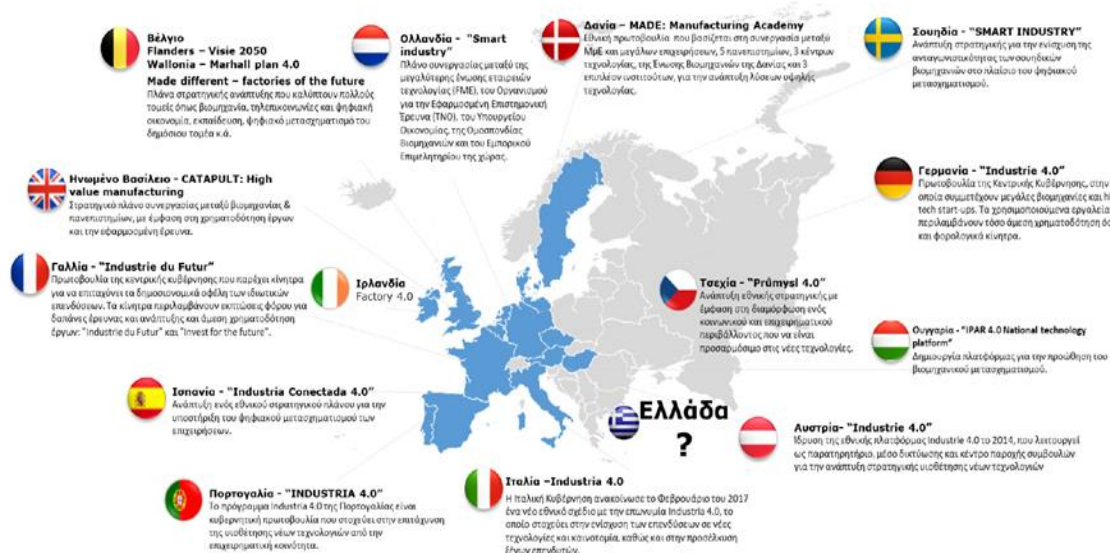
**Εικόνα 2.2** Απεικόνιση της διασύνδεσης του φυσικού και ψηφιακού κόσμου (physical - to - digital - to - physical loop) (Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ, 2020).

4. Ποιοτικός έλεγχος και ανίχνευση ελαττωμάτων: Με τη χρήση συσκευών IoT και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, παρέχεται η δυνατότητα συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από όλες τις γραμμές παραγωγής. Μέσω της συνεχούς παρακολούθησης είναι δυνατή η ανίχνευση ποιοτικών προβλημάτων και η άμεση λήψη διορθωτικών ενεργειών.
5. Πρακτικές κυκλικής οικονομίας (resource optimization): Η βιομηχανία 4.0 υποστηρίζει την εφαρμογή κυκλικών οικονομιών, μέσω της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης υλικών. Μέσω των Big Data analytics και των δικτύων IoT, είναι εφικτή η παρακολούθηση των κύκλων ζωής των προϊόντων και η εφαρμογή αντίστροφων logistics για επιστροφές.
6. Παρακολούθηση και βελτιστοποίηση αποτυπώματος άνθρακα: Οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 προάγουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές από τις μεταφορές και άλλους



παράγοντες που επηρεάζουν το αποτύπωμα άνθρακα μιας επιχείρησης. Μέσω της ακριβούς μέτρησης και παρακολούθησης των εκπομπών, εντοπίζονται περιθώρια βελτίωσης και αναπτύσσονται στρατηγικές για τη μείωση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα, συμβάλλοντας στην επίτευξη φιλόδοξων στόχων βιωσιμότητας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι μια βιομηχανία στη Σιγκαπούρη που κατόρθωσε να μειώσει την παραγωγή αποβλήτων κατά 22% ενσωματώνοντας το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και το «έξυπνο» εργοστάσιο της Schneider Electric στις ΗΠΑ, το οποίο συνδύασε τη συνδεσιμότητα IoT με προβλεπτικά εργαλεία, πετυχαίνοντας μείωση της χρήσης ενέργειας κατά 26%, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 30% και της χρήσης νερού κατά 20%.

Ο μετασχηματισμός σε ένα «έξυπνο» εργοστάσιο δεν αφορά μόνο στην εγκατάσταση τεχνολογικού εξοπλισμού και ψηφιακών λύσεων. Η επιτυχία της ψηφιακής μετάβασης εξαρτάται εξίσου από την οργανωτική ευελιξία, τις δεξιότητες εργαζομένων και διοίκησης, την ανεμπόδιστη ροή της πληροφορίας, την ανοικτή συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, τη διαρκή μάθηση και την ταχύτητα προσαρμογής στις διαρκώς μεταβαλλόμενες ανάγκες των πελατών. Προκειμένου να διευκολυνθεί η εφαρμογή των ανωτέρω, ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες έχουν ήδη προχωρήσει στον καθορισμό πολιτικών επιτάχυνσης της ψηφιοποίησης (βλ. εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Πολιτικές επιτάχυνσης της ψηφιοποίησης από χώρες τις Ε.Ε. (ΣΕΒ, 2019).

## 2.2 Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση στην Ελλάδα

Οι επιπτώσεις της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης είναι κυρίως θετικές, όσον αφορά την παραγωγικότητα, την οικονομία και το μέλλον της εργασίας. Αναλυτικότερα, το κόστος μεταφοράς και επικοινωνίας έχει μειωθεί, οι παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού έχουν γίνει πιο αποτελεσματικές, έχουν ανοίξει νέες αγορές και έχει βελτιωθεί το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων.

Ωστόσο, οι ελληνικές επιχειρήσεις βρίσκονται αντιμέτωπες με ποικίλες προκλήσεις. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που διατυπώνει ο Σύνδεσμος Ελλήνων Βιομηχάνων (ΣΕΒ), είναι αναγκαίο να υπάρξει εφαρμογή μιας στρατηγικής μετασχηματισμού των επιχειρήσεων,

επιδιώκοντας να διαμορφωθεί ένα σύστημα μέτρησης και παρακολούθησης των επενδύσεων. Το 2019, παρά το γεγονός ότι ποσοστό της τάξεως του 90% των επιχειρήσεων αντιλαμβάνεται ότι οι Τεχνολογίες Πληροφοριών και Επικοινωνιών (Information and communications technology, ICT) είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, μόλις το 48% έχει αναπτύξει σχετική στρατηγική για την αναβάθμιση αυτών, ενώ αντίστοιχα το 7,5% επιδιώκει να καλύψει τις τεχνολογικές ανάγκες αυτές στα πλαίσια της 4ης βιομηχανικής επανάστασης. Ιδιαίτερα σημαντική προτεραιότητα στα πλαίσια του ψηφιακού μετασχηματισμού για τις επιχειρήσεις και για τους οργανισμούς, θα πρέπει να αποτελεί η ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων και τεχνογνωσίας των εργαζομένων, δίνοντας έμφαση σε σχετικά ενδοεπιχειρησιακά προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης. Παρά το γεγονός ότι η χώρα βρίσκεται στη 13η θέση σε απόφοιτους STEM, κατατάσσεται στην 25η θέση ως προς τις ψηφιακές δεξιότητες, οι οποίες συνάδουν με τις ανάγκες της 4ης βιομηχανικής επανάστασης (Παραλόπουλος, 2022).

Ακόμα, διαφαίνεται ότι η Ελλάδα βρίσκεται σε μειονεκτική θέση έναντι ανταγωνιστικών κρατών και για τον πρόσθετο λόγο της μακροχρόνιας χρηματοοικονομικής περιπέτειας της χώρας, η οποία είχε αρνητική επίδραση στην αναβάθμιση των κρατικών υποδομών, την προσέλκυση διεθνών επενδύσεων και τον εκσυγχρονισμό του κεφαλαιακού εξοπλισμού στον ιδιωτικό τομέα. Εξαιρέση αποτελούν κάποιες μεγάλες εταιρείες που κατάφεραν να εξασφαλίσουν πρόσβαση σε διεθνείς πηγές χρηματοδότησης ή δραστηριοποιήθηκαν στο εξωτερικό και ορισμένες Start-up με καινοτόμες εφαρμογές που κατάφεραν είτε να προσελκύσουν διεθνή χρηματοδότηση, είτε να εξάγουν αυτόνομα ή μέσω συνεργασιών με τρίτες εταιρείες την τεχνογνωσία τους σε ξένες αγορές (Παναγιωτόπουλος, 2021).

Επιπρόσθετα, πρόσφατη έρευνα στην Ελλάδα δείχνει ότι το 80% των εργοδοτών υποστηρίζει ότι το εκπαιδευτικό σύστημα στην Ελλάδα δεν εξοπλίζει τους αποφοίτους με το αναγκαίο μείγμα δεξιοτήτων που απαιτείται από την αγορά εργασίας (επιχειρηματική ηθική, ικανότητα εργασίας σε ομάδες, ευελιξία και προσαρμοστικότητα, επικοινωνιακές δεξιότητες), ενώ το 43% των Ελλήνων θεωρούν ότι η εκπαίδευση ή η κατάρτισή τους δεν τους παρείχε τις απαιτούμενες δεξιότητες, ώστε να βρουν μια θέση εργασίας, η οποία να ανταποκρίνεται στα επαγγελματικά τους προσόντα. Η έλλειψη των ψηφιακών δεξιοτήτων θα μπορούσε να βελτιωθεί από τα Πανεπιστήμια, κυρίως μέσω της πρακτικής άσκησης και φυσικά μέσω της καλύτερης συνεργασίας της αγοράς και των φορέων δημόσιας και ιδιωτικής εκπαίδευσης, κάτι που επιχειρήθηκε στην Ευρώπη από το 2010 με την ανάπτυξη της πρωτοβουλίας «Νέες δεξιότητες για νέες θέσεις εργασίας» (New Skills for New Jobs), η οποία στόχευε στην προώθηση της βελτίωσης των δεξιοτήτων προσαρμόζοντας τις δεξιότητες στις ανάγκες της αγοράς εργασίας (Παναγιωτόπουλος, 2021).

### **2.3 Η μετάβαση στην Βιομηχανία 5.0**

Η Ευρώπη, μετά την έξαρση της πανδημίας COVID - 19, καλείται να δραστηριοποιηθεί αποτελεσματικότερα και να επιτύχει μια αειφόρο προσέγγιση για να αντιμετωπίσει την κλιματική αλλαγή και την κατάρρευση της βιοποικιλότητας. Εξίσου κρίσιμη πρόκληση για την Ευρώπη είναι η ανάπτυξη της ανθεκτικότητας (resilience) στην υπάρχουσα οικονομία, αλλά και η μετάβαση σε νέα ευέλικτα οικονομικά οικοσυστήματα που θα προβλέπουν και θα προσαρμόζονται άμεσα στην εμφάνιση τυχόν κρίσεων.

Η διασφάλιση της επιτυχίας προϋποθέτει μια Ευρώπη με εσωτερική συνοχή και ικανότητα να εκφράζεται ενιαία. Σημαντικό βήμα αποτελεί και η μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από

εισαγωγές βασικών πρώτων υλών και πόρων (όπως ενέργεια), το οποίο αποτέλεσε καίριο πλήγμα κατά την περίοδο της COVID - 19.

Στην προσπάθεια αυτή ιδιαίτερη ευθύνη φέρουν: ο βιομηχανικός τομέας, που οφείλει να εστιάζει στη μακροπρόθεσμη απρόσκοπτη λειτουργικότητα και όχι στη βραχυπρόθεσμη επιδίωξη κέρδους, ο πρωτογενής τομέας ως θεμελιώδης λίθος της οικονομίας, καθώς και συνολικά η εφοδιαστική αλυσίδα (European Commission, 2021).

Πρόσφατα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δήλωσε, ότι η Βιομηχανία 4.0 δεν παρέχει στον επιθυμητό βαθμό το κατάλληλο πλαίσιο για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων, που αποτελούν μέρος των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης της Ατζέντας 2030. Ως εκ τούτου, καθίσταται αναγκαία η επέκταση του πεδίου του ψηφιακού μετασχηματισμού πέρα από τα συστήματα παραγωγής, ενσωματώνοντας τις έννοιες «άνθρωπος-πλανήτης-ευημερία / people-planet-prosperity» ή αλλιώς δίνοντας έμφαση στις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιδόσεις (Triple-Bottom Line, TBL) (Susana Garrido, 2024).

Αυτή η ανάγκη οδήγησε στην διενέργεια ακαδημαϊκών μελετών από το 2017, για την επίσημη εισαγωγή της Βιομηχανίας 5.0 (European Industry 5.0) ως πολιτικής το 2021, η οποία προάγει τον ρόλο των επιχειρήσεων στην προώθηση μιας βιώσιμης και πιο δίκαιης κοινωνίας.

Σύμφωνα, με την δημοσίευση του εγγράφου με τίτλο «Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-centric, and Resilient European Industry» από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η Βιομηχανία 5.0 θα διασφαλίζει τον σεβασμό προς τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και θα φροντίζει για την εξέλιξη και την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού με τη χρήση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0. Ουσιαστικά, η Βιομηχανία 5.0 συνιστά το επόμενο εξελικτικό βήμα για την ολοκλήρωση της υπάρχουσας τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, δηλαδή μια μετάβαση από τα Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα (Cyber-Physical Systems) και τις τεχνολογίες, στα Κυβερνο-Φυσικο-Κοινωνικά Συστήματα (Cyber-Physical-Social Systems) και τις ανθρώπινες αξίες (Xun Xu, 2021).

Η Βιομηχανία 5.0 απαρτίζεται από τρεις αλληλένδετες θεμελιώδεις αξίες: την ανθρωποκεντρική προσέγγιση (human - centric), την βιωσιμότητα (sustainability) και την ανθεκτικότητα (resilience) (Xun Xu, 2021):

Η ανθρωποκεντρική προσέγγιση τοποθετεί τις ανθρώπινες ανάγκες και αξίες στο επίκεντρο της βιομηχανίας, μεταβαίνοντας από μια τεχνολογική καθοδήγηση σε έναν προσανατολισμό προς τον άνθρωπο και την κοινωνία. Η τεχνολογία πρέπει να εξυπηρετεί ανθρώπους και κοινωνίες, προσαρμόζοντας τις βιομηχανικές διαδικασίες στις ανάγκες του εργατικού δυναμικού. Επιπλέον, η συνεργασία ανθρώπων και προηγμένων τεχνολογιών συνδυάζει την ακρίβεια και την ταχύτητα του βιομηχανικού αυτοματισμού με τη δημιουργικότητα, την καινοτομία και τις δεξιότητες κριτικής σκέψης των ανθρώπων (SAP, n.d.).

Η επίτευξη της βιωσιμότητας απαιτεί την ανάπτυξη κυκλικών διαδικασιών που προωθούν την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πόρων, μειώνοντας τα απόβλητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τέλος, η ανθεκτικότητα δίνει σε μια επιχείρηση το πλεονέκτημα να είναι επαρκώς προετοιμασμένη να αντιμετωπίσει τυχόν διαταραχές και κρίσεις.



**Εικόνα 2.4** Οι τρεις θεμελιώδεις αξίες της Βιομηχανίας 5.0 (Xun Xu, 2021).

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί τη χρήση αυτοματοποιημένων διαδικασιών για την εκτέλεση υψηλών όγκων παραγωγής, καθιστώντας ιδιαίτερα κρίσιμη την ορθή καθοδήγηση αυτών, διασφαλίζοντας την ομαλή διεξαγωγή τους, όπως την κάλυψη εξειδικευμένων απαιτήσεων.

Συνεπώς, η Βιομηχανία 5.0 επιδιώκει να αυτοματοποιήσει και να συνδυάσει τα έξυπνα ψηφιακά οικοσυστήματα με την ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Τεχνολογίες, όπως η μηχανική μάθηση και ο ρομποτικός αυτοματισμός, υποστηρίζουν τους εργαζόμενους στην αύξηση της επιχειρηματικής τους απόδοσης και την παροχή υψηλής αξίας στους πελάτες σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Ενώ μελλοντικές κατευθύνσεις της Βιομηχανίας 5.0 περιλαμβάνουν τη γνωστική πληροφορική (Cognitive computing), την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής (human-machine interaction) και τους κβαντικούς υπολογιστές (quantum computing).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόσφατα κοινοποίησε μέσω της ιστοσελίδας της Ε.Ε., δύο δράσεις προς ενίσχυση της Βιομηχανίας 5.0 (Xun Xu, 2021). Η πρώτη αφορά το βραβείο «Industry 5.0 Award», το οποίο αναπτύχθηκε σε συνεργασία με την European Factories of the Future Research Association (EFFRA), τη βιομηχανική πλατφόρμα MANUFUTURE, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Καινοτομίας και τον Εκτελεστικό Οργανισμό MME (EISMEA) καθώς και το EIT Manufacturing. Οι επιχειρήσεις που θα διεκδικήσουν το Βραβείο καλούνται να παρουσιάσουν δημιουργικές και πρακτικές λύσεις, που καλύπτουν τους τρεις βασικούς πυλώνες της Βιομηχανίας 5.0: ανθρωποκεντρική προσέγγιση, βιωσιμότητα και ανθεκτικότητα. Η δεύτερη δράση καλείται «Industry 5.0 Community of Practice (CoP 5.0)» και κυκλοφόρησε επίσημα στις 16 Νοεμβρίου 2023, όπου ακολούθησε και η πρώτη κοινή σύνοδος των μελών. Η αρχική φάση του CoP 5.0 πραγματοποιήθηκε από τον Νοέμβριο του 2023 έως τον Μάιο του 2024. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα μέλη χωρίστηκαν σε δύο ομάδες εργασίας, με σκοπό την συζήτηση και ανάλυση των επιθυμητών αποτελεσμάτων από την υιοθέτηση της Βιομηχανίας 5.0, καθώς και προκλήσεων και τρόπους αντιμετώπισης τους. Παράλληλα, θα πραγματοποιηθεί μια συνολική χαρτογράφηση του επιπέδου της Βιομηχανίας 5.0 στην Ευρώπη και θα καθοριστούν μελλοντικοί προσανατολισμοί και στόχοι.



Πιθανές προκλήσεις που ανακύπτουν από την υιοθέτηση της Βιομηχανίας 5.0 έχουν ως εξής (Xun Xu, 2021):

1. Ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων: Οι εργαζόμενοι καλούνται να αναπτύξουν τις ψηφιακές τους δεξιότητες προκειμένου να είναι σε θέση να χειρίζονται και να δίνουν τις σωστές πληροφορίες στις προηγμένες τεχνολογίες.
2. Υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών: Η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών απαιτεί σημαντική επένδυση χρόνου, προσπάθειας και κόστους από το εργατικό δυναμικό και την επιχείρηση.
3. Αυξημένο κόστος επένδυσης: Ενδεικτικά απαιτείται κόστος αγοράς, εγκατάστασης και εκπαίδευσης των αρμόδιων. Επομένως, αποτελεί μια σημαντική επένδυση.
4. Ασφάλεια: Η χρήση τεχνολογιών αυτοματισμού απαιτεί αξιόπιστα συστήματα ασφαλείας για την αποφυγή πιθανών κινδύνων, όπως υποκλοπή ευαίσθητων δεδομένων.

#### **2.4 Μηχατρονική - Αυτοματισμός**

Η μηχαντρονική (mechatronics) και ο αυτοματισμός (automation) είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι όροι, καθώς οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες στη βιομηχανία, όπως τα «έξυπνα μηχανήματα», βασίζονται στη μηχαντρονική για την ακριβή και αποδοτική λειτουργία τους. Με αυτόν τον τρόπο, η μηχαντρονική συμβάλλει καθοριστικά στην εξέλιξη και βελτίωση των συστημάτων αυτοματισμού, οδηγώντας σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ευελιξία στις βιομηχανικές εφαρμογές.

Αναλυτικότερα, η μηχαντρονική είναι ο συνεργιστικός συνδυασμός μηχανολογίας (mechanical engineering), ηλεκτρονικών (electronics), συστημάτων ελέγχου (controls engineering) και υπολογιστών, όλα ενσωματωμένα στη διαδικασία σχεδιασμού, για την λήψη σύνθετων αποφάσεων στη λειτουργία φυσικών συστημάτων (Γιαννατσής, 2015).

Η μηχαντρονική έχει συνδεθεί με πολλά διαφορετικά αντικείμενα όπως, των εγκαταστάσεων παραγωγής, του ελέγχου κίνησης, του ευφυούς ελέγχου, των ολοκληρωμένων συστημάτων, των αυτοκινούμενων συστημάτων, της μοντελοποίησης και του σχεδιασμού, των αισθητήρων, των μικροσυσκευών, καθώς επίσης και των ρομποτικών συστημάτων. Άλλες εφαρμογές της αφορούν τις ανεμογεννήτριες, τα συστήματα ασφαλείας και αυτοματισμού, καθώς και προϊόντα καθημερινής χρήσης, όπως το σύστημα ABS στα οχήματα (Πούντζας, 2021).

Για παράδειγμα, ένα βιομηχανικό ρομπότ (industrial robot) είναι μια προγραμματιζόμενη μηχανή, που διαθέτει κάποιου είδους ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά, όπως ο μηχανικός βραχίονας, στον οποίο προσομοιώνεται η δομή και λειτουργία του ανθρώπινου βραχίονα. Άλλα «έξυπνα» χαρακτηριστικά που μπορεί να διαθέτουν τα ρομπότ είναι: η προσαρμογή της λειτουργίας βάσει αισθητηριακών δεδομένων, η δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες μηχανές, η λήψη αποφάσεων, καθώς και η δυνατότητα κίνησης στο χώρο (Γιαννατσής, 2015).

Τα ρομπότ μπορεί να είναι αυτόνομα ή ημι - αυτόνομα και να κυμαίνονται από ιατρικά λειτουργικά ρομπότ, ρομπότ υποβοήθησης ασθενών, UAV drone και νανο-ρομπότ. Κάθε ρομπότ έχει διαφορετικό επίπεδο αυτονομίας, που κυμαίνεται από bots ελεγχόμενα από τον άνθρωπο έως και αυτόνομα bots που εκτελούν εργασίες χωρίς εξωτερικές επιρροές. Ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών δίνει την ευελιξία στα ρομπότ να επιτελούν μια ποικιλία καθηκόντων και εξηγεί γιατί η ρομποτική τεχνολογία θεωρείται για πολλούς η βάση για το σχεδιασμό μιας μελλοντικής μηχανής (Καραγκούνης, 2022).

Μια ακόμη σημαντική πτυχή της μηχανικής είναι η βιομηχανική, η οποία αποτελεί ένα διεπιστημονικό πεδίο που συνδυάζει βιολογία, μηχανική, ιατρική και ηλεκτρονική για την ανάπτυξη συστημάτων που ενσωματώνουν τεχνολογίες στο ανθρώπινο σώμα, όπως προσθετικά μέλη.

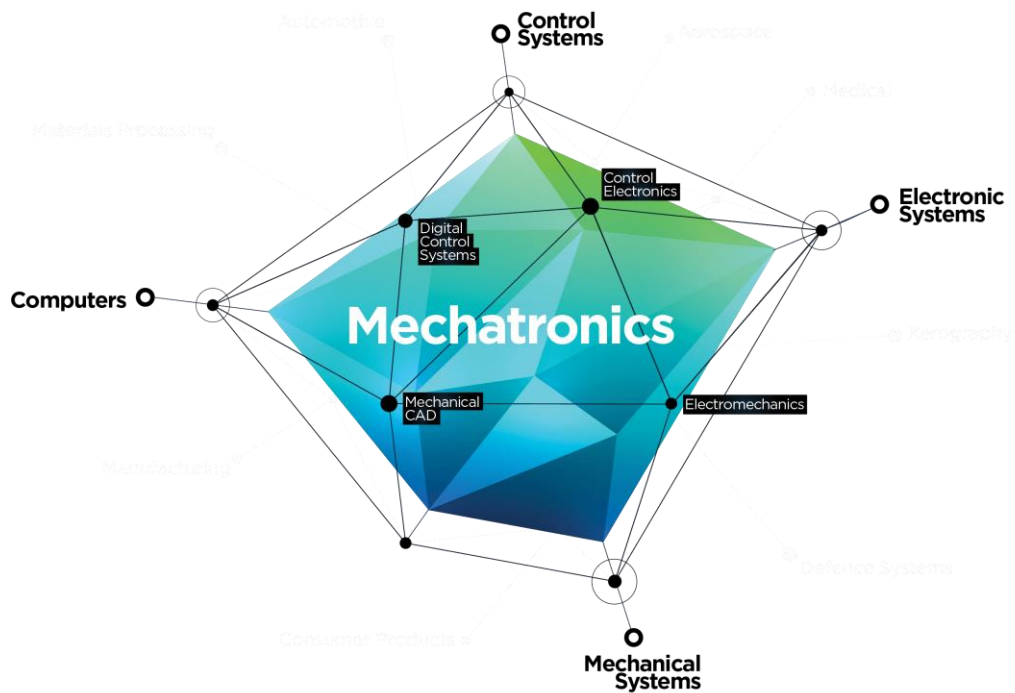
Ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται, κυρίως, από μηχανισμούς κίνησης και ελέγχου και αισθητήρες. Είναι ένα σύστημα, το οποίο ενσωματώνει την ψηφιακή επεξεργασία σήματος και την μεταφορά του σε ένα τελικό σημείο δράσης, δημιουργώντας κινήσεις ή ενέργειες. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα ολοκληρωμένο σύστημα με αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές-μικροελεγκτές (microcontrollers), καθώς και συστήματα δράσης (Πούντζας, 2021).

Το βασικό εργαλείο που φέρνει σε επαφή τον μικροελεγκτή με το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αισθητήρες. Οι αισθητήρες παρακολουθούν και μετρούν μια φυσική μεταβλητή (όπως θερμοκρασία, δύναμη, πίεση ή μετατόπιση). Μέσω των αισθητήρων καταγράφεται κάποιο ερέθισμα, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα (Γιαννατσής, 2015).

Επιπλέον, ένας μικροελεγκτής αποτελεί ένα μικρό υπολογιστικό κύκλωμα, που περιέχει μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας, έναν αριθμό καταχωρητών, κυκλώματα μνήμης και κυκλώματα ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Κάθε μικροελεγκτής ανταλλάσσει σήματα με το εξωτερικό περιβάλλον, εκτελεί πράξεις ανάμεσα σε μεταβλητές και καταχωρεί κάποιες τιμές στη μνήμη RAM (Πούντζας, 2021).

Ο τρόπος επικοινωνίας του χρήστη με τον μικροεπεξεργαστή, γίνεται μέσω του λογισμικού, στο οποίο ο προγραμματιστής γράφει τον κώδικα (εντολές) που απαιτείται να εκτελέσει ο μικροεπεξεργαστής, ο οποίος στη συνέχεια αποθηκεύεται στην μνήμη του (Γιαννατσής, 2015). Ο κώδικας αποτελεί μια τεχνητή γλώσσα που κατανοεί ο υπολογιστής, ενώ οι πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού είναι: Python, Java, C++, BASIC και Scratch (Καραγκούνης, 2022).

Ενδεικτικά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα μηχανικά συστήματα, έναντι άλλων συστημάτων, είναι μεγαλύτερη ακρίβεια, απλοποιημένη χρήση, χαμηλότερο κόστος, μεγαλύτερη ευελιξία στην εφαρμογή και προσαρμοστικότητα στον σχεδιασμό και επαναπρογραμματισμό (Πούντζας, 2021).



**Εικόνα 2.5** Αναπαράσταση των επιστημών / τεχνολογιών που αποτελούν την μηχανική (Parikh, 2021).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

Στην δεκαετία του 1990, ο μέσος χρόνος, που χρειαζόταν μια εταιρεία για να διεκπεραιώσει όλες τις διαδικασίες παράδοσης εμπορεύματος από μια αποθήκη σε έναν πελάτη, κυμαινόταν



από 15 έως 30 ημέρες (διάρκεια κύκλου απόδοσης). Η τυπική διαδικασία παραγγελίας-παράδοσης περιλάμβανε τη δημιουργία της παραγγελίας και τη μεταβίβασή της, η οποία γινόταν συνήθως μέσω τηλεφώνου, φαξ, ηλεκτρονικής μεταβίβασης δεδομένων (electronic data interchange, EDI) ή δημόσιου ταχυδρομείου. Έπειτα, ακολουθούσε η επεξεργασία της παραγγελίας με χειροκίνητα ή υπολογιστικά συστήματα και η ανάθεση της παραγγελίας σε μια αποθήκη για διεκπεραίωση (Donald J. Bowersox, 2013).

Όταν προέκυπταν τυχόν κωλύματα (γεγονός που συνέβαινε αρκετά συχνά), όπως για παράδειγμα αν δεν υπήρχε απόθεμα, αν μια παραγγελία χανόταν ή μια μεταφορά κατευθυνόταν σε λάθος διεύθυνση, ο συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης του πελάτη αυξανόταν ραγδαία. Σε μια προσπάθεια υποστήριξης αυτού του μεγάλου και απρόβλεπτου χρόνου μέχρι την διανομή, η διατήρηση μεγάλων αποθεμάτων έγινε κοινή πρακτική, η οποία ωστόσο ισοδυναμεί με δέσμευση μεγάλων κεφαλαίων.

Αυτές οι επιχειρηματικές πρακτικές του 20ου αιώνα, καθώς και η δομή των καναλιών διανομής που χρησιμοποιούνταν για την ολοκλήρωση της παράδοσης, εξελίχθηκαν μέσα από την βιομηχανική επανάσταση. Δεδομένης της γρήγορης ανάπτυξης της τεχνολογίας, της πληροφορικής και της προσβασιμότητας στο διαδίκτυο, οι επιθυμίες των καταναλωτών μετατοπίστηκαν από την παθητική παραγγελία στην ενεργό συμμετοχή στις διαδικασίες σχεδιασμού και παράδοσης των προϊόντων και υπηρεσιών. Οι μεταφορές του σήμερα υποστηρίζονται από εξελιγμένα πληροφοριακά συστήματα με δυνατότητα συνεχούς ανίχνευσης των φορτίων και λήψης σχεδόν άμεσης ειδοποίησης για καθυστερημένες παραδόσεις, διευκολύνοντας την ορατότητα, την προβλεψιμότητα και την ακρίβεια στους χρόνους παράδοσης. Αυτή η συνδεσιμότητα μεταξύ συνεργαζόμενων επιχειρηματικών οργανισμών κινεί μια νέα τάξη σχέσεων, η οποία καλείται διοίκηση εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management) και προβλέπει μια αυξανόμενη διοικητική δέσμευση απέναντι στα μηδενικά λάθη, ή αλλιώς σε αυτό που συχνά αποκαλείται απόδοση six-sigma (Donald J. Bowersox, 2013).

Τα ανωτέρω εισαγάγουν την «επανάσταση» της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain, SC). Με τον όρο εφοδιαστική αλυσίδα νοείται η ροή υλικών, πληροφοριών και υπηρεσιών από τους προμηθευτές πρώτων υλών, τις διαδικασίες παραγωγής και τις αποθήκες, στους τελικούς πελάτες. Στην πραγματικότητα, οι εφοδιαστικές αλυσίδες είναι δίκτυα, τα οποία αποτελούνται από συνδεδεμένες και αλληλοεξαρτώμενες οργανώσεις που λειτουργούν από κοινού σε ένα κλίμα συνεργασίας, για να ελέγξουν, να διευθύνουν και να βελτιώσουν την ροή των υλικών και των πληροφοριών από τους προμηθευτές στους τελικούς χρήστες. Ένα δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει προμηθευτές, μεσάζοντες αποθήκες, εταιρείες παροχής υπηρεσιών (όπως Third Party Logistics, 3PL), κέντρα διανομής και πελάτες (Γιαννακούλης, 2020).

Σύμφωνα με τα στοιχεία έρευνας που υλοποιήθηκε το 2013, ο κλάδος της εφοδιαστικής αλυσίδας σε ποσοστό του Ακαθάριστου Εγχώριου προϊόντος (ΑΕΠ) καταλαμβάνει το 10% παγκοσμίως, ενώ ο κλάδος των μεταφορών αναπτύσσεται με ρυθμό 7% κάθε έτος. Συγκεκριμένα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) η προστιθέμενη αξία της εφοδιαστικής αλυσίδας ανέρχεται στα 228,4 δισ. ευρώ, ο κύκλος εργασιών έφτασε κατ' εκτίμηση τα 0,7 τρις. ευρώ, ενώ δημιουργήθηκαν περίπου 3,7εκ. θέσεις εργασίας (Αλέξη, 2020).

Όσον αφορά την Ελλάδα, την τελευταία 20ετία παρατηρείται αύξηση στις εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες, που ενδεικτικά αφορούν την είσοδο διάφορων πολυεθνικών, οι οποίες είχαν

ενσωματώσει αντίστοιχες εφαρμογές, την ανάπτυξη ελληνικών επιχειρήσεων και την επακόλουθη ανάγκη τους για επέκταση, καθώς και την διεθνοποίηση και τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς.

Ορόσημα στην εξέλιξη των logistics στην Ελλάδα ήταν οι Ολυμπιακοί Αγώνες του 2004, όπου σε αυτή τη χρονική περίοδο η αγορά των μεταφορών και της αποθήκευσης γνώρισε αύξηση περίπου 12,8%. Ωστόσο, με την οικονομική κρίση των τελευταίων ετών, οι κύριες δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας παρουσίασαν ραγδαία πτώση, λόγω της αύξησης τους κόστους των καυσίμων και των μετακινήσεων, καθώς και των προβλημάτων ρευστότητας. Τέλος, στα ανωτέρω έρχεται να προστεθεί και η πρόσφατη κρίση από την πανδημία Covid-19 (Αλέξη, 2020).

### **3.1. Η αξία της εφοδιαστικής αλυσίδας και η σημασία των logistics**

Μέσα στα πλαίσια της διοίκησης εφοδιαστικής αλυσίδας μιας εταιρείας, τα logistics αφορούν όλες τις εργασίες που απαιτούνται για τη μετακίνηση και τη γεωγραφική τοποθέτηση των αποθεμάτων. Έτσι, τα logistics είναι ένα υποσύνολο που εμφανίζεται μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα logistics είναι η διαδικασία που δημιουργεί αξία, διαχειριζόμενη χρονικά και χωροταξικά τα αποθέματα. Τα logistics συνδυάζουν τη διοίκηση παραγγελιών, με τη διαχείριση αποθεμάτων, μεταφορών, αποθηκών, υλικών και συσκευασιών. Τα ολοκληρωμένα συστήματα logistics εξυπηρετούν την σύνδεση και τον συγχρονισμό της συνολικής εφοδιαστικής αλυσίδας ως μιας συνεχούς διαδικασίας (Donald J. Bowersox, 2013).

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια της αξίας στην εφοδιαστική αλυσίδα, θα πρέπει να αναφερθούν οι τρεις (3) πτυχές της αξίας (Donald J. Bowersox, 2013):

1. Οικονομική αξία: Η οικονομική αξία χτίζει πάνω στις οικονομίες κλίμακας των λειτουργιών, ως πηγές αποδοτικότητας. Οι οικονομίες κλίμακας επιζητούν την πλήρη αξιοποίηση των παγίων, προκειμένου να επιτυγχάνουν το χαμηλότερο συνολικό τελικό κόστος παράδοσης. Η οικονομική αξία έχει να κάνει με το να γίνονται τα πράγματα με το καλύτερο δυνατό τρόπο. Αυτό που παίρνει ο πελάτης από την οικονομική αξία είναι υψηλή ποιότητα σε χαμηλή τιμή (στρατηγική αγορών / παραγωγής).
2. Αγοραία αξία: Η αγοραία αξία έχει να κάνει με την παρουσίαση μιας ελκυστικής συλλογής προϊόντων στο σωστό χρόνο και τόπο, ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματικότητα. Η αγοραία αξία εστιάζει στην επίτευξη οικονομικών φάσματος στην παρουσίαση προϊόντων και υπηρεσιών, όπως είναι για παράδειγμα τα εμπορικά κέντρα με πληθώρα εμπορευμάτων, τα λιανικά καταστήματα μεγάλης κλίμακας εμπορευμάτων και οι ιστοσελίδες με πολλαπλούς προμηθευτές (στρατηγική αγοράς / διανομής).
3. Αξία συνάφειας: Η αξία συνάφειας σημαίνει ότι τα σωστά προϊόντα και υπηρεσίες (αγοραία αξία), στη σωστή τιμή (οικονομική αξία), τροποποιούνται με τρόπο που να δημιουργεί αξία για κάθε συγκεκριμένο πελάτη. Για παράδειγμα, στην παραγωγή και στη συναρμολόγηση, η αξία συνάφειας επιτυγχάνεται με την ενοποίηση συγκεκριμένων εξαρτημάτων σε προϊόντα, έτσι ώστε να αυξάνεται η λειτουργικότητα, σύμφωνα με τις επιθυμίες ενός συγκεκριμένου πελάτη (στρατηγική εφοδιαστικής αλυσίδας).

Η ταυτόχρονη επίτευξη των τριών ανωτέρω αξιών απαιτεί την συνολική ολοκλήρωση της επιχειρηματικής διαδικασίας. Οι συνθήκες ύπαρξης μιας ολοκληρωμένης εφοδιαστικής αλυσίδας δημιουργούνται από τη συνεργασία πολλών επιχειρήσεων και την ευθυγράμμιση τους με τους πελάτες και τα υποστηρικτικά δίκτυα διανομής και προμηθειών. Η συνέργεια των ενδιαφερόμενων μερών δημιουργεί ροές πληροφοριών, προϊόντων και υπηρεσιών, των οποίων το αποτέλεσμα είναι η συνολική αξία και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Τα logistics προσθέτουν αξία στη διαδικασία της εφοδιαστικής αλυσίδας όταν τα αποθέματα τοποθετούνται στρατηγικά, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται πωλήσεις. Η επίτευξη του χαμηλότερου δυνατού συνολικού κόστους σημαίνει ότι οι οικονομικοί και ανθρώπινοι πόροι που δεσμεύονται στο πεδίο των logistics θα πρέπει να διατηρούνται στο ελάχιστο δυνατό.

Όλες οι δραστηριότητες των logistics συνδέονται σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία, μέσω των πληροφοριακών συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply chain information systems - SCIS). Ένα αναλυτικό SCIS υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων και αναφέρει τις ενέργειες που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των λειτουργιών και του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας (Donald J. Bowersox, 2013).

Τα Πληροφοριακά Συστήματα Διαχείρισης άρχισαν να αναπτύσσονται τη δεκαετία του 1960 και χαρακτηρίζονταν από τη χρήση συστημάτων για τη δημιουργία περιοδικών αναφορών διαχείρισης. Μέχρι τη δεκαετία του 1970 και του 1980, η ανάπτυξη της τεχνολογίας ενίσχυσε την αποτελεσματικότητά τους, με ταυτόχρονη αύξηση του κόστους τους (Σακατζιάδης, 2021).

Η αρχή ενός πληροφοριακού συστήματος ξεκινάει από την συλλογή των κατάλληλων δεδομένων, δηλαδή από την πλήρη περιγραφή ενός αντικειμένου ή μίας οποιασδήποτε συναλλαγής και καταλήγει στην δημιουργία επιθυμητών πληροφοριών. Επομένως, σκοπός είναι η καταγραφή όλων αυτών των στοιχείων σε μία βάση δεδομένων, όπου με τη χρήση στατιστικών εργαλείων θα γίνεται λήψη αποφάσεων που θα στοχεύουν στο βέλτιστο κέρδος.

Γνωστά πληροφορικά συστήματα είναι τα εξής (Σακατζιάδης, 2021):

- SCMS – supply chain management systems, τα οποία επιτρέπουν στις εταιρείες να χειρίζονται αποτελεσματικά τη ροή αγαθών από τους προμηθευτές προς τους πελάτες.
- OAS – Office Automation Systems, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν εργασίες γραφείου, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τηλεδιάσκεψη, μεταφορά αρχείων).
- KMS – Knowledge Management Systems, βασίζονται σε τεχνολογίες πληροφορικής και υποστηρίζουν τη δημιουργία, την οργάνωση και την διάδοση επιχειρηματικών γνώσεων στο ανθρώπινο δυναμικό μιας επιχείρησης.
- OLTPS – Online Transaction Processing Systems, είναι συστήματα που καταγράφουν και πραγματοποιούν τις καθημερινές συναλλαγές που είναι απαραίτητες για την ορθή λειτουργία μιας επιχείρησης, όπως τις προμήθειες υλικών, διαχείριση υπολοίπων πελατών, έλεγχο ποιότητας και μισθοδοσίες. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν πληροφορίες και δεδομένα σε άλλα πληροφοριακά συστήματα, όπως τα DSS (Decision Support Systems).
- ERP – Enterprise Resource Planning, αποτελεί μια κατηγορία λογισμικού διαχείρισης επιχειρήσεων - συνήθως μια σειρά ολοκληρωμένων εφαρμογών - που μπορεί να χρησιμοποιεί ένας οργανισμός για τη συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση και ερμηνεία δεδομένων από πολλές επιχειρηματικές δραστηριότητες.

- ESS – Executive Support Systems, αποτελεί ένα σύστημα πληροφοριών που έχει σχεδιαστεί για τη δημιουργία πληροφοριών, ώστε να παρουσιάζουν ολόκληρη τη λειτουργία της εταιρείας σε μια πιο απλοποιημένη έκδοση.
- MIS – Management Information Systems, περιέχει συστήματα υπολογιστών που υποστηρίζουν την λειτουργική διαχείριση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συναλλαγών. Τα συστήματα πληροφοριών διαχείρισης (MIS) χρησιμοποιούν τα δεδομένα που συλλέγονται από το TPS για να παρέχουν στους αρμόδιους τις απαραίτητες εκθέσεις ελέγχου.
- DSS – Decision Support Systems, είναι ένα είδος οργανωτικών συστημάτων πληροφορικής, που διευκολύνουν την διοίκηση στη λήψη αποφάσεων, σε καταστάσεις όπου υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τα πιθανά αποτελέσματα.

### **3.2 Βασικές λειτουργίες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας**

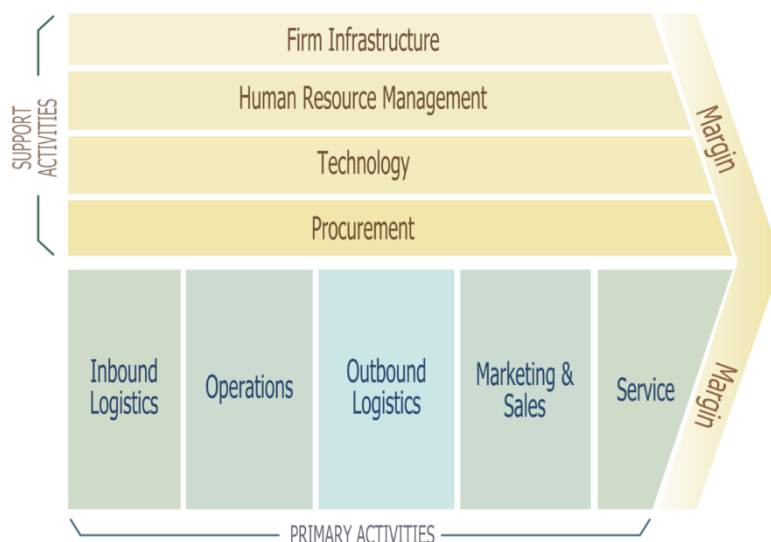
Όλο το εύρος ενεργειών που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένα προϊόν ή υπηρεσία περιγράφεται από την αλυσίδα αξίας του Porter. Σύμφωνα με τον Porter, για να διαπιστώσει μια επιχείρηση αν έχει πραγματικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, δηλαδή μέγιστη αξία και απόδοση της κάθε δραστηριότητας, θα πρέπει να κάνει ανάλυση της αλυσίδας αξίας της και των ενεργειών που την αποτελούν (Απέργης, 2020).

Ο Porter χώρισε τις δραστηριότητες αυτές σε δύο κατηγορίες: κύριες (primary) και υποστηρικτικές (support). Οι κύριες δραστηριότητες είναι ζωτικές στην αξία της αλυσίδας και έχουν ως εξής (Απέργης, 2020):

1. Αποθήκευση και διαχείριση αποθεμάτων (Inbound Logistics)
2. Ενέργειες για μετατροπή πρώτων υλών σε τελικό προϊόν (Operations)
3. Ενέργειες για διανομή του προϊόντος στον καταναλωτή (Outbound Logistics)
4. Στρατηγικές για αύξηση αναγνωρισιμότητας σε στοχευμένο κοινό (Marketing & Sales)
5. Υπηρεσίες για βελτίωση της εμπειρίας του καταναλωτή, όπως υποστήριξη και συντήρηση (Service)

Ο ρόλος των υποστηρικτικών είναι να συμβάλλουν στην αύξηση της απόδοσης των κύριων δραστηριοτήτων και περιλαμβάνουν (Απέργης, 2020):

1. Την προμήθεια των πρώτων υλών (Procurement)
2. Την ανάπτυξη τεχνολογιών για βελτιστοποίηση παραγωγής (Technological development)
3. Την ανάπτυξη δεξιοτήτων ανθρώπινου δυναμικού (HR)
4. Τις λειτουργίες των επιμέρους τμημάτων μιας επιχείρησης (Infrastructure)



**Εικόνα 3.1** Η αλυσίδα αξίας του Porter (Singh, 2009).

Με γνώμονα ότι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων λειτουργιών των επιχειρήσεων, οι ανωτέρω δραστηριότητες θα πρέπει να διέπονται από ένα σύστημα αρχών. Το σύστημα διασφαλίζει τόσο την ομαλή λειτουργία όσο και την αποτελεσματικότητά της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς η διαχείριση επικεντρώνεται στη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη δομή της, τον συντονισμό της κυκλοφορίας των προϊόντων και των υπηρεσιών και την απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (Μπάιος, 2024). Συγκεκριμένα, οι αρχές έχουν ως εξής (Γιαννακούλης, 2020):

1. Ταξινόμηση των πελατών βάσει των αναγκών εξυπηρέτησης τους: Η αποδοτική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ομαδοποιεί των πελατολόγιο βάσει των ξεχωριστών αναγκών εξυπηρέτησης τους, ανεξάρτητα από τον επαγγελματικό τους τομέα και κατόπιν προσαρμόζει τις παρεχόμενες υπηρεσίες στις ανάγκες τους.
2. Εστίαση στις απαιτήσεις της αγοράς: Οι πωλήσεις και ο σχεδιασμός των προϊόντων και υπηρεσιών θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα, ώστε να είναι εφικτή η έγκαιρη διάγνωση των μεταβολών που θα υλοποιηθούν στη ζήτηση, με στόχο την βέλτιστη διαχείριση της αποθήκης.
3. Στρατηγική διαχείριση των προμηθειών: Το μοίρασμα των κερδών, είναι ο πλέον σύγχρονος και αποτελεσματικός τρόπος, για τη στρατηγική διαχείριση των προμηθειών.
4. Ανάπτυξη μιας ευρείας τεχνολογικής στρατηγικής της εφοδιαστικής αλυσίδας: Ενσωμάτωση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνίας στο ευρύ φάσμα των λειτουργιών της αλυσίδας, προκειμένου να διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων και να αντιμετωπίζονται εγκαίρως τυχόν προβλήματα.
5. Υιοθέτηση δεικτών μέτρησης της απόδοσης: Εφαρμογή συστημάτων που αποτελούνται από οικονομικές παραμέτρους και από παραμέτρους που σχετίζονται με το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών σε κάθε κρίκο της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Από τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα, ότι η δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος αποτελεί συνάρτηση του τρόπου με τον οποίο μια επιχείρηση διαχειρίζεται



το σύστημα αξίας και συντονίζει τις δικές της δραστηριότητες με εκείνες των προμηθευτών, των καναλιών διανομής και των αγοραστών (Γιαννακούλης, 2020).

### **3.3 Logistics**

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των logistics περιλαμβάνουν την οργάνωση και διαχείριση των μεταφορών, τον έλεγχο των αποθεμάτων, την καταγραφή και αποθήκευση των πληροφοριών και την διασφάλιση των χρόνων παράδοσης και της ποιότητας.

Ειδικότερα, στα σύγχρονα βιομηχανικά logistics είναι αναγκαία η ροή της πληροφορίας για να μπορεί να προγραμματίζεται και να ελέγχεται κάθε φάση της εφοδιαστικής αλυσίδας με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ο σχεδιασμός του συστήματος θα πρέπει να παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες για την σωστή διαχείριση της αποθήκης, της μεταφοράς και των προϊόντων. Αυτή η ολιστική διαχείριση είναι εφικτή μέσω του συνδυασμού: των λειτουργιών της παραγωγικής διαδικασίας (δηλαδή να προγραμματίζεται η παραγωγή, να βελτιστοποιούνται οι ροές εφοδιασμού υλικών και να οργανώνονται οι χώροι της αποθήκης), των διαδικασιών προμήθειας των πρώτων υλών (δηλαδή να επιλέγονται και να ελέγχονται οι προμηθευτές και να προγραμματίζονται οι αγορές) και των λειτουργιών marketing (συσκευασία προϊόντων, διαφημιστικές καμπάνιες και ανάπτυξη νέων προϊόντων) (Μπάιος, 2024).

Με τον τρόπο αυτό, συγκροτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διοίκησης, που βοηθάει στη διαρκή παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας του κόστους, ενώ μετράει και αξιολογεί διαρκώς το σύνολο του συστήματος των logistics.

Εντούτοις, η συνεχής ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου έχει επεκτείνει το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των λειτουργιών των logistics. Στο πλαίσιο αυτό, κατά την διεκπεραίωση των λειτουργιών τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν: ο χρόνος από την παραγγελία μέχρι την παράδοση, η συμβατότητα με τους νόμους και τους κανονισμούς όλων των κυβερνητικών φορέων (που προϋποθέτει μια περίπλοκη τεκμηρίωση των επιχειρηματικών συναλλαγών), η ποικιλομορφία στις εργασιακές πρακτικές, οι πολιτισμικές διαφορές στις απαιτήσεις των καταναλωτών και τέλος θέματα ασφαλείας (Donald J. Bowersox, 2013).

Οι εταιρείες που αποδίδουν καλύτερα σε αυτά τα νέα δεδομένα, συνήθως χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες πληροφορικής, που τους επιτρέπουν να παρακολουθούν τις διαδικασίες διεθνώς σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η λήψη διορθωτικών ενεργειών πριν την εμφάνιση τυχόν κωλύματος.

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ ως το 2025, οι μεταβολές που προκαλούνται από την Βιομηχανία 4.0 θα επιφέρουν μια θεμελιώδη αλλαγή στη σχετική ροή πληροφοριών και αυτό επηρεάζει ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Ως αποτέλεσμα τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων, υποστηρίζουν την εισαγωγή «έξυπνων» συσκευών που επιτρέπουν τον έλεγχο των σύγχρονων διαδικασιών logistics στην αγορά, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της ιδέας Logistics 4.0, η οποία συνδυάζει διαδικασίες και τεχνικές που υποστηρίζουν εσωτερικές διαδικασίες στις αλυσίδες εφοδιασμού. Η αιχμή των Logistics 4.0 είναι η χρήση κυβερνο - φυσικών συστημάτων που παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διεργασίες, όπως η τεχνολογία ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency Identification, RFID). Αυτά τα συστήματα είναι σε θέση να επικοινωνούν με ανθρώπους ή με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο ως μέσο επικοινωνίας, έτσι ώστε να μπορούν να καταγράφονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να συντονίζονται οι διαδικασίες. Πολλές εταιρείες μεταφοράς και logistics χρησιμοποιούν συστήματα RFID για να επιτύχουν σχεδόν

100% ακρίβεια αποστολής, παραλαβής και παραγγελίας, 99,5% ακρίβεια αποθέματος και 30% ταχύτερη επεξεργασία παραγγελιών και μείωση του κόστους εργασίας. Με αυτό τον τρόπο, τα συστήματα RFID βελτιώνουν την ορατότητα σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού (Σακατζιάδης, 2021).

Οι εξαιρετικά δυναμικές και αβέβαιες αγορές και τα τεράστια δίκτυα logistics απαιτούν νέες μεθόδους, προϊόντα και υπηρεσίες. Επιπλέον, η έκρηξη στον όγκο των δεδομένων είναι αναπόφευκτη σήμερα λόγω της ανάγκης για καταγραφή από πολλές πηγές, συμπεριλαμβανομένων αυτόνομων οχημάτων, ρομπότ και άλλων «έξυπνων» μηχανών. Εν κατακλείδι υπάρχουν τρεις βασικές προκλήσεις για τις εταιρείες logistics (Σακατζιάδης, 2021):

1. Συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων
2. Ασφάλεια δεδομένων και έλλειψη προτύπων
3. Έλλειψη ψηφιακής στρατηγικής

### **3.4 Προκλήσεις στην σύγχρονη εφοδιαστική αλυσίδα**

Η παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί ένα σύνθετο και κρίσιμο τομέα του παγκόσμιου εμπορίου, που επιδιώκει την ομαλή διακίνηση αγαθών από τον παραγωγό στον καταναλωτή. Ωστόσο, στο πέρασμα του χρόνου έχουν παρουσιαστεί σημαντικά προβλήματα, όπως διαταραχές στην παραγωγή και καθυστερήσεις στις μεταφορές. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν ελλείψεις σε βασικά αγαθά, αύξηση του κόστους και αστάθεια στις αγορές. Περαιτέρω αδυναμίες της εφοδιαστικής αλυσίδας αναδύθηκαν μέσω της πανδημίας του COVID-19, οδηγώντας σε εκτεταμένες καθυστερήσεις και αναδεικνύοντας την ανάγκη για μεγαλύτερη ευελιξία και ανθεκτικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το 2024 οι συνθήκες του παγκόσμιου εμπορίου διαμορφώνονται από διάφορους παράγοντες, όπως οι γεωπολιτικές εντάσεις, οι ελλείψεις εργατικού δυναμικού και πρώτων υλών, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι τεχνολογικές εξελίξεις (Sild, 2024). Συγκεκριμένα, η επιδίωξη επέκτασης σε εναλλακτικές αγορές και η διαθεσιμότητα προηγμένων τεχνολογιών εντείνουν τον ανταγωνισμό στην αγορά, ο οποίος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης, με παράλληλη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και της εμπειρίας των πελατών (Truein, 2024).

Επιπλέον, η αναπτυσσόμενη ψηφιοποίηση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας καθιστά τις επιχειρήσεις επιρρεπείς σε κυβερνοαπειλές, όπως σε παραβιάσεις δεδομένων. Η κυβερνοασφάλεια (cyber - security) αναδεικνύεται ως κρίσιμη πτυχή της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ οι ευπάθειες της ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο ευαίσθητες πληροφορίες, να διαταράξουν τις λειτουργίες και να προκαλέσουν καθυστερήσεις στην παραγωγή και τη διανομή (Truein, 2024).

Λόγω των μέτρων που εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της πανδημίας, σημειώθηκε σημαντική αύξηση των παραγγελιών, άνοδος των τιμών σε πολλά προϊόντα και υπηρεσίες και σημαντικές καθυστερήσεις στις παραδόσεις εξαιτίας των πολλαπλών σημείων συμφόρησης (bottleneck), αναδεικνύοντας τον ισχυρό βαθμό διασύνδεσης του κόσμου. Οι επιχειρήσεις που διέθεταν δικό τους σύστημα διανομής απέκτησαν σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, το οποίο εκμεταλλεύτηκαν επεκτείνοντας τη χωρητικότητα των αποθηκευτικών τους χώρων. Από την άλλη πλευρά, οι επιχειρήσεις που δεν είχαν αναπτύξει εσωτερικό σύστημα διανομής αναγκάστηκαν να στηριχθούν σε υπηρεσίες τρίτων (3PL), γεγονός που οδήγησε σε αυξημένους χρόνους παράδοσης και υψηλότερα κόστη. Επιπλέον, η πανδημία επηρέασε και

τα δίκτυα διανομής, εξαλείφοντας ορισμένα στάδια της αλυσίδας και φέρνοντας τον τελικό καταναλωτή σε άμεση επαφή με τον παραγωγό, με αποτέλεσμα τον αποκλεισμό μικρότερων επιχειρήσεων από την αγορά (Μπάιος, 2024).

Εν συνεχεία η ενεργειακή κρίση, συνακόλουθη του ξεσπάσματος του πολέμου στην Ουκρανία, έφερε αντιμέτωπες τις επιχειρήσεις με άγνωστες συνθήκες, τις οποίες έπρεπε να αντιμετωπίσουν άμεσα και αποτελεσματικά. Συγκεκριμένα, υπήρχε μια σειρά από συνέπειες, όπως η έλλειψη που παρατηρήθηκε σε κοντέινερ, αλλαγές στα δρομολόγια και ελλείψεις σε εργατικό δυναμικό, πυροδοτώντας μια παγκόσμια επισιτιστική κρίση (Μπάιος, 2024). Ωστόσο, η γεωπολιτική αστάθεια είναι παγκόσμιο φαινόμενο, με τα Ηνωμένα Έθνη να αναφέρουν το 2023 περισσότερες βίαιες συγκρούσεις, παγκοσμίως, σε σύγκριση με τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Συνεπώς, η παγκόσμια κατάσταση είναι ανησυχητική προκαλώντας σοβαρά ζητήματα στην εφοδιαστική αλυσίδα (Sild, 2024).

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την κλιματική κρίση, αποτέλεσαν έναυσμα για την πολύ μεγάλη ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα, την εκτίναξη του πληθωρισμού και την ραγδαία αύξηση του λειτουργικού κόστους των επιχειρήσεων (Μπάιος, 2024). Ειδικότερα, η έντονη ξηρασία πλήττει σημαντικά τις κύριες οδούς θαλάσσιας μεταφοράς, με τις χαμηλές στάθμες νερού να περιορίζουν την διέλευση των πλοίων. Ο αποκλεισμός τμημάτων του ποταμού Yangtze το 2022, που ευθύνεται για το 45% της παραγωγής της Κίνας, σε συνδυασμό με τις συνθήκες ξηρασίας στα δύο τρίτα της Ευρώπης, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις εφοδιαστικές αλυσίδες. Ο Ρήνος, με φαινόμενα που ξεκινούν από το 2018, ως και σήμερα (Hogan, 2024) παρουσιάζει πολύ χαμηλή στάθμη νερού, με αποτέλεσμα τα πλοία να μεταφέρουν μόνο το ένα τέταρτο του συνήθους φορτίου τους. Τα εν λόγω πλοία είναι απαραίτητα για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα και φυσικού αερίου, προκειμένου να αποφευχθούν ελλείψεις ενέργειας (Sarah Schiffing, 2022).

Τις συνθήκες θαλάσσιων μεταφορών δυσχεραίνουν ακόμη περισσότερο και τα φαινόμενα στην Ερυθρά Θάλασσα, αναγκάζοντας τα πλοία να αποφεύγουν τη Διώρυγα του Σουέζ και να παρακάμπτουν την Αφρική. Αυτό το κλίμα αστάθειας έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του κόστους μεταφοράς και στην αναπροσαρμογή των εμπορικών διαδρομών, επηρεάζοντας αρνητικά τις διεθνείς οικονομίες. Οι ναύλοι έχουν αυξηθεί σημαντικά, με ορισμένες διαδρομές να καθίστανται έως και πέντε φορές πιο δαπανηρές. Η διαταραχή αυτή επηρεάζει έντονα το εμπόριο μεταξύ Ασίας και Ευρώπης, αυξάνοντας το κόστος μεταφοράς, το οποίο μετακυλιέται στους τελικούς καταναλωτές και εντείνει τις πληθωριστικές πιέσεις (Sild, 2024).

Λόγω του πληθωρισμού, το αυξανόμενο κόστος ζωής οδηγεί στη μείωση της ζήτησης, προκαλώντας αβεβαιότητα και δυσκολία στην ακριβή εκτίμηση των απαιτούμενων ποσοτήτων και αναγκών σε προϊόντα και υπηρεσίες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου του μαστιγίου (Bullwhip effect), το οποίο εξηγεί πως μια μικρή αλλαγή στην καταναλωτική ζήτηση, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές διακυμάνσεις στην παραγωγική διαδικασία. Έχει καταγραφεί ότι αν υπάρξει διακύμανση της τάξης του 5% στο κατώτερο στάδιο του λιανοπωλητή, η διακύμανση στο ανώτερο στάδιο του παραγωγού μπορεί να φτάσει το 40% (Μπάιος, 2024).

Καθόλου αμελητέες δεν ήταν και οι επιπτώσεις του Brexit, οι οποίες συνεχίζουν να υφίστανται στο παγκόσμιο δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς το Ηνωμένο Βασίλειο κατατάσσεται ως ανεξάρτητη οντότητα στους τομείς των τελωνειακών και εμπορικών νόμων. Για τον λόγο αυτό, οι αλυσίδες εφοδιασμού, ιδίως εκείνες με σύνδεση στο Ηνωμένο Βασίλειο, απαιτούν



αναδιάρθρωση προκειμένου να ευθυγραμμιστούν με τις σχετικές κανονιστικές απαιτήσεις (Sild, 2024).

Εντούτοις, εκτός από τις επιπτώσεις της πανδημίας, ανήλθαν στην επιφάνεια εγγενή προβλήματα της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως η έλλειψη διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας, η δυσκολία πρόβλεψης της ζήτησης, η ασταθής αποδοτικότητα της παραγωγής και της διανομής, η αμέλεια ως προς την ποιότητα των προϊόντων και υπηρεσιών, οι δυσμενείς συνθήκες του εργασιακού περιβάλλοντος, η έλλειψη ανθεκτικότητας, καθώς και η έλλειψη ειδικευμένου εργατικού δυναμικού (Μπάιος, 2024).

Εξίσου σημαντική είναι και η στρατηγική προμήθειας, η οποία δεν θα πρέπει να σταματάει στην απλή αναζήτηση του οικονομικότερου προμηθευτή και στα υπέρογκα αποθέματα, που αποτελούν δεσμευμένα κεφάλαια. Ο έλεγχος της σχέσης κόστους, κινδύνων, ποιότητας και αξιοπιστίας οδηγεί στην επίτευξη της μέγιστης αξίας από τις αγορές και εναρμονίζει τις επιχειρησιακές στρατηγικές με τη στρατηγική προμηθειών. Επιπλέον, συμβάλλει στη μείωση των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας, στην εξασφάλιση της έγκαιρης διαθεσιμότητας πρώτων υλών και στην εξισορρόπηση των επιπέδων αποθεμάτων (Sild, 2024).

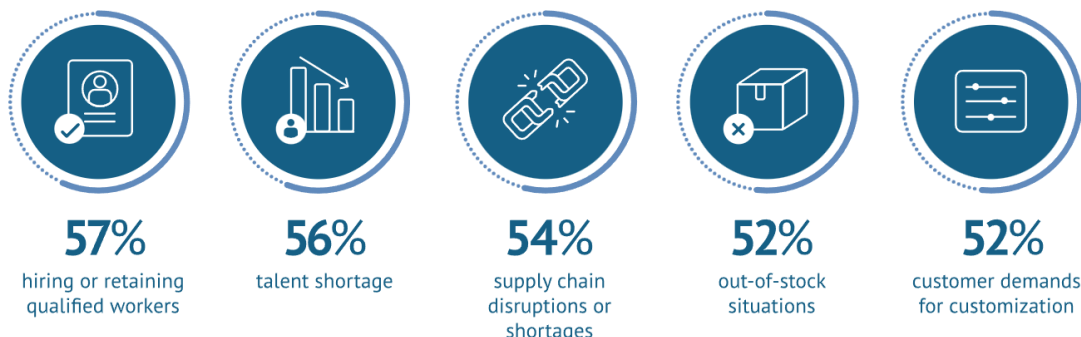
Ειδικότερα, στον τομέα των logistics τα εγγενή ζητήματα σχετίζονται με (Σακατζιάδης, 2021):

- Ανεπαρκή αυματοποίηση διαδικασιών
- Έλλειψη αποθηκευτικών χώρων με τις κατάλληλες προδιαγραφές, με αποτέλεσμα να μην γίνεται σωστή διαχείριση και να παρατηρούνται φαινόμενα αλλοίωσης προϊόντων.
- Αριθμητικές αποκλίσεις στα αποθέματα, πιθανόν λόγω ανθρώπινου λάθους.
- Φθορές κατά τη μεταφορά ή ακόμα και τραυματισμοί εργατικού δυναμικού, λόγω λανθασμένου χειρισμού του εξοπλισμού μεταφοράς (όπως παλετοφόρα).
- Έλλειψη βελτιστοποίησης των λειτουργιών.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με την «Ετήσια Έκθεση Βιομηχανίας» της MHI (Material Handling Industry) σε συνεργασία με την Deloitte το 2023 (βλ. εικόνα 3.2), οι ελλείψεις εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού και οι αιφνίδιες διακοπές των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας συνιστούν τις κύριες προκλήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας, ακολουθούμενες από ελλείψεις αποθεμάτων και δυσκολίες προσαρμογής στις αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών (Simmons, 2023).

# TOP SUPPLY CHAIN CHALLENGES

The top 5 issues rated very or extremely challenging by supply chain professionals



SOURCE: MHI and Deloitte, 2023

Fit Small Business

**Εικόνα 3.2** Τα αποτελέσματα της Ετήσιας Έκθεσης Βιομηχανίας» της MHI (Material Handling Industry) σε συνεργασία με την Deloitte το 2023 (Simmons, 2023).

### **3.5 Διαχείριση και αντιμετώπιση των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας**

Η αντιμετώπιση των πολύπλευρων προκλήσεων που ανακύπτουν στις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού το 2024 απαιτεί έναν συνδυασμό καινοτομίας, ευελιξίας και στρατηγικής προνοητικότητας. Πρωτοβουλίες, όπως η επένδυση σε ανθεκτικές υποδομές, η προώθηση συνεργασιών για την αύξηση της αποτελεσματικότητας και η ενσωμάτωσή της βιωσιμότητας σε όλα τα επίπεδα, δύναται να συμβάλουν στην αναδιαμόρφωση και ενίσχυση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, η συνεχής δέσμευση στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και η υιοθέτηση μιας νοοτροπίας δια βίου μάθησης, θα διασφαλίσουν ότι οι επαγγελματίες της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι έτοιμοι να διαχειρίζονται και να προβλέπουν τη δυναμική ενός ταχέως εξελισσόμενου παγκόσμιου εμπορίου (Sild, 2024).

Ειδικότερα, η Διαχείριση Κινδύνων Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Risk Management, SCRM) αποτελεί στρατηγική προσέγγιση, που υιοθετούν οι οργανισμοί προκειμένου να εντοπίσουν, να αξιολογήσουν και να μετριάσουν τους κινδύνους που σχετίζονται με τις διαδικασίες της αλυσίδας εφοδιασμού. Περιλαμβάνει την αναγνώριση πιθανών διαταραχών, τρωτών σημείων και αβεβαιοτήτων, οι οποίες ενδέχεται να επηρεάσουν την αποτελεσματική ροή αγαθών και υπηρεσιών από τους προμηθευτές στους τελικούς καταναλωτές. Ο κύριος στόχος του SCRM είναι η ενίσχυση της ανθεκτικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας στους οργανισμούς να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε απροσδόκητα γεγονότα, να ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιπτώσεις και να διατηρούν την λειτουργικότητα τους (Agnes Clare Odimarha, 2024).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι κίνδυνοι είναι είτε προβλέψιμοι είτε μη-προβλέψιμοι (απρόβλεπτοι). Τους προβλέψιμους κινδύνους κάθε επιχείρηση προσπαθεί να τους αντιμετωπίσει (περιορίσει ή εξαλείψει) μέσω της εταιρικής οργάνωσης και του τρόπου

λειτουργίας της, δηλαδή μέσω των πολιτικών, των διαδικασιών, των οδηγιών εργασίας, των ελέγχων που εφαρμόζει, του εξοπλισμού και των μέσων που διαθέτει. Για τους απρόβλεπτους κινδύνους κάθε επιχείρηση οφείλει να διαθέτει «διορατικότητα» και επίγνωση, να βρίσκεται σε εγρήγορση και να διαβλέπει πιθανή εμφάνισή τους έγκαιρα προβαίνοντας σε εκτιμήσεις, με αξιολόγηση σε καθορισμένη κλίμακα των παραμέτρων σοβαρότητας / έντασης και της πιθανότητας να συμβούν (Μπαλλάς).

Για να αντιδράσει ο κλάδος στα ανωτέρω προβλήματα, έχει προχωρήσει σε επανασχεδιασμό των εσωτερικών λειτουργιών, κάτι που αν συνδυαστεί με την τεχνολογία και τον ψηφιακό μετασχηματισμό, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις μεταβάλλουν το ύψος των αποθεμάτων τους, αλλά και τους προμηθευτές τους, ενώ έχουν εκπονηθεί πλήθος επιχειρηματικών σχεδίων για να αυξηθεί η ανθεκτικότητα και η βιωσιμότητα τους. Ένα εργαλείο που ενισχύει την προσπάθεια προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο ψηφιακός μετασχηματισμός των υπηρεσιών του κράτους, αλλά και των επιχειρήσεων. Οι προηγμένες τεχνολογίες υποστηρίζουν τις επιχειρήσεις να επικεντρωθούν πρώτα στις ανάγκες των πελατών τους και όχι στα τεχνικά χαρακτηριστικά των προϊόντων τους (Donald J. Bowersox, 2013).

Η σημασία της τεχνολογίας στην ενίσχυση του SCRM είναι ιδιαίτερα επιτακτική. Οι τεχνολογικές εξελίξεις παίζουν κεντρικό ρόλο στην παροχή εργαλείων και δυνατοτήτων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να εντοπίζουν, να αναλύουν και να αποκρίνονται σε κινδύνους σε πραγματικό χρόνο. Τεχνολογίες, όπως η καταγραφή και αποθήκευση των κατάλληλων δεδομένων, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το blockchain έχουν μετασχηματίσει τη διαχείριση κινδύνου εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι τεχνολογίες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των εφαρμογών RFID και IoT, διευκολύνουν την παρακολούθηση της κίνησης των αγαθών σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτή η αυξημένη ορατότητα προάγει τη γρήγορη αντιμετώπιση τυχόν καθυστερήσεων ή άλλων προβλημάτων και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων αξιοποιεί εκτενή σύνολα δεδομένων για την αναγνώριση μοτίβων, τάσεων και πιθανών κινδύνων, επιτρέποντας στους οργανισμούς να λαμβάνουν προληπτικές αποφάσεις βάσει δεδομένων. Το Blockchain διασφαλίζει την ακεραιότητα των συναλλαγών και των δεδομένων, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και την ιχνηλασιμότητα (Agnes Clare Odimarha, 2024). Πιο αναλυτική αναφορά για τις εν λόγω τεχνολογίες και τις εφαρμογές τους στην εφοδιαστική αλυσίδα, θα γίνει στα κεφάλαια 4 και 5.

Επιπλέον, η συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας επηρεάζεται άμεσα και από την λειτουργικότητα των logistics. Αξιοποιώντας τεχνολογίες, όπως τα αυτόνομα οχήματα, το λογισμικό βελτιστοποίησης διαδρομής και τον αυτοματισμό της αποθήκης, ενισχύεται η ανθεκτικότητα και η αποδοτικότητα των λειτουργιών τους. Ωστόσο, μία από τις κύριες προκλήσεις κατά την υιοθέτηση των προηγμένων τεχνολογιών είναι η ενοποίηση με τα υπάρχοντα παλαιού τύπου συστήματα, τα οποία στερούνται της ευελιξίας και της διαλειτουργικότητας που απαιτούνται για την απρόσκοπτη ενσωμάτωσή τους με τις νέες αυτές λύσεις.

Η απροθυμία αναπροσαρμογής από τα παλαιού τύπου συστήματα στα νέα, συνιστά σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών SCRM. Εξαιτίας αυτού, και από την κοινώς αποδεκτή θεωρία, η γνώση έχει καταστεί στρατηγικός πόρος αντιμετώπισης αντίστοιχων προβλημάτων («Εποχή / Οικονομία της γνώσης»). Η διαχείριση γνώσης ή «Knowledge

Management 4.0» είναι η διαδικασία εφαρμογής μιας συστηματικής προσέγγισης για τη σύλληψη, την οργάνωση, τη διαχείριση και τη διάδοση των γνώσεων σε μια επιχείρηση, με στόχο οι λειτουργίες της να διεκπεραιώνονται γρηγορότερα, να επαναχρησιμοποιούνται οι βέλτιστες πρακτικές και να μειωθεί η δαπανηρή επανάληψη παρόμοιων εργασιών από έργο σε έργο της επιχείρησης. Έτσι, η δημιουργία γνώσης παρέχει την ευκαιρία στις επιχειρήσεις να ενισχύσουν την αποδοτικότητα και να διατηρούν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022). Μελέτες σχετικά με τη σχέση μεταξύ της διαχείρισης γνώσης και των logistics, υπογραμμίζουν, επίσης, την σημασία της στην αντίστροφη εφοδιαστική, προκειμένου να μειωθεί το υψηλό επίπεδο αβεβαιότητας (Σακατζιάδης, 2021). Για την μεγιστοποίηση της αξίας των επιστρεφόμενων αγαθών, οι επιχειρήσεις θα πρέπει να εφαρμόζουν σαφείς πολιτικές επιστροφής και να καθορίσουν τις διαδικασίες επιστροφής. Επιπλέον, απαιτείται η αξιολόγηση των επιστρεφόμενων προϊόντων για τη μείωση των επιστροφών και των σχετικών δαπανών (Truein, 2024).

Ένα εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό είναι ικανό να μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των τεχνολογιών SCRM, με αποτέλεσμα τη μειωμένη αντίσταση στην αλλαγή και την αυξημένη αποδοχή των τεχνολογικών καινοτομιών. Η οικοδόμηση μιας κουλτούρας που ενθαρρύνει και ανταμείβει την καινοτομία κρίνεται απαραίτητη για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία των πρωτοβουλιών SCRM. Για τον λόγο αυτό, οι επιχειρήσεις πρέπει να αναπτύσσουν περιβάλλοντα που προάγουν τον πειραματισμό, τη συνεχή βελτίωση και την εξερεύνηση αναδυόμενων τεχνολογιών.

Οι ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων και το απόρρητο συνδέονται με την ανάγκη συμμόρφωσης προς διάφορους κανονισμούς που διέπουν την αποθήκευση και μετάδοση ευαίσθητων πληροφοριών. Διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και βιομηχανικοί τομείς, επιβάλλουν συγκεκριμένους κανονισμούς που εξασφαλίζουν την προστασία του απορρήτου, επιφέροντας αυξημένη πολυπλοκότητα στην εφαρμογή του SCRM. Επιπλέον, οι οργανισμοί πρέπει να εφαρμόζουν ισχυρά μέτρα κυβερνοασφάλειας, όπως κρυπτογράφηση, ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας και τακτικούς ελέγχους, ανατρέχοντας στα νομικά πλαίσια, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR).

Η συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων του κλάδου είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCRM). Η δημιουργία συνεργασιών για την ανταλλαγή δεδομένων επιτρέπει στους οργανισμούς να μοιράζονται πληροφορίες σχετικά με πιθανούς κινδύνους, τάσεις της αγοράς και βέλτιστες πρακτικές. Με την ανάπτυξη συνεργατικών πλατφορμών, οι ανταγωνιστές και οι συνεργάτες μπορούν να συμβάλουν στη συλλογική κατανόηση του περιβάλλοντος της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας πιο ενημερωμένες στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου. Οι κοινές γνώσεις ενισχύουν τη συλλογική ικανότητα εντοπισμού και μετριασμού των κινδύνων (Agnes Clare Odimarha, 2024).

Για τη διευκόλυνση της απρόσκοπτης συνεργασίας και της ανταλλαγής πληροφοριών, η τυποποίηση των τεχνολογιών είναι πρωταρχικής σημασίας. Η ανάπτυξη κοινών πρωτοκόλλων, διεπαφών και μορφών δεδομένων διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Η τυποποίηση μειώνει τα ζητήματα συμβατότητας, επιταχύνει την υιοθέτηση αναδυόμενων τεχνολογιών και ενισχύει τη συνολική αποτελεσματικότητα των λύσεων SCRM σε ολόκληρο τον κλάδο. Η διαλειτουργικότητα απλοποιεί την ενοποίηση και ενισχύει την επεκτασιμότητα των τεχνολογιών. Τα τυποποιημένα πλαίσια προάγουν ίσους όρους ανταγωνισμού και ενθαρρύνουν την ευρεία υιοθέτηση των τεχνολογιών.

Αναγκαία είναι η ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών σε κάθε τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς η κοινωνία εστιάζει ολοένα και περισσότερο σε περιβαλλοντικά, κοινωνικά και θέματα διακυβέρνησης, γεγονός που επιφέρει αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία των προϊόντων. Η νομοθεσία σχετικά με αθέμιτες πρακτικές γίνεται όλο και πιο αυστηρή, με τις Ηνωμένες Πολιτείες να έχουν θεσπίσει κανονισμούς που απαγορεύουν την πώληση αγαθών προερχόμενων από το Xinjiang της Κίνας, λόγω ανησυχιών σχετικά με καταναγκαστική εργασία και την Νορβηγία και την Γερμανία να έχουν υιοθετήσει νόμους που καθιστούν υπεύθυνες τις εταιρείες για τυχόν παραβιάσεις των ανθρωπίνων δικαιωμάτων στις αλυσίδες εφοδιασμού τους (Sild, 2024).

Συνολικά η βιωσιμότητα μιας επιχείρησης, διακρίνεται σε τέσσερις διαστάσεις (Donald J. Bowersox, 2013):

1. Περιβαλλοντική διάσταση, που περιλαμβάνει πρακτικές μείωσης της σπατάλης φυσικών πόρων και τον σημαντικό ρόλο της διοίκησης ως προς αυτή την κατεύθυνση.
2. Ηθική διάσταση, που σχετίζεται με τις λειτουργίες της επιχείρησης και το περιβάλλον εργασίας.
3. Εκπαιδευτική διάσταση, που εστιάζει στις εργασιακές σχέσεις και την ενίσχυση των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού.
4. Οικονομική διάσταση, που περιλαμβάνει ενδεικτικά τα γενικά βιομηχανικά έξοδα και τα κόστη μεταφοράς.

Συνοψίζοντας, η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από έντονη παγκοσμιοποίηση, ραγδαίες οικονομικές και πολιτικές αλλαγές στο διεθνές εμπόριο, αυξημένη ροή πληροφοριών και δεδομένων, έντονο επιχειρηματικό ανταγωνισμό, τεχνολογικές εξελίξεις, υψηλότερες προσδοκίες καταναλωτών και αβεβαιότητα.

Στα ανωτέρω, έρχεται να «απαντήσει» η ορθή διαχείρισή της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία αποτελεί κομβικό στοιχείο για τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα ολόκληρου του δικτύου εφοδιασμού.

Η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί πως τα δίκτυα εφοδιασμού πρέπει να αναπτύξουν ισχυρότερους τρόπους άμυνας στους συνεχώς αναδυόμενους κινδύνους, ενώ είναι αναγκαία η συνεργασία όλων των τμημάτων σε μια εφοδιαστική αλυσίδα. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση πρακτικών εφαρμογών προηγμένων τεχνολογιών, όπως τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση, ψηφιακά δίδυμα και εν γένει πρακτικές αυτοματοποίησης των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας (Donald J. Bowersox, 2013).

Επιπλέον, θα ήταν ωφέλιμη η αναζήτηση πρακτικών υιοθέτησης κυκλικής οικονομίας και «πράσινης» κουλτούρας, οι οποίες με την σωστή καθοδήγηση θα είναι προσιτές στην βιομηχανία, ενώ καίριας σημασίας είναι και η κατανόηση των δυνατοτήτων της ορθής και υπεύθυνης διαχείρισης κινδύνων εκ μέρους της διοίκησης. Η σύσταση μιας εξειδικευμένης ομάδας, σε συνεργασία με όλα τα τμήματα μιας επιχείρησης, είναι εφικτό να μεγιστοποιήσει την ανθεκτικότητα των λειτουργιών τους ως προς τους προβλέψιμους και τους απρόβλεπτους κινδύνους (Donald J. Bowersox, 2013).



Εικόνα 3.3 Η ολιστική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Robinson, 2024).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ - ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**



Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα και ταχύτερα αναπτυσσόμενα επιτεύγματα της επιστήμης και της τεχνολογίας. Βασικότερο πλεονέκτημα ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου στην βιομηχανία αποτελεί το γεγονός ότι οι παραγωγικές διαδικασίες μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικές και ταχύτερες, επιτρέποντας την παραγωγή μεγαλύτερου αριθμού προϊόντων σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής ανά μονάδα, τη μείωση του χρόνου παράδοσης και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας μιας επιχείρησης στην αγορά (Καπνουτζής, 2021).

Η εξέλιξη και η ανάπτυξη του αυτοματισμού άρχισε να παίρνει μια διαφορετική μορφή κατά την τρίτη βιομηχανική επανάσταση. Την δεκαετία του 1970, η βιομηχανική παραγωγή εξελίχθηκε ραγδαία μέσω της αυτοματοποίησης με ηλεκτρονικά και IT συστήματα και τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Παράλληλα, ήταν πλέον δυνατή η καταγραφή περισσότερων δεδομένων και η αποθήκευσή τους σε ψηφιακές βάσεις (Λέντζου, 2023).

Τα τρία βασικά δομικά στοιχεία ενός συστήματος αυτοματισμού είναι μια πηγή ενέργειας για την εκτέλεση των λειτουργιών, οι μηχανισμοί ελέγχου ανάδρασης και ο προγραμματισμός (Groover, 2024).

Μέσω του προγραμματισμού, με την μορφή λογικών εντολών, λαμβάνονται αυτόματα αποφάσεις κατά τη λειτουργία του συστήματος. Οι αποφάσεις μπορεί να αφορούν θέματα, όπως ανίχνευση και αποκατάσταση σφαλμάτων και βλαβών μέσω διορθωτικών ενεργειών, παρακολούθηση ασφάλειας (αποτροπή πιθανής επικίνδυνης συνθήκης για τον εξοπλισμό ή τους χειριστές), αλληλεπίδραση με τους χειριστές και βελτιστοποίηση διαδικασιών (ελαχιστοποίηση κόστους, βελτίωση ποιότητας) (Groover, 2024).

Επιπλέον, υπάρχουν τρεις (3) τύποι αυτοματισμού στην παραγωγή (Groover, 2024):

#### 1. Σταθερός Αυτοματισμός (Fixed / Hard Automation):

Ο σταθερός αυτοματισμός αναφέρεται σε μία αυτοματοποιημένη παραγωγική μονάδα, στην οποία η ακολουθία των διαδικασιών επεξεργασίας είναι καθορισμένη από τη διάταξη του εξοπλισμού. Στην ουσία, οι προγραμματισμένες εντολές ενσωματώνονται στις μηχανές με τη μορφή καλωδίσεων και άλλου εξοπλισμού, που δεν είναι εύκολο να αλλάξει από έναν τύπο προϊόντος σε άλλον. Αυτή η μορφή αυτοματισμού χαρακτηρίζεται από υψηλή αρχική επένδυση και υψηλά επίπεδα παραγωγής. Επομένως, είναι κατάλληλη για προϊόντα που κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες. Παραδείγματα σταθερού αυτοματισμού περιλαμβάνουν γραμμές μεταφοράς και επεξεργασίας στη βιομηχανία αυτοκινήτων και αυτόματες μηχανές συναρμολόγησης.

#### 2. Προγραμματιζόμενος Αυτοματισμός (Programmable Automation):

Ο προγραμματιζόμενος αυτοματισμός είναι μια μορφή αυτοματισμού για την παραγωγή προϊόντων σε παρτίδες. Τα προϊόντα κατασκευάζονται σε ποσότητες που κυμαίνονται από δεκάδες ως χιλιάδες μονάδες ανά παρτίδα. Για κάθε νέα παρτίδα, ο εξοπλισμός παραγωγής πρέπει να επαναπρογραμματιστεί και να αλλάξει για να προσαρμοστεί στο νέο τύπο προϊόντος. Αυτή η αλλαγή του εξοπλισμού απαιτεί χρόνο και διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Τα ποσοστά παραγωγής στον προγραμματιζόμενο αυτοματισμό είναι γενικά χαμηλότερα, επειδή ο εξοπλισμός είναι σχεδιασμένος για να διευκολύνει την αλλαγή προϊόντος αντί για την



εξειδίκευση του. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι τα βιομηχανικά ρομπότ σε εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρονικών συσκευών, όπως κινητών τηλεφώνων ή υπολογιστών. Αυτές οι μηχανές και τα συστήματα μπορούν να προγραμματιστούν, ώστε να εκτελούν διάφορες εργασίες ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Για παράδειγμα, να συναρμολογούν διαφορετικά εξαρτήματα σε διάφορα μοντέλα συσκευών ή να αλλάζουν τις διαδικασίες συναρμολόγησης ανάλογα με τις αλλαγές στις παραγγελίες. Ο προγραμματισμός επιτρέπει την προσαρμογή των μηχανών για την παραγωγή νέων προϊόντων ή την προσαρμογή σε αλλαγές της παραγωγής.

### 3. Ευέλικτος Αυτοματισμός (Flexible Automation):

Ο ευέλικτος αυτοματισμός είναι μια εξέλιξη του προγραμματιζόμενου αυτοματισμού, καθώς ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή του εξοπλισμού παραγωγής είναι δαπανηρός. Στον ευέλικτο αυτοματισμό, η ποικιλία των προϊόντων είναι επαρκώς περιορισμένη, ώστε η αλλαγή του εξοπλισμού να μπορεί να γίνει πολύ γρήγορα και αυτόματα. Η αλλαγή του εξοπλισμού στον ευέλικτο αυτοματισμό γίνεται εκτός γραμμής παραγωγής (off-line), ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία της. Για παράδειγμα, στα εργοστάσια που κατασκευάζουν υποδήματα, η ευέλικτη αυτοματοποίηση χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τη γραμμή παραγωγής για διαφορετικά σχέδια και μεγέθη παπουτσιών. Αυτό επιτρέπει στην παραγωγή να προσαρμόζεται στις αλλαγές της αγοράς και να προσφέρει ποικιλία προϊόντων με υψηλή αποδοτικότητα.

#### **4.1. Οι πρώτες τεχνολογίες αυτοματισμού**

Από τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό, ότι οι τεχνολογίες αυτοματισμού που αναπτύχθηκαν κατά την τρίτη βιομηχανική επανάσταση, έθεσαν τα θεμέλια για τις προηγμένες τεχνολογίες του σήμερα.

Αναλυτικότερα, από το 1960 ως το 1990 οι τεχνολογικές εφαρμογές που κυριαρχούσαν σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας, ήταν:

1. Οι υπολογιστές και οι πόροι πληροφορικής, με τους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (Programmable Logic Controllers, PLCs) να προσδίδουν μια άνευ προηγουμένου ακρίβεια και ευελιξία στις παραγωγικές διαδικασίες. Το PLC προοριζόταν να αντικαταστήσει τον κλασικό πίνακα αυτοματισμού με τους ηλεκτρονόμους, καθώς η κατασκευή και συρμάτωση του πίνακα είναι ανεξάρτητη από τη λειτουργία που πρόκειται να εκτελέσει ο αυτοματισμός. Πάνω στις κλέμες του ελεγκτή συνδέονται όλα τα στοιχεία, που δίνουν εντολές (τερματικοί διακόπτες, μπουτόν), καθώς και όλα τα στοιχεία που δέχονται εντολές (πηνία, ρελέ ισχύος κινητήρων, βαλβίδες, λυχνίες). Η λειτουργία του αυτοματισμού προγραμματίζεται στην μνήμη του ελεγκτή, ακόμα και την τελευταία στιγμή, πριν από τη θέση σε λειτουργία. Ουσιαστικά, το PLC αποτελεί μια ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών και ειδικών λειτουργιών, ώστε να ελέγξει την αυτόματη λειτουργία των μηχανών (Θεοχάρης, 2020).

Τα βασικά στοιχεία ενός ελεγκτή είναι το πλαίσιο για τοποθέτηση των μονάδων, η μονάδα τροφοδοσίας, η κεντρική μονάδα (CPU) με τον μικροεπεξεργαστή και την μνήμη για το πρόγραμμα, οι μονάδες εισόδων και οι μονάδες εξόδων (Θεοχάρης, 2020).

Ενδεικτικά, οι κυριότεροι κατασκευαστές PLC είναι η Siemens (Γερμανία), η AB (Allen Bradley, ΗΠΑ), η Schneider Electric (Modicon, Γαλλία) και η Mitsubishi (Ιαπωνία) (Χατζηγεωργίου, n.d.).



**Εικόνα 4.1** Στην εικόνα αριστερά απεικονίζεται ένας πίνακας ρελέ (Library Automation Direct, n.d.) και στην εικόνα δεξιά ένα PLC (Nevatio Engineering, 2021).

2. Οι μηχανές με λειτουργία μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή CNC (Computerized Numerical Control), εισήγαγαν την αυτοματοποίηση στην κατασκευή εξαρτημάτων με υψηλή ακρίβεια, όπως στην κατεργασία μετάλλου και ξύλου, εξαλείφοντας την ανάγκη για χειροκίνητη εργασία. Επίσης, το γεγονός ότι το πρόγραμμα είναι μέσω υπολογιστή, επιτρέπει την παραγωγή ίδιων προϊόντων κάθε φορά μειώνοντας την πιθανότητα λάθους και το κόστος παραγωγής, αφού τα δεδομένα του παραμένουν αποθηκευμένα στην μνήμη (Groover, 2024).
3. Τα βιομηχανικά ρομπότ, που με την εισαγωγή τους στις γραμμές παραγωγής επέτρεψαν την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων και επικίνδυνων εργασιών με ακρίβεια και συνέπεια. Ο πιο ευρέως αποδεκτός ορισμός ενός βιομηχανικού ρομπότ δίνεται από την Ένωση Βιομηχανιών Ρομποτικής, όπου το ορίζει ως έναν επαναπρογραμματιζόμενο, πολυλειτουργικό χειριστή σχεδιασμένο να μετακινεί υλικά, μέρη, εργαλεία ή εξειδικευμένες συσκευές μέσω προγραμματισμένων κινήσεων για την εκτέλεση ποικιλίας εργασιών (Groover, 2024).



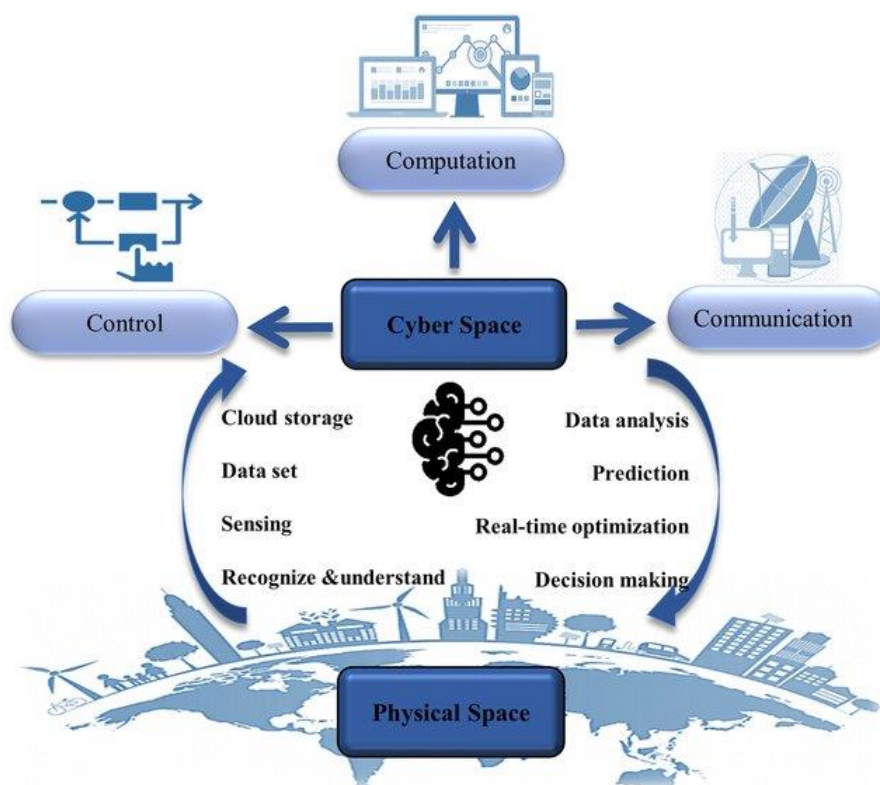
**Εικόνα 4.2** Βιομηχανικά Ρομπότ (Bong, 2022).

4. Τα Συστήματα Σχεδίασης με Βοήθεια Υπολογιστή (CAD) και Κατασκευής με Βοήθεια Υπολογιστή (CAM), που επέτρεψαν τον σχεδιασμό και την κατασκευή προϊόντων με ψηφιακά εργαλεία, μειώνοντας τον χρόνο και τα λάθη που σχετίζονται με την παραδοσιακή κατασκευή. Πιο αναλυτικά, το CAD επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν, να τροποποιούν και να αναλύουν ψηφιακά σχέδια και μοντέλα, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αποδοτικότητα της σχεδίασης, ενώ το CAM μετατρέπει αυτά τα ψηφιακά σχέδια σε οδηγίες για μηχανές παραγωγής, όπως CNC εργαλειομηχανές, διευκολύνοντας την αυτοματοποίηση της κατασκευής.
5. Τα Συστήματα Βιομηχανικού Ελέγχου (ICS), τα οποία επιδιώκουν τον έλεγχο και τη παρακολούθηση των φυσικών διεργασιών σε μια βιομηχανική τοποθεσία. Για να γίνει αυτό, το ICS χρησιμοποιεί διάφορους πόρους, όπως αισθητήρες, ελεγκτές και ενεργοποιητές. Το SCADA είναι ένας αξιοσημείωτος τύπος ICS, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για τη συλλογή δεδομένων από διαφορετικές συσκευές και την επικοινωνία μεταξύ τους μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Επίσης το σύστημα SCADA επιτρέπει να παρουσιάζονται οι πληροφορίες είτε γραφικά είτε την μορφή κειμένου. Έτσι γίνεται δυνατόν για τον χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει ολόκληρο το σύστημα από μια κεντρική τοποθεσία σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, ένα σύστημα ICS μπορεί να περιλαμβάνει και Συστήματα Ελέγχου Διανεμημένου Συστήματος (DCS), που διαχειρίζονται και ελέγχουν σύνθετες βιομηχανικές διεργασίες σε πραγματικό χρόνο, όπως σε διυλιστήρια, χημικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Γενικότερα, τα ICS χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η παραγωγή, η ενέργεια και η διαχείριση νερού για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής.



#### **4.2 Τεχνολογίες αυτοματισμού στην Βιομηχανία 4.0: IoT & DT**

Η βιομηχανία, με τα ανωτέρω εργαλεία στην φαρέτρα της, δεν άργησε να προχωρήσει στην μετάβαση προς την Βιομηχανία 4.0, η οποία σηματοδοτεί μια νέα εποχή, όπου η συνδεσιμότητα, η τεχνητή νοημοσύνη και οι «έξυπνες τεχνολογίες» ενσωματώνονται για να δημιουργήσουν ευέλικτα, αυτόνομα και διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής («έξυπνο» εργοστάσιο). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των Κυβερνο-φυσικών Συστημάτων (Cyber-Physical Systems, CPS), τα οποία συνδυάζουν υπολογιστικά στοιχεία με φυσικές διεργασίες. Στηρίζονται στην αλληλεπίδραση μεταξύ ψηφιακών υπολογιστών, λογισμικού και φυσικών συσκευών για την παρακολούθηση, έλεγχο και βελτιστοποίηση των φυσικών συστημάτων και διαδικασιών.



**Εικόνα 4.3** Απεικόνιση του Κυβερνο-φυσικού συστήματος (Amir Parnianifard, 2020).

Ο όρος κυβερνο-φυσικά συστήματα αναφέρεται σε συστήματα, στα οποία τα φυσικά και τα τεχνητά συστήματα (φυσικός χώρος) είναι στενά ολοκληρωμένα με υπολογιστικά, επικοινωνιακά και ελεγκτικά συστήματα (κυβερνοχώρος - cyber space). Στα συστήματα παραγωγής, τα CPS αποτελούν πληροφοριακά συστήματα και έξυπνες συσκευές (μηχανές, ρομπότ, συστήματα μεταφοράς, αποθηκευτικά συστήματα και εγκαταστάσεις παραγωγής). Τα CPS παρέχουν τη δυνατότητα βελτιώσεων σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως οι κατασκευές, η μηχανική, οι έξυπνες μεταφορές, τα έξυπνα δίκτυα, οι έξυπνες πόλεις, η φροντίδα υγείας σε πραγματικό χρόνο, τα επιχειρησιακά συστήματα, η κυβερνοασφάλεια, τα logistics, και η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022).

Επιπλέον, τα CPS συστήματα χαρακτηρίζονται από έξι λειτουργίες, οι οποίες ονομάζονται 6Cs (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022):

1. Σύνδεση - αισθητήρας και δίκτυα (Connection - sensor and networks): μέσω της αξιοποίησης των αισθητήρων και των δικτύων, η αυξημένη συνδεσιμότητα επιτρέπει την αυξημένη εξαγωγή δεδομένων.
2. Νέφος - δεδομένα κατ' απαίτηση και οποτεδήποτε (Cloud data on demand and anytime): επιτρέπει τη μεταφορά και αποθήκευση των δεδομένων στο νέφος και στη συνέχεια την πρόσβαση, επεξεργασία και την εξαγωγή των δεδομένων.
3. Περιεχόμενο - συσχέτιση και νόημα (Content - correlation and meaning): η χρησιμοποίηση προηγμένων αλγορίθμων ανάλυσης οδηγεί στην επεξεργασία δεδομένων, τα οποία αποκτούν νόημα και αξιοποιούνται κατάλληλα από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.
4. Κοινότητα - διαμοιρασμός και κοινωνία (Community - sharing and social): διευκολύνει τη συμμετοχή ομάδων σε δραστηριότητες ανταλλαγής/διαμοιρασμού δεδομένων και συνεργασίας για την απόκτηση πληροφορίας.
5. Προσαρμογή - εξατομίκευση και αξία (Customization - personalization and value): εξατομικευμένες εφαρμογές που ικανοποιούν εξειδικευμένες απαιτήσεις επιτρέπουν στις μηχανές να ανταποκριθούν σε διάφορα σενάρια.
6. «Κυβερνο» - μοντέλο και μνήμη (Cyber - model and memory): η ανάλυση, ερμηνεία και τροφοδοσία ακριβούς πληροφορίας στο κυβερνο-φυσικό σύστημα αυξάνει την προσαρμοστικότητα, την αυτονομία και την αξιοπιστία. Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα στη Βιομηχανία 4.0 έχουν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ικανότητας συνεργασίας και μάθησης μέσω των τεχνολογιών της τεχνητής νοημοσύνης. Για τον λόγο αυτό ονομάζονται και συνεργατικά ρομπότ ή cobots, που αποτελεί σύμπτυξη των εννοιών «collaborative robots». Συγκεκριμένα, τα cobots έχουν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται, να απομνημονεύουν και να αναλύουν πρότυπα φυσικών κινήσεων και ανθρώπινης συμπεριφοράς, κυρίως για χρήσεις σε επαναλαμβανόμενες ή επικίνδυνες εργασίες στην διαδικασία παραγωγής.

Με βάση τον ορισμό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η «έξυπνη» βιομηχανική παραγωγή περιλαμβάνει την Οριζόντια και Κάθετη Ολοκλήρωση Συστημάτων (Horizontal and Vertical System Integration). Δηλαδή, την ενσωμάτωση λειτουργιών που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, όπως διαφορετικά τμήματα ή συνεργάτες (οριζόντια) και την σύνδεση λειτουργιών από το κατώτερο έως το ανώτερο επίπεδο στην παραγωγή ή την αλυσίδα αξία (κάθετη). Αυτό απαιτεί τον συνδυασμό της έξυπνης αξιοποίησης των ικανοτήτων των ανθρώπων, της έξυπνης χρήσης της τεχνολογίας και της ανάπτυξης μέσω μηχανικής μάθησης ενός παραγωγικού συστήματος. Η έξυπνη παραγωγή προσανατολίζεται στον πελάτη και συγκεκριμένα στην ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών, στους έγκαιρους χρόνους παράδοσης και στην αξιοπιστία. Αυτά επιτυγχάνονται μέσω μιας οργάνωσης του χώρου παραγωγής που χαρακτηρίζεται από ευελιξία, ψηφιοποίηση, αυτοματοποίηση και ολοκληρωμένη διασύνδεση της επιχείρησης με την αλυσίδα αξίας (European Commission, n.d.).

#### 4.2.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Η σύνδεση μηχανημάτων και συστημάτων μέσω του διαδικτύου (IoT - Internet of Things) αποτέλεσε την έναρξη της τεχνολογικής μετάβασης. Ο όρος “Things” δεν είναι αυστηρά ορισμένος με την έννοια των “πραγμάτων”, αλλά αναφέρεται σε μία μεγάλη ποικιλία συσκευών, όπως αυτοκίνητα με αισθητήρες, κάμερες, φώτα και συστήματα ασφαλείας. Η εν λόγω σύνδεση των συσκευών επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραγωγικών διαδικασιών, καθώς ο εξοπλισμός μπορεί να επικοινωνεί με τους χειριστές σε πραγματικό χρόνο.

Η ανάπτυξη του είναι ταχύτατη και οι δυνατότητες που προσφέρει είναι τεράστιες, καθώς η επικοινωνία όλων των «έξυπνων» συσκευών γίνεται μέσω ενός νευρωνικού δικτύου (neural network), το οποίο είναι βασισμένο στο Internet και το Cloud. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μεταφορά μεγάλου όγκου πληροφοριών εντός του δικτύου προς συστήματα και συσκευές, οι οποίες προγραμματίζονται και ελέγχονται.

Τα τρία κύρια μέρη ενός IoT είναι τα εξής (Πούντζας, 2021):

1. Τα εργαλεία (things), όπου συλλέγουν πληροφορίες οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή χρησιμοποιώντας RFID τεχνολογία, αισθητήρες και κώδικες.
2. Τα δίκτυα επικοινωνιών, που συνδέουν τα εργαλεία.
3. Τα υπολογιστικά συστήματα και οι εφαρμογές που επεξεργάζονται τα δεδομένα, όπως το cloud computing.

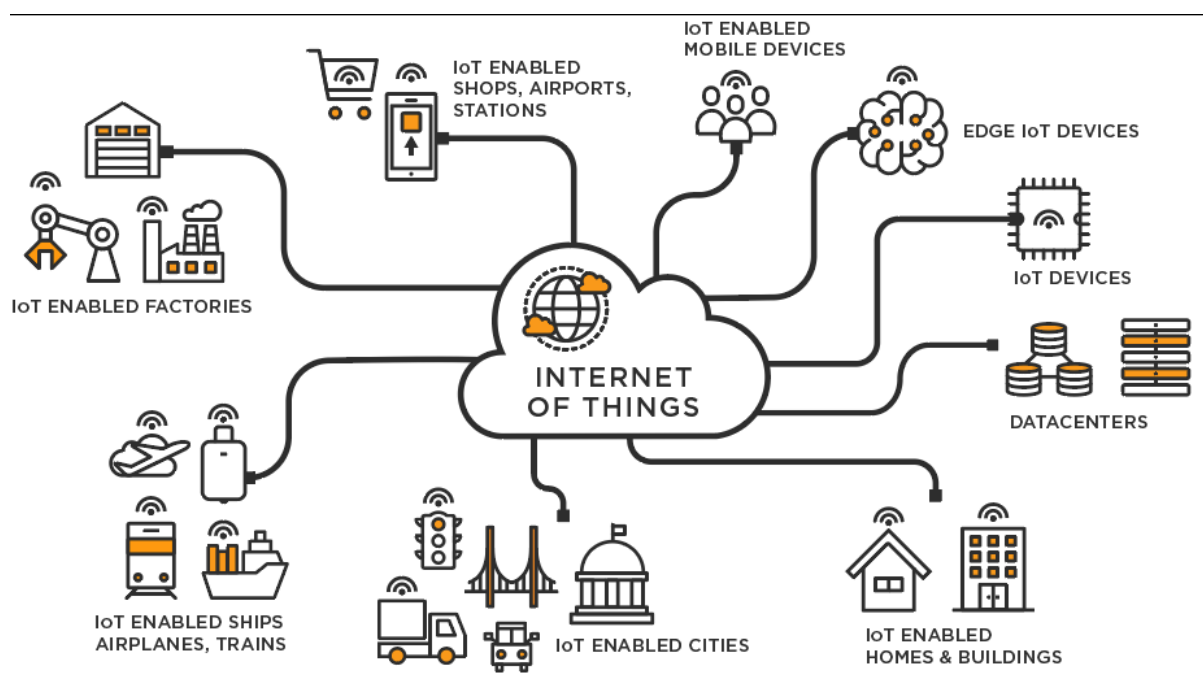
Η συνδεσιμότητα των τριών αυτών μερών του IoT πραγματοποιείται με τέσσερις τρόπους δικτύωσης (Πούντζας, 2021):

- Σύνδεση συσκευή-προς-συσκευή (device-to-device communication), όπου δύο ή περισσότερες συσκευές συνδέονται άμεσα και επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς ενδιάμεσο server. Αυτές οι συσκευές συνδέονται με πολλούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP ή το Internet, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως το Bluetooth, Z-Wave, ή ZigBee. Η device-to-device επικοινωνία χρησιμοποιείται σε εφαρμογές, όπως συστήματα οικιακού αυτοματισμού, που συνήθως χρησιμοποιούν μικρά πακέτα δεδομένων για επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και με απαιτήσεις σχετικά χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.
- Σύνδεση συσκευής-προς-cloud (device-to-cloud communication). Η διασύνδεση γίνεται εφαρμόζοντας τεχνολογίες, όπως το RFID και ασύρματους αισθητήρες, που συλλέγουν τα δεδομένα και στη συνέχεια αξιοποιούνται από τα υπολογιστικά συστήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλου όγκου δεδομένων που θα πρέπει να αποθηκευτούν, να επεξεργαστούν και να παρουσιαστούν. Το cloud computing προσφέρει την υποδομή για τη συλλογή, ανάλυση, αποθήκευση και αποστολή πληροφοριών στον πελάτη σε οποιοδήποτε χρόνο και μέρος.
- Σύνδεση συσκευής με διάυλο επικοινωνίας (device-to-gateway communication). Σε αυτή την σύνδεση η συσκευή και ο πάροχος έρχονται σε επικοινωνία μέσω ενός διαύλου (gateway). Η συνδεσιμότητα gateway - cloud πραγματοποιείται με τα πρωτόκολλα IPv4/IPv6, όπως το LoRaWAN.

Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things - IIoT) είναι μια επέκταση του IoT που εφαρμόζεται ειδικά σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπως εργοστάσια

παραγωγής, διυλιστήρια πετρελαίου και φυσικού αερίου και άλλες επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας. Συγκεκριμένα, το ΠoT έχει εφαρμοστεί σε τομείς, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η γεωργία, οι κατασκευαστικές βιομηχανίες, τα έξυπνα σπίτια/κτίρια, η διαχείριση καταστροφικών συστημάτων, τα συστήματα με χρήση ηλιακής ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα, η ρομποτική τεχνολογία, η υγειονομική περίθαλψη, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, τα συστήματα αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών και τα συστήματα διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (Λέντζου, 2023).

Από την άλλη, το Διαδίκτυο των Υπηρεσιών (Internet of Services – IoS) αφορά τη συστηματική χρήση του Διαδικτύου για την δημιουργία αξίας στον τομέα των υπηρεσιών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των υπηρεσιών logistics, η ροή της πληροφορίας που συνοδεύει τη ροή των υλικών είναι πολύ σημαντική για τον εντοπισμό καθυστερήσεων στην παράδοση, κυρίως από την πλευρά του πελάτη. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι ηλεκτρονικές τραπεζικές υπηρεσίες (e-banking) που ο πελάτης χρησιμοποιεί για την αυτοεξυπηρέτησή του (Λέντζου, 2023).



**Εικόνα 4.4** Εφαρμογές IoT (University of Michigan: Business+Tech, n.d.).

#### 4.2.2 Ψηφιακά δίδυμα (Digital twins)

Τα ψηφιακά δίδυμα είναι εικονικά αντίγραφα διεργασιών, γραμμών παραγωγής, εργοστασίων, προϊόντων και αλυσίδων εφοδιασμού. Ένα ψηφιακό δίδυμο δημιουργείται μέσω της άντλησης δεδομένων από αισθητήρες IoT, συσκευές, PLC και άλλα εργαλεία συνδεδεμένα στο διαδίκτυο. Οι κατασκευαστές μπορούν να χρησιμοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα για να αυξήσουν την παραγωγικότητα, να βελτιώσουν τις ροές εργασίας και να σχεδιάσουν νέα προϊόντα. Για παράδειγμα, με την προσομοίωση μιας παραγωγικής διαδικασίας, οι κατασκευαστές μπορούν να δοκιμάσουν αλλαγές στη διαδικασία για να βρουν τρόπους να ελαχιστοποιήσουν τον χρόνο διακοπής λειτουργίας ή να βελτιώσουν την παραγωγική ικανότητα (IBM, n.d.). Ουσιαστικά, το ψηφιακό δίδυμο αφορά μια ψηφιακή αποτύπωση της προηγούμενης και της τρέχουσας



συμπεριφοράς ενός φυσικού αντικειμένου ή μιας φυσικής διαδικασίας και αναλύεται με στόχο τη βελτιστοποίηση της επιχειρηματικής απόδοσης (Deloitte, ΣΕΒ, 2020).

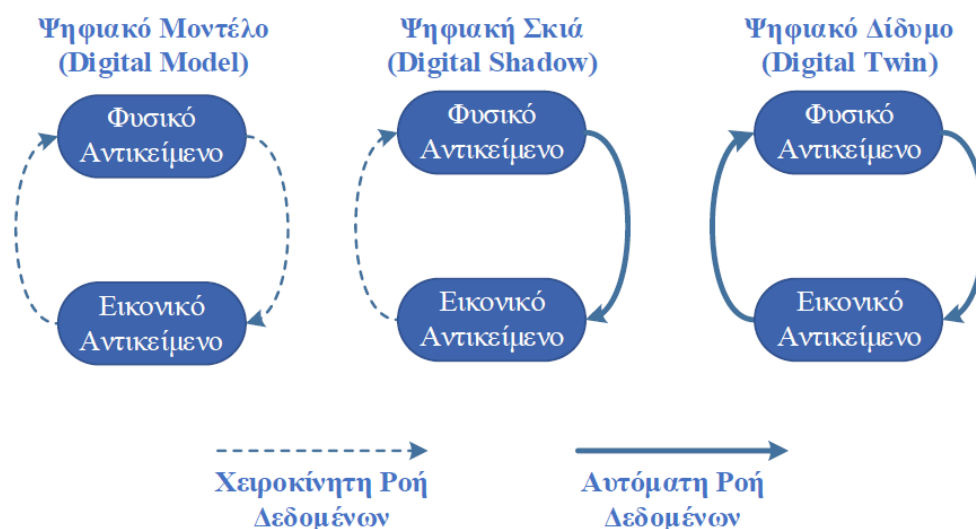
Μια ιδιαίτερα σημαντική λειτουργία των DT είναι η ικανότητα τους να κατανοούν, να μαθαίνουν και να παρέχουν αξία χρησιμοποιώντας μια συστημική προσέγγιση. Μέσω των δεδομένων και της ανατροφοδότησης, ένα DT μπορεί να αναπτύξει ικανότητες αυτονομίας και να μαθαίνει από το περιβάλλον του.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των DT περιλαμβάνουν (Λέντζου, 2023):

- Συνιστώσες, δηλαδή φυσικές οντότητες, εικονικά μοντέλα, φυσικές-ψηφιακές συνδέσεις, δεδομένα και υπηρεσίες.
- Μοντελοποίηση, που περιλαμβάνει όλες τις πτυχές των φυσικών οντοτήτων, από μεμονωμένα εξαρτήματα έως προϊόντα και συστήματα σε ολόκληρη την εγκατάσταση, καθώς και το δυναμικό λειτουργικό και τους τρόπους συμπεριφοράς.
- Αλληλεπίδραση, μέσω αμφίδρομων συνδέσεων μεταξύ των φυσικών και εικονικών χώρων, συμπεριλαμβανομένων των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της μηχανικής νοημοσύνης και των ανθρώπινων χειριστών.
- Συγχρονισμός, καθώς τα ψηφιακά δίδυμα πρέπει να ενημερώνονται συνεχώς σε πραγματικό χρόνο για τη διατήρηση μιας συνεπούς εικονικής αναπαράστασης. Αυτό είναι απαραίτητο για μια σειρά διαδικτυακών εργασιών, όπως ο προγραμματισμός, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση.

Οι (Kritzinger, 2018) προτείνουν τρεις υποκατηγορίες στην ταξινόμηση των DT:

1. Το «Ψηφιακό Μοντέλο» (Digital Model), όπου η ροή δεδομένων μεταξύ του φυσικού αντικειμένου και του ψηφιακού γίνεται χειροκίνητα. Οι αλλαγές στην κατάσταση του ψηφιακού ή του φυσικού αντικειμένου δεν έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κατάσταση του άλλου.
2. Η «Ψηφιακή Σκιά» (Digital Shadow), όπου η μεταφορά δεδομένων μεταξύ φυσικών και ψηφιακών αντικειμένων γίνεται αυτόματα.
3. Το «Ψηφιακό Δίδυμο» (Digital Twin), με την πλήρη ενσωμάτωση της ροής δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού αντικειμένου.



**Εικόνα 4.5** Οι υποκατηγορίες των συστημάτων DT (Kritzinger, 2018).

Η δημιουργία του DT ξεκινά με το σχεδιασμό της διαδικασίας. Αρχικά θα πρέπει να απαντηθεί το ερώτημα σχετικά με το ποιες είναι οι διαδικασίες και τα σημεία ολοκλήρωσης για τα οποία θα μοντελοποιηθεί το DT. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τυποποιημένες τεχνικές σχεδιασμού διεργασιών για να δείξουν πως αλληλεπιδρούν οι επιχειρηματικές διεργασίες και εφαρμογές, οι άνθρωποι, οι πληροφορίες και τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία. Για το σκοπό αυτό δημιουργούνται διαγράμματα που συνδέουν τη ροή των διαδικασιών με τις εφαρμογές, τις ανάγκες σε δεδομένα και τους τύπους πληροφοριών αισθητήρων που απαιτούνται για τη δημιουργία του DT. Ο σχεδιασμός της διαδικασίας συμπληρώνεται με χαρακτηριστικά που μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα του κόστους, του χρόνου ή των περιουσιακών στοιχείων. Αυτά συνήθως αποτελούν τις βασικές παραδοχές από τις οποίες θα πρέπει να ξεκινήσουν οι βελτιώσεις του DT.

Το κλειδί για τη διαδικασία δημιουργίας ενός DT είναι η εστίαση στα είδη των πληροφοριών που θα απαιτούνται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του υπό εξέταση περιουσιακού στοιχείου. Συχνά είναι σημαντικό να δομηθούν οι πληροφορίες με επαναχρησιμοποιήσιμο τρόπο. Συνεπώς, είναι σημαντική η δημιουργία ενός κανονικού μοντέλου δεδομένων, δηλαδή μια κοινή, τυποποιημένη δομή δεδομένων για την επιχείρηση, η οποία επιτρέπει σε διαφορετικά συστήματα και εφαρμογές να συνδέονται και να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Μια κανονική δομή μπορεί να επιτρέψει στα διάφορα συστήματα που ενσωματώνονται με το DT να επικοινωνούν. Κάτι τέτοιο, με τη σειρά του, μπορεί να μειώσει τον όγκο των πληροφοριών που πρέπει να αποθηκεύονται εκτός των συστημάτων καταγραφής, μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων και μπορεί να επιτρέψει σε μια εταιρεία να χρησιμοποιήσει το DT με πολλαπλούς τρόπους και με μεγαλύτερη ευελιξία (Μπασάς, 2022).

### **4.3 Άλλες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0**

#### **A) Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing):**

Το cloud computing αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο για κάθε τεχνολογία της Βιομηχανίας 4.0, καθώς η πλήρης υλοποίηση της έξυπνης παραγωγής απαιτεί συνδεσιμότητα και ενοποίηση όλων των τμημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, ο μεγάλος όγκος δεδομένων που αποθηκεύεται και αναλύεται μπορεί να επεξεργαστεί πιο αποδοτικά και με χαμηλότερο κόστος μέσω του cloud. Το cloud computing μπορεί, επίσης, να μειώσει τα αρχικά κόστη για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις παραγωγής, επιτρέποντάς τους να προσαρμόσουν τις ανάγκες τους και να αναπτύσσονται, καθώς μεγαλώνει η επιχείρησή τους (IBM, n.d.).

Το Cloud είναι ένα δίκτυο που επιτρέπει την πρόσβαση σε κοινούς συστημικούς πόρους, οι οποίοι είναι εύκολα και γρήγορα προσβάσιμοι. Μέσω cloud computing οι εμπλεκόμενοι σε μία εφοδιαστική αλυσίδα αποκτούν κοινή πρόσβαση και ορατότητα στο σύνολο της αλυσίδας αξίας διευκολύνοντας το συγχρονισμό μεταξύ των μερών και τη λήψη αποφάσεων και διορθωτικών ενεργειών όταν κρίνονται απαραίτητες (Delloitte, ΣΕΒ, 2020).

Η δομή και τα συστατικά στοιχεία που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα υπολογιστικά συστήματα και οι υπηρεσίες παρέχονται μέσω του διαδικτύου έχουν ως εξής (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022); (Λέντζου, 2023):

#### **1. Επίπεδα Υπηρεσιών (Service Models):**

- Infrastructure as a Service (IaaS): Παρέχει βασική υπολογιστική υποδομή (εξυπηρετητές, αποθηκευτικό χώρο, δικτύωση) στους χρήστες. Οι πελάτες διαχειρίζονται τις εφαρμογές και τα δεδομένα, ενώ ο πάροχος διαχειρίζεται το υλικό.
- Platform as a Service (PaaS): Προσφέρει μια πλατφόρμα για ανάπτυξη, δοκιμή και διαχείριση εφαρμογών χωρίς να απαιτείται διαχείριση της υποδομής.
- Software as a Service (SaaS): Οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε πλήρως λειτουργικές εφαρμογές μέσω του διαδικτύου (π.χ. email, CRM), χωρίς να χρειάζεται να διαχειριστούν το λογισμικό ή τους διακομιστές.

## 2. Τύποι Ανάπτυξης (Deployment Models):

- Δημόσιο Cloud: Οι υπηρεσίες προσφέρονται από τρίτους παρόχους (π.χ. Amazon Web Services, Microsoft Azure) και είναι προσβάσιμες σε πολλούς χρήστες.
- Ιδιωτικό Cloud: Υποδομή που ανήκει και λειτουργεί από έναν οργανισμό, αποκλειστικά για ιδιωτική χρήση.
- Υβριδικό Cloud: Συνδυασμός δημόσιου και ιδιωτικού cloud, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων και εφαρμογών μεταξύ τους.
- Πολυ-Cloud: Η χρήση πολλαπλών δημόσιων ή ιδιωτικών cloud από διαφορετικούς παρόχους.

## B) Τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence, AI) και μηχανική μάθηση (Machine Learning, ML):

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση επιτρέπουν στις βιομηχανίες να αξιοποιούν πλήρως τον όγκο πληροφοριών που παράγεται όχι μόνο στο εργοστάσιο, αλλά και σε όλες τις επιχειρησιακές μονάδες τους, καθώς και από συνεργάτες και τρίτες πηγές. Η AI και η μηχανική μάθηση μπορούν να δημιουργήσουν πληροφορίες που προσφέρουν ορατότητα, προβλεψιμότητα και αυτοματοποίηση των λειτουργιών και των επιχειρηματικών διαδικασιών. Για παράδειγμα, τα βιομηχανικά μηχανήματα είναι επιρρεπή σε βλάβες κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται από αυτά, οι επιχειρήσεις μπορούν να πραγματοποιήσουν προληπτική συντήρηση βάσει αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, με αποτέλεσμα τον αυξημένο χρόνο λειτουργίας και μεγαλύτερη αποδοτικότητα (IBM, n.d.).

Η μηχανική μάθηση είναι τμήμα της τεχνητής νοημοσύνης και αφορά αλγορίθμους και μεθόδους που επιτρέπουν στους υπολογιστές να «μαθαίνουν» και να βελτιώνονται βάσει εμπειρίας από την έκθεση σε δεδομένα χωρίς να έχουν προγραμματιστεί ρητά για αυτό το σκοπό. Η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί για την αυτοματοποίηση αποφάσεων, τη διενέργεια προβλέψεων και την αυτοματοποιημένη διόρθωση (self correction) συστημάτων (Delloitte, ΣΕΒ, 2020).

Η AI αναφέρεται στην ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να εκτελούν εργασίες που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η οπτική αντίληψη, η αναγνώριση ομιλίας, η λήψη αποφάσεων και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στην ιδέα ότι οι μηχανές μπορούν να μαθαίνουν από την εμπειρία, να προσαρμόζονται σε νέες καταστάσεις και να εκτελούν εργασίες πιο αποτελεσματικά από τους ανθρώπους (Λέντζου, 2023).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγαλύτερες κατηγορίες (Λέντζου, 2023):

1. Τα συστήματα συμβολικής τεχνητής νοημοσύνης λειτουργούν με την δημιουργία συγκεκριμένων κανόνων, τους οποίους ο υπολογιστής μπορεί να ακολουθήσει, βήμα προς βήμα, προκειμένου να καθορίσει τον τρόπο αντίδρασης σε ένα δεδομένο σενάριο. Οι κανόνες παρουσιάζονται συχνά σε μια δομή "if-then-else". Η συμβολική τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να οριστεί ως "άνθρωπος στο βρόχο", επειδή η διαδικασία λήψης αποφάσεων συνδέεται στενά με τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κάνουν επιλογές. Η νοημοσύνη του συστήματος προέρχεται ολοκληρωτικά από την κωδικοποίηση της ανθρώπινης γνώσης. Επιπλέον, οι άνθρωποι μπορούν να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα συστήματα καταλήγουν σε συγκεκριμένες αποφάσεις, επιτρέποντάς τους να εντοπίζουν λάθη και ευκαιρίες βελτίωσης του προγράμματος, αλλά και να ενημερώνουν τον κώδικα αναλόγως. Αυτά τα συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά σε περιορισμένα περιβάλλοντα που δεν αλλάζουν πολύ με την πάροδο του χρόνου, όπου οι κανόνες είναι αυστηροί και οι μεταβλητές είναι μονοσήμαντες, όπως συστήματα ανάλυσης νομικών εγγράφων (legal expert systems).
2. Η μηχανική μάθηση αναφέρεται σε αλγόριθμους που βελτιώνουν την απόδοσή τους αυτόνομα. Οι εν λόγω αλγόριθμοι συνήθως βελτιώνονται με την εκπαίδευσή τους σε δεδομένα, και για αυτό χαρακτηρίζονται και ως "data-driven" ΑΙ. Σε αντίθεση με τον κλασικό προγραμματισμό, όπου ένας αλγόριθμος μπορεί να κωδικοποιηθεί ρητά χρησιμοποιώντας γνωστά χαρακτηριστικά, η μηχανική μάθηση χρησιμοποιεί υποσύνολα δεδομένων για τη δημιουργία ενός αλγόριθμου που μπορεί να χρησιμοποιεί νέους ή διαφορετικούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών.

Στη μηχανική μάθηση υπάρχουν διάφορες μέθοδοι μάθησης, που διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα μαθαίνουν από δεδομένα. Οι τρεις κύριες μέθοδοι μάθησης είναι οι εξής (Λέντζου, 2023):

1. Εποπτευόμενη Μάθηση (Supervised Learning): Τα δεδομένα περιέχουν εισόδους (features) και αντίστοιχες εξόδους (labels). Ο αλγόριθμος μαθαίνει ένα μοντέλο που αντιστοιχεί τις εισόδους στις εξόδους και στη συνέχεια, μπορεί να κάνει προβλέψεις για άγνωστα δεδομένα. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι η κατηγοριοποίηση εικόνων και η πρόβλεψη τιμών ακινήτων.
2. Μη Εποπτευόμενη Μάθηση (Unsupervised Learning): Τα δεδομένα περιέχουν μόνο εισόδους χωρίς γνωστές εξόδους. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει δομές και μοτίβα στα δεδομένα, όπως ομάδες (clusters) ή κατανομές, όπως ομαδοποίηση πελατών βάσει συμπεριφοράς αγορών και μείωση των διαστάσεων σε δεδομένα για πιο αποδοτική αποθήκευση.
3. Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning): Ο αλγόριθμος μαθαίνει μέσω αλληλεπίδρασης με ένα περιβάλλον, λαμβάνοντας ενέργειες και ανατροφοδότηση με τη μορφή ανταμοιβών (rewards). Ο στόχος είναι να μεγιστοποιήσει τη συνολική ανταμοιβή μακροπρόθεσμα και βρίσκει εφαρμογή σε συστήματα που χρειάζεται να λαμβάνουν αποφάσεις σε αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα, όπως παιχνίδια και αυτόνομα συστήματα (όπως οδήγηση).
4. Ημι-Εποπτευόμενη Μάθηση (Semi-Supervised Learning): Συνδυάζει χαρακτηριστικά της εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης μάθησης και ο αλγόριθμος προσπαθεί να

εκμεταλλευτεί και τα δύο για καλύτερη απόδοση, όπως στην αναγνώριση φωνής και στην κατηγοριοποίηση κειμένου.

5. Μάθηση με Μεταφορά (Transfer Learning): Μια προσέγγιση όπου ένα μοντέλο που έχει εκπαιδευτεί σε μια εργασία χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην εκμάθηση μιας άλλης, σχετικής εργασίας. Αυτό επιτρέπει την εξοικονόμηση πόρων και χρόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η προ-εκπαίδευση μοντέλων νευρωνικών δικτύων για αναγνώριση εικόνας και χρήση τους σε άλλες εφαρμογές (όπως ανάλυση ιατρικών εικόνων).

Το πεδίο εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης είναι επίσης εκτεταμένο και στην Ρομποτική Αυτοματοποίηση Διαδικασιών (Robotic Process Automation, RPA), καθώς ενσωματώνει σταδιακά αλγορίθμους και τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης σε πολλά πλαίσια, όπως ο προγραμματισμός επιχειρησιακών πόρων, η λογιστική και το ανθρώπινο δυναμικό και για την ταξινόμηση, αναγνώριση και κατηγοριοποίηση πληροφοριών.

Ωστόσο, οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στη βιομηχανία 4.0 και στη βιομηχανία 5.0 διαφέρουν ως προς τους στόχους τους, αντανακλώντας την εξέλιξη των βιομηχανικών συστημάτων και την ενσωμάτωσή τους με προηγμένες τεχνολογίες.

Πιο αναλυτικά, στην Βιομηχανία 4.0, η πρωταρχική εστίαση των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης αφορά την αυτοματοποίηση, τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και τη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας. Η ΑΙ χρησιμοποιείται για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών παραγωγής, τη βελτίωση της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού και τη δυνατότητα προληπτικής συντήρησης. Επίσης, οι τεχνολογίες ΑΙ επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να αποκτούν πληροφορίες, να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων και να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες τους. Αυτό περιλαμβάνει την προγνωστική ανάλυση, την πρόβλεψη ζήτησης, τον έλεγχο ποιότητας και τη διαχείριση αποθεμάτων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση δεδομένων, την ανίχνευση ανωμαλιών και τη βελτιστοποίηση των ροών εργασίας παραγωγής. Τέλος η Βιομηχανία 4.0 προωθεί την έννοια των «έξυπνων» εργοστασίων, όπου οι μηχανές, ο εξοπλισμός και τα συστήματα είναι διασυνδεδεμένα, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επικοινωνία και συνεργασία σε πραγματικό χρόνο.

Από την άλλη, στην βιομηχανία 5.0 οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης θα πρέπει να προσανατολιστούν προς την βιωσιμότητα, την ανθεκτικότητα και τον ανθρωποκεντρικό χαρακτήρα. Θα πρέπει να δοθεί έμφαση στη συνεργασία και την ενσωμάτωση του ανθρώπου με τις προηγμένες τεχνολογίες.

Οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης επικεντρώνονται στην επαύξηση των ανθρώπινων ικανοτήτων και όχι στην αντικατάστασή τους. Αυτό γίνεται μέσω της χρήσης ρομποτικών συστημάτων με τεχνητή νοημοσύνη που συνεργάζονται με το εργατικό δυναμικό, ενισχύοντας την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητά του. Στόχος είναι η δημιουργία μιας αρμονικής σχέσης μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, όπου η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά τους εργαζόμενους σε σύνθετα καθήκοντα, στη λήψη αποφάσεων και στην επίλυση προβλημάτων.

Επιπλέον, η Βιομηχανία 5.0 στοχεύει στην ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης για εξατομικευμένα και ευέλικτα προϊόντα. Αυτό περιλαμβάνει την προσαρμοστική κατασκευή με βάση την ΑΙ, τις ευέλικτες γραμμές παραγωγής και την προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο με βάση τις προτιμήσεις των πελατών. Εξίσου σημαντικό είναι ότι τα συστήματα ελέγχου ποιότητας με τεχνητή νοημοσύνη ανιχνεύουν ελαττώματα, ανωμαλίες και αποκλίσεις σε



πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα προϊόντων. Οι αλγόριθμοι προληπτικής συντήρησης αναλύουν δεδομένα αισθητήρων για να προβλέπουν τις βλάβες του εξοπλισμού, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιστοποιώντας τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης.

Τέλος, η AI στη βιομηχανία 5.0 υποστηρίζει φιλικές προς το περιβάλλον και κοινωνικά υπεύθυνες πρακτικές. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αναλύουν την κατανάλωση ενέργειας, βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων και επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων. Τα συστήματα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν τις επιχειρήσεις να παρακολουθούν και να μειώνουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, να τηρούν τα πρότυπα βιωσιμότητας και να διασφαλίζουν ηθικές πρακτικές παραγωγής.

Γ) Δεδομένα μεγάλης κλίμακας και ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας (Big Data & Big Data Analytics):

Τα δεδομένα μεγάλης κλίμακας, ή μεγάλα δεδομένα (big data) είναι σύνθετα σύνολα δεδομένων με μέγεθος terabytes και πάνω. Τα παραδοσιακά εργαλεία λογισμικού και τα συστήματα αποθήκευσης αδυνατούν να συλλέξουν, να αποθηκεύσουν, να διαχειριστούν και να επεξεργαστούν τα εν λόγω δεδομένα αποδοτικά. Τα βασικά χαρακτηριστικά των δεδομένων μεγάλης κλίμακας είναι τα γνωστά 3Vs: Όγκος (Volume), Ποικιλία (Variety) και ταχύτητα (Velocity) (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022):

- Ο όγκος των δεδομένων μεγάλης κλίμακας είναι το βασικότερο χαρακτηριστικό τους και αναφέρεται στη μεγάλη ποσότητα των δεδομένων που παράγονται και αποθηκεύονται.

- Η ποικιλία των δεδομένων μεγάλης κλίμακας αναφέρεται στους διαφορετικούς τύπους, αλλά και στη διαφορετική προέλευσή τους. Συχνά τα δεδομένα μεγάλης κλίμακας αποτελούνται από ένα σύνολο ετερογενών δεδομένων, διαφορετικών τύπων και προερχόμενων από διαφορετικές πηγές. Οι τύποι των δεδομένων μεγάλης κλίμακας μπορεί να είναι:

- δομημένα δεδομένα (structured data), όπως αρχεία excel και αρχεία csv.
- ημι-δομημένα δεδομένα (semi-structured), όπως XML, EDI, JSON, log files.
- σχεδόν δομημένα δεδομένα (quasi-structured), όπως ροές δεδομένων από το web που περιέχουν ασυνέπειες στις τιμές και στις μορφές των δεδομένων.
- αδόμητα δεδομένα (unstructured data), όπως αρχεία κειμένου (doc, pdf), παρουσιάσεις, εικόνες, βίντεο, μηνύματα, σχόλια, e-mails και web pages.

Οι πηγές των δεδομένων είναι:

- δεδομένα παγκόσμιου ιστού, όπως log files κινήσεων χρηστών / πελατών.
- δεδομένα κοινωνικών δικτύων, όπως προφίλ χρήστη, καταναλωτικές συνήθειες, ενδιαφέροντα, φωτογραφίες και βίντεο που ανεβάζουν οι χρήστες.
- δεδομένα «έξυπνων» δικτύων και «έξυπνων» συσκευών, όπως έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα, έξυπνα κτίρια και έξυπνοι φωτεινοί σηματοδότες, που λειτουργούν με βάση δεδομένα αισθητήρων, δεδομένα από κάμερες, δεδομένα από ετικέτες RFID και δεδομένα από έξυπνα τηλέφωνα.
- δεδομένα από κάρτες πιστότητας πελάτη (shopping loyalty cards), όπως τα ποσά αγορών, τη θέση των καταστημάτων, το είδος των προϊόντων που αγοράστηκαν και τα προϊόντα που αγοράστηκαν στην ίδια συναλλαγή.
- ανοικτά δεδομένα, διαθέσιμα από διεθνείς οργανισμούς και θεσμούς, υπουργεία και επιστημονικούς οργανισμούς.
- επιστημονικά δεδομένα, όπως έξοδοι ιατρικών μηχανημάτων, ακολουθία νουκλεοτιδίων στο DNA.
- επιχειρησιακά δεδομένα., όπως συστημάτων ERP, SCM και CRM.

- Η ταχύτητα των δεδομένων μεγάλης κλίμακας αναφέρεται στη συχνότητα παραγωγής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και δημοσίευσής τους. Τα δεδομένα δημιουργούνται συχνά σε πραγματικό χρόνο (real time) και χρειάζεται να αναλύονται σε πραγματικό χρόνο για άμεση λήψη αποφάσεων (online data analytics). Παραδείγματα εφαρμογών πραγματικού χρόνου είναι τα ακόλουθα:

- E-promotions: γνωρίζοντας τις καταναλωτικές συνήθειες, τις προτιμήσεις και την τοποθεσία του καταναλωτή, αποστέλλονται διαφημίσεις που αφορούν το πλησιέστερο κατάστημα ή ακόμα και το προϊόν που βρίσκεται σε κοντινό σημείο μέσα στο κατάστημα.
- Παρακολούθηση κατάστασης υγείας: αισθητήρες παρακολουθούν τις δραστηριότητες και το σώμα του ασθενούς, ώστε μη κανονικές μετρήσεις να εγείρουν άμεση αντίδραση (συναγερμός για επιδημίες).
- Διαχείριση φυσικών καταστροφών (όπως φωτιά, σεισμός): συνδυάζοντας δεδομένα από αισθητήρες, κοινωνικά δίκτυα και ιστότοπους οργανισμών.
- Έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας: αναλύοντας δεδομένα από κάμερες κυκλοφορίας και ιστορικά δεδομένα, ρυθμίζεται η λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών.
- Χρηματιστήριο: αναλύοντας δεδομένα αγοράς και άλλους εξωγενείς παράγοντες, λαμβάνονται αποφάσεις αγοραπωλησιών.

Η ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας (Big Data Analytics) είναι η διαδικασία επεξεργασίας και εξαγωγής κρυμμένων συσχετίσεων, προτύπων και πληροφοριών από μεγάλα σύνολα δεδομένων, ώστε να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες για έναν οργανισμό που βοηθούν στην τελική λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, μια επιχείρηση μπορεί να εντοπίσει τις τάσεις της αγοράς και τις προτιμήσεις των πελατών της και να ανακαλύψει πρότυπα αγοραστικών συνηθειών. Γενικότερα, είναι σημαντικό να προσδιορίζεται μια συστηματική προσέγγιση για την απόκτηση, τη διαχείριση και την ανάλυση των δεδομένων μεγάλης κλίμακας, έτσι ώστε να μπορεί να αποκτηθεί η σχετική γνώση (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022).

Η ανάλυση δεδομένων μεγάλης κλίμακας εφαρμόζει στατιστικές μεθόδους, μεθόδους εξόρυξης δεδομένων, όπως ταξινόμηση, ομαδοποίηση, κανόνες συνάφειας, δένδρα αποφάσεων και παλινδρόμηση και τη μέθοδο ανάλυσης κειμένου (text analysis). Για τη στατιστική ανάλυση υπάρχουν πολλά γνωστά εργαλεία, όπως το SAS Enterprise Miner, SPSS Modeler, Matlab, Octave, STATISTICA, και Mathematica (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων έχουν ως εξής (Αικατερίνη Μαρινάγη, 2022):

- Με τη δυνατότητα των προμηθευτών να μοιράζονται δεδομένα προϊόντων με συνεργάτες και πελάτες, δημιουργείται ένα διαφανές κανάλι επικοινωνίας, που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να προσαρμόζουν τις διαδικασίες και να αποφεύγουν τους χρόνους αναμονής και να έχουν μεγαλύτερη ορατότητα στα επίπεδα ποιότητας και στις μετρήσεις απόδοσης των προμηθευτών.
- Η κατασκευή προϊόντων κατά παραγγελία (build-to-order), έχει γίνει ένα κερδοφόρο επιχειρηματικό μοντέλο σε διάφορους κλάδους, που απαιτεί μια καλά καθορισμένη πλατφόρμα δεδομένων για την ανάλυση της συμπεριφοράς των πελατών και των δεδομένων πωλήσεων. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με τις πωλήσεις και να εκτελούν προγνωστικές αναλύσεις για να προβλέπουν τον όγκο των παραγγελιών και να προσαρμόζουν ανάλογα την αλυσίδα εφοδιασμού τους, τον προγραμματισμό παραγωγής, καθώς και την γενικότερη οργάνωση της επιχείρησης.
- Για να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής, οι επιχειρήσεις χρειάζονται μια καθημερινή ροή δεδομένων από τις γραμμές παραγωγής τους για να



βλέπουν τις αποκλίσεις και τις ευκαιρίες σε πραγματικό χρόνο. Αυτό περιλαμβάνει δεδομένα αισθητήρων από μηχανήματα παραγωγής, οικονομικές πληροφορίες που συνδέονται με λειτουργικά δεδομένα για σκοπούς ανάλυσης και παρακολούθησης δεδομένων εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, επιτρέπει και την καλύτερη ιχνηλασιμότητα της παραγωγής σε περίπτωση κάποιου σφάλματος.

- Η ανάλυση επιχειρησιακών δεδομένων με μεθόδους αναγνώρισης προτύπων επιτρέπει την προβλεπτική συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού. Αυτό επιτρέπει την πρόληψη των διακοπών λειτουργίας και των δαπανών που σχετίζονται με τη συντήρηση και παρατείνει τη διάρκεια ζωής των μηχανημάτων αποτρέποντας μη αναστρέψιμες βλάβες.

#### Δ) Προσθετική Μηχανική (Additive Manufacturing):

Η προσθετική μηχανική είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί ένα τρισδιάστατο σύστημα σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή, CAD όπου αναλύθηκε παραπάνω, για την άμεση κατασκευή ενός μοντέλου, χωρίς την ανάγκη σχεδιασμού της διαδικασίας που περιλαμβάνει μια λεπτομερή ανάλυση της γεωμετρίας του εξαρτήματος για να καθοριστεί η σειρά των χαρακτηριστικών, τα εργαλεία και τις διαδικασίες που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και τα πρόσθετα εξαρτήματα (Λέντζου, 2023).

Η πιο γνωστή μορφή προσθετικής μηχανικής είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), στην οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι και υλικά όπως μέταλλα, πλαστικά, κεραμικά, ακόμα και βιοϋλικά. Ενδεικτικές τεχνολογίες προσθετικής μηχανικής είναι ο φωτοπολυμερισμός (Vat Photopolymerisation), που χρησιμοποιεί ρητίνη για την εκτύπωση των επιθυμητών μοντέλων, η εκτόξευση υλικού (material jetting), στην οποία εκατοντάδες μικρό - σταγονίδια από πολυμερή τοποθετούνται με ακρίβεια για τη δημιουργία ενός στρώματος, το οποίο στη συνέχεια στερεοποιείται και τέλος η κατευθυνόμενη απόθεση ενέργειας (Direct Energy Deposition), η ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για να λιώσει το υλικό, ενώ ταυτόχρονα κατατίθεται στο επιθυμητό σημείο του αντικειμένου. Αυτό το υλικό προστίθεται και στερεοποιείται σε στρώσεις για τη δημιουργία του τελικού προϊόντος. Η DED διαφέρει από τις άλλες τεχνολογίες μηχανικής προσθετικής, καθώς μπορεί να κινηθεί σε πέντε άξονες, παρέχοντας μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων (Λέντζου, 2023).

Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη εύρεσης νέων υλικών, που προσφέρουν καλύτερη αντοχή, χαμηλότερο βάρος, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και διάβρωση, με ειδικές ιδιότητες, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα ή οι βιοδιασπώμενες ιδιότητες, που θα μπορούσαν να διευρύνουν τις εφαρμογές της προσθετικής μηχανικής, όπως στην ηλεκτρονική ή στις βιοϊατρικές εφαρμογές. Επιπλέον, είναι αναγκαία η ανάπτυξη υλικών με χαμηλό κόστος και μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ στον τομέα της ιατρικής, η ανάπτυξη βιοσυμβατών υλικών είναι σημαντική για την κατασκευή εμφυτευμάτων που μπορούν να ενσωματωθούν καλύτερα στο ανθρώπινο σώμα χωρίς αντιδράσεις απόρριψης (Kun Zhou, 2024).

#### E) Interface of Things / Εκτεταμένη πραγματικότητα (Extended Reality):

Το Interface of Things περιλαμβάνει την εικονική πραγματικότητα (virtual reality, η οποία αποτελεί ένα πλήρως ψηφιοποιημένο περιβάλλον αλληλεπίδρασης), την επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality, στην οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλοεπιδράσει με ψηφιακό περιεχόμενο στο πραγματικό περιβάλλον) και τη μεικτή πραγματικότητα (mixed reality, ένα υποσύνολο της επαυξημένης πραγματικότητας, το οποίο συνδυάζεται άμογα με το πραγματικό περιβάλλον του χρήστη, όπου αμφοτέρωθεν μπορούν να συνυπάρχουν και να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους). Στο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας χαρακτηριστικό

παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί η υποστήριξη εργασιών picking από «έξυπνα» γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας (Deloitte, ΣΕΒ, 2020).

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια τεχνολογία που συνδυάζει τον πραγματικό κόσμο με ψηφιακά στοιχεία, όπως εικόνες, βίντεο, ήχους και δεδομένα, τα οποία εμφανίζονται πάνω στην πραγματική προβολή μέσω συσκευών όπως smartphones, tablets, ή γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας και χρησιμοποιείται, κυρίως, σε εφαρμογές που σχετίζονται με την συντήρηση, τις εργασίες συναρμολόγησης, την συνεργασία ανθρώπου-ρομπότ, την κατασκευή, την εκπαίδευση και την εφοδιαστική αλυσίδα. Ειδικότερα, οι εργαζόμενοι μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες, εκπαίδευση και καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο ακριβώς στο χώρο του εργοστασίου, μειώνοντας τα λάθη και βελτιώνοντας τα αποτελέσματα. Επιπλέον, είναι εφικτή η εξ αποστάσεως συνεργασία και επικοινωνία, επιτρέποντας στις ομάδες να συνεργάζονται ανεξαρτήτως από την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται, κάνοντας έτσι τα πρώτα βήματα στην χρήση τεχνολογιών προσομοίωσης στην βιομηχανία (Λέντζου, 2023).

Από την άλλη, στην μεικτή πραγματικότητα, ο πραγματικός και ο ψηφιακός κόσμος συγχωνεύονται, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα με φυσικά και ψηφιακά αντικείμενα σε πραγματικό χρόνο. Σε αντίθεση με την επαυξημένη πραγματικότητα, όπου τα ψηφιακά στοιχεία απλώς τοποθετούνται πάνω στην εικόνα του πραγματικού κόσμου, η MR αναγνωρίζει τον χώρο και τις επιφάνειες γύρω από τον χρήστη. Αυτό επιτρέπει στα ψηφιακά αντικείμενα να αλληλεπιδρούν και να τοποθετούνται με ρεαλιστικό τρόπο στο περιβάλλον. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να μετακινεί, να πιάνει ή να μετατρέπει ψηφιακά αντικείμενα με φυσικούς τρόπους, σαν να είναι πραγματικά. Συσκευές όπως τα Microsoft HoloLens και το Magic Leap είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα συσκευών μεικτής πραγματικότητας, οι οποίες επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με τον φυσικό και ψηφιακό κόσμο ταυτόχρονα (Μαξούρα, 2023).

ΣΤ) Robots, Cobots, Drones:

Τα ρομπότ είναι μηχανές ικανές να πραγματοποιούν συγκεκριμένες διαδικασίες ενεργώντας είτε αυτόνομα είτε ημι - αυτόματα. Για παράδειγμα κατά τις διαδικασίες φόρτωσης εκφόρτωσης τα συνεργατικά ρομπότ cobots αλληλοεπιδρούν με ανθρώπους στο εργασιακό περιβάλλον (picking) και τα drones (μη επανδρωμένα αεροσκάφη) λειτουργούν με διαφόρους βαθμούς αυτονομίας, πραγματοποιώντας πληθώρα δραστηριοτήτων, όπως μεταφορές ελαφριών αντικειμένων και συλλογή στοιχείων (Deloitte, ΣΕΒ, 2020).

Ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα είναι μια τεχνητά ευφυή οντότητα που λειτουργεί ανεξάρτητα, χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης αλληλεπίδρασης. Αντίθετα, τα ρομποτικά συστήματα είναι φυσικές οντότητες που αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο. Επομένως, ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα είναι μια υβριδική μηχανή που συνδυάζει υλισμικό και λογισμικό, χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη για να λειτουργεί και να αλληλοεπιδρά με τον φυσικό κόσμο, όπως τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό και τα αεροσκάφη χωρίς πιλότο. Ωστόσο, οι προκλήσεις που θέτει η αυτόνομη ρομποτική προέρχονται από την εξάρτηση της από εξελιγμένες διαδικασίες ελέγχου και λήψης αποφάσεων σε κρίσιμα σενάρια ασφάλειας. Συνεπώς, θα πρέπει να επανεξετάζεται η ακρίβεια και ορθότητα των τυπικών μεθόδων επαλήθευσης που χρησιμοποιούν τεχνικές βασισμένες σε μαθηματικά για τον προσδιορισμό και την επιβεβαίωση συστημάτων λογισμικού (Λέντζου, 2023).

Παρόλου που η ευφυής ρομποτική έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ιατρικές και στρατιωτικές εφαρμογές, μόλις πρόσφατα άρχισε να διεισδύει στον βιομηχανικό τομέα. Αυτό οφείλεται στις απαιτήσεις των παραγωγικών διαδικασιών σε τυποποιημένα πρωτόκολλα διορθωτικών και προληπτικών ενεργειών, καθώς και εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό.

Τα ανωτέρω έρχεται να αντιμετωπίσει η επόμενη γενιά ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής που προσφέρει δύο βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τρέχουσα γενιά. Πρώτον, αυτά τα ρομπότ έχουν την ικανότητα να οδηγηθούν αυτόνομα στην γνώση, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους και να επιλύουν προβλήματα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Δεύτερον, η κινητικότητα, η ελεύθερη κίνηση και η ικανότητα συνεργασίας της ευφυούς ρομποτικής βελτιώνει σημαντικά την παραγωγικότητα και την ασφάλεια. Αντίθετα, η σημερινή γενιά βιομηχανικών ρομπότ είναι απομονωμένα σε κλειστούς χώρους και λειτουργούν μόνο σε εξαιρετικά ελεγχόμενα και ντετερμινιστικά περιβάλλοντα για λόγους ασφαλείας (Λέντζου, 2023).

Η επόμενη γενιά ευφυούς βιομηχανικής ρομποτικής βασίζεται σε διάφορες βασικές τεχνολογίες με την τεχνητή νοημοσύνη (AI) να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους που βασίζονται στα νευρωνικά δίκτυα και αφορούν τεχνικές βαθιάς μάθησης. Επίσης, είναι εξοπλισμένα με αισθητήρια συστήματα που περιλαμβάνουν οπτικούς σαρωτές και συστήματα όρασης με τους κατάλληλους κώδικες επεξεργασίας εικόνας. Η εν λόγω βιομηχανική ρομποτική αποτελεί τα συνεργατικά ρομπότ (Cobots). Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά βιομηχανικά ρομπότ, τα Cobots είναι πιο δυναμικά και συμπαγή σε μέγεθος, εξοπλισμένα με προηγμένα υπολογιστικά και αισθητήρια συστήματα για να αντιλαμβάνονται την ανθρώπινη παρουσία γύρω τους (Λέντζου, 2023).

Το ISO 10218, που είναι ένα διεθνές πρότυπο για την ασφάλεια των βιομηχανικών ρομπότ, που αναπτύχθηκε σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (European Committee for Standardization) το 2011, διακρίνει τέσσερις (4) τύπους Cobots (A3 Association for Advancing Automation, 2019):

1. Περιορισμού Δύναμης και Ισχύος (Power and Force Limiting): Αυτά τα cobots είναι σχεδιασμένα να συνεργάζονται άμεσα με τους ανθρώπους χωρίς προστατευτικό περίβλημα. Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες που ανιχνεύουν την επαφή με έναν άνθρωπο και προσαρμόζουν τη δύναμή τους, ώστε να αποτρέπουν ατυχήματα. Η κύρια λειτουργία τους είναι η ασφάλεια, καθώς μειώνουν την ισχύ και την ταχύτητα σε περίπτωση σύγκρουσης.
2. Ασφαλούς Διακοπής (Safety Monitored Stop): Αυτά τα cobots μπορούν να σταματήσουν αυτόματα όταν ένας άνθρωπος πλησιάζει στη ζώνη εργασίας τους, μέσω αισθητήρων ή καμερών που παρακολουθούν το περιβάλλον. Όταν ο άνθρωπος βγει από τη ζώνη, το cobot συνεχίζει τη λειτουργία του.
3. Χειροκίνητης Καθοδήγησης (Hand Guiding): Σε αυτόν τον τύπο cobot, οι χειριστές μπορούν να καθοδηγούν το ρομπότ χρησιμοποιώντας τα χέρια τους. Το cobot καταγράφει την κίνηση και την επαναλαμβάνει αυτόματα. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την εκπαίδευση του ρομπότ χωρίς την ανάγκη σύνθετου προγραμματισμού. Χρησιμοποιούνται σε εργασίες, όπως η συναρμολόγηση ή η ανύψωση βαρέων αντικειμένων με την υποβοήθηση του χειριστή.

4. Παρακολούθηση Ταχύτητας και Απόστασης (Speed and Separation Monitoring): Αυτά τα cobots λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες όταν δεν υπάρχει ανθρώπινη παρουσία. Όταν ο άνθρωπος πλησιάσει, το cobot επιβραδύνει ή σταματά πλήρως. Χρησιμοποιούνται αισθητήρες και κάμερες για την παρακολούθηση της απόστασης μεταξύ του ανθρώπου και του ρομπότ, και προσαρμόζουν ανάλογα τη συμπεριφορά τους. Είναι κατάλληλα για περιβάλλοντα όπου απαιτείται συνδυασμός υψηλής παραγωγικότητας και συνεργασίας.

#### Z) Blockchain:

Το Blockchain είναι μια κατακευματισμένη και αποκεντρωμένη ψηφιακή βάση δεδομένων, γνωστή ως αλυσίδα μπλοκ, η οποία καταγράφει δεδομένα με τρόπο ασφαλής, διαφανή και αμετάβλητο. Κάθε νέα καταχώριση (μπλοκ) συνδέεται κρυπτογραφικά με το προηγούμενο μπλοκ, δημιουργώντας μια αλυσίδα, και τα δεδομένα της κάθε καταχώρισης δεν μπορούν να τροποποιηθούν χωρίς να επηρεαστεί ολόκληρη η αλυσίδα. Ειδικά για την εφοδιαστική αλυσίδα, η χρήση του μπορεί να διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε ανταγωνιστικές ή και μη αξιόπιστες πηγές, ώστε να βελτιωθεί η συλλογική λειτουργία των υπό εξέταση οργανισμών. Μέσω «έξυπνων» συμβολαίων μπορούν να πραγματοποιηθούν και να εκτελεστούν αυτόματα συναλλαγές μέσω αποκεντρωμένων συστημάτων εξασφαλίζοντας πλήρη και συνεχή ιχνηλασιμότητα (Deloitte, ΣΕΒ, 2020).

Το blockchain είναι μια ασφαλής μέθοδος αποθήκευσης και καταγραφής πληροφοριών με τρόπο που καθιστά εξαιρετικά δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη την αλλοίωση, την παραβίαση ή τη χειραγώγηση του συστήματος. Λειτουργεί ως ένα αποκεντρωμένο και κατακευματισμένο σύστημα, όπου οι συναλλαγές αναπαράγονται και διανέμονται σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων υπολογιστών. Έτσι, οι αποθηκευμένες πληροφορίες σχηματίζουν ένα ψηφιακό σύστημα που είναι ανθεκτικό στην παραποίηση (Λέντζου, 2023).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της εν λόγω τεχνολογίας στην εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνουν την παρακολούθηση και ιχνηλασιμότητα προϊόντων, καθώς καταγράφεται η πορεία ενός προϊόντος από την παραγωγή μέχρι την παράδοση, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια στην προέλευση και την ποιότητα, ειδικά στη βιομηχανία τροφίμων. Τηρείται διαφάνεια και αξιοπιστία, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των συνεργατών και την αυθεντικότητα των προϊόντων, ειδικά στη φαρμακευτική. Επιπλέον, βελτιώνεται η διαχείριση των αποθεμάτων, μέσω της παρακολούθησής τους σε πραγματικό χρόνο και επακολούθως μειώνονται τα κόστη και οι χρόνοι παραγωγής και παράδοσης. Τέλος, το blockchain αυτοματοποιεί την καταγραφή εγγράφων όπως τιμολόγια και πιστοποιήσεις, μειώνοντας την ανάγκη για μεσάζοντες (Λέντζου, 2023).





Εικόνα 4.6 Οι βασικές τεχνολογίες της βιομηχανίας 4.0 (Lvivity Team, 2020).

#### **4.4 Προκλήσεις και αδυναμίες των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (Cyber Security)**

Σύμφωνα με την έκθεση «ENISA Threat Landscape 2024» που δημοσιεύεται από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Ασφάλεια Δικτύων και Πληροφοριών (ENISA) κάθε χρόνο, παρατηρήθηκε ότι οι απειλές διαθεσιμότητας (DDoS) και Ransomware βρίσκονται στην κορυφή της λίστας των απειλών για μια ακόμη χρονιά. Επιπλέον, καταγράφηκαν 19.754 ευπάθειες, από τις οποίες το 9.3% κατηγοριοποιήθηκαν ως "κρίσιμες" και το 21.8% ως "υψηλής επικινδυνότητας". Σημειώθηκε σημαντική αύξηση στις επιθέσεις BEC (Business Email Compromise), που στοχεύουν σε επιχειρηματικές επικοινωνίες μέσω email. Επιπλέον, οι προσφορές Malware-as-a-Service (MaaS) εξακολουθούν να αποτελούν σημαντική και ταχέως εξελισσόμενη απειλή από τα μέσα του 2023 και οι επιθέσεις μέσω ανοικτού κώδικα σημείωσαν άνοδο, όπως στην περίπτωση του έργου XZ Utils, όπου εισήχθη κακόβουλος κώδικας μέσω αλυσίδας εφοδιασμού. Τέλος, το DDoS-for-Hire εξακολουθεί να επιτρέπει σε άπειρους χρήστες να εκτελούν μεγάλης κλίμακας επιθέσεις (ENISA, 2024).

Ειδικότερα, η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των 10 πρώτων ευρωπαϊκών χωρών σε πιθανότητα να έρθουν αντιμέτωπες με επιθέσεις κακόβουλου λογισμικού (malware) και μεταξύ των 10 πρώτων σε πιθανότητα να αντιμετωπίσουν επίθεση με λογισμικό εκβίασης για καταβολή λύτρων (ransomware), σύμφωνα με έκθεση της Spécops. Η εν λόγω έκθεση που βασίζεται στην Έκθεση Ψηφιακής Άμυνας της Microsoft, έδειξε ότι η Ελλάδα κατατάσσεται στη 13η θέση μεταξύ των 32 χωρών με τα υψηλότερα επίπεδα εγκληματικότητας στον κυβερνοχώρο, έχοντας δεχθεί περίπου το 4% του συνόλου των κυβερνο-επιθέσεων στην Ευρώπη (Νομική Βιβλιοθήκη, 2024).

Αναλυτικότερα, το 2022 στην Ελλάδα καταγράφηκαν οι εξής σημαντικές κυβερνο - επιθέσεις (Νομική Βιβλιοθήκη, 2024):

1. Επίθεση Ransomware στα Ελληνικά Ταχυδρομεία: Οι εκβιαστές του κυβερνοχώρου πραγματοποίησαν επίθεση με λογισμικό εκβίασης για καταβολή λύτρων (ransomware) τον Μάρτιο του 2022 στα Ελληνικά Ταχυδρομεία (ΕΛΤΑ), τα οποία αναγκάστηκαν να αποσυνδέσουν πολλές υπηρεσίες. Η στοχευμένη επίθεση αποσκοπούσε στην κρυπτογράφηση των κρίσιμων συστημάτων που χρησιμοποιούνται στις καθημερινές λειτουργίες των ΕΛΤΑ, εκμεταλλευόμενη μια ευπάθεια ημέρας-μηδέν (zero-day) στα συστήματά τους. Για τη διασφάλιση της συνέχισης της επιχειρησιακής δραστηριότητας, ο πάροχος ταχυδρομικών υπηρεσιών χρησιμοποίησε την ΕΛΤΑ Courier, μια θυγατρική των ΕΛΤΑ, για την παροχή όλων των υπηρεσιών πλην των χρηματοοικονομικών, καθώς η εν λόγω μονάδα δεν επηρεάστηκε από την κυβερνο-επίθεση.
2. Κυβερνο-επίθεση κατά του Μεγαλύτερου Ελληνικού Χειριστή Δικτύου Κινητής Τηλεφωνίας: Η Ελληνική Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα επέβαλε το 2022 στην COSMOTE ΚΙΝΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Α.Ε. πρόστιμο συνολικού ύψους €5,85 εκατ. λόγω διαρροής δεδομένων κλήσεων συνδρομητών, ενώ στον Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών της Ελλάδος Α.Ε. επέβαλε πρόστιμο ύψους €3,25 εκατ. για την ίδια υπόθεση. Εν προκειμένω, οι επιτήδριοι χάκερσ απέκτησαν πρόσβαση διαχειριστή χρησιμοποιώντας τον κωδικό πρόσβασης ενός διαχειριστή της εταιρείας για να διεισδύσουν στο σύστημα της Cosmote και να υποκλέψουν τα δεδομένα των συνδρομητών.
3. Κυβερνο-επίθεση σε Υπηρεσίες του Gov.gr και του TAXISnet: Μία από τις μεγαλύτερες κυβερνο-επιθέσεις στην Ελλάδα συνέβη τον Νοέμβριο του 2022, όταν οι εγκληματίες του κυβερνοχώρου προσπάθησαν να διακόψουν τη λειτουργία 800 κρατικών υπηρεσιών, αποκόπτοντας μεταξύ άλλων την πρόσβαση ασθενών στην υπηρεσία ιατρικής συνταγογράφησης. Οι χάκερσ έστειλαν μια σειρά από bots για να κατακλύσουν τους ιστοτόπους και να επιβραδύνουν σημαντικά τη μετάδοση δεδομένων, εμποδίζοντας την πρόσβαση σε νόμιμους χρήστες. Η Εθνική Αρχή Κυβερνο-ασφάλειας (National Cyber Security Authority – NCSA) ερεύνησε το περιστατικό και ανέφερε ότι η επίθεση πιθανότατα προήλθε από την Ολλανδία.
4. Επίθεση στον Εθνικό Διαχειριστή Φυσικού Αερίου της Ελλάδας: Ο Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου, ο οποίος λειτουργεί και διαχειρίζεται την υπηρεσία φυσικού αερίου της χώρας, δέχθηκε επίθεση τον Αύγουστο του 2022 στις υποδομές του τεχνολογίας πληροφοριών κατά την οποία οι εγκληματίες τοποθέτησαν αρχεία του Συστήματος Φυσικού Αερίου στο dark web και έκλεψαν στοιχεία υπαλλήλων και πελατών. Τέτοιου είδους επιθέσεις έχουν εντείνει τις προσπάθειες για εφαρμογή του εθνικού προγράμματος κυβερνο-ασφάλειας, καθιστώντας το κορυφαία προτεραιότητα. Εις απάντησιν, η Εθνική Αρχή Κυβερνο-ασφάλειας σχεδιάζει μια σειρά ελέγχων σε όλο τον δημόσιο τομέα και σε μεσαίες και μεγάλες ιδιωτικές επιχειρήσεις, δίνοντας έμφαση σε βέλτιστες πρακτικές τεχνικών και οργανωτικών μέτρων διαχείρισης σχετικών κινδύνων.

Αξιοσημείωτη είναι και η πρόσφατη (19 Ιουλίου 2024) παγκόσμια διακοπή υπηρεσιών της Microsoft, που επηρέασε το Microsoft Azure και το Microsoft 365. Η εταιρεία δήλωσε ότι η

διακοπή, που διήρκεσε σχεδόν 10 ώρες, προκλήθηκε από μια κυβερνο-επίθεση στην εταιρεία CrowdStrike, με την οποία συνεργάζεται για θέματα ασφαλείας. Συγκεκριμένα, επρόκειτο για έναν επιτυχή Distributed Denial-of-Service (DDoS) attack, σε συνδυασμό με μια αποτυχία στην άμυνα των συστημάτων της. Χιλιάδες χρήστες αντιμετώπισαν προβλήματα με τις υπηρεσίες της Microsoft, επηρεάζοντας και άλλες εταιρείες που βασίζονται σε αυτές, όπως η Cambridge Water και η HM Courts and Tribunals Service (Silva, 2024).

#### 4.4.1 Μέτρα ασφάλειας

Η ταχεία υιοθέτηση των ανωτέρω τεχνολογιών φέρνει στο προσκήνιο αρκετές προκλήσεις που μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των επιχειρήσεων. Οι βασικές αδυναμίες τους περιλαμβάνουν την έλλειψη διαλειτουργικότητας, τα ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, την χωροχρονική ανάλυση των αισθητηριακών δεδομένων, τις καθυστερήσεις στην επικοινωνία, τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, την ταχεία παραγωγή και ποικιλία αυτών, καθώς και την αποτελεσματική αρχειοθέτηση και επεξεργασία τους.

Λαμβάνοντας υπόψιν την μεγάλη συνδεσιμότητα που κυριαρχεί στις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, γίνεται κατανοητό ότι όλο και περισσότερες συσκευές κάθε είδους συνδέονται στο διαδίκτυο, αφήνοντας ευρύ περιθώριο κυβερνο - επιθέσεων (cyber - attacks). Επιπλέον, λόγω της ραγδαία αυξανόμενης ζήτησης υπάρχουν πολλές συσκευές και πόροι πληροφορικής που δεν σχεδιάζονται εξαρχής με γνώμονα την ασφάλεια.

Συνεπώς, κατά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών θα πρέπει να τηρούνται ως προδιαγραφές ασφάλειας η εμπιστευτικότητα (Confidentiality, ευαισθησία των δεδομένων και της πνευματικής ιδιοκτησίας), η ακεραιότητα (Integrity, ορθότητα και ακρίβεια δεδομένων) και η διαθεσιμότητα (Authentication, καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τυχόν βλάβες).

Πιο αναλυτικά, η ακεραιότητα αποτελεί πρωταρχικό μέλημα στην προοπτική της ασφάλειας δεδομένων, διότι οι εντολές ελέγχου και τα δεδομένα παρακολούθησης θα μεταφέρονται μέσω των δικτύων τρίτων. Επιπλέον, η ταυτοποίηση των διαφορετικών πηγών δεδομένων θα αποτελέσει κρίσιμη απαίτηση για την εδραίωση της αμοιβαίας εμπιστοσύνης στα διάφορα επιχειρηματικά οικοσυστήματα. Οι μηχανισμοί ταυτοποίησης θα πρέπει να είναι κλιμακούμενοι, προκειμένου να επιτρέπεται η σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών παραγωγής και επεξεργασίας δεδομένων στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ταυτόχρονα, με την εξέλιξη της κβαντικής υπολογιστικής, τα συστήματα ταυτοποίησης θα πρέπει να είναι σε θέση να υιοθετούν την κβαντική υπολογιστική, ώστε να μπορούν να ανταπεξέρχονται σε μελλοντικές εφαρμογές της. Ένα ακόμη μέτρο ασφάλειας είναι η ανάπτυξη μηχανισμών ελέγχου πρόσβασης. Αυτοί οι μηχανισμοί θα εξασφαλίζουν την πρόσβαση στους ευαίσθητους πόρους, όπως οι πνευματικές ιδιοκτησίες, μονάχα σε εξουσιοδοτημένους ενδιαφερόμενους. Ταυτόχρονα, η δυνατότητα ελέγχου αποτελεί βασικό στοιχείο για την αξιολόγηση της ευθυγράμμισης της λειτουργίας των συστημάτων με τους ορισμούς κανονιστικής συμμόρφωσης. Η διαχείριση των αρχείων καταγραφών θα πρέπει να υποστηρίζει τις απαιτήσεις κλιμάκωσης στη μαζική συνδεσιμότητα που αναμένεται στα μελλοντικά συστήματα (Χατζηδάκης, 2023).

Σήμερα, τα διαθέσιμα εργαλεία ασφαλείας περιλαμβάνουν:



1. Τείχος προστασίας (Firewall): Το firewall φιλτράρει την εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση δικτύου, επιτρέποντας μόνο τις εγκεκριμένες συνδέσεις με βάση προκαθορισμένους κανόνες. Είναι το πρώτο επίπεδο άμυνας που προστατεύει το σύστημα από μη εξουσιοδοτημένες πρόσβασεις. Δημοφιλή εργαλεία περιλαμβάνουν τα Cisco ASA, Palo Alto Networks και pfSense.
2. Antivirus και Anti-malware: Αυτά τα εργαλεία προστατεύουν τα συστήματα από κακόβουλο λογισμικό, όπως ιούς, trojans, spyware και ransomware. Σκανάρουν τα δεδομένα και τα αρχεία, ανιχνεύοντας και αφαιρώντας απειλές. Κορυφαία εργαλεία σε αυτή την κατηγορία είναι τα Symantec Norton, McAfee, Kaspersky και Malwarebytes.
3. Intrusion Detection System (IDS) & Intrusion Prevention System (IPS): Τα IDS ανιχνεύουν ύποπτες δραστηριότητες σε δίκτυα και συστήματα και ειδοποιούν τους διαχειριστές, ενώ τα IPS προχωρούν ένα βήμα παραπέρα λαμβάνοντας μέτρα για την αποτροπή αυτών των απειλών. Δημοφιλή εργαλεία είναι τα Snort, Suricata και Cisco Firepower.
4. Security Information and Event Management (SIEM): Τα SIEM εργαλεία συλλέγουν, αναλύουν και συσχετίζουν δεδομένα ασφαλείας από πολλαπλές πηγές, προσφέροντας ολοκληρωμένη εικόνα της ασφάλειας των συστημάτων. Μεταξύ των κορυφαίων εργαλείων βρίσκονται τα Splunk, IBM QRadar και ArcSight, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό και την απόκριση σε συμβάντα ασφαλείας.
5. Εργαλεία κρυπτογράφησης (Encryption Tools): Η κρυπτογράφηση διασφαλίζει την εμπιστευτικότητα των δεδομένων κατά τη μετάδοση ή την αποθήκευση. Τα εργαλεία κρυπτογράφησης όπως το VeraCrypt, το BitLocker και το OpenSSL προστατεύουν τα δεδομένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.
6. Σάρωση και διαχείριση ευπαθειών (Vulnerability Scanning & Management): Αυτά τα εργαλεία σαρώνουν συστήματα για ευπάθειες, όπως ανοιχτές θύρες, ξεπερασμένα λογισμικά και ασθενείς κωδικούς πρόσβασης. Δημοφιλή εργαλεία περιλαμβάνουν τα Nessus, OpenVAS και Qualys, τα οποία βοηθούν στον εντοπισμό και τη διόρθωση ευπαθειών στα συστήματα.
7. Δοκιμές διείσδυσης (Penetration Testing): Εργαλεία όπως το Metasploit, το Burp Suite και το Wireshark χρησιμοποιούνται για τη διενέργεια δοκιμών διείσδυσης, προσομοιώνοντας επιθέσεις για την ανεύρεση αδυναμιών στα συστήματα και την ενίσχυση της ασφάλειας.
8. Identity and Access Management (IAM): Τα εργαλεία IAM, όπως τα Okta, Microsoft Azure Active Directory και OneLogin, διαχειρίζονται την πρόσβαση των χρηστών σε πληροφοριακά συστήματα, εξασφαλίζοντας ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα.
9. Data Loss Prevention (DLP): Τα εργαλεία DLP προστατεύουν τα δεδομένα από απώλεια ή διαρροή, παρακολουθώντας τη ροή πληροφοριών μέσα και έξω από τον

οργανισμό. Μεταξύ των κορυφαίων εργαλείων είναι τα Symantec DLP, McAfee Total Protection for DLP και Digital Guardian.

10. Endpoint Detection and Response (EDR): Τα EDR εργαλεία, όπως το CrowdStrike Falcon, το Carbon Black και το SentinelOne, παρακολουθούν και αναλύουν τις endpoint συσκευές, όπως υπολογιστές και κινητά, για τον εντοπισμό και την απόκριση σε απειλές σε πραγματικό χρόνο.
11. Διαχείριση κωδικών πρόσβασης (Password Management): Τα εργαλεία διαχείρισης κωδικών πρόσβασης αποθηκεύουν και προστατεύουν κωδικούς πρόσβασης με ασφαλή τρόπο. Δημοφιλή εργαλεία σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν τα LastPass, Dashlane και Keeper, τα οποία μειώνουν τον κίνδυνο παραβιάσεων λόγω αδύναμων κωδικών.
12. Cloud Security Tools: Τα εργαλεία ασφάλειας cloud προστατεύουν δεδομένα και εφαρμογές που φιλοξενούνται σε περιβάλλοντα cloud από κυβερνοαπειλές. Κορυφαία εργαλεία σε αυτόν τον τομέα είναι τα Microsoft Azure Security Center, AWS Security Hub και Google Cloud Security Command Center, τα οποία εξασφαλίζουν την ασφάλεια των δεδομένων στο cloud.

#### 4.4.2 Ηθικά ζητήματα εφαρμογής AI - Βιομηχανία Τροφίμων

Η βιομηχανία τροφίμων θεωρείται μία από τις πιο ευάλωτες βιομηχανίες σε κυβερνο - επιθέσεις, λόγω της μοναδικής της υποδομής και του μεγάλου αριθμού ενδιαφερομένων μερών που εμπλέκονται, όπως παραγωγοί, κατασκευαστές, λιανοπωλητές, απειλώντας την ευημερία των καταναλωτών, τους πόρους και την οικονομία (Sandeep Jagtap, 2020).

Όσον αφορά τον πρωτογενή τομέα, ένα ηθικό πλαίσιο για την ανάπτυξη τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον γεωργικό τομέα, περιλαμβάνει έξι βασικές αρχές: δικαιοσύνη, διαφάνεια, υπευθυνότητα, βιωσιμότητα, ιδιωτικότητα και ανθεκτικότητα. Ειδικότερα, υπογραμμίζεται η σημασία της διαφάνειας και της δικαιοσύνης στις AI εφαρμογές, καθώς λόγω του ότι βασίζονται σε μεγάλο όγκο δεδομένων, μπορεί να περιέχουν σφάλματα, τα οποία επηρεάζουν την αξιοπιστία και τη δικαιοσύνη των μοντέλων, με σοβαρές συνέπειες για τους χειριστές (European Union, 2023).

Η διαφάνεια και η δικαιοσύνη είναι κρίσιμες για την αποδοχή των εφαρμογών AI από τους αγρότες και τους άλλους εμπλεκόμενους φορείς. Τα μοντέλα AI συχνά βασίζονται σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, τα οποία μπορεί να περιέχουν σφάλματα ή προκαταλήψεις. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να επηρεάσουν την αξιοπιστία των αποφάσεων που λαμβάνονται με τη χρήση αυτών των μοντέλων, οδηγώντας σε σοβαρές συνέπειες για τους χειριστές και την παραγωγή τους. Επομένως, η διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων και η διαφάνεια σχετικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται είναι θεμελιώδους σημασίας (European Union, 2023).

Η ψηφιακή μεταρρύθμιση έχει τη δυνατότητα να ενδυναμώσει τους μικρούς και μεσαίους αγρότες, παρέχοντάς τους πρόσβαση σε εργαλεία και πληροφορίες που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Ωστόσο, όπως επισημαίνει η έκθεση του Centre for European Policy Studies και του Barilla Centre for Food & Nutrition Foundation, η έλλειψη δημόσιας πολιτικής μπορεί να οδηγήσει σε αποκλεισμό των αγροτών από την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει μια νέα μορφή οικονομικής εξάρτησης, όπου οι αγρότες, αν και

κατέχουν τη γη τους, ενδέχεται να ενοικιάζουν τα δεδομένα τους και τον ψηφιακό εξοπλισμό τους από μεγάλες εταιρείες του αγροτικού τομέα ή τεχνολογικούς κολοσσούς (European Union, 2023).

Για να αποφευχθεί αυτή η επικίνδυνη εξέλιξη, είναι αναγκαία η ανάπτυξη μιας καθορισμένης δημόσιας πολιτικής που να προάγει την ψηφιακή συμπερίληψη και την προστασία των δικαιωμάτων των αγροτών. Η νομοθεσία θα πρέπει να διευκρινίζει την ιδιοκτησία των δεδομένων, να προσφέρει υποστήριξη για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων, και να διασφαλίζει ότι οι αγρότες λαμβάνουν δίκαιες αποζημιώσεις για την πνευματική τους ιδιοκτησία (European Union, 2023).

Γενικότερα, η UNESCO το 2023 δημοσίευσε κάποιες συστάσεις σχετικά με την ηθική της τεχνητής νοημοσύνης και επισημαίνει την σημασία της ανάπτυξης και χρήσης της ΑΙ με ηθικό τρόπο. Οι βασικές αρχές που αναφέρει έχουν ως εξής (UNESCO, 2023):

1. Δικαιοσύνη και Ισότητα: Η τεχνητή νοημοσύνη πρέπει να προάγει την κοινωνική δικαιοσύνη και να αποφεύγει προκαταλήψεις.
2. Διαφάνεια: Οι διαδικασίες και οι αλγόριθμοι πρέπει να είναι διαφανή, ώστε οι χρήστες να κατανοούν πώς λειτουργούν.
3. Υπευθυνότητα: Οι οργανισμοί που αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν ΑΙ πρέπει να είναι υπεύθυνοι για τις αποφάσεις που λαμβάνονται.
4. Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα: Πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα η προστασία των προσωπικών δεδομένων και η ασφάλεια των συστημάτων.
5. Συμμετοχή και Συνεργασία: Η ανάπτυξη πολιτικών για την ΑΙ πρέπει να περιλαμβάνει τη συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων.

Συνοψίζοντας, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στο εν λόγω κεφάλαιο της μελέτης, η Βιομηχανία 4.0 σε αντίθεση με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, εδραίωσε τεχνολογίες, όπως το ΙοΤ, οι οποίες αποτελούν βασικό τμήμα κάθε προϊόντος, οδηγώντας σε διαρθρωτικές αλλαγές και επιχειρηματικές ευκαιρίες σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, δημιουργώντας ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα και στενότερες σχέσεις με τους πελάτες. Ωστόσο, η εφαρμογή των προηγμένων τεχνολογιών ενέχει προκλήσεις, όπως το κόστος, η τεχνογνωσία, η ορθολογική εφαρμογή των νέων συστημάτων, η ανάγκη για μεγαλύτερη έμφαση στην βιωσιμότητα και η ανεπαρκής τυποποίηση των μεθόδων, με αποτέλεσμα οι νεοσύστατες επιχειρήσεις να αντιμετωπίζουν μεγάλες δυσκολίες κατά την εδραίωση τους στην αγορά.

Ως αποτέλεσμα σε έναν κόσμο όπου κυριαρχεί η παγκοσμιοποίηση, η στενή εστίαση στο κέρδος αποτυγχάνει να λάβει υπόψη το πλήρες περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος και όφελος. Προκειμένου η βιομηχανία να προάγει πραγματικά την ευημερία, ο σκοπός της πρέπει να περιλαμβάνει κοινωνικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές εκτιμήσεις. Αυτό περιλαμβάνει την υπεύθυνη καινοτομία, η οποία δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στην αύξηση της αποδοτικότητας του κόστους ή στη μεγιστοποίηση του κέρδους, αλλά και στην προώθηση της ευημερίας για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη που την απαρτίζουν, συμπεριλαμβανομένων τόσο των επενδυτών, όσο και των εργαζομένων, των καταναλωτών, της κοινωνίας και του ίδιου του περιβάλλοντος. Αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης αντιπροσωπεύεται από την εισαγωγή της Βιομηχανίας 5.0, η οποία περιλαμβάνει της τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, με την προσθήκη της ανθρωποκεντρικής διάστασης, της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας.

Οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, που εστιάζουν στην ψηφιοποίηση, την αυτοματοποίηση και τη συνδεσιμότητα στην παραγωγή, καλύπτονται από διάφορους διεθνείς οργανισμούς και

φορείς. Αυτοί οι οργανισμοί αναπτύσσουν πρότυπα, παρέχουν καθοδήγηση και προάγουν την υιοθέτηση των τεχνολογιών Βιομηχανίας 4.0. Ορισμένοι από τους σημαντικότερους οργανισμούς είναι (Lydon, n.d.); (Advance Manufacturing Forum, n.d.):

1. Plattform Industrie 4.0: Είναι μια γερμανική πρωτοβουλία που προωθεί την ανάπτυξη και εφαρμογή της Βιομηχανίας 4.0. Εστιάζει στην ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών με τη βιομηχανία και αναπτύσσει στρατηγικές, πρότυπα και καθοδήγηση για την ψηφιοποίηση της παραγωγής.
2. Industrial Internet Consortium (IIC): Προωθεί το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) και συνδυάζει την αυτοματοποίηση, τη συνδεσιμότητα και την ανάλυση δεδομένων για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας. Αναπτύσσει πρότυπα και πλαίσια για την ενσωμάτωσή τους στη βιομηχανία.
3. OPC Foundation: Αναπτύσσει και προάγει το πρότυπο OPC UA (Unified Architecture), το οποίο είναι κρίσιμο για την ενσωμάτωση και την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών βιομηχανικών συστημάτων και εφαρμογών.
4. ISA (International Society of Automation): Παρέχει πρότυπα, εκπαίδευση και επαγγελματική ανάπτυξη για τις τεχνολογίες αυτοματοποίησης και ελέγχου.
5. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers): Αναπτύσσει πρότυπα και τεχνολογίες που σχετίζονται με την αυτοματοποίηση και τις βιομηχανικές εφαρμογές, υποστηρίζοντας την πρόοδο της Βιομηχανίας 4.0.
6. ANSI (American National Standards Institute): Συνεργάζεται με άλλους οργανισμούς για την ανάπτυξη εθνικών και διεθνών προτύπων για τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0.
7. Digital Manufacturing and Design Innovation Institute (DMDII): Προάγει την καινοτομία στις ψηφιακές τεχνολογίες και τις προσεγγίσεις σχεδίασης στην παραγωγή, με στόχο την βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας.

#### **4.5 Συνολική αξιολόγηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 - Βιωσιμότητα**

Αξίζει να αναφερθεί μια μελέτη, στην οποία αξιολογήθηκαν με βάση τον αντίκτυπο στους βιώσιμους στόχους ανάπτυξης συνολικά 17 τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, οι οποίες είναι προσθετική κατασκευή, τεχνητή νοημοσύνη, επαυξημένη πραγματικότητα, αυτόνομοι ρομποτικοί μηχανισμοί, ανάλυση μεγάλων δεδομένων, blockchain, υπολογιστικό νέφος, cobots, κυβερνοασφάλεια, drones, GPS, Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT), κινητές τεχνολογίες, νανοτεχνολογία, RFID, αισθητήρες και προσομοίωση / ψηφιακά δίδυμα (Chunguang Bai, 2020).

Κάθε τεχνολογία αξιολογήθηκε ως προς τους εξής βιώσιμους στόχους:

- Οικονομία: εξάλειψη της φτώχειας, αξιοπρεπής εργασία και οικονομική ανάπτυξη, βιομηχανία, καινοτομία και υποδομές, μείωση ανισοτήτων.
- Κοινωνία: εξάλειψη της πείνας, ισότητα των φύλων, καλή υγεία και ευημερία, ποιοτική εκπαίδευση.

- Περιβάλλον: καθαρό νερό και αποχέτευση, προσιτή και καθαρή ενέργεια, βιώσιμες πόλεις και κοινότητες, υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή, ζωή κάτω από το νερό, ζωή στη στεριά.

Η πρώτη συγκριτική ανάλυση αφορά τον αντίκτυπο των τεχνολογιών στη βιωσιμότητα σε διάφορες βιομηχανίες. Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι οι εν λόγω τεχνολογίες έχουν πολύ διαφορετικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα – από 0.030 για την επαυξημένη πραγματικότητα έως 0.593 για την κινητή τεχνολογία – ο οποίος σχετίζεται, κυρίως, με τον τομέα δραστηριοποίησης.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τη βιομηχανία αυτοκινήτων, η ναυοτεχνολογία προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα για τη βελτίωση της βιωσιμότητας (0.887). Αυτό οφείλεται στη δυναμική συμβολή της ναυοτεχνολογίας στην ανάπτυξη σύνθετων υλικών με βιώσιμα υλικά. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των οχημάτων και της χρήσης πλαστικών υλικών. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών η προσομοίωση / ψηφιακά δίδυμα έχει την μεγαλύτερη συμβολή στην βιωσιμότητα, με βαθμολογία ίση με 1. Ο λόγος είναι η αύξηση της παραγωγής με σταθερή και βελτιωμένη ποιότητα προϊόντων και η καλύτερη διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων (ενέργεια, νερό) και των πρώτων υλών. Τα ψηφιακά δίδυμα ακολουθούνται από το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες όπως το GPS και οι αισθητήρες. Για παράδειγμα, στον πρωτογενή τομέα, με αυτόν τον τρόπο υποστηρίζεται η βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων στους τομείς των λιπασμάτων, της άρδευσης, του χρόνου συγκομιδής και των αποστάσεων σποράς.

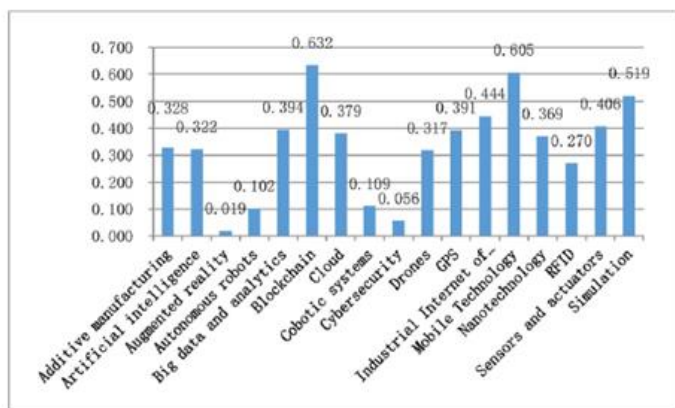
Ως προς τους στόχους οικονομίας, διαπιστώθηκε ότι η τεχνολογία blockchain είναι η πιο οικονομικά βιώσιμη τεχνολογία (βαθμολογία 0.632) και ακολουθείται από την κινητή τεχνολογία με βαθμολογία 0.605. Αυτό υποστηρίζεται με παραδείγματα εφαρμογών όπως η μείωση της σπατάλης τροφίμων σε αλυσίδες εστιατορίων, η προώθηση της έξυπνης αστικής κινητικότητας και η αύξηση της παραγωγικότητας μέσω της πέμπτης γενιάς κινητής τεχνολογίας (5G).

Από την άλλη, όσον αφορά του περιβαλλοντικούς στόχους, οι τεχνολογίες με τον μεγαλύτερο αντίκτυπο είναι οι αισθητήρες, η τεχνητή νοημοσύνη, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και το υπολογιστικό νέφος. Επίσης, το υπολογιστικό νέφος αποτελεί και την πιο κοινωνικά βιώσιμη τεχνολογία με βαθμολογία 0.646. Τα μεγάλα δεδομένα και οι αναλύσεις ακολουθούν με βαθμολογία 0.623, καθώς περιλαμβάνουν τη συστηματική συλλογή και ανάλυση αξιολογήσεων καταναλωτών για να εντοπιστούν τα αντιληπτά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συγκεκριμένων προϊόντων ή υπηρεσιών.

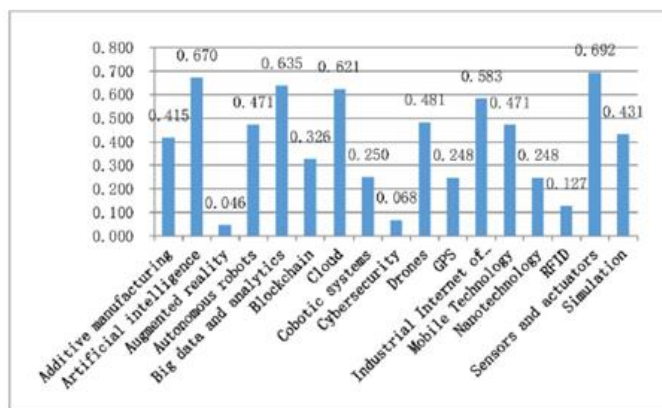
Η τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται να έχει περιορισμένο αντίκτυπο στη βελτίωση της κοινωνικής βιωσιμότητας στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών. Ακόμα κι αν η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην ανάλυση και εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών, ο πρωτογενής τομέας αντιμετωπίζει πιο απρόβλεπτα γεγονότα, όπως οι μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες, οι αλλαγές στην ποιότητα του εδάφους και η απρόσμενη επίδραση παρασίτων και ασθενειών. Αυτή η αβεβαιότητα καθιστά την δοκιμή, την επικύρωση και την επιτυχή εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών πολύ πιο δύσκολη από ό,τι σε άλλες βιομηχανίες.



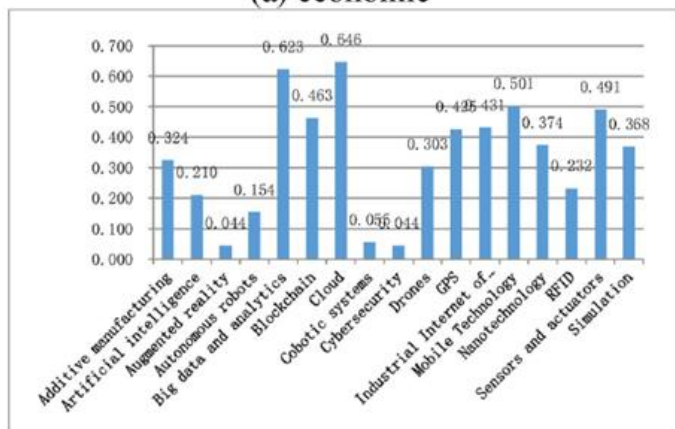
Συνοψίζοντας, τα ανωτέρω ευρήματα υποδεικνύουν ότι οι τεχνολογίες μπορούν να προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα βιωσιμότητας ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής τους. Είναι κρίσιμο οι επιχειρήσεις να εξετάσουν προσεκτικά την επιλογή τεχνολογιών που όχι μόνο προάγουν την οικονομική τους ανάπτυξη, αλλά και τη βιωσιμότητα σε κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, επιδιώκοντας ένα ισχυρότερο και πιο βιώσιμο μέλλον.



(a) economic



(b) environmental



(c) social

**Εικόνα 4.7** Βαθμολογίες βιωσιμότητας των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 ως προς τις τρεις διαστάσεις των στόχων βιωσιμότητας (a: οικονομική, b: περιβαλλοντική, c: κοινωνική) (Chunguang Bai, 2020).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ IoT & DT ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ**

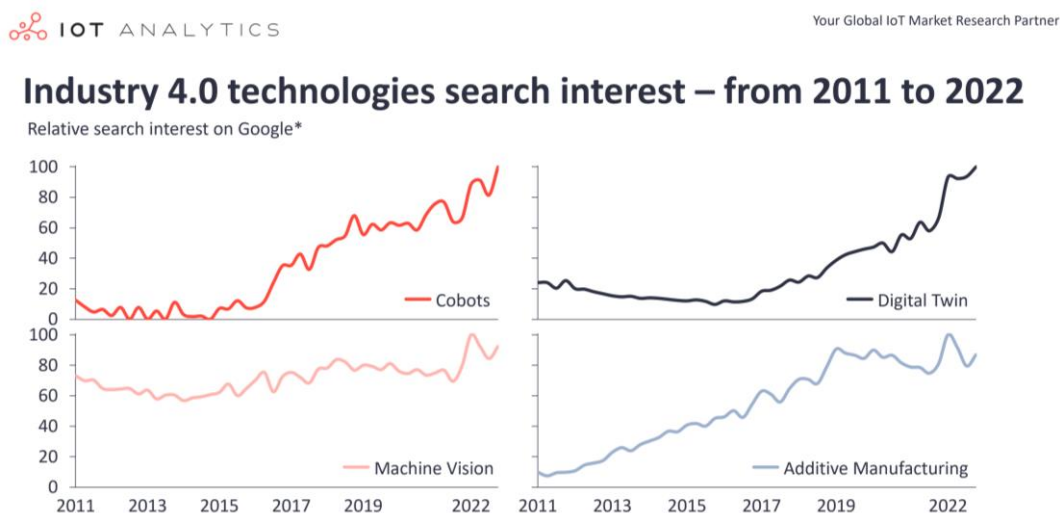


Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση με στόχο την καλύτερη κατανόηση των λειτουργιών του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT) και των Ψηφιακών Διδύμων (DT) στην εφοδιαστική αλυσίδα. Μέσα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων ερευνών και δημοσιεύσεων, εξετάζονται οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις, οι πρακτικές εφαρμογές, καθώς και κωλύματα στην υιοθέτηση των ανωτέρω. Η ανασκόπηση εντοπίζει τα κενά στη βιβλιογραφία, που διαμορφώνουν το πλαίσιο για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

### **5.1. Στατιστικά στοιχεία αναζητήσεων για την Βιομηχανία 4.0**

Αξιοσημείωτο είναι το άρθρο του (Paraskevoopoulos, 2022), στο οποίο αναλύονται στατιστικά στοιχεία που αφορούν την αυξανόμενη στροφή της αγοράς στην Βιομηχανία 4.0.

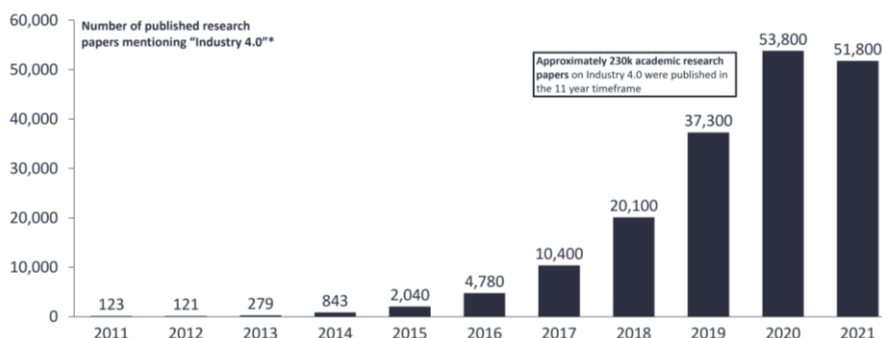
Συγκεκριμένα, οι αναζητήσεις για τη Βιομηχανία 4.0 στην Google το 2022 ήταν 140 φορές περισσότερες από το 2011, όπου καταγράφηκε για πρώτη φορά ο όρος. Την ίδια χρονική περίοδο σημείωσαν αύξηση και σχετικοί όροι, όπως το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial IoT) και η «Έξυπνη» Κατασκευή (Smart Manufacturing) (32 φορές και 3,5 φορές περισσότερες αναζητήσεις, αντίστοιχα).



**Εικόνα 5.1** Η αύξηση των αναζητήσεων στην Google για τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 από το 2011 ως το 2022 (Paraskevoopoulos, 2022).

Επιπλέον, περισσότερα από 50.000 ακαδημαϊκά άρθρα σχετικά με τη Βιομηχανία 4.0 δημοσιεύτηκαν το 2020 και το 2021, και πάνω από 200.000 έχουν δημοσιευτεί συνολικά από το 2011 ως το 2021.

### Academic research papers mentioning “Industry 4.0”



**Εικόνα 5.2** Η αύξηση των επιστημονικών δημοσιεύσεων για την Βιομηχανία 4.0 από το 2011 ως το 2022 (Paraskevonoulos, 2022).

Τέλος, έρευνα του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ το 2015, που περιλάμβανε 250 ηγέτιδες επιχειρήσεις της αγοράς, διαπίστωσε ότι το 88% των συμμετεχόντων δεν είχε επίγνωση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 και των δυνατοτήτων τους. Εν συνεχεία, σε αντίστοιχη έρευνα, το 2022 από την IoT Analytics, το 72% των επιχειρήσεων είχαν ήδη εφαρμόσει εν μέρει ή πλήρως τις εν λόγω τεχνολογίες.

#### **5.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of things, IoT)**

Η DHL, μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες παγκόσμιων ταχυμεταφορών και logistics, ιδρύθηκε το 1969 και μέχρι σήμερα έχει εξελιχθεί σε παγκόσμιο ηγέτη στον κλάδο της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας υπηρεσίες όπως ταχυμεταφορές (Express delivery), Logistics, μεταφορές μέσω αέρα, θάλασσας, ξηράς και σιδηρόδρομων, καλύπτοντας την αποστολή μεγάλων φορτίων σε όλο τον κόσμο και τέλος υποστηρίζει την ταχεία αποστολή και διαχείριση παραγγελιών για ηλεκτρονικά καταστήματα (Μαστραντώνας, 2023).

Η εταιρεία έχει υιοθετήσει πελατοκεντρικό χαρακτήρα, παρέχοντας λύσεις αιχμής, φιλικές προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμες. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια, η DHL έχει πραγματοποιήσει σημαντικές επενδύσεις στις ψηφιακές της δυνατότητες, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης προηγμένων λύσεων ανάλυσης, τεχνητής νοημοσύνης και Internet of Things (IoT). Αυτές οι επενδύσεις έχουν ενισχύσει την ορατότητα και την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ παρέχουν στους πελάτες της δεδομένα και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.

Έτσι, το 2020 το τμήμα των Logistics σημείωσε έσοδα 14,5 δισεκατομμυρίων ευρώ, αύξηση 2,6% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, ενώ τα λειτουργικά κέρδη ήταν 688 εκατ. ευρώ, αύξηση 10,2% σε σύγκριση με το 2019. Συνολικά, η οικονομική απόδοση της εταιρείας το 2020 ήταν σταθερή, παρά τις προκλήσεις που έθεσε η πανδημία COVID-19.

Επιπρόσθετα, η DHL Freight Transportation, θυγατρική της DHL, παρέχει υπηρεσίες logistics και μεταφορών για διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων. Οι κυριότερες δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο εν λόγω τομέας είναι ο πολυδιάστατος χαρακτήρας των τροφίμων και ποτών, καθώς και ο μεγάλος αριθμός των ενδιαφερόμενων μερών. Αυτά καθιστούν δύσκολο τον πλήρη έλεγχο της αλυσίδας εφοδιασμού από την αρχή

μέχρι το τέλος (ολιστικά). Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, έπρεπε να δημιουργηθούν βάσεις δεδομένων, που θα συγκεντρώνουν πληροφορίες από διάφορες πηγές και θα παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της αλυσίδας.

Λύση στο ανωτέρω πρόβλημα ήρθε να δώσει η συνεργασία της DHL με την Agheera. Η τελευταία, είναι μια εταιρεία που ειδικεύεται στις λύσεις παρακολούθησης και διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία και αισθητήρες. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης των εμπορευμάτων σε κάθε στάδιο της μεταφοράς, εξασφαλίζοντας έγκαιρες παραδόσεις και ελαχιστοποίηση των κινδύνων.

Αναλυτικότερα, αισθητήρες IoT χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της λειτουργίας και του χρόνου αδράνειας των οχημάτων μεταφοράς, της φυσικής κατάστασης των εμπορευματοκιβωτίων και των προϊόντων, την βέλτιστη αξιοποίηση της χωρητικότητας των οχημάτων και τον έλεγχο της κατανάλωσης καυσίμων. Στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης διαχείρισης και μεταφοράς των τροφίμων.

Όπως αναφέρει η εταιρεία, χρησιμοποιεί την πλατφόρμα Resilience360 για να παρακολουθεί και να ανταποκρίνεται σε διακοπές σε παγκόσμια κλίμακα, συμπεριλαμβανομένων απεργιών σε λιμάνια και κυκλοφοριακά προβλήματα σε αεροδρόμια και αυτοκινητόδρομους.

Μια ακόμη χρήση των αισθητήρων IoT, είναι σε ψυγεία πελατών (όπως καταστήματα λιανικής τροφίμων και ποτών, χώροι εστίασης), παρακολουθώντας τις ημερομηνίες λήξης των προϊόντων και ανιχνεύοντας πότε εξαντλούνται οι προμήθειες. Συνδυάζοντας αυτά τα δεδομένα με τα δεδομένα των πελατών, η DHL μπορεί να παρέχει μια ποικιλία από ad hoc, δηλαδή επί τούτου, και προληπτικές υπηρεσίες παράδοσης που απαιτούν εξειδικευμένο χειρισμό κατά τη μεταφορά, είτε υπηρεσίες αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας (Μαστραντωνάς, 2023).

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι τεχνολογίες IoT, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κόπωσης των μεταφορέων και επακολούθως για την πρόληψη πιθανών συγκρούσεων, βελτιώνοντας τη συνολική οδική ασφάλεια και μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων. Ειδικότερα, με την χρήση τεχνολογίας, όπως η παρακολούθηση της κόρης και οι κάμερες υπερύθρων, το σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει ηχητικούς συναγερμούς και δονήσεις καθίσματος για να ειδοποιήσει τον οδηγό να κάνει ένα διάλειμμα.

Με βάση την έκθεση του Διεθνή Συνδέσμου Μεταφορών οι κυριότερες αιτίες οδικών ατυχημάτων που περιλαμβάνουν βαρέα οχήματα είναι (International Road Transport Union, 2007):

1. Υπερφορτώσεις: Πολλά ατυχήματα προκύπτουν λόγω υπερβολικού βάρους ή κακής φόρτωσης.
2. Συντήρηση οχημάτων: Οχήματα με φθορές λόγω χρόνου ή ελλιπούς συντήρησης αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχημάτων.
3. Κόπωση οδηγών
4. Οδικές συνθήκες: Κακή κατάσταση δρόμων και κακές καιρικές συνθήκες συμβάλλουν στην αύξηση των ατυχημάτων.

Ενώ, πιο πρόσφατη μελέτη του οργανισμού European Road Safety Observatory (ERSO), που αποτελεί μια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Οι συγκρούσεις με βαρέα οχήματα

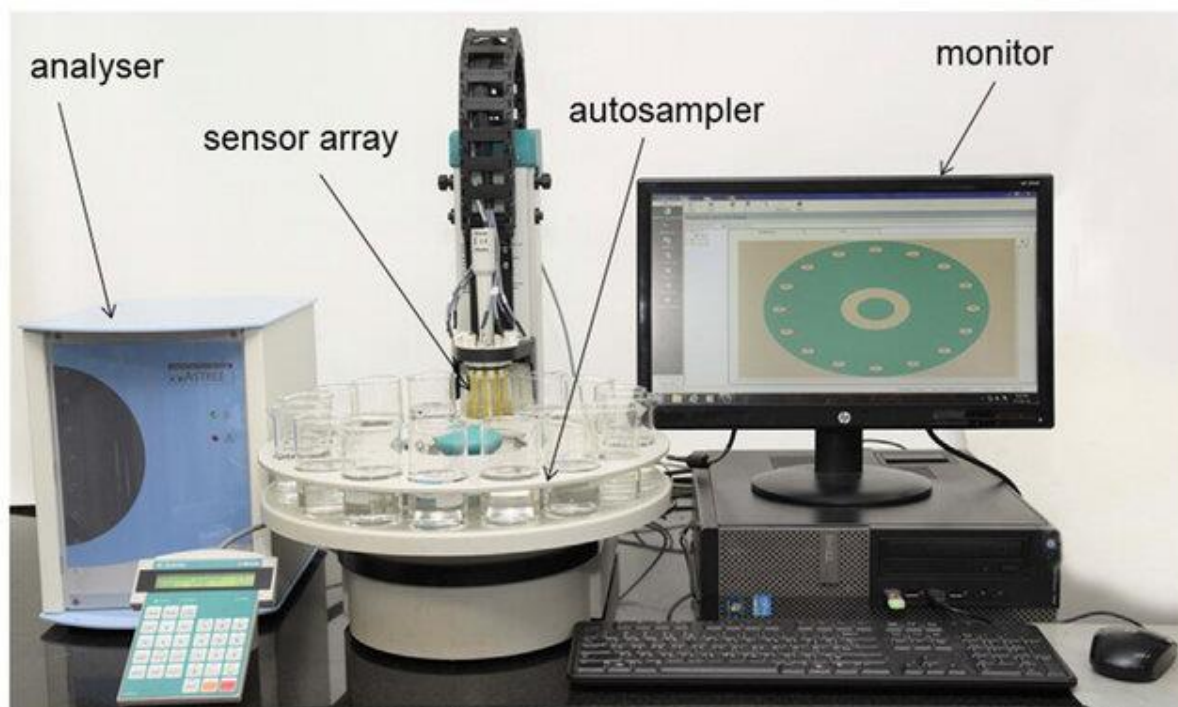
οδηγούν σε περίπου 14% των θανατηφόρων ατυχημάτων στους δρόμους της Ε.Ε., δηλαδή σε πάνω από 3.000 θανάτους το 2019. Τα λεωφορεία και τα πούλμαν αντιπροσωπεύουν περίπου 2% των θανατηφόρων ατυχημάτων στην Ε.Ε., δηλαδή πάνω από 500 θανάτους το 2019. Τέλος, ο κίνδυνος θανάτου (αριθμός θανάτων ανά απόσταση οδήγησης) είναι σημαντικά υψηλότερος για τα βαρέα οχήματα και ακόμη υψηλότερος για τα λεωφορεία/πούλμαν και οι παράγοντες που προκαλούν ατυχήματα περιλαμβάνουν τόσο χαρακτηριστικά του οχήματος (ιδίως το υψηλό βάρος) όσο και οι συνθήκες εργασίας των οδηγών (European Commission, 2023).

Έτσι λοιπόν, η τεχνολογία IoT προσφέρει ευκαιρίες στην DHL να βελτιστοποιήσει τις διαδικασίες εφοδιαστικής της, να μειώσει το κόστος και να προσφέρει πρόσθετες υπηρεσίες στους πελάτες της στην αναπτυσσόμενη αγορά B2C ή Business to Consumer (πώληση προϊόντων ή υπηρεσιών απευθείας στους καταναλωτές), ειδικά για τρόφιμα και φαρμακευτικά προϊόντα.

Μια άλλη μελέτη, που εστιάζει στον τομέα της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, τονίζει τα εξής πλεονεκτήματα εφαρμογών του IoT (Harsh Dadhaneeya, 2023):

- Παρακολούθηση της τοποθεσίας και της κίνησης των αγαθών σε πραγματικό χρόνο (με «έξυπνη» συσκευασία ή ετικέτες RFID) επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βελτιστοποιούν την ποιότητα των παραδιδόμενων προϊόντων.
- Το IoT παρέχει ορατότητα σε πραγματικό χρόνο της τοποθεσίας και της κατάστασης των προϊόντων κατά τη μεταφορά, προσφέροντας προβλεψιμότητα και διαφάνεια.
- Το IoT διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά των πελατών, όπως τα πρότυπα αγορών και τις προτιμήσεις, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να προβλέπουν καλύτερα τη ζήτηση και να βελτιστοποιούν τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού τους ανάλογα.
- Το IoT διευκολύνει τη βελτιστοποίηση των διαδρομών και των προγραμμάτων παράδοσης, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς και βελτιώνοντας τους χρόνους παράδοσης.
- Το IoT βελτιστοποιεί τις λειτουργίες logistics παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας, τον καιρό και άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τους χρόνους και τις διαδρομές παράδοσης.

Σε άλλη μελέτη, έγινε λόγος για «Ηλεκτρονική Γλώσσα» (electronic tongue), που προσδιορίζει την ποιότητα χυμού πορτοκαλιού. Ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα σύστημα, που να χρησιμοποιεί το IoT για να προσομοιώνει την ανθρώπινη αίσθηση της γεύσης και να αξιολογεί την ποιότητα του χυμού. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για να διακρίνει διάφορες μάρκες χυμού πορτοκαλιού και να προσδιορίζει διάφορα συστατικά τους. Τα αντίστοιχα δεδομένα καταγράφονται και συλλέγονται, σε μια πλατφόρμα cloud μέσω ασύρματου δικτύου επικοινωνίας, όπου συγκρίνονται με ένα υπάρχον σύνολο προτύπων για την διεξαγωγή αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα αναγνώρισε με ακρίβεια τα δείγματα χυμού πορτοκαλιού από κάθε μάρκα, με ποσοστό αναγνώρισης 100%. Μεταξύ των πολλών πλεονεκτημάτων αυτού του συστήματος είναι η γρήγορη ανίχνευση, η ευκολία χρήσης, το χαμηλό κόστος, η εξαιρετική σταθερότητα και η απλή διαδικασία συγκέντρωσης των αποτελεσμάτων (Harsh Dadhaneeya, 2023).



**Εικόνα 5.3** Απεικόνιση του συστήματος ηλεκτρονικής γλώσσας (Rama Jayasundar, 2021).

Ένα παρόμοιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε και για την παρακολούθηση της ποιότητας νερού, ώστε να ανιχνεύονται παράμετροι όπως το pH, η συγκέντρωση ελεύθερου χλωρίου και η θερμοκρασία, με σκοπό την αποδοτική και ακριβή καταγραφή δεδομένων (Harsh Dadhaneeya, 2023).

Μια ακόμη μελέτη ανέπτυξε ένα μοντέλο που ονομάζεται SD-AB (System Dynamics-Agent Based) για να αναλύσει πως η τεχνολογία του IoT επηρεάζει την αλυσίδα εφοδιασμού μπαταριών, από την παραγωγή τους μέχρι τη χρήση τους από τους καταναλωτές (Suiting Ding, 2023).

Επιπλέον, αξιολογούνται οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις της αλυσίδας εφοδιασμού, χρησιμοποιώντας δύο συγκεκριμένες προσεγγίσεις (Suiting Ding, 2023):

1. LCA (Life Cycle Assessment): Μέθοδος που αναλύει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος κατά τη διάρκεια της πλήρους διάρκειας ζωής του, από τις πρώτες ύλες μέχρι την απόρριψη του.
2. LCC (Life Cycle Costing): Μια προσέγγιση που υπολογίζει το συνολικό κόστος ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, συμπεριλαμβανομένων όλων των εξόδων που σχετίζονται με την παραγωγή, χρήση και απόρριψη.

Σε σύγκριση με την παραδοσιακή αλυσίδα εφοδιασμού τριών επιπέδων, η χρήση του IoT (που επιτρέπει παρακολούθηση, ιχνηλασιμότητα και ανατροφοδότηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο) επιτρέπει τη δημιουργία αλυσίδας εφοδιασμού δύο επιπέδων, η οποία απαιτεί λιγότερο αποθηκευτικό χώρο και παράγει λιγότερα απόβλητα (Suiting Ding, 2023).

Τα κυριότερα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που έδειξε η μελέτη είναι, ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού IoT έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη μείωση των μέσων αποθεμάτων και των



διακυμάνσεων των αποστολών, μέσω της ακριβούς και άμεσης συλλογής πληροφοριών. Έτσι, αυξάνονται τα συνολικά καθαρά κέρδη κατά τουλάχιστον 30% με την ίδια τιμή πώλησης, σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο λειτουργίας των αλυσίδων και μειώνονται οι εκπομπές άνθρακα κατά περίπου 50%.

Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η έρευνα της Appinventiv, η οποία είναι μια εταιρεία με έδρα την Ινδία και ακόμα πέντε παραρτήματα σε άλλες χώρες, που ειδικεύεται στην ανάπτυξη εφαρμογών για κινητές συσκευές και web. Η έρευνα δημοσιεύτηκε τον Σεπτέμβριο του 2024 και παραθέτει κάποιες από τις κορυφαίες επιχειρήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδες που έχουν ενσωματώσει τις τεχνολογίες IoT στις λειτουργίες τους (Srivastava, 2024):

#### 1. NJTA - Αρχή Μεταφορών New Jersey

Η NJTA είναι η κρατική αρχή που διαχειρίζεται το σύστημα αυτοκινητοδρόμων του New Jersey, συμπεριλαμβανομένων των κυριότερων αυτοκινητοδρόμων της πολιτείας και αποτελεί ένα καλό παράδειγμα χρήσης IoT στην εφοδιαστική αλυσίδα για τη βελτιωμένη διαχείριση της κυκλοφορίας και την ενίσχυση της οδικής ασφάλειας. Τα ενδιαφερόμενα μέρη, όπως υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, χρησιμοποιούν τα δεδομένα που παράγονται από τους αισθητήρες IoT για να φτάσουν πιο γρήγορα σε τόπους ατυχημάτων και να διευκολύνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

#### 2. Amazon

Η Amazon μέσω των τεχνολογιών IoT έχει δημιουργήσει έναν «έξυπνο» αποθηκευτικό χώρο, στο οποίο εκτελούνται αυτόνομα και με ρομποτικά συστήματα καθημερινές λειτουργίες, όπως η σήμανση, η αναδιάταξη ραφιών και η χρήση μηχανών και υπολογιστών. Παλαιότερα, αυτές οι εργασίες γίνονταν από ανθρώπους. Για ευκολότερη πλοήγηση των ρομπότ, το πάτωμα της αποθήκης έχει ενσωματωμένα QR codes. Η αυτοματοποίηση που επιτυγχάνεται μέσω IoT έχει επιτρέψει στην Amazon να αποθηκεύει 50% περισσότερα αποθέματα και να τα ανακτά 3 φορές πιο γρήγορα. Επιπλέον, το κόστος εκπλήρωσης των παραγγελιών έχει μειωθεί κατά 40%.

#### 3. Volvo

Η Volvo χρησιμοποιεί ένα δίκτυο, βασισμένο σε υπολογιστικό νέφος και IoT για την παρακολούθηση της παράδοσης αυτοκινήτων από διάφορες χώρες, διασφαλίζοντας την ομαλή ροή των αγαθών. Με αυτό τον τρόπο, έχει καλύτερη ορατότητα στις διαδικασίες μεταφοράς, επιτρέποντας την άμεση αντίδραση σε τυχόν καθυστερήσεις ή προβλήματα. Επιπλέον, έχει ορατότητα της κατάστασης των οχημάτων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, εξασφαλίζοντας ότι τηρούνται οι απαιτήσεις ασφαλείας.

#### 4. Maersk

Η Maersk είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες μεταφορών και logistics παγκοσμίως, με έδρα τη Δανία. Ειδικεύεται στη θαλάσσια μεταφορά εμπορευμάτων και παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις εφοδιαστικής αλυσίδας. Χρησιμοποιεί τη διαχείριση απομακρυσμένων κοντέινερ (Remote Container Management, RCM), για να μειώσει την κατανάλωση πόρων και να αποτρέψει την αλλοίωση ευπαθών προϊόντων. Συγκεκριμένα, αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την παρακολούθηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας μέσα στο κοντέινερ και της θέσης των ψυχόμενων κοντέινερ ανά πάσα στιγμή. Οποιαδήποτε στιγμή, εντός του πλοίου και κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, εμφανίζει την κατάσταση λειτουργίας τους.



## 5. Aker

Η Aker είναι μια διεθνής εταιρεία που δραστηριοποιείται κυρίως στον τομέα της γεωργίας και της βιομηχανίας τροφίμων. Εστιάζει στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και λύσεων που βελτιώνουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα της γεωργίας. Μέσω τεχνολογιών IoT, διασφαλίζει ότι η παραγωγή των προϊόντων της γίνεται ορθά, διασφαλίζοντας την ποιότητα από το χωράφι ως την παράδοση τους. Μπορεί σε πραγματικό χρόνο να αξιολογήσει τις ζημιές καλλιεργειών που προκαλούνται από έντομα, ασθένειες και άλλες μεταβλητές χρησιμοποιώντας drones, 3D κάμερες, ανάλυση μεγάλων δεδομένων και μηχανική μάθηση.

### **5.3 Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins)**

Η «Lean manufacturing» είναι μια μέθοδος που εστιάζει στη μείωση των αποβλήτων στα συστήματα παραγωγής, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιεί την παραγωγικότητα. Ξεκίνησε ως μέρος του Toyota Production System (TPS), το οποίο αναπτύχθηκε από την ιαπωνική αυτοκινητοβιομηχανία Toyota μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Η Toyota, αντιμετωπίζοντας περιορισμούς σε πόρους και υψηλά κόστη παραγωγής, έπρεπε να βρει έναν τρόπο να παράγει αυτοκίνητα με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ανταγωνιστικότητα απέναντι στις αμερικανικές αυτοκινητοβιομηχανίες που χρησιμοποιούσαν μαζική παραγωγή (Hajar soleymanizadeh, 2022).

Παρά την εισαγωγή της lean manufacturing αρκετά χρόνια πριν, η στροφή προς αυτή σημείωσε ραγδαία αύξηση κατόπιν της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Ο λόγος ήταν ότι ανέδειξε τη σημασία της στρατηγικής βελτιστοποίησης στη σύγχρονη βιομηχανία, καθιστώντας τις επιχειρήσεις πιο ανταγωνιστικές, βιώσιμες και πελατοκεντρικές.

Τα ψηφιακά δίδυμα είναι η πιο πρόσφατη τεχνολογία στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση και ανάλυση της συνολικής διαδικασίας παραγωγής, από το σχεδιασμό μέχρι την παραγωγή. Ειδικότερα, ο συνδυασμός της lean manufacturing και της τεχνολογίας ψηφιακού δίδυμου, ως μία από τις νέες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, μπορεί να μειώσει τα απόβλητα και το κόστος. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προβλέπουν μελλοντική απόδοση, επιτρέποντας στους κατασκευαστές να προσαρμόζουν προληπτικά τις διαδικασίες τους για να αντιμετωπίσουν πιθανές αλλαγές στην αγορά και τις ανάγκες των πελατών.

Το 2023 υλοποιήθηκε μια έρευνα για την επιτυχία της εφαρμογής lean manufacturing μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση του Βιομηχανικού Διαδικτύου Πραγμάτων (IIoT) και ψηφιακού δίδυμου σε γραμμή παραγωγής. Το αποτέλεσμα ήταν η συγκέντρωση όλων των δεδομένων σε έναν διαδικτυακό τόπο, διευκολύνοντας την λήψη αποφάσεων. Τα ενδιαφερόμενα μέρη είχαν την βέλτιστη ορατότητα σε πραγματικό χρόνο σε κάθε στάδιο της παραγωγής, παρέχοντας την δυνατότητα άμεσης παρέμβασης και εύκολου εντοπισμού σφαλμάτων (Hajar soleymanizadeh, 2022).

Τα ανωτέρω αποτελέσματα υποστηρίζονται από μια ακόμη έρευνα, στην οποία χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό δίδυμο σε συνδυασμό με έναν αλγόριθμο βασισμένο στην μηχανική μάθηση, για την ανίχνευση βλαβών του μηχανολογικού εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα του συστήματος πέτυχαν 99,2% ακρίβεια στα σφάλματα που ανιχνεύτηκαν (Hajar soleymanizadeh, 2022)

Λόγω της ύπαρξης σύνθετων και δυναμικών συνιστωσών της σύγχρονης αγοράς, οι εφοδιαστικές αλυσίδες οδεύουν προς τη δημιουργία ευέλικτων και ευκίνητων δικτύων. Η «Ευέλικτη Εφοδιαστική Αλυσίδα» (Agile Supply Chain) εστιάζει στην ικανότητα κατανόησης και γρήγορης αντίδρασης στις αλλαγές της αγοράς και στις απαιτήσεις των πελατών.

Σε αυτό το πλαίσιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδότησε το ερευνητικό έργο ASSISTANT (Artificial Intelligence Supporting the Human Worker in Industry 4.0) από το 2020 ως το 2023 σε διάφορους τομείς της εφοδιαστικής αλυσίδας, με στόχο την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) για τη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας στη βιομηχανία και την μετάβαση σε ένα πιο έξυπνο, ευέλικτο και ανθρώπινο-κεντρικό βιομηχανικό περιβάλλον (Hajar soleymanizadeh, 2022).

Τα αποτελέσματα του εν λόγω έργου δείχνουν, ότι τα συστήματα ψηφιακών διδύμων σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη, επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, πιο ευέλικτες προσαρμογές στις παραγωγικές διαδικασίες και γρήγορο επανασχεδιασμό των γραμμών παραγωγής. Επιπλέον, παρέχουν λύσεις που διευκολύνουν την λήψη οικονομικά αποδοτικότερων αποφάσεων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ποιότητα του προϊόντος, την ασφάλεια των εργαζομένων και την αποδοτικότητα της διαδικασίας.

Μια ακόμη συμβολή των ψηφιακών διδύμων είναι στην προσαρμογή των παραγωγικών διαδικασιών από την "παραγωγή προς αποθήκευση" στην "Just-in-Time" (JIT) παραγωγή, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης του αποθέματος και του κόστους αποθήκευσης. Ειδικότερα, μια έρευνα μελετά την εφαρμογή συστήματος ψηφιακού δίδυμου σε βιομηχανία παραγωγής κατασκευαστικών υλικών, όπως τσιμέντο, η οποία χρησιμοποιεί την μέθοδο JIT.

Η παραγωγή κατασκευαστικών υλικών αντιμετωπίζει πολλές δυσκολίες, με κύριες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς η διαδικασία εκλύει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και απαιτεί μεγάλη ενέργεια και τις προμήθειες πρώτων υλών, όπως ασβέστης και άργιλος, μπορεί να είναι περιορισμένες ή δαπανηρές λόγω μεταφοράς. Επιπλέον, οι πολύπλοκες διαδικασίες παραγωγής απαιτούν προσεκτική παρακολούθηση για τη διασφάλιση ποιότητας, καθώς οι αποκλίσεις μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή του τελικού προϊόντος. Οικονομικοί παράγοντες όπως η μεταβλητότητα τιμών και ο σφοδρός ανταγωνισμός επηρεάζουν επίσης το κόστος παραγωγής. Για όλα τα ανωτέρω, απαιτούνται συνεχείς καινοτομίες και εκπαιδευτική κατάρτιση του εργατικού δυναμικού (Hajar soleymanizadeh, 2022).

Κατά την διεξαγωγή της έρευνας, διαπιστώθηκε ότι τα οφέλη της εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων περιλαμβάνουν την πρόβλεψη και την μείωση ελλείψεων πρώτων υλών, την αύξηση της παραγωγικότητας με παράλληλη μείωση του κόστους, την αποδοτικότερη συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού και την αύξηση της ικανοποίησης των πελατών (Hajar soleymanizadeh, 2022).

Ένας άλλος τομέας που παρουσιάζει επιτακτική ανάγκη για αναθεώρηση των λειτουργιών του είναι οι αεροπορικές εταιρείες, καθώς λειτουργούν με άκαμπτα και μη ευέλικτα συστήματα που έχουν διαμορφωθεί από αυστηρούς κανονισμούς. Ως αποτέλεσμα, η μετάβαση σε ένα ψηφιακά προηγμένο σύστημα είναι μια πολύπλοκη διαδικασία.

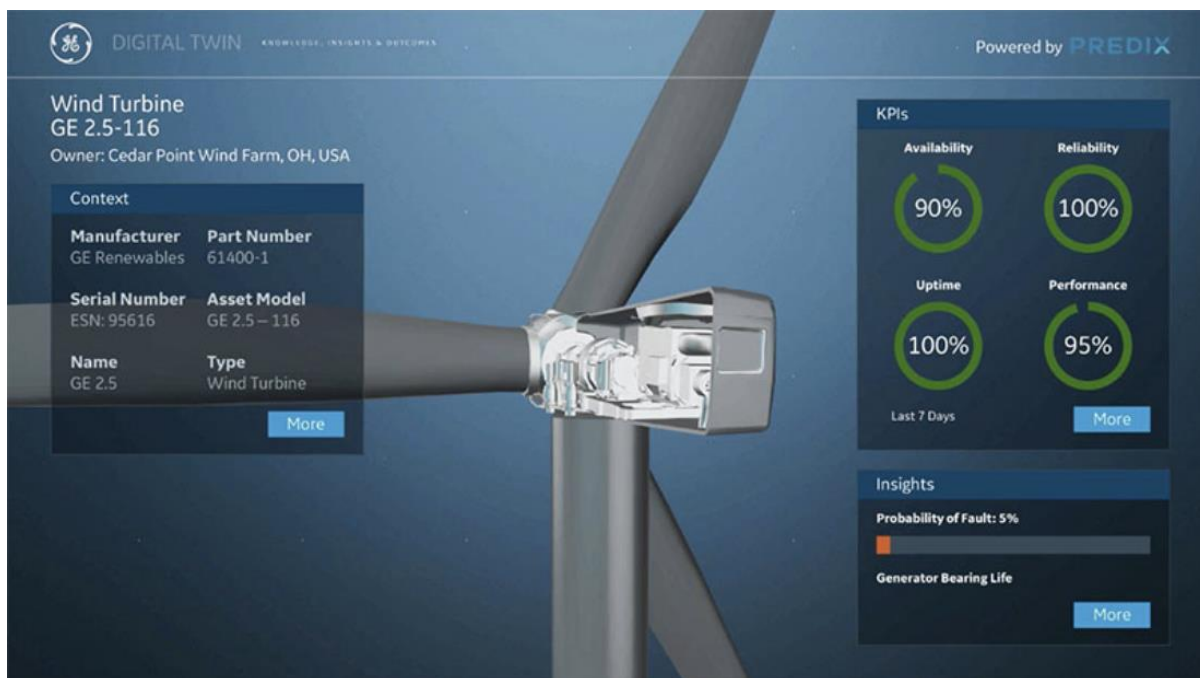
Ωστόσο, η αεροπορική βιομηχανία μπορεί να ωφεληθεί από εφαρμογές ψηφιακού δίδυμου, συλλέγοντας δεδομένα για την κατάσταση των αεροσκαφών, για καιρικά φαινόμενα και για

τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας, προκειμένου να δημιουργήσει ένα αντίγραφο της πτήσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς να βελτιστοποιούν συνεχώς τις διαδρομές πτήσης, λαμβάνοντας υπόψη την αποδοτικότητα καυσίμου, την αποφυγή αναταράξεων και τη μείωση θορύβου. Τέλος, η ικανότητα του ψηφιακού δίδυμου να εξάγει πληροφορίες από κάθε πτήση προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη συνεχή βελτιστοποίηση συνολικά των διαδικασιών (Sharmin Attaran, 2024).

Ένα σχετικό παράδειγμα αποτελεί, η Northrop Grumman, μια αμερικανική εταιρεία που δραστηριοποιείται στην ανάπτυξη και παραγωγή στρατιωτικών αεροσκαφών, συστημάτων αναγνώρισης, πυραυλικών συστημάτων και διαστημικών τεχνολογιών. Η εν λόγω χρησιμοποιεί με μεγάλη επιτυχία ψηφιακά δίδυμα για τη γραμμή συναρμολόγησης των F-35 μαχητικών αεροσκαφών, προκειμένου να βελτιώσει την αποδοτικότητα της παραγωγής και να μειώσει το κόστος (Sharmin Attaran, 2024).

Όμοια, η General Electric (GE), μια αμερικανική εταιρεία που δραστηριοποιείται σε ποικίλους τομείς, όπως παραγωγή γεννητριών, αεριοστρόβιλων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κατασκευή κινητήρων για αεροσκάφη (GE Aviation) και ιατρικών μηχανημάτων (GE Healthcare), έχει αναγνωριστεί ως μία από τις πιο αξιόπιστες εταιρείες στον τομέα της τεχνολογίας και της βιομηχανίας (Sharmin Attaran, 2024).

Γεγονός είναι ότι η εν λόγω χρησιμοποιεί ψηφιακά δίδυμα (digital twins) σε πολλές από τις δραστηριότητές της. Ενδεικτικά, μέσω των εφαρμογών τους παρακολουθεί την λειτουργία των αεριοστρόβιλων και των ανεμογεννητριών, βελτιώνοντας την απόδοση και μειώνοντας τα κόστη συντήρησης. Επίσης, στην κατασκευή των κινητήρων αεροσκαφών, τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν την πρόβλεψη σφαλμάτων και την προληπτική συντήρηση (Sharmin Attaran, 2024). Στον ακόλουθο σύνδεσμο υπάρχει ένα πολύ επεξηγηματικό βίντεο σχετικά με την λειτουργία και την χρήση των ψηφιακών δίδυμων από την General Electric: <https://www.youtube.com/watch?v=5Ji8dZqkECM> (GE Power, 2018).



**Εικόνα 5.4** Στην ανωτέρω εικόνα απεικονίζεται μια πλατφόρμα ψηφιακού διδύμου (Predix) που χρησιμοποιεί η General Electric για την προβλεπτική συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού (Jarrell, 2024).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η Boeing η μεγαλύτερη εταιρεία αεροναυπηγικής στον κόσμο, η οποία χρησιμοποιεί λύσεις ψηφιακών διδύμων για να βελτιώσει την ασφάλεια των μερών και των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εμπορικών και στρατιωτικών αεροπλάνων. Τα ψηφιακά δίδυμα συγκεκριμένων μοντέλων αεροσκαφών επιτρέπουν στους τεχνικούς να χρησιμοποιούν επαυξημένη πραγματικότητα, διευκολύνοντας τις ταχύτερες και πιο ακριβείς επιθεωρήσεις και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα συντήρησης. Ως αποτέλεσμα, η Boeing έχει επιτύχει 40% βελτίωση στην ποιότητα των παρεχόμενων προϊόντων και υπηρεσιών (Sharmin Attaran, 2024).

Τέλος, η NASA έχει αναπτύξει δύο συστήματα βασισμένα στην τεχνολογία ψηφιακών διδύμων. Πρόκειται για τα MAGGIE και OPTIMISM, που χρησιμοποιούνται από τους ρόβερ Curiosity και Perseverance της NASA στον Άρη. Το πρώτο, επεξεργάζεται δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες του ρόβερ, όπως κάμερες και όργανα ανάλυσης χημικών στοιχείων και δημιουργεί γεωλογικούς χάρτες και αναφορές, διευκολύνοντας την κατανόηση της γεωλογικής ιστορίας και των συνθηκών του Άρη. Το OPTIMISM βελτιστοποιεί τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων για την αναζήτηση ενδείξεων αρχαίας ζωής και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στον Άρη. Τέλος, παρέχει την δυνατότητα επικοινωνίας και με άλλα συστήματα του ρόβερ, εξασφαλίζοντας ομαλή λειτουργία και αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων (Sharmin Attaran, 2024).

Από την άλλη στον πρωτογενή τομέα, ερευνήθηκε η χρήση ψηφιακών διδύμων σε συνδυασμό με την ανάλυση μεγάλων δεδομένων σε ένα αγρόκτημα, που εκτρέφει ζώα και συντηρεί ένα θερμοκήπιο. Συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν αισθητήρες για τη μέτρηση παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη των ζώων και φυτών, όπως θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία, διοξείδιο του άνθρακα, υγρασία και σκόνη. Κατόπιν συλλογής των δεδομένων και μέσω προσομοίωσης, είναι εφικτό να καθοριστούν αυτόνομα οι ιδανικές περιβαλλοντικές συνθήκες στο αγρόκτημα, όπως με την έναρξη λειτουργίας ανεμιστήρων ή την άμεση ειδοποίηση των χειριστών για την φυσική κατάσταση των ζώων (Seng-Kyoun Jo, 2018).

Μια ακόμη μελέτη, υπερτονίζει τις ανάγκες της σύγχρονης «ψυχρής» εφοδιαστικής αλυσίδας (cold supply chain ή cold chain), η οποία αποτελεί ένα σύστημα διαχείρισης και μεταφοράς προϊόντων που απαιτούν ελεγχόμενη θερμοκρασία για να διατηρηθούν σε ασφαλή επίπεδα για τον καταναλωτή. Χρησιμοποιείται, κυρίως, για ευπαθή αγαθά όπως τρόφιμα, φαρμακευτικά προϊόντα και βιολογικά υλικά, τα οποία πρέπει να διατηρούνται σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (ψύξη ή κατάψυξη) καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης και της μεταφοράς τους, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ασφάλεια τους (Seng-Kyoun Jo, 2018).

Ένα μεγάλο ποσοστό του φαινομένου σπατάλης τροφίμων (food waste) οφείλεται στην κακή διαχείριση της ψυχρής αλυσίδας. Ειδικότερα, μία από τις κύριες παθογένειες είναι η ανεπαρκής παρακολούθηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και της αποθήκευσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση των προϊόντων. Επίσης, η έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης των χειριστών έχει σοβαρές επιπτώσεις στην τήρηση των απαιτούμενων διαδικασιών. Τέλος, σημαντικό ρόλο έχουν οι καθυστερήσεις στις μεταφορές και οι αναποτελεσματικές διαδικασίες διανομής.



Στην εν λόγω έρευνα, μελετήθηκαν συστήματα κατά την μεταφορά του φρέσκου μάνγκο στις διεθνείς αγορές για την διατήρηση της ποιότητας, την επέκταση της διάρκειας ζωής και τη μείωση των απωλειών, καθώς διαπιστώθηκε ότι η φύρα στην συνολική αλυσίδα εφοδιασμού (από την συγκομιδή) κυμαίνεται μεταξύ 13% στην Ευρώπη και 38% στη Αφρική (Seng-Kyoun Jo, 2018).

Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η χρήση ψηφιακών διδύμων για την μοντελοποίηση και προσομοίωση των βιοφυσικών διεργασιών του φρούτου, όπως της φυσικής ψύξης μέσα στο φρούτο και της θερμικής ανταλλαγής με το περιβάλλον του, σε πραγματικό χώρο (in situ) και χρόνο. Αυτό αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς οι συνθήκες των εργαστηριακών ελέγχων (in vitro) δεν είναι δυνατό να υπολογίζουν όλους τους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την θερμοκρασία και άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φρούτου σε όλη την διαδικασία της διακίνησης. Επιπλέον, ένα επικυρωμένο ψηφιακό δίδυμο μπορεί να προσομοιώνει με ακρίβεια και ρεαλισμό όλες τις σχετικές διαδικασίες και την εξελικτική πορεία των ποιοτικών χαρακτηριστικών του φρούτου, που επηρεάζονται από βιοχημικές διεργασίες καθ' όλη τη διάρκεια της ψυχρής αλυσίδας μετά τη συγκομιδή (Seng-Kyoun Jo, 2018).

Έτσι, από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και συγκρίνοντας δύο τύπους μεταφοράς: θαλάσσια που διαρκεί περίπου τρεις εβδομάδες και αερομεταφορά που διαρκεί λιγότερο από μία εβδομάδα, διαπιστώθηκε ότι στην πρώτη η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι 9,6 °C ( $\pm 0,7$  °C), ενώ στην δεύτερη είναι 15,6 °C ( $\pm 3,0$  °C). Αναγνωρίζοντας τις διαφορές στη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των μεταφορών, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την σχέση της θερμοκρασίας και της ποιότητας των φρούτων, να προβλέψει που μπορεί να εμφανιστεί αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και που οφείλονται οι απώλειες βάρους του φορτίου (φύρα), κατά την διάρκεια της διακίνησης (Seng-Kyoun Jo, 2018).

Επί του παρόντος, υπάρχουν αρκετές πλατφόρμες ψηφιακού δίδυμου που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες, όπως (Boreham, 2024); (Miguel, 2024); (Farhadi, 2024):

1. Siemens - MindSphere: αποτελεί μια πλατφόρμα IoT που προσφέρει λύσεις ψηφιακού δίδυμου σε βιομηχανίες για την παρακολούθηση και την ανάλυση της απόδοσης του εξοπλισμού και της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο.
2. GE Digital - Predix: Το Predix είναι η πλατφόρμα της General Electric που χρησιμοποιεί ψηφιακά δίδυμα για βιομηχανικές εφαρμογές, κυρίως στον τομέα της ενέργειας, της αεροδιαστημικής και της βιομηχανίας, η οποία διασυνδέει έξυπνα συστήματα και εξοπλισμό για τη βελτιστοποίηση λειτουργιών.
3. Microsoft - Azure Digital Twins: Επιτρέπει τη δημιουργία ολοκληρωμένων μοντέλων ψηφιακού δίδυμου για έξυπνα βιομηχανικά συστήματα, καθώς παρέχει ένα εικονικό περιβάλλον που αντανακλά τις φυσικές διεργασίες σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιεί την τεχνητή νοημοσύνη και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων.
4. IBM - Maximo: Επικεντρώνεται στην προγνωστική συντήρηση μηχανολογικού εξοπλισμού, μέσω αισθητήρων IoT.

5. Dassault Systèmes - 3DEXPERIENCE: Χρησιμοποιείται, κυρίως, στη βιομηχανία της αεροδιαστημικής, της αυτοκινητοβιομηχανίας και της κατασκευής για τη δημιουργία ψηφιακών δίδυμων προϊόντων και συστημάτων, καθώς παρέχει ισχυρά εργαλεία
6. Siemens - Teamcenter: Αποτελεί ένα λογισμικό διαχείρισης του κύκλου ζωής προϊόντων (PLC), δηλαδή της διαδικασίας που ακολουθεί ένα προϊόν από τη στιγμή που εισάγεται στην αγορά μέχρι την απόσυρσή του. Επίσης, υποστηρίζει την εικονική ανάλυση και δοκιμή προϊόντων πριν από την παραγωγή.
7. Oracle IoT Digital Twin: Ενσωματώνει λύσεις ψηφιακού δίδυμου με τεχνολογίες IoT για την παρακολούθηση και διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, ενώ συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της συντήρησης και της διαχείρισης του εξοπλισμού.



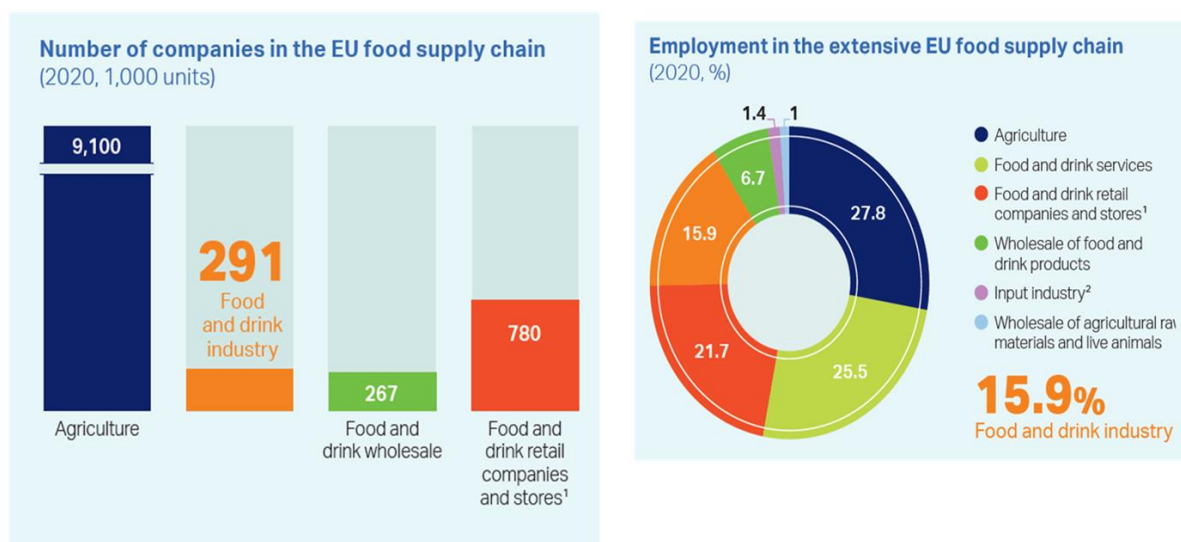
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ IoT ΚΑΙ DT ΣΤΗΝ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ**

Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών συνεισφέρει σημαντικά στην ευρωπαϊκή οικονομία, παράλληλα με την αυτοκινητοβιομηχανία. Το 2020, η βιομηχανία τροφίμων και ποτών της Ε.Ε. παρουσίασε κύκλο εργασιών 1.112 δισεκατομμυρίων ευρώ και προστιθέμενη αξία 229 δισεκατομμυρίων ευρώ (Europe, 2023). Αναλυτικότερα, η εικόνα 6.1 απεικονίζει το αριθμό των επιχειρήσεων ανά τομέα στην βιομηχανία τροφίμων το 2020 (από αριστερά προς τα δεξιά: πρωτογενής τομέας, παραγωγή, χονδρική εμπόριο / διανομή, λιανική πώληση). Η εικόνα στα δεξιά απεικονίζει το ποσοστό απασχόλησης εργατικού δυναμικού στην βιομηχανία τροφίμων το 2020 (από πάνω προς τα κάτω: πρωτογενής τομέας, χώροι εστίασης, λιανική πώληση, χονδρική πώληση, παραγωγή, πρωτογενής τομέας).

Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών της Ε.Ε. είναι ποικιλόμορφη, περιλαμβάνοντας διάφορους τομείς, όπως επεξεργασία φρούτων και λαχανικών, παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων και παραγωγή ποτών. Οι τέσσερις κορυφαίοι τομείς, αρτοποιία και αλευρώδη προϊόντα, προϊόντα κρέατος, γαλακτοκομικά προϊόντα και ποτά αντιπροσωπεύουν τα τρία τέταρτα του συνολικού κύκλου εργασιών και το 89% του συνολικού αριθμού των εταιρειών. Η παραγωγικότητα ποικίλλει ανά τομέα, με τα ποτά και τις ζωοτροφές να καταγράφουν την υψηλότερη αξία (Europe, 2023).

Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών αντιπροσωπεύει σχεδόν 290.000 μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις, ενώ κατατάσσεται μεταξύ των τριών κορυφαίων μεταποιητικών βιομηχανιών αναφορικά με τον κύκλο εργασιών και την απασχόληση εργατικού δυναμικού στα περισσότερα κράτη μέλη. Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί τροφίμων και ποτών στην Ε.Ε. με βάση τον κύκλο εργασιών τους είναι η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιταλία και η Ισπανία (Europe, 2023).

Στην Ελλάδα, ο κύκλος εργασιών ανέρχεται σε 16 δισεκατομμύρια ευρώ, η προστιθέμενη αξία φτάνει τα 3,4 δισεκατομμύρια ευρώ, ο αριθμός εργαζομένων ισοδυναμεί με 131.000 και το σύνολο των εταιρειών είναι 15.907.



**Εικόνα 6.1** Στατιστικά στοιχεία της βιομηχανίας τροφίμων στην Ευρώπη (Europe, 2023).

Εντούτοις, έντονη ανησυχία έχει εγείρει η αύξηση του πληθυσμού, που δημιουργεί πρόσθετη ζήτηση, η οποία θα εξαρτηθεί από τη διαθεσιμότητα πόρων και την ικανότητα ενίσχυσης της βιώσιμης παραγωγής. Το 2021, 3,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν μπορούσαν οικονομικά να διατηρήσουν μια υγιεινή διατροφή, με τις γυναίκες και τους κατοίκους αγροτικών περιοχών να πλήττονται ιδιαίτερα. Το κόστος μιας υγιεινής διατροφής αυξήθηκε παγκοσμίως κατά 6,7%

μεταξύ 2019 και 2021, με ετήσια αύξηση 4,3% το 2021. Η υποβάθμιση της γης επηρεάζει τις καλλιέργειες, τα λιβάδια και τα δάση. Η μείωση της διαθεσιμότητας γλυκού νερού, η αύξηση της πυκνότητας των κατοικιών, οι έντονες πυρκαγιές και η αποψίλωση των δασών οδηγούν στην απώλεια περιβαλλοντικών πόρων. Η παραγωγή τροφίμων ευθύνεται για το 26% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εκ των οποίων το 82% προέρχεται από αγροτικές δραστηριότητες (Europe, 2023).

### **6.1 Ο ρόλος της βιομηχανίας τροφίμων στην παγκόσμια βιωσιμότητα**

Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος παγκόσμιας επισιτιστικής κρίσης στα προσεχή έτη, λόγω των επιπτώσεων της πανδημίας COVID-19, της άνευ προηγουμένου κλιματικής αλλαγής, καθώς και των πολιτικών συγκρούσεων και πολέμων. Η ταχεία αύξηση του πληθυσμού συνιστά, επίσης, σοβαρή πρόκληση για την ανάγκη αύξησης της παραγωγής τροφίμων, χωρίς να διακυβεύεται το περιβάλλον, η ποιότητα των τροφίμων και η ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, τα τρέχοντα συστήματα τροφίμων είναι μη βιώσιμα και επιβαρύνουν ποικιλοτρόπως το περιβάλλον.

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) του ΟΗΕ αναφέρει ότι 815 εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από λιμό, εκ των οποίων 155 εκατομμύρια είναι παιδιά κάτω των 5 ετών. Η επιστημονική κοινότητα προσπαθεί να εφαρμόσει τις αρχές 6R (επαναχρησιμοποίηση / reuse, ανακύκλωση / recycle, επανασχεδιασμός / redesign, ανακατασκευή / remanufacture, μείωση / reduce και ανάκτηση / recover) προκειμένου να δημιουργήσει μια λειτουργικής εφοδιαστική αλυσίδα και να προτείνει διάφορες στρατηγικές και πολιτικές διαχείρισης των τροφίμων (Abdo Hassouna, 2022).

Για τον λόγο αυτό, τα Ηνωμένα Έθνη το 2015 εισήγαγαν τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης ως το 2030 (Sustainable Development Goals, SDGs) προκειμένου να διασφαλιστούν οι επαρκείς διατροφικές ανάγκες των σημερινών και μελλοντικών γενεών.

Τουλάχιστον 11 από τους 17 στόχους που θεσπίστηκαν, είναι στενά συνυφασμένοι με την βιομηχανία τροφίμων και απαιτούν επαναπροσδιορισμό της δομής και λειτουργίας της. Για παράδειγμα, με τις κατάλληλες τεχνικές και την υποστηρικτική τεχνολογία είναι δυνατό να αξιοποιηθούν γεωργικά υποπροϊόντα και βιομάζα για την ανάκτηση χρήσιμων ή/και βρώσιμων ενώσεων χωρίς τη χρήση χημικών διαλυτών ή αντιδραστηρίων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα τρόφιμα, στα καλλυντικά και στα βιοκαύσιμα (Abdo Hassoun, 2022)



**Εικόνα 6.2** Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης ως το 2030 (Abdo Hassoun, 2022).

Η σίτιση άνω των 8,5 δισεκατομμυρίων ανθρώπων με ταυτόχρονη προστασία των φυσικών πόρων και του πλανήτη θα είναι ανέφικτη, αν δεν μειωθεί η σπατάλη τροφίμων. Επιπλέον, σε περίπτωση που τα κράτη δεν προωθήσουν τις αρχές μιας κυκλικής οικονομίας ως κινητήρια δύναμη για υπεύθυνη και βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων, θα είναι εξαιρετικά δύσκολο να διασφαλιστούν η ισότητα και η υγιεινή διατροφή για τις προσεχείς δεκαετίες (Abdo Hassouna, 2022).

Ο ρόλος της βιομηχανίας τροφίμων στην επίτευξη των ανωτέρω, έγκειται στο γεγονός ότι η παγκόσμια βιομηχανία τροφίμων εκτιμάται ότι είχε αξία 143,51 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2020 και αναμένεται να φτάσει τα 235,67 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2028. Ωστόσο, τα ευπαθή προϊόντα τροφίμων αντιστοιχούν σε ζημίες άνω των 36 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Pratik Maheshwari, 2023). Αυτό σημαίνει ότι περίπου το ένα τρίτο των παραγόμενων τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση παγκοσμίως καταλήγει στα απορρίμματα, με αποτέλεσμα την παραγωγή αποβλήτων που φθάνουν περίπου τους 1,3 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως (David Gómez-Ríos, 2017).

Κατά τη διαδικασία συλλογής, αποθήκευσης, επεξεργασίας, συσκευασίας και μεταφοράς των τροφίμων, καταναλώνεται σημαντική ποσότητα φυσικών πόρων, ενώ παράγονται μεγάλες ποσότητες αποβλήτων. Οι δραστηριότητες αυτές επιφέρουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με τις εκπομπές ρύπων στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος. Η εφαρμογή «πράσινων» πρακτικών παραγωγής (green business) μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των εν λόγω ζητημάτων. Ειδικότερα, τα οφέλη στην βιομηχανία περιλαμβάνουν

την εξοικονόμηση κόστους, την υποστήριξη της συμμόρφωσης προς τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και την αύξηση της προστιθέμενης αξίας μέσω της παροχής βιώσιμων προϊόντων διατροφής, των οποίων η ζήτηση από τους καταναλωτές διαρκώς αυξάνεται (Sandeep Jagtap, 2021).

Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραληφθεί, ότι ολοένα και συχνότερα παρατηρείται αύξηση των τροφιμογενών ασθενειών, επιφέροντας έντονη ανησυχία και ζήτηση για ασφαλέστερα τρόφιμα μεταξύ των καταναλωτών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα ευπαθή τρόφιμα είναι ευαίσθητα στις μεταβολές θερμοκρασίας, και η αναποτελεσματική διαχείριση κατά τη διάρκεια της εφοδιαστικής ενέχει υψηλό κίνδυνο για την ασφάλεια των τροφίμων. Για τον λόγο αυτό, η μεταφορά και η διανομή προϊόντων συνιστούν κρίσιμα στάδια στην αλυσίδα εφοδιασμού (Revathi Nukala, 2016). Επίσης, πολλές περιπτώσεις στο παρελθόν έχουν καταδείξει τη σημασία της ιχνηλασιμότητας στην ανάκληση προϊόντων από την αγορά. Το 2017, ανακλήθηκαν περίπου 1.100 τόνων έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων κοτόπουλου λόγω εσφαλμένης επωνυμίας και αδήλωτων αλλεργιογόνων, όπως το γάλα. Σε άλλη περίπτωση, 16.000 τόνοι αλεσμένης γαλοπούλας ανακλήθηκαν λόγω μόλυνσης από σαλμονέλα, η οποία προκάλεσε έναν θάνατο και 75 ασθενείς (Rahul Kodan, 2019).

## **6.2 Εγγενή εμπόδια στην ψηφιοποίηση της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών**

Παρόλο που η χρήση προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού, έχει ξεκινήσει να εφαρμόζεται στον χημικό και πετροχημικό τομέα αρκετά νωρίτερα, ο τομέας των τροφίμων και ποτών, καθώς και οι φαρμακευτικές και βιοτεχνολογικές βιομηχανίες, παρουσιάζουν πολύ πιο αργούς ρυθμούς στην υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών. Αυτό, ως ένα μεγάλο βαθμό, οφείλεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κλάδου, όπως η σύνθετη χημεία, οι ποικίλες ποιοτικές παράμετροι και ο εξειδικευμένος εξοπλισμός.

Τα κόστη παραγωγής και τελικά η τιμή πώλησης των διάφορων προϊόντων της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών, έχουν χαμηλά περιθώρια κέρδους και καθοδηγούνται, κυρίως, από το κόστος αγοράς των πρώτων υλών. Ωστόσο, είναι δυνατό να αξιοποιηθούν οι δευτερογενείς παράγοντες που συμβάλλουν στα λειτουργικά κόστη, όπως η κατανάλωση ενέργειας. Για παράδειγμα, μια βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανάκτησης θερμότητας από ήδη υπάρχουσες διαδικασίες εντός της βιομηχανίας, όπως μέσω της ανακύκλωσης του νερού που χρησιμοποιείται. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με την κατασκευή ενός πολύ λεπτομερούς μοντέλου του εργοστασίου. Ωστόσο, η εν λόγω βιομηχανία ασχολείται με πολύπλοκα «συστήματα» τροφίμων, με ποικίλες φυσικοχημικές ιδιότητες και ιδιαίτερες συνθήκες συντήρησης, που δεν μπορούν να υπολογιστούν και να προβλεφθούν εύκολα. Για τους ανωτέρω λόγους, είναι δύσκολο να σχεδιαστούν προβλεπτικά μοντέλα των μονάδων λειτουργίας σε μακροσκοπικό επίπεδο, όπως χρησιμοποιούνται στην απλή προσομοίωση διαδικασιών.

Επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας για το κόστος, είναι ο έγκαιρος και ορθός προγραμματισμός της παραγωγής, προκειμένου να τηρούνται οι χρόνοι παράδοσης, αλλά και να αντιμετωπίζονται ταχέως έκτακτες καθυστερήσεις. Αυτό απαιτεί ενδελεχή καταγραφή των εργασιών που πρέπει να εκτελεστούν και των πόρων που χρειάζονται. Η επίτευξη αυτού του στόχου, διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό από την δημιουργία ενός μοντέλου της παραγωγικής διαδικασίας (digital twin), που περιλαμβάνει μια ρεαλιστική και ακριβή αναπαράσταση των κατάλληλων δεδομένων. Αυτή η μοντελοποίηση προσφέρει έναν ελεγχόμενο και επαναλαμβανόμενο τρόπο μελέτης πολύπλοκων συστημάτων, επιτρέποντας στους ερευνητές



να επικυρώσουν τα αποτελέσματά τους και να συγκρίνουν διαφορετικά σενάρια και στρατηγικές.

Εντούτοις, σε κάποιες περιπτώσεις η ζήτηση είναι εποχιακή (όπως η παραγωγή παγωτού) ή κάποιες βιομηχανίες υιοθετούν έναν συνδυασμό μεθόδων παραγωγής, όπως Make-to-Stock (MTS) (τα προϊόντα παράγονται εκ των προτέρων, βάσει εκτιμήσεων ζήτησης και ιστορικού πωλήσεων) και Make-to-Order (MTO) (τα προϊόντα παράγονται μόνο κατόπιν παραγγελίας). Αυτή η δυναμική και απρόβλεπτη φύση της παραγωγικής διαδικασίας απαιτεί ευέλικτη και γρήγορη προσαρμογή. Είναι, επομένως, επιτακτικό να υπάρχει ένας μηχανισμός (όπως IoT) που ανάλογα με τις αλλαγές, θα ενημερώνει το πρόγραμμα παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, ενώ θα υπολογίζει και τις παραγωγές που βρίσκονται σε εξέλιξη. Συνεπώς, είναι σημαντικό το σύστημα να επικοινωνεί με όλα τα τμήματα της βιομηχανίας, καθώς ένα εργαλείο προγραμματισμού (όπως ERP) είναι μόνο ένα μέρος του συνολικού συστήματος υποστήριξης της παραγωγής. Στόχος είναι η αποτελεσματική ολοκλήρωση καθολικά των διαδικασιών (Alexandros Koulouris, 2021).

Οι (Orzes, 2020) μελέτησαν τα εξωτερικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις στην υιοθέτηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0, τα οποία έχουν ως εξής:

1. Οικονομικοί παράγοντες, που καθιστούν δύσκολη απόφαση την επένδυση σε νέες τεχνολογίες, ειδικά όταν τα οικονομικά οφέλη από την υιοθέτησή τους δεν είναι ξεκάθαρα.
2. Έλλειψη ψηφιακών δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού.
3. Νομοθεσία και ασφάλεια δεδομένων.
4. Ανεπαρκής ψηφιακές υποδομές.
5. Ανεπαρκής ενημέρωση ως προς τις δυνατότητες των τεχνολογιών και συνεπώς απροθυμία από την διοίκηση.

Για τους ανωτέρω λόγους, οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών διακρίνονται ως μοναδικές στον τομέα της μεταποιητικής βιομηχανίας. Παρά τις προκλήσεις αυτές, μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από τις τεχνολογικές εξελίξεις στην ψηφιοποίηση, επιτυγχάνοντας αποδοτικότερη, πιο ευέλικτη και πιο κερδοφόρα παραγωγή (Alexandros Koulouris, 2021). Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη, καθώς και η εντατική συνεργασία μεταξύ ρυθμιστικών αρχών, ερευνητικών ιδρυμάτων και βιομηχανίας είναι απαραίτητες για την αξιοποίηση της δυναμικής των τεχνολογιών αυτοματισμού στη βιομηχανία τροφίμων. Η εφαρμογή τους δύναται να παρέχει σημαντικές βιώσιμες λύσεις, επιφέροντας θετικά αποτελέσματα για τη δημόσια υγεία και την περιβαλλοντική και οικονομική ανάπτυξη.

### **6.3 Η Βιομηχανία 4.0 στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών**

Οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών είναι υποχρεωμένες να υιοθετούν ολοένα και περισσότερο ψηφιακές τεχνολογίες, προκειμένου να διατηρούν τον ανταγωνισμό και να καλύπτουν τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς. Οι τελευταίες σχετίζονται με την διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων, την μείωση τους κόστους, την μείωση των χρόνων παράδοσης και την εγγύηση της έγκαιρης παράδοσης παρά τις τυχόν απρόσμενες συνθήκες και τη δημιουργία νέων προϊόντων, βελτιωμένων ως προς τα συστατικά, την διαδικασία παραγωγής και την συσκευασία (Alexandros Koulouris, 2021).

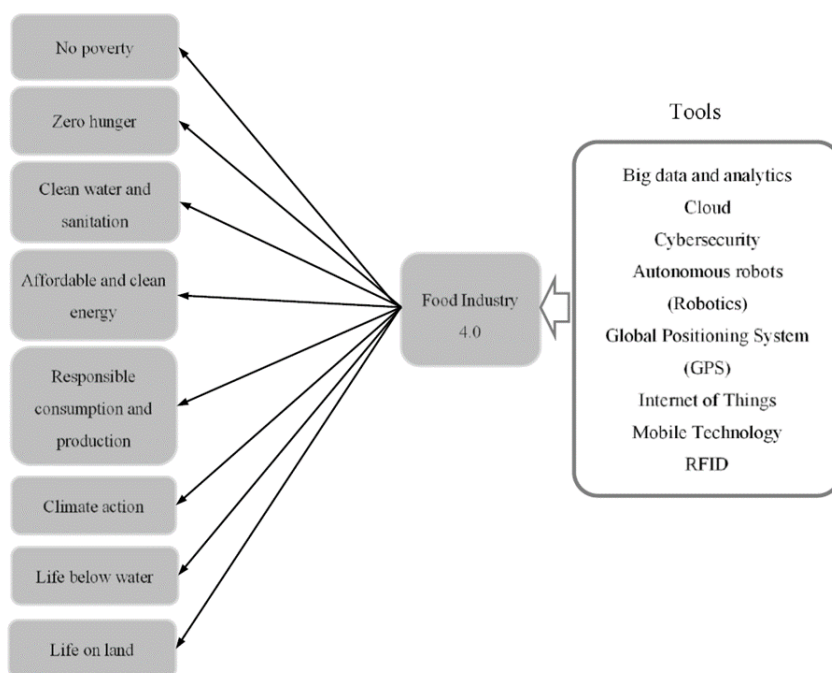
Λαμβάνοντας υπόψη τη βάση δεδομένων Scopus, ο αριθμός δημοσιευμένων εργασιών που ασχολούνται με τις τεχνολογίες ψηφιοποίησης της βιομηχανίας τροφίμων έχει αυξηθεί από



μόλις δύο δημοσιεύσεις το 2015 σε περισσότερες από πενήντα το 2021. Αυτό οφείλεται στις δυνατότητες που παρουσιάζουν οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, συμβάλλοντας στην βιωσιμότητα των συστημάτων τροφίμων (Abdo Hassoun A. A.-K.-M., 2022).

Η Βιομηχανία 4.0 προωθεί την ανάπτυξη και χρήση νέων αυτοματοποιημένων διαδικασιών, που ενδεικτικά περιλαμβάνουν την τεχνητή νοημοσύνη, συσκευές του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), αναλύσεις μεγάλων δεδομένων (Big Data) και ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins, DT). Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών συμπληρώνει την «έξυπνη» βιομηχανία, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό επίπεδο αυτοματισμού λόγω της ευχέρειας απομακρυσμένου ελέγχου των λειτουργιών, της απόκτησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και της ψηφιακής αναπαράστασης προϊόντων ή διαδικασιών με δυνατότητα παρέμβασης. Επιπλέον, στην εικόνα 6.3 απεικονίζεται και η συμβολή των τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0 στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης. Στα αριστερά από πάνω προς τα κάτω απεικονίζονται τα εξής: μηδενική φτώχεια, μηδενική πείνα, καθαρό νερό και κανόνες υγιεινής, προσιτή και πράσινη ενέργεια, υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή, δράσεις κατά της κλιματικής αλλαγής, προστασία υδροβιότοποι, προστασία της χερσαίας ζωής

Οι στρατηγικές σχεδιασμού, παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο για την εφοδιαστική αλυσίδα των τροφίμων είναι κρίσιμες για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής και αποδοτικής διακίνησης από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Η συνεργατική δράση όλων των ενδιαφερόμενων μερών σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, στη διασφάλιση της συμμόρφωσης με την νομοθεσία των τροφίμων και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη κάλυψη των απαιτήσεων της αγοράς (Pratik Maheshwari, 2023).



**Εικόνα 6.3** Η συμβολή των τεχνολογιών της βιομηχανίας 4.0 στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Anet Režek Jambrak, 2021).

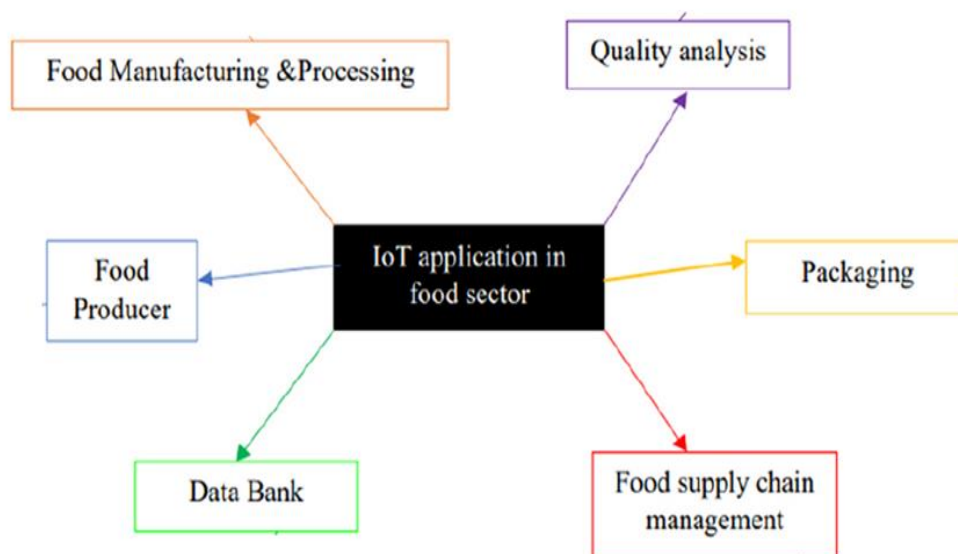
### 6.3.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Η βιομηχανία των τροφίμων και ποτών διαρθρώνεται σε τομείς παραγωγής, μεταποίησης και εμπορίας. Η τεχνολογία IoT έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί όλους αυτούς τους τομείς. Από την τις πρώτες ύλες, την παραγωγή, την επεξεργασία, την αποθήκευση, τη διανομή ως και τον καταναλωτή (farm to fork) (Rahul Kodan, 2019).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) προσφέρει την δυνατότητα της ανάλυσης και προσομοίωσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, της απομακρυσμένης παρακολούθησης, της προβλεπτικής συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και τον εντοπισμό και την επίλυση των αδυναμιών της εφοδιαστικής αλυσίδας (Rahul Kodan, 2019).

Αναλυτικότερα, το IoT μπορεί να συμβάλλει στις διαδικασίες της βιομηχανίας τροφίμων ως εξής (Harsh Dadhaneeya, 2023).

1. Επικοινωνία με προμηθευτές και πελάτες σε όλα τα στάδια παραγωγής και διακίνησης σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει ευελιξία ως προς την κάλυψη των απαιτήσεων των πελατών, ολοκληρωμένη ιχνηλασιμότητα και πλήρη διαφάνεια των διαδικασιών.
2. Μέσω του συστήματος IoT, οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν εξ αποστάσεως τις παραμέτρους οποιασδήποτε διαδικασίας, καθώς και να επεμβαίνουν όποτε αυτό απαιτείται.
3. Μέσω τη παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, συνεπάγεται και ο έλεγχος των διαδικασιών, ώστε να διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία τους και η ασφάλεια των προϊόντων (Harsh Dadhaneeya, 2023).



**Εικόνα 6.4** Εφαρμογές του IoT στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών (πορτοκαλί χρώμα: παραγωγική διαδικασία, μωβ χρώμα: ποιοτικός έλεγχος, κίτρινο χρώμα: συσκευασία, κόκκινο χρώμα: εφοδιαστική αλυσίδα, πράσινο χρώμα: αποθήκευση δεδομένων, μπλε χρώμα: πρωτογενής τομέας) (Harsh Dadhaneeya, 2023).

Κάτωθι παρατίθενται κάποια παραδείγματα πιθανών εφαρμογών του IoT στον τομέα των τροφίμων (Harsh Dadhaneeya, 2023):

1. «Εξυπνη» γεωργία, η οποία στοχεύει στη βελτίωση των γεωργικών εργασιών, την ενίσχυση της παραγωγής ανά μονάδα εργασίας και την αξιοποίηση των πόρων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα (όπως άρδευση, συνθήκες εδάφους, μετεωρολογικά δεδομένα).

2. Χρήση στην κτηνοτροφία για την παρακολούθηση ζώων, συλλέγοντας δεδομένα σχετικά με την υγεία και τη δραστηριότητά τους μέσω φορητών αισθητήρων, επιτρέποντας την έγκαιρη διάγνωση ασθενειών ή ανωμαλιών.
3. «Εξυπνα» θερμοκήπια, στα οποία παρακολουθούνται και ελέγχονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, το φως και τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα. Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η ανάπτυξη και η απόδοση των καλλιεργειών, μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας και ελαχιστοποιείται η χρήση φυτοφαρμάκων και άλλων χημικών ουσιών.
4. «Εξυπνο» εργοστάσιο, όπου σε πραγματικό χρόνο παρακολουθείται και ελέγχεται ο μηχανολογικός εξοπλισμός για την εξασφάλιση της μέγιστης απόδοσης, παραγωγικότητας και ασφάλειας. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τεχνητή νοημοσύνη δίνεται η δυνατότητα στους χειριστές να διαχειρίζονται και να ελέγχουν διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των τροφίμων, όπως θερμοκρασία και υγρασία, μειώνοντας τον κίνδυνο αλλοίωσης ή επιμόλυνσης. Άλλες εφαρμογές σχετίζονται με την διαχείριση αποθέματος, την ιχνηλασιμότητα και την διαχείριση της ενέργειας.
5. Ποιοτική ανάλυση και χημική ανάλυση σε διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, επιτρέποντας την ανίχνευση επιβλαβών ουσιών (όπως φυτοφάρμακα ή βαρέα μέταλλα), αλλαγών στη χημική σύνθεση από νοθεία, την φυσική κατάσταση των συσκευασιών, τα χαρακτηριστικά αλλοίωσης της ποιότητας των προϊόντων και την παρακολούθηση της διάρκειας ζωής. Τα δεδομένα από την παρακολούθηση της διάρκειας ζωής είναι δυνατό να συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην μείωση της σπατάλης τροφίμων και στην καλύτερη διαχείριση των αποθεμάτων από του χώρους εστίασης και τις αγορές. Επίσης, οι (Fatima, 2022) αξιοποίησαν οπτικούς αισθητήρες, συνδυάζοντας IoT και τεχνητή νοημοσύνη, για την ανίχνευση νοθείας από σπόρους παπάγιας σε κόκκους μαύρου πιπεριού. 6. «Εξυπνη επισήμανση» των τροφίμων, που παρέχει στους καταναλωτές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα, την ασφάλεια και την προέλευση των προϊόντων (διαφάνεια / ορατότητα εφοδιαστικής αλυσίδας από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη). Επιπλέον, είναι δυνατή η παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συσκευασιών τροφίμων, που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να λαμβάνουν αποφάσεις για τη βελτίωση της βιωσιμότητας.
6. Αναφορικά με την εφοδιαστική αλυσίδα, το IoT μπορεί να συμβάλλει στην βελτιστοποίηση των διαδρομών και των χρονοδιαγραμμάτων παράδοσης, επιτυγχάνοντας τη μείωση του κόστους μεταφοράς και τη βελτίωση των χρόνων παράδοσης. Επιπλέον, εξυπηρετεί τις διαδικασίες logistics, προσφέροντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας, τον καιρό και άλλους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τους χρόνους και τις διαδρομές παράδοσης.
7. Αποθήκευση και διατήρηση δεδομένων, τα οποία είναι δυνατό να συμβάλλουν στην ανάπτυξη κυβερνητικών οδηγιών και προτύπων από αρμόδιους φορείς, στην προσαρμογή προσφορών προϊόντων και στρατηγικών μάρκετινγκ από τις επιχειρήσεις, ώστε να ανταποκρίνονται πληρέστερα στις ανάγκες των πελατών και στον εντοπισμό περιθωρίων βελτίωσης των λειτουργιών μιας επιχείρησης.

Αναφορικά με την βιωσιμότητα, η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η οποία αναμένεται να φθάσει τα 9,7 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, θα επιφέρει αύξηση στην απαίτηση γλυκού νερού για πόση, παραγωγή τροφίμων και υγειονομικές ανάγκες. Ζητήματα όπως η υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων και οι προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής εντείνουν την πίεση για εξασφάλιση συνεχούς και σταθερής πηγής νερού. Σύμφωνα με έρευνες, μόνο το 0,5% του διαθέσιμου νερού χαρακτηρίζεται ως γλυκό, το υπόλοιπο είναι ωκεάνιο νερό ή πάγος. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων καταναλώνουν τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Επιβεβαιώνεται ότι από το συνολικό αντληθέν γλυκό νερό, το 70% χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς, το 19% για μεταποιητικές δραστηριότητες και το υπόλοιπο για οικιακή χρήση.

Επιπλέον, από έρευνες αναδεικνύεται ότι η αλυσίδα παραγωγής και εφοδιασμού τροφίμων (συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της μεταφοράς, της μεταποίησης και του χειρισμού τροφίμων) είναι υπεύθυνη για περίπου 30% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Σε αυτό το πλαίσιο, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) θεωρείται μια από τις πιο ανατρεπτικές τεχνολογίες για την ψηφιακή παρακολούθηση των παραγωγικών διαδικασιών, προσφέροντας διαφάνεια, ορατότητα και ροή πληροφοριών για την εκτέλεση σχεδίων και τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, για την ενίσχυση της αποδοτικότητας του νερού σε ένα εργοστάσιο ποτών, απαιτείται η εφαρμογή ενός καλά σχεδιασμένου, σε πραγματικό χρόνο, συστήματος παρακολούθησης νερού. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να προσφέρει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις δραστηριότητες χρήσης του νερού, επιτρέποντας την αναγνώριση πιθανών αιτιών σπατάλης και την ανακάλυψη ευκαιριών μείωσης της κατανάλωσης. Μέσω του IoT είναι δυνατό να συλλεχθούν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατανάλωση νερού για κάθε εξάρτημα μηχανής εντός του εργοστασίου ποτών (Sandeep Jagtap G. S., 2021).

Τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης παρουσιάζουν αισιόδοξα δεδομένα και καταδεικνύουν ότι η παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού σε πραγματικό χρόνο μέσω συστημάτων βασισμένων στο IoT μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης, επιφέροντας αλλαγές στη διαχείριση του εργοστασίου. Αντί να υιοθετηθεί μια βραχυπρόθεσμη προοπτική, απαιτείται μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για δραστηριότητες εξοικονόμησης νερού, όπως η εφαρμογή ενός συστήματος παρακολούθησης νερού που βασίζεται στο IoT καθ' όλη τη διάρκεια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Παρά την αρχική απροθυμία του εν λόγω εργοστασίου ποτών στην ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος, κατόπιν των επιτυχημένων αποτελεσμάτων, η εταιρεία σημείωσε σημαντική εξοικονόμηση νερού και έκανε απόσβεση της επένδυσης της εντός έξι μηνών (Sandeep Jagtap G. S., 2021).

Σε άλλη έρευνα των (Jagtap, 2018), που αφορά μια από τις μεγαλύτερες ποτοποιίες στην Ινδία, στην οποία λειτουργούν τρεις γραμμές πλήρωσης φιαλών σε συνεχή λειτουργία. Ωστόσο, η αύξηση των τιμών των πρώτων υλών και της ενέργειας οδήγησε σε αυξημένο κόστος παραγωγής. Λόγω του ανταγωνισμού με άλλες ποτοποιίες και προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα της μακροπρόθεσμα, καθίσταται σαφές ότι η εταιρεία πρέπει να μειώσει τα κόστη παραγωγής και να αυξήσει την κερδοφορία της. Δεδομένου ότι ο αντίκτυπος στο κόστος των πρώτων υλών δεν είναι υπό τον έλεγχό της, η μοναδική εφικτή λύση είναι η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας βασισμένου στο IoT, προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση. Ειδικότερα, έξυπνοι μετρητές ενέργειας και αισθητήρες, οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί σε κάθε περιοχή και σε ορισμένα μηχανήματα, επιτρέπουν την καθημερινή

παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης και της απόδοσης ενέργειας. Τα ενεργειακά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από αυτούς τους μετρητές, μεταδίδονται ασύρματα σε μια κεντρική βάση δεδομένων, όπου αποθηκεύονται και αναλύονται. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι μέσω της εν λόγω εφαρμογής επιτεύχθηκε ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ύψους 172.281 δολαρίων και μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 807.081 kWh ανά έτος.

Σε άλλη έρευνα, οι (Hong, 2014) υποστήριξαν ότι η αποτελεσματικότητα διαχείρισης της σπατάλης τροφίμων θα μπορούσε να βελτιωθεί μέσω της εφαρμογής του Smart Garbage System που βασίζεται στο IoT. Ειδικότερα, σε μια εταιρεία παραγωγής έτοιμων γευμάτων, 1400 κιλών εβδομαδιαίως, τα απόβλητα τροφίμων αποτελούν σημαντική πρόκληση. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων αναπτύχθηκε και υιοθετήθηκε το ανωτέρω σύστημα. Μέσω της εφαρμογής αυτού, σε συνδυασμό με την εκπαίδευση και τη δέσμευση του προσωπικού, η εταιρεία κατάφερε να μειώσει τα απόβλητα κατά 60,7%, ενώ εξοικονόμησε περίπου 356.000 ευρώ.

Μια σημαντική εφαρμογή που παρέχει το IoT είναι η ιχνηλασιμότητα σε πραγματικό χρόνο, η οποία επιτρέπει ταχεία αντίδραση κατά την αντιμετώπιση ανακλήσεων προϊόντων. Για παράδειγμα, οι (Alfian, 2020) πρότειναν ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας βασισμένο σε RFID ενσωματωμένο με το IoT για την αλυσίδα εφοδιασμού ευπαθών τροφίμων, για την παρακολούθηση της κίνησης των προϊόντων, της θερμοκρασίας και της υγρασίας τους. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες ανησυχίες και προκλήσεις, όπως η έλλειψη υποδομής για τη «φιλοξενία» της συνδεσιμότητας που απαιτείται για την απρόσκοπτη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, το υψηλό κόστος υλοποίησης και η ασφάλεια των δικτύων.

### 6.3.2 Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin)

Στο πλαίσιο της βιομηχανικής ψηφιοποίησης και της εμφάνισης του IoT, η έννοια του ψηφιακού δίδυμου έχει αναδυθεί πρόσφατα ως μέσο για την ενίσχυση της ευελιξίας στη διαχείριση διαδικασιών. Αν και τα ψηφιακά δίδυμα έχουν αναπτυχθεί σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς, λίγες μελέτες έχουν περιγράψει την εφαρμογή τους στην εφοδιαστική αλυσίδα των τροφίμων.

Μια μελέτη των (Pratik Maheshwari, 2023) προτείνει το μοντέλο ABS, το οποίο προσομοιώνει την λειτουργία της τεχνολογίας των ψηφιακών δίδυμων, σε γραμμή παραγωγής παγωτού. Το μοντέλο συμβάλλει στη μείωση του πλεονασμού δεδομένων και στην καλύτερη οργάνωση και ταξινόμηση τους, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την πρόσβαση όλων των ενδιαφερόμενων μερών. Έτσι, διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων και η επικοινωνία καθολικά. Επιπλέον, παρέχει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την κατάσταση των εγκαταστάσεων και του μηχανολογικού εξοπλισμού, ενισχύοντας την αποδοτικότητα. Ωστόσο, υφίσταται ανάγκη για έρευνα σχετικά με την ενσωμάτωση και τον συνδυασμό και άλλων προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση.

Το ψηφιακό δίδυμο οφείλει να προσομοιώνει με ακρίβεια όλες τις σχετικές διαδικασίες και τις δυναμικές τους, ξεπερνώντας την απλή υπολογιστική μοντελοποίηση και προσομοίωση. Επιπλέον, η σύνδεση του ψηφιακού δίδυμου με το πραγματικό προϊόν και τις διαδικασίες μέσω δεδομένων αισθητήρων και αναλυτικών εργαλείων είναι απαραίτητη. Το μοντέλο πρέπει να εκτελείται και να ενημερώνεται, επιτρέποντας την ομαλή εφαρμογή των αποτελεσμάτων από τις λειτουργικές συσκευές ή/και το προσωπικό. Ως εκ τούτου, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να



αποσαφηνίσει σημαντικές πτυχές της συνεχούς διαδικασίας και του υπό ανάπτυξη προϊόντος. Το ψηφιακό δίδυμο πρέπει, επίσης, να διαγνώσει την τρέχουσα και μελλοντική απόδοση, να εντοπίζει βλάβες και τις αιτίες τους, να μειώνει το κόστος και τους χρόνους διακοπής λειτουργίας για τη συντήρηση, να προβλέπει την ποιότητα και την ασφάλεια των προϊόντων και να βελτιώνει τον σχεδιασμό και τον έλεγχο προϊόντων και διαδικασιών (Pieter Verboven, 2020).



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:  
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ  
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον παραγωγικό τομέα της Ευρώπης, καθώς υπερέχει των εσόδων έτερων κλάδων (1,112 δισεκατομμύρια ευρώ το έτος 2020) (FoodDrinkEurope, 2023), ενώ απασχολεί 4,7 εκατομμύρια εργατικό δυναμικό (15,5%). Για τον λόγο αυτό, η ψηφιοποίηση του εν λόγω κλάδου αποτελεί προτεραιότητα, κυρίως σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις, οι οποίες αποτελούν το 98% του συνόλου των σχετικών βιομηχανιών (EFFAT, 2019). Όσον αφορά την Ελλάδα, ο αριθμός των βιομηχανιών τροφίμων και ποτών ανέρχεται στις 15.907, ενώ ο αριθμός των εργαζομένων που απασχολούν είναι 131.000 (FoodDrinkEurope, 2023).

Μελέτες αναφορικά με την εξέλιξη της ψηφιοποίησης συνολικά στην επιχειρηματική δραστηριότητα στην Ευρώπη από την εμφάνιση της νόσου Covid-19, παρουσιάζουν αύξηση των παροχών πλήρως ψηφιοποιημένων υπηρεσιών: 34% πριν από την κρίση της Covid-19 και 50% κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Επίσης, παρατηρήθηκε ανοδική τάση στις εφαρμογές υπολογιστικού νέφους (cloud computing) σε λειτουργικές δραστηριότητες των επιχειρήσεων: 24% πριν τη πανδημία και 41% το έτος 2021. Ωστόσο, σημαντικές διαφορές εξακολουθούν να υπάρχουν μεταξύ μεγάλων και μικρομεσαίων επιχειρήσεων, καθώς το 72% των πρώτων ενσωμάτωσε το υπολογιστικό νέφος στην εργαλειοθήκη τους, σε σύγκριση μόλις με το 40% των τελευταίων.

Συνολικά, ενώ η πλειοψηφία των κρατών μελών προοδεύουν στο ψηφιακό μετασχηματισμό, η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και το δίκτυο πραγμάτων (IoT), παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ακόμα και μεταξύ των πρωτοπόρων χωρών, όπως Φινλανδία, Δανία, Ολλανδία και Σουηδία (European Commission, 2022). Επιπλέον, ενώ έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες αναφορικά με τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 4.0 σε ποικίλους επιχειρηματικούς κλάδους (κατασκευαστικές βιομηχανίες, φαρμακευτικές βιομηχανίες), τα δεδομένα για τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών είναι ελάχιστα.

Συγκεκριμένα, η εφοδιαστική αλυσίδα των τροφίμων και ποτών αποτελείται από τους κάτωθι τομείς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα και ευμεταβλητότητα. Για το λόγο αυτό, καθίσταται πολύπλοκη η ψηφιοποίηση της παραμένοντας στις τελευταίες θέσεις ως προς τις εφαρμογές αυτοματισμού σε σύγκριση με άλλους επιχειρηματικούς κλάδους:

- Πρωτογενής παραγωγή (on – farm production), που περιλαμβάνει τα οπωροκηπευτικά και κτηνοτροφικά προϊόντα (agriculture).
- Επεξεργασία, συσκευασία, αποθήκευση και διανομή των τελικών προϊόντων (γαλακτοκομικά προϊόντα, αλλαντικά, κονσερβοποιημένα τρόφιμα) (food and drink industry).
- Απαιτήσεις και προτιμήσεις των καταναλωτών, τάσεις αγοράς, νομοθεσία (food and drink wholesale and retail) (European Parliament, 2023).

Προκειμένου ο ψηφιακός μετασχηματισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας των τροφίμων και ποτών να εφαρμοστεί ορθά και αποτελεσματικά, ώστε να συμβάλει στην εξάλειψη της αβεβαιότητας και στην αποδοτικότερη κάλυψη των νομοθετικών και αγοραστικών απαιτήσεων, θα πρέπει να καθοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη του (ειδικότερα στην Ελλάδα που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας). Συνεπώς, τα ερευνητικά ερωτήματα που πρόκειται να καλυφθούν μέσω του παρόντος ερωτηματολογίου είναι τα κάτωθι:

1. Ποιο είναι το επίπεδο ψηφιοποίησης των λειτουργιών των ελληνικών επιχειρήσεων στους τρεις (3) τομείς της εφοδιαστικής αλυσίδας των τροφίμων (agriculture, food and drink industry, food and drink wholesale);
2. Ποια είναι τα εσωτερικά και εξωτερικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι ελληνικές επιχειρήσεις κατά το ψηφιακό μετασχηματισμό των δραστηριοτήτων τους;
3. Ποια είναι η αντίληψη των εργαζόμενων του κλάδου αναφορικά με τις προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού; Ποιο είναι το επίπεδο των ψηφιακών δεξιοτήτων τους (digital και ICT skills);

### **7.1 Μεθοδολογία έρευνας**

Στη παρούσα έρευνα, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ερωτηματολόγιο για τη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων, καθώς είναι ένα μέσο που μπορεί να διανεμηθεί εύκολα, γρήγορα και οικονομικά (μέσω της πληθώρας διαδικτυακών τόπων) και σε μεγάλο αριθμό ατόμων. Επιπλέον, έχει σύντομη διάρκεια και συμπληρώνεται σε χρόνο που άπτεται της ευχέρειας των συμμετεχόντων. Τέλος, οι απαντήσεις είναι ανεξάρτητες και ανώνυμες, ενώ μειώνεται η πιθανότητα επηρεασμού από τον ερευνητή, προσφέροντας μεγαλύτερη αντικειμενικότητα.

Ο σχεδιασμός του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο, έγινε εννοιολόγηση και λειτουργικοποίηση των εννοιών, για το καθορισμό των εξαρτημένων και ανεξάρτητων (δομικών) μεταβλητών και των στοιχείων τους (items). Στο δεύτερο στάδιο, καθορίστηκαν ο τύπος ερωτήσεων και απαντήσεων, η δομή και ο σκοπός του ερωτηματολογίου. Συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός των εννοιών και των σχέσεων τους έγινε με βάση τις παρακάτω αντίστοιχες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη:

- Έκθεση του Δείκτη Ψηφιακής Οικονομίας και Κοινωνίας (Digital Economy and Society Index, DESI), που δημοσιεύτηκε το έτος 2022 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission). Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρακολουθεί και μελετά την ετήσια πρόοδο των κρατών μελών, καταγράφοντας το προφίλ τους, τις δράσεις τους, τις ανάγκες τους, καθώς και τους τρόπους κάλυψης αυτών. Η εν λόγω έρευνα βασίστηκε στους στόχους που έχουν τεθεί από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα «Η πορεία προς τη Ψηφιακή Δεκαετία (Path to the Digital Decade)» και οι οποίοι είναι: η ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων του ευρύτερου πληθυσμού, ασφαλείς και βιώσιμες ψηφιακές υποδομές, ψηφιακός μετασχηματισμός των επιχειρήσεων και ψηφιοποίηση των δημόσιων υπηρεσιών.
- Διαδικτυακή έρευνα με τίτλο «Είμαστε έτοιμοι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων της Ευρώπης για τις τεχνολογίες που βασίζονται στη τεχνητή νοημοσύνη;», η οποία δημοσιεύτηκε το έτος 2021 από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Καινοτομίας και Τεχνολογίας (EIT FOOD). Το EIT Food συνεργάζεται με επιχειρήσεις και πανεπιστήμια προκειμένου να προωθήσει τη καινοτομία στη βιομηχανία των τροφίμων και να ενισχύσει τα συστήματα ασφάλειας τροφίμων (ΣΔΑΤ/HACCP) μέσω προηγμένων τεχνολογιών. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη αφορά επιχειρήσεις τροφίμων που απασχολούν από 10 έως 250 εργαζόμενους με επίκεντρο τις εξής χώρες: Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία, Γερμανία και Πολωνία. Έτσι, συλλέχθηκαν πληροφορίες σχετικά με το τρόπο που οι επιχειρήσεις καταγράφουν, αποθηκεύουν και αναλύουν τα δεδομένα που παράγονται από τις καθημερινές τους λειτουργίες, καθώς αυτή η διαδικασία σύμφωνα

με τις αρχές που ορίζει η Βιομηχανία 4.0, αποτελεί τη βάση υιοθέτησης των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης.

- Έρευνα σχετική με τη χρήση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) από επιχειρήσεις στην Ευρώπη, που δημοσιεύτηκε το έτος 2019 από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Commission). Αναλυτικότερα, διεξήχθη τηλεφωνική συνέντευξη σε όλα τα κράτη μέλη και στις εξής χώρες: Νορβηγία, Ισλανδία και Ηνωμένο Βασίλειο. Συλλέχθηκαν δεδομένα από 9.640 επιχειρήσεις και μετρήθηκαν πέντε (5) δείκτες απόδοσης που έχουν ως εξής: ενημέρωση σχετικά με τις τεχνολογίες AI (awareness), υιοθέτηση (adoption) των AI, αναζήτηση προτάσεων εφαρμογής των AI (sourcing), εξωτερικά και εσωτερικά εμπόδια (external and internal obstacles) των επιχειρήσεων ως προς την υιοθέτηση των AI.

## **7.2 Σχεδιασμός ερωτηματολογίου**

Ο σκοπός του παρόντος ερωτηματολογίου είναι η διερεύνηση του επιπέδου αυτοματισμού ολιστικά στις λειτουργικές δραστηριότητες των ελληνικών βιομηχανιών τροφίμων (μεγάλων και μικρομεσαίων), όπως στη διαχείριση πρώτων υλών και αποθεμάτων τελικών προϊόντων, στη παραγωγική διαδικασία, στη διανομή των τελικών προϊόντων και στην επικοινωνία όλων των ενδιαφερόμενων μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων. Συνεπώς, ως εξαρτημένη μεταβλητή (dimension) του ερωτηματολογίου τίθεται το ποσοστό αυτοματοποίησης των επιχειρηματικών λειτουργιών.

Εν συνεχεία, μέσω ανασκόπησης των σχετικών προαναφερθέντων μελετών, οι παράγοντες (sub - dimension) που καθορίζουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων και αποτελούν τις ανεξάρτητες (δομικές) μεταβλητές του παρόντος, έχουν ως εξής (διαδικασία εννοιολόγησης):

1. Εργατικό δυναμικό (Human capital)
2. Ενσωμάτωση τεχνολογιών αυτοματισμού (Integration of digital technology)
3. Κρατική υποστήριξη (Digital public services)

Οι ανωτέρω παράγοντες με βάση την έκθεση για τον δείκτη DESI έχουν τον ίδιο αντίκτυπο ως προς την εξαρτημένη μεταβλητή και συγκεκριμένα συνδέονται μέσω της σχέσης αιτίου – αποτελέσματος. Επιπλέον, λειτουργούν συνεργιστικά ως προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων (European Commission, 2022).

Ωστόσο θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι η συγκεκριμένη εννοιολόγηση δεν είναι κατ' ανάγκη μοναδική. Είναι πιθανό ο ορισμός διαφορετικών στοιχείων, να έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές προσεγγίσεις. Συνεπώς, οι έννοιες περιορίζονται στο σύνολο των χαρακτηριστικών που καθορίστηκαν στην παρούσα μελέτη (Ζαφειρόπουλος Κώστας, 2015).

Τέλος, κατά τη διαδικασία της λειτουργικοποίησης των ανωτέρω δομικών μεταβλητών, καθορίζονται τα στοιχεία τους (items / indicators). Συγκεκριμένα, πρόκειται για χαρακτηριστικά, προτάσεις ή ερωτήσεις που χαρακτηρίζουν τη κάθε δομική μεταβλητή και συνθέτουν τη κλίμακα μέτρησης της. Τα στοιχεία παρουσιάζουν πληρότητα περιεχομένου και οι τιμές τους (που διαμορφώθηκαν από τις απαντήσεις των ερωτηθέντων) είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες, καθώς κάθε κατηγορία απάντησης δηλώνει κάτι διαφορετικό και δεν μπορεί

να έχει την ίδια σημασία με άλλη κατηγορία (Ζαφειρόπουλος Κώστας, 2015). Στον κάτωθι πίνακα παρουσιάζονται, συνολικά, οι μεταβλητές και οι έννοιες του παρόντος ερωτηματολογίου.

**Πίνακας 7.1** Σύνολο μεταβλητών ερωτηματολογίου [(European Commission, 2022); (EFFAT, 2019); (European Commission, European enterprise survey on the use of technologies based on artificial intelligence, 2020)].

| Εξαρτημένη μεταβλητή (dimension)                        | Ανεξάρτητες / δομικές μεταβλητές (sub – dimensions)                     | Στοιχεία (items / indicators)                                      | Περιγραφή των στοιχείων   |
|---|---|--|---|
| Ποσοστό αυτοματοποίησης των επιχειρηματικών λειτουργιών | Εργατικό δυναμικό (Human capital)                                       | Βασικές ψηφιακές δεξιότητες  | Δεξιότητες που σχετίζονται με τη χρήση του διαδικτύου, τη χρήση βασικών προγραμμάτων καταχώρησης δεδομένων (π.χ. excel) και τη χρήση προγραμμάτων ERP.  |
|   |   | Γνώσεις τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνίας (ICT)            | Δεξιότητες που σχετίζονται με τον προγραμματισμό, τη μηχανική μάθηση, τη διαχείριση εφαρμογών υπολογιστικού νέφους και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων.   |
|   | Ενσωμάτωση τεχνολογιών αυτοματισμού (Integration of digital technology) | Προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού                                | Προβλεπτική συντήρηση (predictive maintenance), πρόβλεψη εσωτερικών και εξωτερικών κινδύνων μέσω εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (risk management with AI), λήψη αποφάσεων πραγματικού χρόνου μέσω μηχανικής μάθησης και αλγόριθμων (machine learning), χρήση ψηφιακών διδύμων για πρόβλεψη τυχόν προβλημάτων ή δημιουργία καινοτόμων προϊόντων (digital twins), χρήση διαδικτύου πραγμάτων (IoT) για επικοινωνία μεταξύ όλων των τμημάτων μέσα σε μια βιομηχανία, αλλά και των ενδιαφερόμενων μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας (ιχνηλασιμότητα / traceability). |
|   |   | Καταχώριση ψηφιακών δεδομένων (digitalized data sets)              | Λογισμικά (λειτουργικά συστήματα, βάσεις δεδομένων), προγράμματα αποθήκευσης δεδομένων / χρήση υπολογιστικού νέφους (cloud computing).  |
|   |   | Τεχνολογικός εξοπλισμός (automated equipment and production lines) | Υπολογιστικός εξοπλισμός (IT resources), ρομποτικά συστήματα στην γραμμή παραγωγής γενικών και εξειδικευμένων καθηκόντων (generic and specialized robots, collaborative robots / cobots), αισθητήρες.   |
| Ποσοστό αυτοματοποίησης των επιχειρηματικών λειτουργιών | Κρατική υποστήριξη (Digital public services)                            | Κρατικές παροχές για επιχειρήσεις και εργαζόμενους                 | Προγράμματα επιδότησης για υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, επιμόρφωση των ενδιαφερόμενων μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας τροφίμων σε θέματα ψηφιακών δεξιοτήτων (εφαρμογές, τρόποι υιοθέτησης, συμβουλευτικοί φορείς, επιδείξεις - σεμινάρια), ενίσχυση της εμπιστοσύνης ως προς την αποθήκευση δεδομένων σε σχετικά λογισμικά μέσω κανονισμών και νόμων, δυνατότητα κάλυψης των υποχρεώσεων των επιχειρήσεων ως προς το δημόσιο μέσω διαδικτυακών υποδομών (εξάλειψη γραφειοκρατίας).  |

### 7.3 Δομή

Η παρούσα έρευνα μελετά ένα θέμα, για το οποίο υπάρχουν ελάχιστες αναφορές στην Ευρώπη, ενώ καμία σχετική έρευνα δεν έχει γίνει στην Ελλάδα. Συνεπώς, πρόκειται για διερευνητική ποσοτική μελέτη με χρήση δομημένου ερωτηματολογίου.

Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται κλειστού τύπου ερωτήσεις που ακολουθούν συγκεκριμένη σειρά, από το γενικό στο ειδικό, καθώς έτσι ενισχύεται η φαινομενική εγκυρότητα, η οποία προδιαθέτει τον ερωτώμενο να απαντήσει. Επιπλέον, οι πιθανές τιμές που έχουν καθοριστεί για κάθε ερώτηση, επιτρέπουν την ποσοτική ανάλυση των ληφθέντων απαντήσεων.

Η κλίμακα μέτρησης των απαντήσεων είναι τύπου Likert, με βάση την οποία οι τιμές παρουσιάζουν διάταξη / κλιμάκωση (ordinal scales) από το ελάχιστο προς το πάρα πολύ (πέντε (5) βαθμίδες). Οι πέντε βαθμίδες δίνουν τη δυνατότητα στον ερωτώμενο να τοποθετηθεί σε ουδέτερο / μεσαίο σημείο ή να επιλέξει μια σαφή τοποθέτηση προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση της κλίμακας.

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από 3 ενότητες με συνολικό αριθμό ερωτήσεων δεκαεννέα (19) και αριθμό στοιχείων εβδομήντα (70). Οι ερωτήσεις που αφορούν δημογραφικά στοιχεία παρατίθενται σε ξεχωριστή ενότητα στο τέλος του ερωτηματολογίου (συνολικός αριθμός ερωτήσεων εννιά (9)).

### 7.4 Αξιοπιστία και εγκυρότητα

Τα ερωτηματολόγια πρέπει να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και εγκυρότητα. Συγκεκριμένα, η αξιοπιστία σχετίζεται με τον βαθμό συνέπειας των μεταβλητών μεταξύ τους, τον βαθμό συνέπειας των ερωτήσεων όταν ελέγχονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους και τα σφάλματα μέτρησης των αποτελεσμάτων. Υπάρχουν διαφορετικά είδη αξιοπιστίας, αλλά εκείνο που κυρίως εφαρμόζεται σε κλίμακες τύπου Likert είναι η αξιοπιστία συνέπειας – συνοχής. Ο έλεγχος γίνεται μέσω του υπολογισμού του συντελεστή «α του Cronbach» μέσω του προγράμματος SPSS. Ο εν λόγω συντελεστής εκφράζει τον μέσο όρο των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου. Τιμές μεγαλύτερες του 0,70 θεωρούνται αποδεκτές και καθιστούν το ερωτηματολόγιο αξιόπιστο (Ζαφειρόπουλος Κώστας, 2015). Τα αποτελέσματα του ελέγχου για τον παρόν ερωτηματολόγιο παρατίθενται στην παρακάτω εικόνα.

|       |                       | N  | %     |
|-------|-----------------------|----|-------|
| Cases | Valid                 | 36 | 69,2  |
|       | Excluded <sup>a</sup> | 16 | 30,8  |
|       | Total                 | 52 | 100,0 |

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

| Cronbach's Alpha | N of Items |
|------------------|------------|
| ,869             | 70         |



**Εικόνα 7.1** Αποτελέσματα ελέγχου αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου μέσω του συντελεστή «α του Cronbach» (Cases: ο αριθμός των έγκυρων απαντήσεων, Total: ο συνολικός αριθμός απαντήσεων, N of items: ο συνολικός αριθμός των στοιχείων των ερωτήσεων).

Όσον αφορά την εγκυρότητα, υπάρχει μεγάλη σύγχυση σχετικά με τον ορισμό και τα είδη της. Η επικρατέστερη αναφορά στη βιβλιογραφία γίνεται για τη δομική εγκυρότητα, η οποία εκφράζει το κατά πόσο η λειτουργικοποίηση των εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν στο ερωτηματολόγιο αναπαριστά με ακρίβεια την έννοια που ερευνάται.

### **7.5 Χρόνος και τόπος διεξαγωγής της έρευνας**

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη μέσω διαδικτύου, με τη συμπλήρωση ηλεκτρονικής φόρμας στην εφαρμογή Google. Η συγκεκριμένη διαδικασία παρουσιάζει ευκολία για τους χρήστες, ταχύτητα κατά τη συμπλήρωση και καλύπτει μεγάλη γεωγραφική εμβέλεια.

Η διανομή του ερωτηματολογίου έγινε μέσω εταιρικών διευθύνσεων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e - mail), ώστε να εξασφαλίζεται η ανωνυμία των ερωτηθέντων και σε διαδικτυακές ομάδες φορέων βιομηχανιών τροφίμων και ποτών (δείγμα ευκολίας), των οποίων τα μέλη θεωρείται ότι απασχολούνται στον κλάδο. Το κοινό – στόχος (elements) είναι εργαζόμενοι των επιχειρήσεων τροφίμων από τη πρωτογενή παραγωγή (agriculture) ως και τη χονδρική πώληση (wholesale) των τελικών προϊόντων σε όλη τη χώρα.

Ο χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου είναι περίπου 15 λεπτά και ο συνολικός αριθμός ερωτήσεων είναι 22. Επιπλέον, χωρίζεται σε τέσσερις (4) ενότητες ως εξής:

1. Εργατικό δυναμικό (Human capital).
2. Ενσωμάτωση τεχνολογιών αυτοματισμού (Integration of digital technology).
3. Κρατική υποστήριξη (Digital public services).
4. Γενικά (δημογραφικά) στοιχεία.

Συγκεκριμένα, το ερωτηματολόγιο στάλθηκε σε τετρακόσιες (400) ηλεκτρονικές διευθύνσεις ελληνικών επιχειρήσεων τροφίμων, κατόπιν αναζήτησης τους στο διαδίκτυο και σε δύο διαδικτυακές ομάδες φορέων βιομηχανιών τροφίμων (18.619 μέλη - ιδιώτες) (μέγεθος δείγματος).

Η πρώτη κοινοποίηση του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκε στις 08.05.2024, κατά την οποία συλλέχθηκαν σαράντα πέντε (45) απαντήσεις ως τις 04.06.2024. Λόγω της μειωμένης ανταπόκρισης, έγινε επαναδημοσίευση του ερωτηματολογίου (στις ίδιες διευθύνσεις) στις 05.06.2024, κατά την οποία ο αριθμός των συνολικών απαντήσεων έφτασε τις πενήντα δύο (52) ως τις 24.06.2024 όπου και ξεκίνησε η επεξεργασία και ανάλυση των ληφθέντων δεδομένων.

### **7.6 Ανάλυση δεδομένων - Αποτελέσματα ερωτηματολογίου**

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου της μελέτης σχετικά με το επίπεδο αυτοματισμού των ελληνικών βιομηχανιών τροφίμων. Μέσα από την λεπτομερή εξέταση των δεδομένων που συλλέχθηκαν επιδιώκεται η απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, καθώς και η σύγκριση τους με τη βιβλιογραφία και αντίστοιχες έρευνες, προκειμένου να προταθούν πιθανές εφαρμογές ή περαιτέρω έρευνα.

### 7.6.1 Μέθοδος στατιστικής ανάλυσης

Το σύνολο των απαντήσεων από τη φόρμα συμπλήρωσης μετασηματίστηκε σε ένα αρχείο excel μέσω της εφαρμογής Google. Έπειτα έγινε κωδικοποίηση των δεδομένων με ορισμένες αριθμητικές τιμές, ώστε να υπάρχει ένα κείμενο αναφοράς για τη διευκόλυνση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS v29 (29.0.2.0) για Windows (x64) μέσω του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Τα εργαλεία του SPSS που εφαρμόστηκαν στη παρούσα μελέτη είναι τα εξής:

1. Πίνακες συχνοτήτων, όπου παρουσιάζονται τα ποσοστά που έχουν επιλεγεί οι απαντήσεις σε κάθε ερώτηση (σε σχέση με τον συνολικό αριθμό απαντήσεων).
2. Έλεγχοι υποθέσεων - σημαντικότητας, οι οποίοι με βάση τα αποτελέσματα του δείγματος δίνουν συμπεράσματα (όχι απόλυτα) συνολικά για τον πληθυσμό από τον οποίο προήλθε το δείγμα (Ζαφειρόπουλος, 2015). Ειδικότερα, τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα.

**Πίνακας 7.2** Οι τύποι ελέγχου υποθέσεων – σημαντικότητας που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη, μέσω του προγράμματος SPSS (Ζαφειρόπουλος, 2015).

| Τύπος ελέγχου υποθέσεων - σημαντικότητας           |   | Περιγραφή   |  |
|--|---|---|--|
| Μεταβλητές με δύο τιμές (π.χ. φύλο)                | Έλεγχος κανονικότητας (test of normality) <sup>1*</sup> | Οι μεταβλητές ακολουθούν κανονική κατανομή            | Independent samples t – test:<br>- αν $p^{2*} > 0,05$ <u>δεν</u> υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά<br>- αν $p < 0,05$ υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (confidence interval: 95%) <sup>3*</sup> |
|  |   | Οι μεταβλητές <u>δεν</u> ακολουθούν κανονική κατανομή | Μη παραμετρικό independent samples: Mann-Whitney U (2 samples) <sup>4*</sup>   |
| Μεταβλητές με παραπάνω από δύο τιμές (π.χ. ηλικία) | Έλεγχος κανονικότητας (test of normality)               | Οι μεταβλητές ακολουθούν κανονική κατανομή            | Oneway ANOVA (k samples) <sup>5*</sup>   |
|  |   | Οι μεταβλητές <u>δεν</u> ακολουθούν κανονική κατανομή | Μη παραμετρικό independent samples: Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k samples)   |

**1\*** : Η κανονική κατανομή, γνωστή και ως κατανομή Gauss ή καμπύλη Gauss, χαρακτηρίζεται από το σχήμα καμπάνας και ορίζεται από δύο παραμέτρους: τη μέση τιμή (ή μέσο) και τη τυπική απόκλιση. Είναι συμμετρική ως προς τη μέση τιμή της, που σημαίνει ότι οι τιμές κατανέμονται ομοιόμορφα γύρω από αυτή.

Ο έλεγχος κανονικότητας χωρίζεται στους: Kolmogorov-Smirnov για  $N > 50$  και Shapiro-Wilk για  $N \leq 50$ , όπου το N αντιπροσωπεύει τους βαθμούς ελευθερίας (df). Οι βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom) αναφέρονται στον αριθμό των ανεξάρτητων τιμών σε ένα δείγμα, που είναι ελεύθερες να ποικίλουν όταν υπολογίζεται μια στατιστική παράμετρος. Συγκεκριμένα, ορίζονται ως το μέγεθος του δείγματος χωρίς τους περιορισμούς που τίθενται, λόγω των εκτιμήσεων των παραμέτρων.

**2\*** : Η στάθμη σημαντικότητας (p - value), αποτελεί έναν δείκτη της απόστασης ανάμεσα στους δειγματικούς μέσους όρους. Όταν  $p < 0,05$ , τότε η τιμή της απόστασης των μέσων βρίσκεται στο 5% των ακραίων τιμών, που σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Συνηθισμένες τιμές της στάθμης σημαντικότητας είναι 0,05 (5%), 0,01 (1%) και 0,10 (10%). Μια στάθμη σημαντικότητας  $p = 0,05$  σημαίνει ότι υπάρχει 5% πιθανότητα να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση όταν αυτή είναι στην πραγματικότητα αληθής (5% ρίσκο για Σφάλμα Τύπου I (Type I Error)). Όλοι οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη στηρίχτηκαν στη τιμή p.

**3\*** : Το διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval) αποτελείται από κάτω και άνω όριο και μια πιθανότητα ή επίπεδο εμπιστοσύνης (confidence level). Το επίπεδο εμπιστοσύνης συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό 95% ή 99% και αποτελεί τη πιθανότητα το διάστημα εμπιστοσύνης να περιέχει τη πραγματική παράμετρο του πληθυσμού. Για παράδειγμα, ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης σημαίνει ότι αν η δειγματοληψία επαναληφθεί πολλές φορές, το 95% θα περιέχει τη πραγματική παράμετρο. Το εν λόγω ποσοστό ισχύει για όλους τους ελέγχους που έγιναν στη παρούσα μελέτη.

**4\*** : Οι μη παραμετρικοί έλεγχοι αναφέρονται στην ομοιογένεια και όχι στην ισότητα των μέσων τιμών των δειγμάτων.

**5\*** : Ο έλεγχος One-Way ANOVA (Analysis of Variance) χρησιμοποιείται για να συγκρίνει τις μέσες τιμές τριών ή περισσότερων ανεξάρτητων δειγμάτων για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με μια ποσοτική μεταβλητή.

### 7.6.3 Γενικά (Δημογραφικά) Στοιχεία

Ο συνολικός αριθμός απαντήσεων είναι πενήντα δύο (52), που αντιστοιχεί στο 13% του συνόλου των e mail που στάλθηκαν, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δύο διαδικτυακές ομάδες. Συνεπώς, στη πραγματικότητα το εν λόγω ποσοστό είναι μικρότερο, χωρίς ωστόσο να είναι δυνατό να προσδιοριστεί ακριβώς. Για τον λόγο αυτό, το καίριο μειονέκτημα της παρούσας μελέτης είναι ο χαμηλός αριθμός των απαντήσεων σε σχέση με το μέγεθος του δείγματος (σφάλμα εκτίμησης). Εντούτοις, όλες οι απαντήσεις ήταν έγκυρες και ολοκληρωμένες (δεν παρατηρήθηκε καμία παράλειψη απάντησης σε ερώτηση / missing values). Επιπλέον, κατόπιν ανάλυσης και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι θα ήταν ενδιαφέρον να είχε προστεθεί στην ενότητα των γενικών στοιχείων, ερώτηση σχετικά με τα έτη λειτουργίας της βιομηχανίας, προκειμένου να διερευνηθεί το επίπεδο αυτοματοποίησης μεταξύ νεοσύστατων και μη επιχειρήσεων.

Στους κάτωθι πίνακες παρατίθενται συγκεντρωτικά τα γενικά (δημογραφικά) στοιχεία του δείγματος, χωρισμένα ανά κατηγορίες, προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά του.

**Πίνακας 7.3** Προσωπικά στοιχεία<sup>1\*</sup>

| Ερώτηση            | Απάντηση                               | Συχνότητα (frequency) | Ποσοστό (Percent) (%) |
|--------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| Φύλο               | Θήλυ                                   | 28                    | 53,8                  |
|                    | Άρρεν                                  | 24                    | 46,2                  |
| Ηλικία (έτος)      | 25 - 34                                | 18                    | 34,6                  |
|                    | 35 - 44                                | 12                    | 23,2                  |
|                    | 45 - 54                                | 10                    | 19,2                  |
|                    | 55+                                    | 10                    | 19,2                  |
|                    | 18 - 24                                | 2                     | 3,8                   |
| Εκπαίδευση         | Τριτοβάθμια εκπαίδευση                 | 28                    | 53,8                  |
|                    | Μεταπτυχιακός / Διδακτορικός τίτλος    | 21                    | 40,4                  |
|                    | Πρωτοβάθμια / Δευτεροβάθμια εκπαίδευση | 3                     | 5,8                   |
| Προϋπηρεσία (έτος) | Παραπάνω από 10                        | 32                    | 61,5                  |
|                    | 0 - 4                                  | 12                    | 23,1                  |
|                    | 5 - 9                                  | 8                     | 15,4                  |

<sup>1\*</sup> : Τα ποσοστά καταγράφονται με φθίνουσα σειρά σε κάθε κατηγορία και η συχνότητα (frequency) αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων που επέλεξαν τη συγκεκριμένη απάντηση.

Παρατηρείται, λοιπόν, ότι το δείγμα χωρίστηκε σχεδόν ομοιόμορφα σε γυναίκες και άνδρες, ενώ οι επικρατέστερες ηλικιακές ομάδες ήταν 25 - 34 και 35 - 44 ετών.

Επιπλέον, το επίπεδο εκπαίδευσης των περισσότερων από τους μισούς ερωτώμενους είναι η τριτοβάθμια εκπαίδευση, με το μεταπτυχιακό / διδακτορικό επίπεδο να έπεται με διαφορά μόλις επτά (7) απαντήσεις. Συγκεκριμένα, οι είκοσι μία (21) απαντήσεις κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των δύο φύλων (δέκα (10) απαντήσεις γυναικών και έντεκα (11) απαντήσεις ανδρών).

Τέλος, η πλειονότητα του δείγματος διαθέτει σχετική προϋπηρεσία στον κλάδο των τροφίμων και ποτών παραπάνω από δέκα (10) έτη. Αναλυτικότερα, οι τριάντα δύο (32) απαντήσεις, συγκροτούνται από δεκαεπτά (17) άνδρες και δεκαπέντε (15) από γυναίκες. Ενώ, οι γυναίκες κατέχουν τη πλειοψηφία σε προϋπηρεσία 0 - 4 έτη και 5 - 9 έτη.

Συνολικά, στη παρούσα μελέτη διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά γυναικών και ανδρών που απασχολούνται στις ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων και ποτών δεν έχουν απόκλιση. Επιπλέον, οι ηλικιακές ομάδες κυμαίνονται από 25 ως 44 ετών με προϋπηρεσία άνω των δέκα (10) ετών και τριτοβάθμιο επίπεδο εκπαίδευσης, κατά μέσο όρο.

**Πίνακας 7.4** Εργασιακά στοιχεία<sup>1\*</sup>

| Ερώτηση  | Απάντηση   | Συχνότητα (frequency) | Ποσοστό (Percent) (%) |
|--|--|-----------------------|-----------------------|
| Χώρα προέλευσης της εταιρείας                            | Ελλάδα   | 49                    | 94,2                  |
|  | Γερμανία   | 1                     | 1,9                   |
|  | Κύπρος   | 1                     | 1,9                   |
|  | Ρουμανία   | 1                     | 1,9                   |
| Γεωγραφική περιοχή της έδρας της εταιρείας <sup>2*</sup> | Αττική   | 26                    | 50,0                  |
|  | Μακεδονία  | 13                    | 25,0                  |
|  | Βόρειο Αιγαίο  | 3                     | 5,8                   |
|  | Θεσσαλία   | 3                     | 5,8                   |
|  | Κρήτη  | 2                     | 3,9                   |
|  | Στερεά Ελλάδα  | 2                     | 3,9                   |
|  | Λάρισα   | 1                     | 1,9                   |
|  | Ρουμανία   | 1                     | 1,9                   |
| Μέγεθος εταιρείας (αριθμός εργαζόμενων) <sup>3*</sup>    | 50 – 249   | 20                    | 38,5                  |
|  | 10 – 49  | 18                    | 34,6                  |
|  | < 10   | 9                     | 17,3                  |
|  | > 250  | 5                     | 9,6                   |
| Τμήμα εργασίας στην εταιρεία                             | Διοίκηση   | 16                    | 30,8                  |
|  | Ποιοτικός έλεγχος  | 12                    | 23,1                  |
|  | Πωλήσεις / Μάρκετινγκ  | 8                     | 15,4                  |
|  | Παραγωγική διαδικασία  | 5                     | 9,6                   |
|  | Λογιστήριο   | 3                     | 5,8                   |
|  | Logistics  | 3                     | 5,8                   |
|  | Πληροφορική  | 2                     | 3,8                   |
|  | Διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού (Human Resources, HR)  | 2                     | 3,8                   |
|  | Πανεπιστήμιο   | 1                     | 1,9                   |
| Τομέας δραστηριοποίησης της εταιρείας                    | Παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης (γαλακτοβιομηχανία, αλλαντοβιομηχανία)   | 11                    | 21,2                  |
|  | Ποτοποιία  | 10                    | 19,2                  |
|  | Χονδρικό εμπόριο   | 10                    | 19,2                  |
|  | Πρόσθετες ύλες τροφίμων – Τεχνολογικά βοηθήματα – Καρυκεύματα  | 5                     | 9,6                   |
|  | Παραγωγή τροφίμων φυτικής προέλευσης (δημητριακά, έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες, συσκευασμένα φρούτα και λαχανικά) | 3                     | 5,8                   |
| Τομέας δραστηριοποίησης της εταιρείας                    | Διαχείριση αποβλήτων και ζωικών υποπροϊόντων (ΖΥΠ)   | 2                     | 3,8                   |
|  | Γεωργία  | 1                     | 1,9                   |
|  | Κτηνοτροφία  | 1                     | 1,9                   |
|  | Υλικά και Αντικείμενα που προορίζονται να έλθουν σε επαφή με τρόφιμα   | 1                     | 1,9                   |
|  | Παραγωγή τροφίμων αρτοποιίας, ζαχαροπλαστικής, σφολιάτας   | 1                     | 1,9                   |
| Τομέας δραστηριοποίησης της εταιρείας                    | Έρευνα   | 1                     | 1,9                   |
|  | Έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα (Fast – Moving Consumer Goods, FMCG)  | 1                     | 1,9                   |
|  | Αυτοδιοίκηση Β Βαθμού  | 1                     | 1,9                   |
|  | Επεξεργασία καφέ   | 1                     | 1,9                   |
|  | Ξηροί καρποί και αποξηραμένα φρούτα  | 1                     | 1,9                   |
|  | Παραγωγή καθαριστικών και απολυμαντικών  | 1                     | 1,9                   |
|  | Εργαστήριο παραδοσιακών γλυκών - παγωτού   | 1                     | 1,9                   |

**1\*** : Τα ποσοστά καταγράφονται με φθίνουσα σειρά σε κάθε κατηγορία και η συχνότητα (frequency) αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων που επέλεξαν τη συγκεκριμένη απάντηση.

**2\*** : Μια (1) απάντηση του δείγματος δεν προσδιόριζε σαφώς την γεωγραφική περιοχή, στην οποία εδρεύει η επιχείρηση που απασχολείται, καθώς η εν λόγω ερώτηση είναι ανοιχτού τύπου και δεν δίνονται συγκεκριμένες επιλογές. Για το λόγο αυτό, δεν συμπεριλαμβάνεται στον πίνακα και συνεπώς στα αποτελέσματα.

**3\*** : Οι επιχειρήσεις ανάλογα με το μέγεθος τους (τον αριθμό εργαζόμενων) ταξινομούνται σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (λιγότεροι από 250 εργαζόμενοι) και σε μεγάλες επιχειρήσεις (ίσοι ή περισσότεροι από 250 εργαζόμενοι). Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις υποδιαιρούνται, περαιτέρω, σε πολύ μικρές επιχειρήσεις (λιγότεροι από 10 εργαζόμενοι), μικρές επιχειρήσεις (10 έως 49 εργαζόμενοι) και μεσαίες επιχειρήσεις (50 έως 249 εργαζόμενοι) (OECD, 2024).

Η συντριπτική πλειονότητα των απαντήσεων (94,2%) είναι ελληνικές επιχειρήσεις, γεγονός που συμβάλλει στην εξαγωγή αμιγών συμπερασμάτων σχετικά με τον αυτοματισμό στις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών της χώρας, που αποτελεί το καίριο ζήτημα της παρούσας μελέτης.

Επιπλέον, ο μισός αριθμός επιχειρήσεων συγκεντρώνεται στον νομό Αττικής, ενώ με δεκατρείς (13) απαντήσεις ακολουθεί η ευρύτερη γεωγραφική περιοχή της Μακεδονίας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι οι πέντε (5) μοναδικές απαντήσεις με επιχειρήσεις που απασχολούν παραπάνω από 250 εργαζόμενους (μεγάλες επιχειρήσεις) έχουν έδρα τον νομό Αττικής (οι υπόλοιπες επιχειρήσεις με έδρα την Αττική ανήκουν στη κατηγορία των μικρομεσαίων επιχειρήσεων).

Όσον αφορά τις υπόλοιπες εγχώριες περιοχές, ο μέσος όρος για την Μακεδονία και την Στερεά Ελλάδα είναι μικρές επιχειρήσεις (10 - 49 εργαζόμενοι), για το Βόρειο Αιγαίο και την Θεσσαλία είναι μεσαίες επιχειρήσεις (50 – 249 εργαζόμενοι) και για τη Κρήτη είναι μικρομεσαίες επιχειρήσεις (10 – 249 εργαζόμενοι).

Τέλος, οι επιχειρήσεις στην Ρουμανία και στην Κύπρο απασχολούν 50 – 249 εργαζόμενους, ενώ η γερμανική επιχείρηση έχει έδρα στην Μακεδονία και απασχολεί λιγότερο από 10 εργαζόμενους.

Συνολικά, παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των ελληνικών βιομηχανιών τροφίμων και ποτών συγκεντρώνεται στην Αττική και ανήκει στις μεσαίες επιχειρήσεις, απασχολώντας 50 ως 249 εργαζόμενους.

Στις ερωτήσεις που αφορούν το τμήμα της επιχείρησης που απασχολούνται οι ερωτώμενοι και συνολικά τον τομέα δραστηριοποίησης της εταιρείας, δίνονται κάποιες συγκεκριμένες επιλογές, αλλά υπάρχει η δυνατότητα οι ίδιοι οι ερωτώμενοι να συμπληρώσουν την απάντηση, καθώς δεν είναι δυνατό να καλυφθούν όλες οι πιθανές απαντήσεις των συγκεκριμένων ερωτήσεων. Στον πίνακα 7.4, λοιπόν, καταγράφονται όλες οι απαντήσεις που είτε επιλέχθηκαν από τις υπάρχουσες είτε προστέθηκαν από το δείγμα.

Παρατηρείται, ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων απασχολείται στους τομείς της διοίκησης και του ποιοτικού ελέγχου, ενώ αξίζει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει καμία επιλογή για το τμήμα έρευνας και ανάπτυξης νέων προϊόντων (R&D). Επιπλέον, ο μέσος όρος προϋπηρεσίας σε όλα τα τμήματα είναι παραπάνω από 10 έτη, ενώ για το τμήμα ποιοτικού ελέγχου είναι 0 - 4 έτη.

Συγκρίνοντας, τον τομέα δραστηριοποίησης της επιχείρησης σε σχέση με το μέγεθος της, διαπιστώνεται, ότι οι εταιρείες παραγωγής τροφίμων φυτικής προέλευσης (δημητριακά, έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες, συσκευασμένα φρούτα και λαχανικά) απασχολούν περισσότερους από 250 εργαζόμενους, ενώ οι επιχειρήσεις πρόσθετων υλών τροφίμων – τεχνολογικών βοηθημάτων – καρυκευμάτων και οι επιχειρήσεις χονδρικού εμπορίου ανήκουν στις μικρές επιχειρήσεις (10 - 49 εργαζόμενοι). Επιπρόσθετα, στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων ζωικής προέλευσης (γαλακτοβιομηχανία, αλλαντοβιομηχανία) και στις ποτοποιίες που κατέχουν και τη πλειοψηφία των απαντήσεων, κατά μέσο όρο, απασχολούνται 10 ως 49 εργαζόμενοι στις πρώτες (μικρές), ενώ στις δεύτερες οι εργαζόμενοι κυμαίνονται από 10 ως 249 (μικρομεσαίες).



Τέλος, αναφορικά με το επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζόμενων, παρατηρείται ότι η επιλογή του μεταπτυχιακού / διδακτορικού τίτλου κυριαρχεί στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων φυτικής προέλευσης, στις ποτοποιίες και στο χονδρικό εμπόριο. Αντίθετα, η πρωτοβάθμια / δευτεροβάθμια εκπαίδευση επιλέχθηκε μόνο από εργαζόμενους σε επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων ζωικής προέλευσης.

Συνολικά, οι επικρατέστεροι τομείς δραστηριοποίησης των ελληνικών βιομηχανιών τροφίμων και ποτών είναι η παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης (γαλακτοβιομηχανία, αλλαντοβιομηχανία), η ποτοποιία και το χονδρικό εμπόριο. Με βάση τα εν λόγω αποτελέσματα, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι ο πρωτογενής τομέας της χώρας απασχολεί λιγότερο εργατικό δυναμικό. Επιπλέον, τα τμήματα των επιχειρήσεων όπως πληροφορική, logistics και R&D, με βάση τις τρέχουσες απαιτήσεις της αγοράς (όπως νέα βιώσιμα και υγιεινά προϊόντα, ιγνηλασιμότητα και παρακολούθηση των προϊόντων σε πραγματικό χρόνο και αυτοματοποίηση διαδικασιών) θα έπρεπε να είναι αναπτυγμένα, μέσω κατάλληλης στελέχωσης. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό των εργαζομένων φαίνεται να απασχολείται σε διοικητικές θέσεις.

#### 7.6.4 Εργατικό δυναμικό (Human Capital): Ψηφιακές Δεξιότητες

Στην παρούσα ενότητα αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα της πρώτης ομάδας ερωτήσεων του ερωτηματολογίου, που σχετίζεται με τις ψηφιακές δεξιότητες (digital & ICT skills) των ατόμων που απασχολούνται στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών.

Αρχικά, παρατηρείται ότι η ψηφιακή εφαρμογή που χρησιμοποιεί η συντριπτική πλειονότητα των ατόμων καθημερινά είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e mail) (92,3%). Με ποσοστό 88,5% έπονται εφαρμογές γραφείου (όπως τα Microsoft word και excel), ενώ την τελευταία θέση στις επιλογές των ερωτηθέντων κατέχει η χρήση στατιστικών προγραμμάτων για ανάλυση δεδομένων (όπως το SPSS).

Εν συνεχεία, μέσω σύγκρισης των εν λόγω αποτελεσμάτων με προσωπικά στοιχεία του δείγματος, εφαρμόζοντας μη παραμετρικό έλεγχο t - test για το φύλο και μη παραμετρικό έλεγχο ANOVA για την ηλικία, την εκπαίδευση και το τμήμα απασχόλησης στην εταιρεία, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των παραπάνω στοιχείων σε σχέση με τη χρήση των εφαρμογών που απαριθμούνται στην ερώτηση. Συγκεκριμένα, οι τιμές της στάθμης σημαντικότητας (από εδώ και στο εξής «τιμή p») κυμαίνονται από 0,057 ως 0,844 (> 0,05) και με διάστημα εμπιστοσύνης (από εδώ και στο εξής «CI») 95%. Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι ότι η χρήση στατιστικών προγραμμάτων για ανάλυση δεδομένων είναι πιο διαδεδομένη στην ηλικιακή ομάδα 55+ και στα τμήματα Πωλήσεων / Μάρκετινγκ, ενώ τα ποσοστά είναι χαμηλά για όλα τα επίπεδα εκπαίδευσης.

Συνολικά, όσον αφορά τις βασικές ψηφιακές δεξιότητες (digital skills) διαπιστώνεται ότι στην πλειονότητα τους περιορίζονται στη χρήση δύο (2) συγκεκριμένων εφαρμογών (e mail, Microsoft office), ενώ η χρήση λογισμικών ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού (ERP) έχει επιλεγεί από το 59,6% του δείγματος. Επιπλέον, η εφαρμογή στατιστικών προγραμμάτων για ανάλυση δεδομένων βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ παράλληλα η αγορά διανύει μια εποχή κατακλεισμένη από δεδομένα που αναπαράγονται συνεχώς και έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώσουν εκ νέου τη ροή όλων των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Παρά ταύτα, το 76,9% των ερωτηθέντων υποστηρίζει ότι η ανάπτυξη των βασικών ψηφιακών δεξιοτήτων τους είναι πολύ σημαντική για την εργασία τους.



Οι ICT δεξιότητες (Information and Communication Technology) αναφέρονται στις ικανότητες χρήσης και διαχείρισης τεχνολογικών εργαλείων και πόρων, που σχετίζονται με την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά πληροφοριών, όπως το υπολογιστικό νέφος, η διαχείριση μεγάλων δεδομένων και η μηχανική μάθηση. Στο παρόν ερωτηματολόγιο, επιλέχθηκε η εξής κατάταξη για τη διερεύνηση του επιπέδου των ICT δεξιοτήτων:

- Δεν γνωρίζω (1)
- Μέτρια (2)
- Καλή (3)
- Πολύ καλή (4)
- Άριστη (πιστοποιημένη δεξιότητα) (5)

**Πίνακας 7.5** Διερεύνηση του επιπέδου γνώσης του δείγματος ως προς τις κάτωθι ψηφιακές δεξιότητες (ICT skills).

| Ψηφιακές δεξιότητες (ICT skills)               | Ποσοστό επιλογής    |
|--|---------------------|
| Υπολογιστικό νέφος (Cloud computing)           | Καλή (34,6%)        |
| Γλώσσες Προγραμματισμού (π.χ. Python)          | Δεν γνωρίζω (63,5%) |
| Μηχανική μάθηση (Machine learning)             | Δεν γνωρίζω (44,2%) |
| Θέματα κυβερνοασφάλειας (Cyber security)       | Δεν γνωρίζω (38,5%) |
| Ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics) | Δεν γνωρίζω (30,8%) |
| Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial intelligence)    | Δεν γνωρίζω (30,8%) |

Στο σύνολο των ερωτώμενων, παρατηρείται καλή γνώση του υπολογιστικού νέφους (cloud computing) με ποσοστό 34,6%, ενώ στις υπόλοιπες εφαρμογές που παρατίθενται στην εν λόγω ερώτηση: ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics, μηχανική μάθηση (Machine learning), τεχνητή νοημοσύνη (Artificial intelligence), γλώσσες προγραμματισμού (π.χ. Python) και θέματα κυβερνοασφάλειας (Cyber security), τα μεγαλύτερα ποσοστά συγκεντρώνει η επιλογή «Δεν γνωρίζω» (κατά μέσο όρο 40%), με τη γλώσσα προγραμματισμού να κυριαρχεί μεταξύ αυτών, με ποσοστό 63,5%. Έπειτα, μέσω σύγκρισης των εν λόγω αποτελεσμάτων με προσωπικά στοιχεία του δείγματος, εφαρμόζοντας μη παραμετρικό έλεγχο t - test για το φύλο και μη παραμετρικό έλεγχο ANOVA για την ηλικία, την εκπαίδευση και το τμήμα απασχόλησης στην εταιρεία, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά των παραπάνω στοιχείων σε σχέση με τη χρήση των εφαρμογών που απαριθμούνται στην ερώτηση (η τιμή p κυμαίνεται από 0,151 ως 0,880 (> 0,05) και CI: 95%). Εντούτοις, διαπιστώνεται ότι η γνώση του υπολογιστικού νέφους είναι πιο διαδεδομένη σε ηλικιακές ομάδες από 25 ως 54 ετών και στα διοικητικά τμήματα των επιχειρήσεων. Επιπλέον, μαζί με τη γνώση της μηχανικής μάθησης, επικρατούν σε ερωτώμενους με μεταπτυχιακό / διδακτορικό επίπεδο εκπαίδευσης. Τέλος, φαίνεται ότι οι εργαζόμενοι σε λογιστικά τμήματα κατέχουν, έστω και σε μικρό βαθμό, περισσότερες γνώσεις σε θέματα κυβερνοασφάλειας συγκριτικά με άλλα τμήματα επιχειρήσεων.

Συνολικά, είναι πρόδηλο ότι οι ICT δεξιότητες των εργαζόμενων στην βιομηχανία τροφίμων και ποτών δεν είναι αναπτυγμένες. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι εργαζόμενοι στα τμήματα πληροφορικής και logistics που, κατά μέσο όρο, κατέχουν μέτρια προς καλή γνώση των εν

λόγω εφαρμογών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το σύνολο των ερωτηθέντων διαχωρίζεται ισάριθμα ως προς εκείνους που υποστηρίζουν ότι είναι λιγότερη σημαντική η ανάπτυξη των ICT δεξιοτήτων για την εργασία τους και εκείνους που υποστηρίζουν το αντίθετο.

Η τελευταία ερώτηση της ενότητας διερευνά τα εμπόδια που μπορεί να αντιμετωπίζει το δείγμα ως προς την ανάπτυξη των ψηφιακών και ICT δεξιοτήτων. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι κυρίαρχης σημασίας είναι η έλλειψη χρόνου λόγω προσωπικών υποχρεώσεων ή υπερεργασίας (57,7%), κυρίως στην ηλικιακή ομάδα 18 - 24 ετών. Εξίσου σημαντικό εμπόδιο στις ηλικίες 18 ως 34 ετών αποτελεί η έλλειψη επιβραβεύσεων από το περιβάλλον εργασίας (42,3%). Επιπλέον, η πλειονότητα του δείγματος υποστηρίζει ότι η ανασφάλεια ως προς τη τεχνολογική εξέλιξη δεν αποτελεί τροχοπέδη, με μόνη εξαίρεση την ηλικιακή ομάδα 55+ που την επέλεξε ως πολύ σημαντική. Τέλος, δεν διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική διαφορά στις επιλογές μεταξύ των δύο φύλων ( $p > 0,05$  και CI: 95%).

#### 7.6.5 Ενσωματωμένες τεχνολογίες αυτοματισμού (Integration of digital technology)

Σκοπός της δεύτερης ενότητας του ερωτηματολογίου είναι η επισκόπηση του επιπέδου αυτοματοποίησης των λειτουργιών και διαδικασιών στην ελληνική βιομηχανία τροφίμων και ποτών. Συγκεκριμένα, διερευνάται η εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού, η ύπαρξη των κατάλληλων υποδομών, καθώς και τα εσωτερικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις ως προς την εφαρμογή τους.

##### A) Επίπεδο υιοθέτησης τεχνολογιών αυτοματισμού και πόρων πληροφορικής (IT resources)

Αξιοσημείωτα, είναι τα αποτελέσματα που παρατίθενται στην κάτωθι εικόνα. Αναλυτικότερα, πρόκειται για τα ποσοστά χρήσης προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού στις επιχειρήσεις τροφίμων που απασχολείται το δείγμα. Οι εν λόγω τεχνολογίες επιλέχτηκαν με βάση τις προαναφερθείσες έρευνες αναφορικά με τον αυτοματισμό στον ευρωπαϊκό βιομηχανικό τομέα και τις αρχές που ορίζει η βιομηχανία 4.0.

|  |        |  |  |        |
|--|--------|--|--|--------|
| <b>Προβλεπτική συντήρηση, διαχείριση ενεργειακών πόρων και λήψη αποφάσεων με χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης</b>                  |        |  | <b>Βελτιστοποίηση διαδικασιών ή εξοπλισμού μέσω τεχνητής νοημοσύνης</b>  |        |
| Δεν χρησιμοποιείται  | 57,70% |  | Δεν χρησιμοποιείται  | 67,30% |
| Δεν γνωρίζω  | 25,00% |  | Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια  | 11,50% |
| Χρησιμοποιείται επί του παρόντος   | 13,50% |  | Χρησιμοποιείται επί του παρόντος   | 11,50% |
| Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια  | 3,80%  |  | Δεν γνωρίζω  | 9,60%  |
| <b>Χρήση ψηφιακών διδύμων (Digital Twins) για την εικονική αναπαράσταση μιας παραγωγικής διαδικασίας ή ενός καινοτόμου προϊόντος</b> |        |  | <b>Χρήση του διαδικτύου πραγμάτων (IoT) για την επικοινωνία μεταξύ όλων των τμημάτων μέσα σε μια βιομηχανία και στην εφοδιαστική αλυσίδα</b> |        |
| Δεν χρησιμοποιείται  | 65,40% |  | Δεν χρησιμοποιείται  | 50,00% |
| Δεν γνωρίζω  | 25,00% |  | Δεν γνωρίζω  | 19,20% |
| Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια  | 5,80%  |  | Χρησιμοποιείται επί του παρόντος   | 17,30% |
| Χρησιμοποιείται επί του παρόντος   | 3,80%  |  | Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια  | 13,50% |
| <b>Εξοπλισμός και μηχανήματα αυτοματισμού, όπως ρομπότ (ή cobots) και αισθητήρες (π.χ. RFID)</b>                                     |        |  |  |        |
| Δεν χρησιμοποιείται  | 46,20% |  |  |        |
| Χρησιμοποιείται επί του παρόντος   | 26,90% |  |  |        |
| Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια  | 15,40% |  |  |        |
| Δεν γνωρίζω  | 11,50% |  |  |        |

**Εικόνα 7.2** Ποσοστά εφαρμογής προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού στις επιχειρήσεις τροφίμων που απασχολείται το δείγμα.

Όπως παρατηρείται, κατά μέσο όρο κυριαρχεί η επιλογή «Δεν χρησιμοποιείται», με την τεχνητή νοημοσύνη και τα ψηφιακά δίδυμα να συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό «χρήσης επί του παρόντος» στο βιομηχανικό περιβάλλον κατέχουν τα ρομπότ και οι αισθητήρες (26,9%), ενώ «σχεδίου να εφαρμοστεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια» η τεχνολογία του δικτύου πραγμάτων (IoT) (τα έξι χρόνια επιλέχθηκαν με βάση το σχέδιο της Ε.Ε. για την επίτευξη ψηφιακής Ευρώπης έως το 2030, μέσω του προγράμματος «Πορεία προς τη ψηφιακή δεκαετία»).

Κατόπιν σύγκρισης των αποτελεσμάτων με τον τομέα δραστηριοποίησης της εταιρείας, δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους ( $p > 0,05$  και CI: 95%), πλην των επιχειρήσεων παραγωγής τροφίμων φυτικής προέλευσης, που συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά «χρήσης επί του παρόντος» των ρομπότ / αισθητήρων και του IoT.

Όσον αφορά τις υποδομές υποστήριξης τεχνολογικών εφαρμογών, οι επιχειρήσεις του δείγματος, κατά μέσο όρο, φαίνεται να είναι εξοπλισμένες σε καλό επίπεδο ως προς τα λογισμικά (software), το υπολογιστικό υλικό (hardware) και τα δίκτυα (networks) («χρήση επί του παρόντος» σε ποσοστό 87% συνολικά στο δείγμα), με τη πλειονότητα αυτών είτε να έχουν αναπτυχθεί πλήρως εσωτερικά με βάση τις ανάγκες της εταιρείας (82,7%) είτε να έχουν αγοραστεί έτοιμα προς χρήση (53,8%).

Συγκρίνοντας την εφαρμογή των εν λόγω τεχνολογικών πόρων επί του παρόντος, μεταξύ των χωρών που εδρεύουν οι βιομηχανίες του δείγματος, τα μεγαλύτερα ποσοστά συγκεντρώνουν η Κύπρος και η Γερμανία. Έπειτα, ακολουθούν οι ελληνικές βιομηχανίες με χαμηλά ποσοστά ως προς την εφαρμογή λογισμικών, ενώ η Ρουμάνια για τη πλειονότητα των πόρων διαθέτει

πλάνο εγκατάστασης στα επόμενα έξι (6) έτη. Αντιπαραβάλλοντας τις απαντήσεις των νομών που εδρεύουν οι επιχειρήσεις, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά.

Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι οι μεσαίες επιχειρήσεις (50 - 249 εργαζόμενοι) συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά εφαρμογής λογισμικών, ενώ σχετικά με τη χρήση των λοιπών πόρων δεν ανευρέθη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μεγεθών των επιχειρήσεων.

Εντούτοις, στην εν λόγω ερώτηση τα χαμηλότερα ποσοστά (σε όλο το δείγμα ανεξαρτήτου χώρας, μεγέθους κ.λ.π.) συγκεντρώνει η επιλογή που αφορά τη στελέχωση των επιχειρήσεων με εξειδικευμένο προσωπικό που διαχειρίζεται, σχεδιάζει, αναπτύσσει και χρησιμοποιεί τις ψηφιακές τεχνολογίες (ανθρώπινοι πόροι, human resources) (σε ποσοστό 67% συνολικά στο δείγμα). Ειδικότερα, οι ελληνικές επιχειρήσεις βρίσκονται στην τελευταία θέση, με την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης να κατέχει το χαμηλότερο ποσοστό. Τέλος, μεταξύ των τομέων δραστηριοποίησης, η μεγαλύτερη έλλειψη ανθρώπινων πόρων παρατηρείται στις βιομηχανίες παραγωγής πρόσθετων υλών.

Προκειμένου να δοθεί μια πιο κατανοητή διάσταση στο επίπεδο αυτοματισμού των επιχειρήσεων του δείγματος, πραγματοποιήθηκαν δύο στατιστικές αναλύσεις, μέσω του προγράμματος SPSS, στα προαναφερθέντα δεδομένα: η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA, Principal Component Analysis) και η Ομαδοποίηση Κ - Μέσων (K - Means Clustering). Συγκεκριμένα, η PCA ανάλυση αναπροσαρμόζει τις απαντήσεις του δείγματος, συγκεντρώνοντας τα στατιστικά σημαντικά δεδομένα σε καθορισμένο αριθμό συνιστωσών. Εν συνεχεία, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο K-Means, οι παραπάνω συνιστώσες κατατάσσονται σε ομάδες (clusters) (Ipsos Belgium, iCite, 2020).

Αναλυτικότερα, η PCA χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων, ώστε να διευκολύνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων για το υπό διερεύνηση δείγμα. Η συγκρότηση των πληροφοριών σε κύριες συνιστώσες (principal components), επιτρέπει την απλούστευση των αποτελεσμάτων χωρίς στατιστικά σημαντική απώλεια πληροφοριών, απορρίπτοντας τις μεταβλητές με χαμηλό φορτίο πληροφορίας και καθιστώντας ως νέες και κύριες μεταβλητές τα εναπομείναντα στοιχεία (Jaadi, 2024). Ενδείκνυται, το ποσοστό που οι κύριες μεταβλητές αντιπροσωπεύουν τις αρχικές (διασπορά / variance) να είναι μεγαλύτερο από 50% και ο αριθμός των παρατηρήσεων να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιος του αριθμού των αρχικών μεταβλητών (Ζαφειρόπουλος, 2015).

Τα κύρια στοιχεία δεν φέρουν ρητή σημασία, καθώς προκύπτουν ως γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών μεταβλητών και ερμηνεύονται με βάση τις συσχετίσεις τους με αυτές. Οι συσχετίσεις ονομάζονται φορτίσεις ή φορτία των αξόνων (factor loadings) και μπορούν να είναι αρνητικές ή θετικές. Η επιλογή των στατιστικά σημαντικών φορτίων εξαρτάται από την εκάστοτε έρευνα. Συνήθως, λαμβάνονται υπόψη φορτίσεις με τιμές μεγαλύτερες από 0,60 ειδικότερα, όταν ενδιαφέρει τον ερευνητή η δημιουργία συνιστωσών που στη συνέχεια πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης ως ανεξάρτητες ή εξαρτημένες μεταβλητές (Ζαφειρόπουλος, 2015).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης PCA μπορούν να απεικονιστούν γραφικά σε ένα διάγραμμα διασποράς (scatter plot), του οποίου οι τιμές των αξόνων διαμορφώνονται από τις δύο πρώτες κύριες συνιστώσες. Η πρώτη κύρια συνιστώσα αντιπροσωπεύει τον άξονα x και η δεύτερη τον άξονα y. Μέσω αυτού αναπαρίστανται οι συσχετίσεις ανάμεσα στις αρχικές παρατηρήσεις και στις νέες μεταβλητές. Εάν μια μεταβλητή έχει υψηλό φορτίο για ένα συγκεκριμένο στοιχείο,

αυτό υποδηλώνει ισχυρή συσχέτιση. Κατ' αυτό το τρόπο, διευκολύνεται η ορατότητα των διαφορών μεταξύ των παρατηρήσεων (IBM, 2023).

Συμπερασματικά, η βασική έννοια του PCA είναι η απλοποίηση του συνόλου δεδομένων μέσω της μείωσης του αριθμού των μεταβλητών, διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες.

Όσον αφορά την K - Means ανάλυση, χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση ενός συνόλου δεδομένων σε k ομάδες, όπου το k είναι ένας προκαθορισμένος αριθμός που ορίζεται από τον ερευνητή. Ο διαχωρισμός των δεδομένων γίνεται με βάση την απόσταση που έχουν από το κέντρο (centroid) μιας απόστασης (συνήθως της Ευκλείδειας απόστασης). Για κάθε ομάδα, το νέο κέντρο υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των σημείων που ανήκουν σε αυτή (Nikhil Gopal, 2024). Στην εν λόγω περίπτωση, τα σημεία είναι αυτά που προκύπτουν από την PCA ανάλυση.

Αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με τις εφαρμογές και το τρόπο λειτουργίας των παραπάνω αναλύσεων δεν άπτονται του αντικειμένου της παρούσας μελέτης, εντούτοις μπορούν να βρεθούν στην αντίστοιχη αναφερθείσα βιβλιογραφία.

Στην παρούσα έρευνα, ως αρχικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των ερωτήσεων που αφορούν την τρέχουσα κατάσταση υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού και πόρων πληροφορικής (IT resources) από τις επιχειρήσεις (πρόκειται για 9 αρχικές μεταβλητές).

Όπως φαίνεται και κάτωθι στην εικόνα 7.3, στα αποτελέσματα της ανάλυσης PCA δίνεται ο πίνακας με τίτλο «KMO and Bartlett's Test». Ο δείκτης «Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy» δείχνει αν η PCA είναι κατάλληλη μέθοδος για να συνοψίσει τις αρχικές μεταβλητές στα δεδομένα της έρευνας. Ως όριο καταλληλότητας της ανάλυσης θεωρείται η τιμή 0,60, επομένως στη παρούσα έρευνα η τιμή 0,671 θεωρείται αποδεκτή. Επιπρόσθετα, στον ίδιο πίνακα, μέσω του δείκτη σημαντικότητας (Sig.) του τεστ του Bartlett («Bartlett's Test of Sphericity») ελέγχεται αν υπάρχουν συσχετίσεις ανάμεσα στις μεταβλητές ή αν αυτές είναι μηδενικές. Όταν η σημαντικότητα είναι μικρότερη από 0,05 οι μεταβλητές συσχετίζονται και αυτό είναι απαραίτητο για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση PCA. Στην παρούσα μελέτη Sig.= 0,001 < 0,05.

Εν συνεχεία, δίνεται το διάγραμμα «Scree Plot», όπου στον οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι κύριες συνιστώσες (components number) και στον κάθετο άξονα οι ιδιοτιμές («Eigenvalue»), οι οποίες αποτελούν το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που εξηγεί κάθε συνιστώσα. Υψηλές ιδιοτιμές δείχνουν ότι η αντίστοιχη συνιστώσα εξηγεί μεγαλύτερο μέρος της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ωστόσο, το πιο σημαντικό στοιχείο είναι το λεγόμενο "γόνατο" (elbow). Αυτό είναι το σημείο όπου οι ιδιοτιμές αρχίζουν να μειώνονται πιο αργά και υποδηλώνει τον αριθμό των κύριων συνιστωσών που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι συνιστώσες που βρίσκονται πριν από το "γόνατο" θεωρούνται σημαντικές, ενώ οι υπόλοιπες θεωρούνται λιγότερο σημαντικές ή ακόμα και θόρυβος (noise).

Συνεπώς, στην παρούσα έρευνα οι συνιστώσες που θεωρούνται σημαντικές είναι δύο (2) και συμπίπτουν θεματικά με τις αρχικές μεταβλητές, οι οποίες ήταν εννιά (τρέχουσα κατάσταση υιοθέτησης προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού και πόρων πληροφορικής). Η διαφορά είναι ότι οι κύριες συνιστώσες αναπαριστούν τις δομικές μεταβλητές μετά από εμπειρική επιβεβαίωση από τις απαντήσεις των ερωτώμενων, ενώ οι ερωτήσεις στο ερωτηματολόγιο



είναι χωρισμένες μόνο λόγω της θεματικής τους ομοιότητας. Αυτή η ταύτιση επιβεβαιώνει ότι οι κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν στο ερωτηματολόγιο χαρακτηρίζονται από δομική εγκυρότητα (βλ. κεφάλαιο 7.4).

Επιπλέον, στον πίνακα με τίτλο «Rotation Sums of Squared Loadings» απεικονίζονται οι δύο σημαντικές ιδιοτιμές κάτω από το πεδίο «Total» (3,089, 2,885). Το ποσοστό της ερμηνείας της αρχικής διασποράς δίνεται στην επόμενη στήλη και είναι: 34,318% για την πρώτη συνιστώσα και 31,833% για την δεύτερη. Συνολικά αθροίζουν στο 66,151% (τελευταία στήλη), ποσοστό που εκφράζει ποιο ποσοστό της αρχικής διασποράς εκφράζεται από τις δύο κύριες συνιστώσες.

Τέλος, στο διάγραμμα διασποράς παρουσιάζονται οι σχέσεις μεταξύ των δεδομένων μετά τη μείωση των διαστάσεων. Συγκεκριμένα, δείχνει τη διασπορά των δεδομένων στους άξονες των κύριων συνιστωσών που επιλέχθηκαν κατά την ανάλυση, όπου κάθε σημείο αντιπροσωπεύει μία παρατήρηση του αρχικού συνόλου δεδομένων. Στο παρόν, όπως αναμενόταν, παρατηρούνται δύο ομάδες με στοιχεία που αντιστοιχούν στις δύο κύριες συνιστώσες που αναφέρονται στο γράφημα. Τέλος, δεν παρατηρείται κάποια ακραία τιμή (outliers, δηλαδή δεδομένα που βρίσκονται μακριά από τον κύριο όγκο των παρατηρήσεων).

Όσον αφορά την ανάλυση K-Means, στην εικόνα 7.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέσω του προγράμματος SPSS. Αναλυτικότερα, με βάση τα δεδομένα που εξήχθησαν από την PCA έγιναν δοκιμές ταξινόμησης σε τρεις (3), τέσσερις (4) και πέντε (5) ομάδες. Εν γένει, ομάδες με πολύ μικρό αριθμό περιπτώσεων μπορεί να θεωρηθούν ως λιγότερο σημαντικές ή ακόμα και ως «θόρυβος», ενώ μια πολύ άνιση κατανομή μπορεί να υποδεικνύει την ανάγκη για επαναξιολόγηση του αριθμού των ομάδων. Στην πρώτη περίπτωση των 3 ομάδων, παρατηρήθηκε ότι σε σχέση με το μέγεθος του δείγματος (52) δεν επαρκούσαν για να καθοριστούν σαφείς διαφορές μεταξύ τους, ενώ στις 5 ομάδες υπήρχαν τρεις περιπτώσεις με 1 ή 2 παρατηρήσεις, που σημαίνει ότι το δείγμα διαχωριζόταν σε μεγαλύτερο βαθμό από τον απαιτούμενο («θόρυβος»). Οι εν λόγω παρατηρήσεις δεν διαπιστώθηκαν στην επιλογή των 4 ομάδων, συνεπώς κρίθηκε ως η καταλληλότερη για το παρόν δείγμα. Στον πίνακα με τίτλο «Number of Cases in each Cluster» παρουσιάζονται αναλυτικά οι ομάδες και ο αριθμός των στοιχείων από τις οποίες αποτελούνται.

Παρατηρείται ότι οι ομάδες 1 και 2 αποτελούνται από δύο στοιχεία αντίστοιχα. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από μια επιχείρηση επεξεργασίας καφέ και μια βιομηχανία παραγωγής τροφίμων ζωικής προέλευσης (γαλακτοβιομηχανία, αλλαντοβιομηχανία). Στην δεύτερη ομάδα οι δύο παρατηρήσεις ανήκουν σε βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων ζωικής προέλευσης. Ενώ και στις δύο ομάδες οι επιχειρήσεις εδρεύουν στην Αττική και ανήκουν στην κατηγορία των μικρών επιχειρήσεων (10 - 49 εργαζόμενοι), διαπιστώνεται ότι διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ως προς τις συσχετίσεις τους με τις κύριες συνιστώσες της PCA ανάλυσης. Ειδικότερα, η ομάδα 1 παρουσιάζει αρνητικές φορτίσεις και στις δύο συνιστώσες, που σημαίνει ότι το επίπεδο αυτοματισμού των εν λόγω επιχειρήσεων είναι το χαμηλότερο του συνόλου του δείγματος. Αντίθετα, η ομάδα 2 εμφανίζει υψηλές φορτίσεις και συνολικά τη καλύτερη εικόνα ως προς την ενσωμάτωση τεχνολογιών αυτοματισμού και πόρων πληροφορικής.

Εν συνεχεία, οι παρατηρήσεις της ομάδας 3 κλίνουν περισσότερο στη χρήση τεχνολογιών αυτοματισμού παρά πόρων πληροφορικής, ενώ η ομάδα 4, στην οποία συγκεντρώνεται και ο μεγαλύτερος αριθμός παρατηρήσεων (37), εμφανίζει την αντίστροφη συμπεριφορά. Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην ομάδα 3 δεν υπάρχει κάποιο σαφώς καθορισμένο κοινό



χαρακτηριστικό μεταξύ των παρατηρήσεων ως προς τα δημογραφικά στοιχεία (όπως ο τομέας δραστηριοποίησης).

Αναφορικά με την ομάδα 4, η πλειοψηφία των στοιχείων (19 στοιχεία) ανήκουν στην κατηγορία των μεγάλων επιχειρήσεων (50 - 249 εργαζόμενοι), ενώ οι επικρατέστερες ως προς τον τομέα δραστηριοποίησης είναι χονδρικό εμπόριο (8 στοιχεία), ποτοποιία (7 στοιχεία) και παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης (6 στοιχεία). Τέλος, στην ομάδα 4 συγκεντρώνεται και ο μεγαλύτερος αριθμός επιχειρήσεων με έδρα εκτός Αττικής (17 στοιχεία) (το οποίο είναι αναμενόμενο καθώς είναι η ομάδα με τον μεγαλύτερο όγκο παρατηρήσεων).

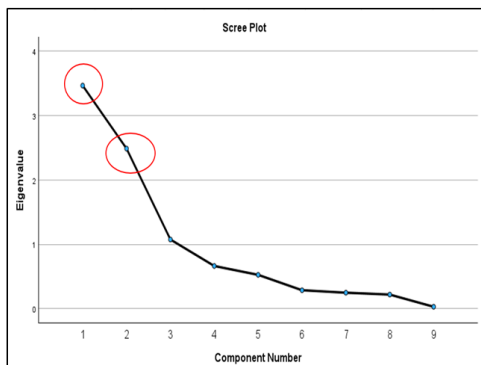
Στον πίνακα «Final Cluster Centers» απεικονίζονται τα κέντρα των ομάδων μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας επαναλήψεων (iterations). Μέσω των επαναλήψεων, ο αλγόριθμος αναπροσαρμόζει τα κέντρα μέχρι να καταλήξει στη καλύτερη κατανομή των δεδομένων (το πρόγραμμα SPSS έχει ως προεπιλογή δέκα (10) επαναλήψεις). Επομένως, τα τελικά κέντρα κάθε ομάδας καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που ανήκουν σε αυτή.

Τέλος, στον πίνακα «ANOVA» παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των κέντρων των ομάδων. Συγκεκριμένα, μέσω του υπολογισμού της διακύμανσης διερευνάται αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ωστόσο, το πρόγραμμα SPSS αναφέρει ότι οι τιμές F και Sig. δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στατιστικά συμπεράσματα, καθώς η ανάλυση ANOVA χρησιμοποιείται κυρίως για περιγραφικούς σκοπούς, προκειμένου να διευκολυνθεί ο προσδιορισμός των μεταβλητών που συμβάλλουν περισσότερο στη διάκριση των ομάδων.

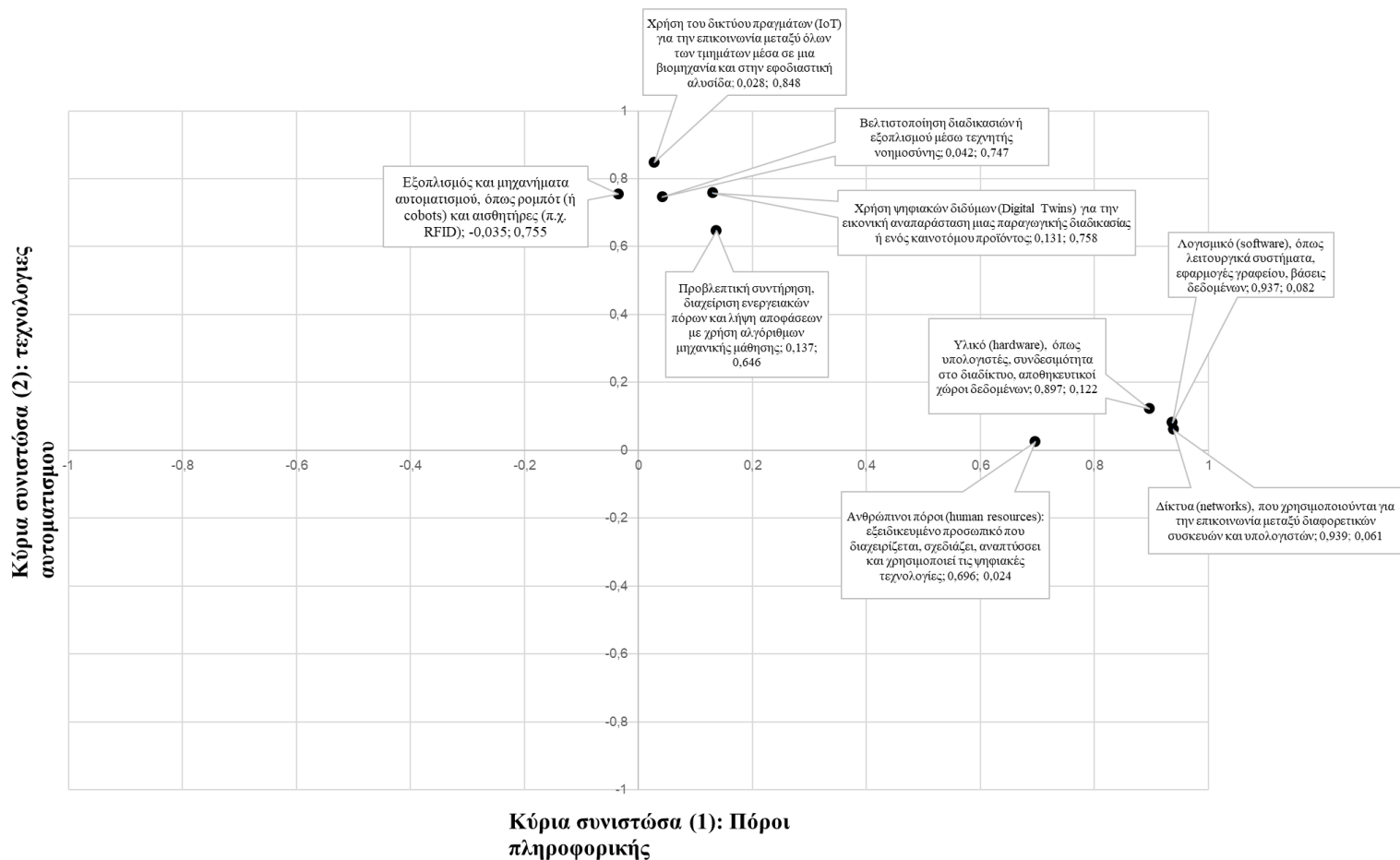
Εν κατακλείδι, διαπιστώθηκε ότι μέσω της PCA ανάλυσης επιβεβαιώθηκε η δομική εγκυρότητα των ενοτήτων του ερωτηματολογίου, ενώ τα αποτελέσματα ως προς τις κύριες συνιστώσες ήταν τα αναμενόμενα, χωρίς κάποια ακραία τιμή. Εντούτοις, τα δεδομένα της ανάλυσης K - Means δείχνουν ανομοιογένεια μεταξύ των στοιχείων των ομάδων. Αυτό είναι πιθανό να σημαίνει ότι ο αυτοματισμός των επιχειρήσεων της χώρας, παρόλο που εν γένει είναι σε χαμηλά επίπεδα, παρουσιάζει μεγάλη ετερογένεια, τουλάχιστον ως προς τα χαρακτηριστικά που κρίθηκαν σημαντικά να εξεταστούν στην παρούσα μελέτη (τομέας δραστηριοποίησης, έδρα και μέγεθος της επιχείρησης). Συνεπώς, παρόλο που έδωσε μια πιο κατανοητή εικόνα σχετικά με το επίπεδο αυτοματισμού των επιχειρήσεων του δείγματος, κρίνεται ότι ίσως να ήταν πιο χρήσιμη και αποτελεσματική η εφαρμογή της σε ένα δείγμα με περισσότερες παρατηρήσεις.

## PCA Διάγραμμα Διασποράς

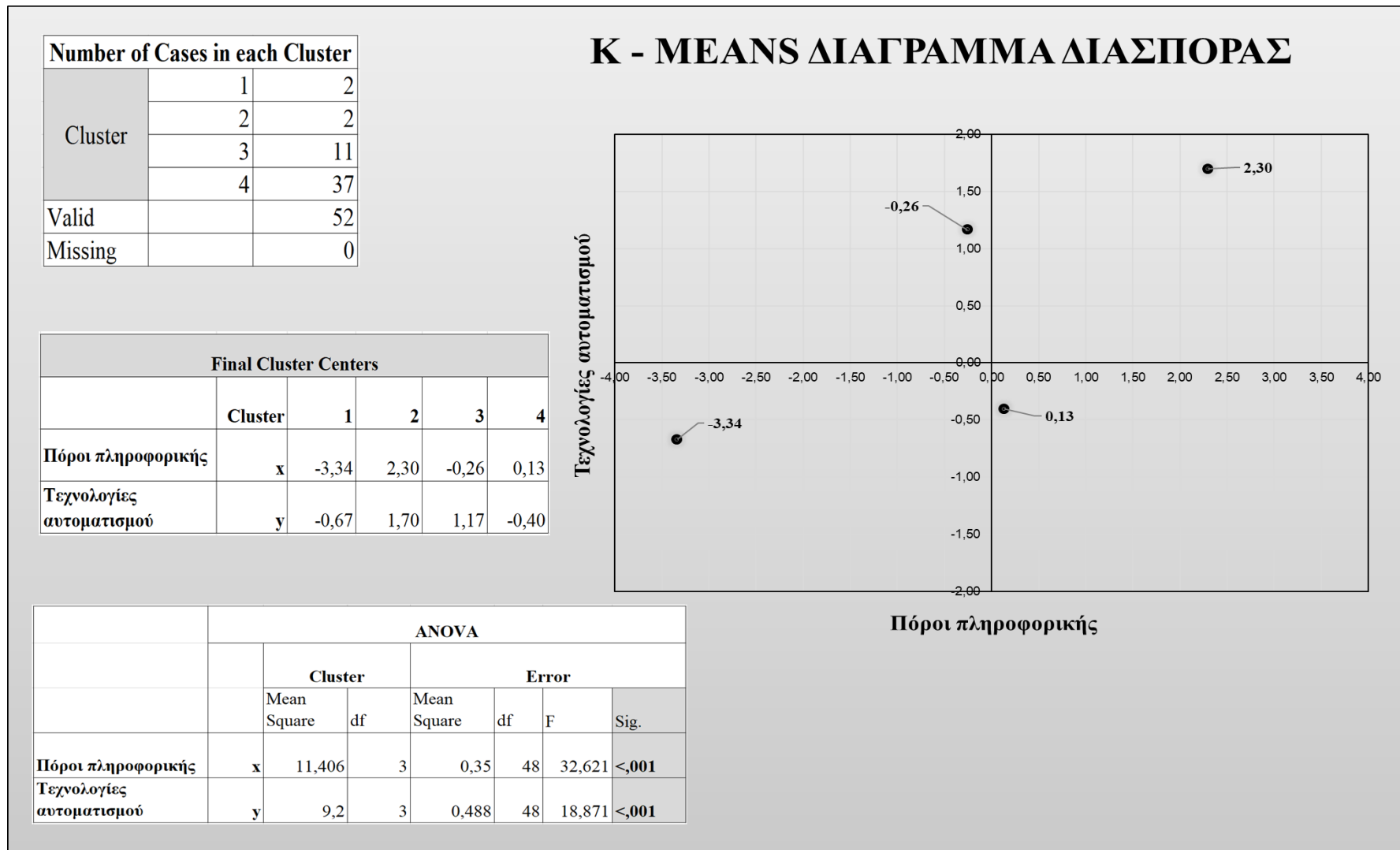
| KMO and Bartlett's Test                         |                    |         |
|---|--------------------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy |                    | 0,671   |
| Bartlett's Test of Sphericity                   | Approx. Chi-Square | 307,128 |
|   | df                 | 36      |
|   | Sig.               | <,001   |



| ROTATION SUMS OF SQUARED LOADINGS |   |                          |
|-----------------------------------|---|--------------------------|
| Total (Ιδιοτιμές)                 | % of Variance (Ποσοστό ερμηνείας της αρχικής διασποράς) | Cumulative (Αθροιστικά)% |
| 3,089                             | 34,318  | 34,318                   |
| 2,865                             | 31,833  | 66,151                   |



Εικόνα 7.3 Αποτελέσματα ανάλυσης PCA μέσω του προγράμματος SPSS



Εικόνα 7. 4 Αποτελέσματα ανάλυσης K - Means μέσω του προγράμματος SPSS.

**B) Εσωτερικά εμπόδια επιχειρήσεων ως προς την υιοθέτηση τεχνολογιών αυτοματισμού**

Τα χαμηλά ποσοστά ως προς τη στελέχωση των επιχειρήσεων με κατάλληλους ανθρώπινους πόρους, συμπληρώνει η επόμενη ερώτηση που αφορά τα εσωτερικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις στην εγκατάσταση προηγμένων τεχνολογιών. Ειδικότερα, τα επικρατέστερα εμπόδια (με περισσότερες από τις μισές απαντήσεις) είναι η έλλειψη δεξιοτήτων μεταξύ του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού και η δυσκολία εύρεσης εξειδικευμένου προσωπικού. Συγκεκριμένα, τα μεγαλύτερα ποσοστά επιλογής κατέχουν οι εταιρείες διαχείρισης αποβλήτων και ζωικών υποπροϊόντων (ΖΥΠ), ποτοποιίας και παραγωγής τροφίμων φυτικής προέλευσης.

**Πίνακας 7.6** Εσωτερικά εμπόδια επιχειρήσεων στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας.

| Εσωτερικό εμπόδιο  | Ποσοστό επιλογής           |
|--|----------------------------|
| Έλλειψη δεξιοτήτων μεταξύ του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού.   | Σημαντικό (46,2%)          |
| Δυσκολία εύρεσης εξειδικευμένου προσωπικού για τη χρήση, την ανάπτυξη και τη συντήρηση των εν λόγω εφαρμογών.    | Σημαντικό (40,4%)          |
| Το κόστος της εφαρμογής και προσαρμογής τους.  | Σημαντικό (38,5%)          |
| Οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι και η δυσκολία κατανόησης τους.   | Σημαντικό (36,5%)          |
| Ανεπαρκής ενημέρωση σχετικά με τις δυνατότητες και τα οφέλη των εν λόγω εφαρμογών.                               | Σημαντικό (36,5%)          |
| Έλλειψη κρατικών επιδοτήσεων, πόρων και υποδομών για την ενίσχυση του ψηφιακού μετασχηματισμού των επιχειρήσεων. | Σημαντικό (34,6%)          |
| Ανεπαρκής ή μη συμβατός υπολογιστικός εξοπλισμός.  | Σημαντικό (25,0%)          |
| Έλλειψη αποθηκευτικού χώρου για τον μεγάλο όγκο των παραγόμενων δεδομένων.                                       | Λιγότερο σημαντικό (19,2%) |
| Έλλειψη εμπιστοσύνης ως προς τη καταχώριση εμπιστευτικών δεδομένων στις εν λόγω εφαρμογές.                       | Καθόλου σημαντικό (40,4%)  |

Αναφορικά με τις λοιπές επιλογές εσωτερικών εμποδίων, παρατηρείται ότι οι μικρές επιχειρήσεις (<10 και 10 - 49 εργαζόμενοι) συγκεντρώνουν τα μεγαλύτερα ποσοστά σε όλα τα εμπόδια με κυρίαρχα το κόστος εφαρμογής των προηγμένων τεχνολογιών, την έλλειψη κρατικών επιδοτήσεων και τους πολύπλοκους αλγόριθμους με αποτέλεσμα την δυσκολία κατανόησης της λειτουργίας τους. Μεταξύ των μεσαίων επιχειρήσεων (50 - 249 εργαζόμενοι) και των μεγάλων (>250 εργαζόμενοι) επικρατέστερο εμπόδιο αποτελεί η έλλειψη δεξιοτήτων μεταξύ του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού, ενώ μικρότερης σημασίας είναι η έλλειψη αποθηκευτικού χώρου για τον μεγάλο όγκο των παραγόμενων πληροφοριών και η έλλειψη εμπιστοσύνης ως προς την καταχώριση εμπιστευτικών δεδομένων στις εν λόγω εφαρμογές.

Με βάση τα ως άνω, στο τέλος της παρούσας ενότητας το δείγμα κλήθηκε να εκφράσει την άποψη του σχετικά με τη σημασία ορισμένων ICT γνώσεων που θα πρέπει να κατέχει το ανθρώπινο δυναμικό του κλάδου. Αναλυτικότερα, τη πρώτη θέση κατέχουν οι δεξιότητες

διαχείρισης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (big data), ενώ λιγότερο σημαντικές θεωρούνται οι δεξιότητες ρομποτικής και μηχανικής μάθησης. Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι διαφορές στα ποσοστά των επιλογών ήταν της τάξεως του 2% (κατά προσέγγιση 1 απάντηση στις 52), συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι όλες οι επιλογές είναι εξίσου σημαντικές στη φαρέτρα των δεξιοτήτων των εργαζόμενων στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών.

#### 7.6.6 Κρατική Υποστήριξη (Digital Public Services)

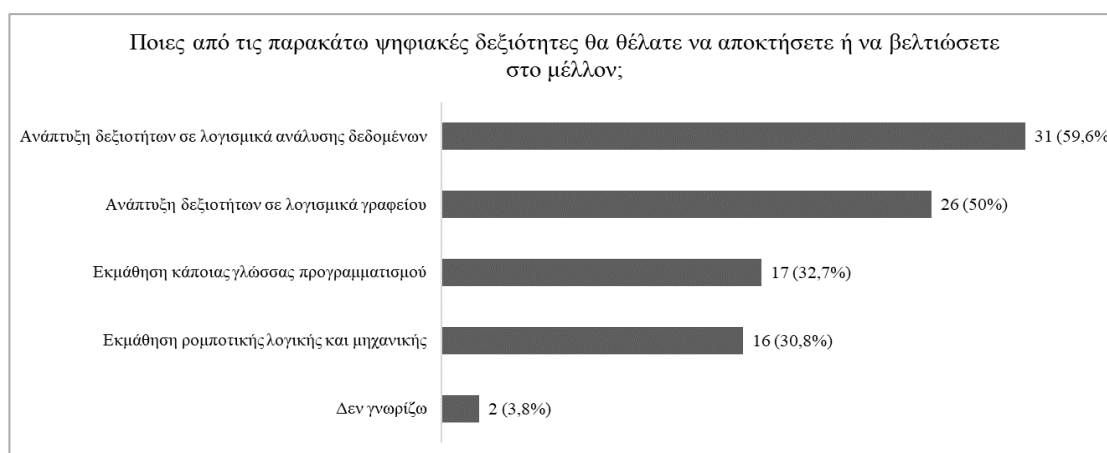
Κατόπιν ανασκόπησης των εσωτερικών εμποδίων που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις του κλάδου στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού, θα πρέπει να διερευνηθούν και τα εξωτερικά εμπόδια, που πηγάζουν από το κράτος και τις τάσεις της αγοράς (ανταγωνισμός, απαιτήσεις).

**Πίνακας 7.7** Εξωτερικά εμπόδια επιχειρήσεων στην εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών με φθίνουσα σειρά σημαντικότητας.

| <b>Εξωτερικό εμπόδιο</b>  | <b>Ποσοστό επιλογής</b> |
|---|-------------------------|
| Ανάγκη θέσπισης νέων και αυστηρότερων νόμων ή κανονισμών σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων.   | Σημαντικό (55,8%)       |
| Ρυθμιστικοί κανόνες σχετικά με τη χρήση των προηγμένων εφαρμογών, όπως τεχνητή νοημοσύνη.   | Σημαντικό (50%)         |
| Ανεπαρκής ανάπτυξη ψηφιακών υποδομών, όπως γρήγορες και ευρυζωνικές διαδικτυακές συνδέσεις, ψηφιακές πλατφόρμες και εφαρμογές για την εξυπηρέτηση των επιχειρήσεων. | Σημαντικό (50%)         |
| Έλλειψη ενημέρωσης και δοκιμαστικών εφαρμογών σχετικά με τις τεχνολογίες αυτοματισμού.  | Σημαντικό (46,2%)       |
| Έλλειψη κρατικών κεφαλαίων για ενίσχυση του ψηφιακού μετασχηματισμού των επιχειρήσεων.  | Σημαντικό (44,2%)       |
| Έλλειψη παροχής κινήτρων και επιβράβευσης για την εκπαίδευση στις ICT δεξιότητες.   | Σημαντικό (40,4%)       |

Παρατηρείται ότι περισσότερες από τις μισές απαντήσεις του δείγματος, καθιστούν την ανάγκη θέσπισης νέων και αυστηρότερων νόμων για την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων ως το πιο σημαντικό εξωτερικό εμπόδιο που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί, ότι μεταξύ των μεγάλων επιχειρήσεων (>250 εργαζόμενοι), καθώς και των ποτοποιιών και εταιρειών διαχείρισης αποβλήτων και ζωικών υποπροϊόντων (ΖΥΠ), τα επικρατέστερα εμπόδια ήταν η έλλειψη κρατικών κεφαλαίων και η ανεπαρκής ανάπτυξη ψηφιακών υποδομών.

Σημαντικά εξωτερικά εμπόδια, αν και σε χαμηλότερα ποσοστά, είναι η έλλειψη ενημέρωσης ως προς τις εφαρμογές των προηγμένων τεχνολογιών και η απουσία κινήτρων και επιβραβεύσεων για την εκπαίδευση στις ICT δεξιότητες, μέσω του κράτους και συνακόλουθα μέσω της εργασίας. Ειδικότερα, στην κάτωθι εικόνα παρατίθενται τα ποσοστά επιλογής ICT δεξιοτήτων που θα ήθελε το δείγμα να αναπτύξει υπό τις κατάλληλες συνθήκες (αναφορικά με τα όσα έχουν αναφερθεί στο παρόν κεφάλαιο ως προς τα εσωτερικά και εξωτερικά εμπόδια). Τέλος, η συντριπτική πλειοψηφία επιλέγει ως μέσο εκπαίδευσης τα διαδικτυακά μαθήματα (82,7%) και τα σεμινάρια / εκπαιδευτικά εργαστήρια (78,8%)



**Εικόνα 7.5** Ποσοστά επιλογής των ψηφιακών δεξιοτήτων που επιθυμούν οι ερωτώμενοι να αναπτύξουν στο μέλλον (η τιμή αριστερά από το ποσοστό αποτελεί την συχνότητα επιλογής).

### 7.6.7 Συμπεράσματα

Εν συντομία, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναδεικνύουν τις σημαντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών στην Ελλάδα, ως προς την υιοθέτηση και χρήση ψηφιακών τεχνολογιών. Παρά την αναγνώριση της σπουδαιότητας των ψηφιακών δεξιοτήτων από την πλειοψηφία των ερωτηθέντων, παρατηρείται περιορισμένη χρήση βασικών τεχνολογικών εργαλείων, όπως οι εφαρμογές γραφείου και το λογισμικό διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (ERP). Ταυτόχρονα, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και τα ψηφιακά δίδυμα, παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ενώ η υιοθέτηση τεχνολογιών όπως τα ρομπότ και το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) παρουσιάζει περιορισμένη ανάπτυξη.

Επιπλέον, το χαμηλό επίπεδο στελέχωσης με εξειδικευμένο προσωπικό και η έλλειψη δεξιοτήτων του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού αποτελούν κύρια εσωτερικά εμπόδια στην ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών. Αντίστοιχα, σημαντικά εξωτερικά εμπόδια αποτελούν η έλλειψη κατάλληλων νομοθετικών πλαισίων για την ασφάλεια των δεδομένων, η ανεπαρκής χρηματοδότηση και η περιορισμένη ανάπτυξη των ψηφιακών υποδομών. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις σε επίπεδο πολιτικής και εκπαίδευσης, καθώς και την ενίσχυση της πρόσβασης σε πόρους και τεχνολογίες, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των υφιστάμενων κενών και την επιτάχυνση του ψηφιακού μετασχηματισμού.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει μια συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας σε σχέση με τα ευρήματα άλλων μελετών στον ίδιο τομέα, προκειμένου να

προσδιοριστεί η θέση της στο ευρύτερο ερευνητικό πλαίσιο. Θα αναλυθούν πιθανοί λόγοι απόκλισης των αποτελεσμάτων, όπως μεθοδολογικές προσεγγίσεις, δείγματα και χρονικά πλαίσια, ενώ παράλληλα θα αναδειχθούν κοινά σημεία που ενισχύουν τη γενική εγκυρότητα των συμπερασμάτων.

### **8.1 Ευρωπαϊκές μελέτες για τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών**

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από επιστημονικούς συνεργάτες του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (European Parliament) το 2023 (Josse De Baerdemaeker, 2023), διαπιστώθηκε ότι η παγκόσμια αγορά του αυτοματισμού, κυρίως των ρομπότ, στον αγροδιατροφικό τομέα προβλέπεται να σημειώσει ραγδαία ανάπτυξη έως το 2025, με την αξία της να εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 8,82 δισεκατομμύρια δολάρια. Η αγορά αυτή κυριαρχείται από την Ασία και τις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ η Ευρώπη παρουσιάζει χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης, όπου το 2017 ο συνολικός αριθμός ρομπότ υπερέβη τις 31.000, με τις σκανδιναβικές χώρες να εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Το εν λόγω φαινόμενο έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κόστος των αγροτικών επιχειρήσεων, περιορίζοντας την ανταγωνιστικότητά τους σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η επιτυχημένη ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στον γεωργικό εξοπλισμό, με στόχο την αναβάθμισή του σε «έξυπνο» (intelligent) και αποδοτικό (efficient) εργαλείο, αναμένεται να αντιμετωπίσει σοβαρές προκλήσεις, οι οποίες μπορεί να περιορίσουν ή ακόμη και να εμποδίσουν την πρακτική εφαρμογή αυτής. Οι προκλήσεις σχετίζονται με το αυξημένο κόστος αγοράς και εγκατάστασης της τεχνητής νοημοσύνης, τον χρόνο και τους πόρους εκπαίδευσης του αρμόδιου προσωπικού, την δυσκολία κατανόησης των λειτουργιών της, τις ηλικιακές ομάδες των ενδιαφερόμενων μερών και την εξοικείωσή τους με την τεχνολογία, καθώς και την αβεβαιότητα σχετικά με τα αναμενόμενα αποτελέσματα και τις επιδόσεις.

Αναλυτικότερα, έρευνες της Eurostat σχετικά με το εργατικό δυναμικό των γεωργικών εκμεταλλεύσεων αναδεικνύουν, ότι στην Ευρώπη το 2016 επτά στους δέκα αγρότες στις 10,5 εκατομμύρια εκμεταλλεύσεις της Ε.Ε. (71,5 %) είναι άνδρες, εκ των οποίων το 57,9% είναι 55 ετών και άνω. Επιπλέον, η πλειοψηφία αυτών διαθέτει αποκλειστικά πρακτική εμπειρία, ενώ μόλις το 9,1% κατέχει πλήρη αγροτική κατάρτιση. Τα ανωτέρω αποτελέσματα επισημαίνουν την επιτακτική ανάγκη ενίσχυσης μιας νέας γενιάς αγροτών με επαρκή εκπαίδευση. Ειδικότερα, η παροχή ψηφιακών δεξιοτήτων κρίνεται ζωτικής σημασίας, ώστε οι νέοι γεωργοί να είναι σε θέση να αξιοποιούν πλήρως τις προηγμένες τεχνολογίες σε επίπεδο υλικού (hardware) και λογισμικού (software), το οποίο αποτελεί το κλειδί για την απρόσκοπτη μετάβαση προς μια «έξυπνη» και βιώσιμη παραγωγή.

Ένα ακόμη όφελος της ολοκληρωμένης εκπαίδευσης είναι ο μετριασμός της έντονης ανησυχίας αναφορικά με τη μείωση των θέσεων εργασίας λόγω του αυτοματισμού. Συγκεκριμένα, η Διεθνής Ομοσπονδία Ρομποτικής δήλωσε ότι η Ιαπωνία διέθετε 323 ρομπότ ανά 10.000 εργαζόμενους το 2013, ποσοστό σημαντικά υψηλότερο από άλλες βιομηχανικές χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, όπου το ποσοστό ήταν 152 ρομπότ ανά 10.000 εργαζόμενους. Για το ίδιο έτος, το ποσοστό ανεργίας στην Ιαπωνία ήταν 4%, ενώ για παράδειγμα, το 2016 η Ισπανία διέθετε 160 ρομπότ ανά 10.000 εργαζόμενους με ποσοστό ανεργίας 18,6%.

Τέλος, στην έρευνα επισημαίνεται ότι προκειμένου να ενισχυθεί ο πρωτογενής τομέας και να μετριαστεί το φαινόμενο της εγκατάλειψής του ως ευκαιρία σταδιοδρομίας από την νεότερη

γενιά, θα είναι ωφέλιμο να μειωθούν και τα παραγωγικά κόστη, τα οποία έχουν σταθερά ανοδική πορεία, με το κέρδος είτε να παραμένει στάσιμο είτε να μειώνεται.

Αξιοσημείωτη είναι μια έρευνα που υλοποιήθηκε το 2021 από το EIT Food (European Institute of Innovation and Technology Food), το οποίο αποτελεί μια κοινοπραξία που υποστηρίζεται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Καινοτομίας και Τεχνολογίας (EIT), όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αντικείμενο της εν λόγω έρευνας ήταν η μελέτη των ευρωπαϊκών βιομηχανιών τροφίμων ως προς το επίπεδο ψηφιοποίησης τους και τις αντιλήψεις τους σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη (Rodríguez, 2021).

Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι η ευρωπαϊκή βιομηχανία τροφίμων συνίσταται κυρίως από μικρομεσαίες επιχειρήσεις, οι οποίες αριθμούν 288.672 εταιρείες και αντιπροσωπεύουν το 99,2% του συνόλου, συμβάλλοντας στο 43% του κύκλου εργασιών και της προστιθέμενης αξίας του κλάδου (Rodríguez, 2021).

Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι το 79% των ευρωπαϊκών μικρομεσαίων επιχειρήσεων τροφίμων αποθηκεύουν δεδομένα χρησιμοποιώντας βασικά ψηφιακά εργαλεία, όπως το Microsoft Excel και ERP. Αξιοσημείωτο είναι ότι μεγαλύτερες εταιρείες (σε επίπεδο εργαζομένων ή/και εισοδήματος) παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερη έλλειψη γνώσης σχετικά με την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων (Rodríguez, 2021).

Οι αντιλήψεις και η ενημέρωση σχετικά με τις δυνατότητες των προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού ποικίλλουν μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων εντός της εταιρείας. Συγκεκριμένα, περισσότερο από το 60% των τμημάτων παραγωγής των επιχειρήσεων, ανεξαρτήτως μεγέθους, κατανοεί τις δυνατότητες αυτών των τεχνολογιών, ενώ η συμβολή τους σε άλλους τομείς της επιχείρησης, ιδίως στη διαχείριση ανθρωπίνων πόρων, δεν έχει ακόμη πλήρως κατανοηθεί.

Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι όταν ερωτήθηκαν οι εταιρείες εάν διαθέτουν καθορισμένες μεθόδους, εργαλεία ή διαδικασίες για την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού και άλλων προηγμένων αναλυτικών στοιχείων, το 60% δεν είχε καμία και δεν σκοπεύει να προβεί σε σχετική ενέργεια προς αυτή τη κατεύθυνση.

Όσον αφορά το αν η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης προσφέρει κάποιο πλεονέκτημα στις λειτουργίες των επιχειρήσεων, το δείγμα διχάστηκε, με το 36% να συμφωνεί. Αν και οι διαφορές δεν είναι μεγάλες, οι εταιρείες παραγωγής φρέσκων προϊόντων (όπως σαλάτες) είναι πιο επιφυλακτικές ως προς τον θετικό αντίκτυπο της τεχνητής νοημοσύνης (39,5%), ενώ εταιρείες με υψηλότερα επίπεδα εισοδήματος έχουν θετική αντίληψη για την προστιθέμενη αξία που παρέχει η τεχνητή νοημοσύνη σε εταιρικό επίπεδο.

Σε άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2016 από μια ευρωπαϊκή συνδικαλιστική οργάνωση που αντιπροσωπεύει τα δικαιώματα των εργαζομένων στους τομείς των τροφίμων, της γεωργίας και του τουρισμού (Karen Hamann, 2019), βρέθηκε ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις αποτελούν το 98,9% των εταιρειών και απασχολούν το 61,6% των εργαζομένων. Ενώ οι μεγάλες εταιρείες αποτελούν το 1,1% των εταιρειών, απασχολούν το 38,4% των εργαζομένων και κυριαρχούν ως προς την προστιθέμενη αξία των προϊόντων και των υπηρεσιών. Η διαφορά αυτή είναι κρίσιμη για την κατανόηση της δομής της βιομηχανίας, καθώς οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, αν και πολυάριθμες, συνεισφέρουν λιγότερο στον κύκλο εργασιών (τζίρος).

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι τα ανωτέρω αποτελέσματα συνάδουν με την προηγούμενη έρευνα, η οποία πραγματοποιήθηκε πέντε (5) χρόνια αργότερα (2021). Για τον λόγο αυτό, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις στη βιομηχανία τροφίμων εξελίσσονται με πιο αργούς ρυθμούς από τους επιθυμητούς.

Ειδικότερα, ως προς τον τομέα δραστηριοποίησης, τα παρασκευάσματα κρέατος και τα αρτοσκευάσματα έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον κύκλο εργασιών, στην προστιθέμενη αξία και στην απασχόληση εργατικού δυναμικού. Ακολουθούν τα γαλακτοκομικά προϊόντα και οι ποτοποιίες, ενώ στις τελευταίες θέσεις βρίσκονται τα δημητριακά και άλευρα και οι ελαιοπαραγωγικές βιομηχανίες. Τέλος, ο επικρατέστερος τομέας δραστηριότητας, κυρίως των μικρομεσαίων επιχειρήσεων, είναι τα αρτοσκευάσματα (51%) (Karen Hamann, 2019).

Κάτωθι αναφέρονται κάποιες μελέτες περίπτωσης σε βιομηχανίες τροφίμων ανά την Ευρώπη (Karen Hamann, 2019):

### 8.1.1 Ιταλία

Στην Ιταλία, ερευνητική μελέτη που διεξήχθη σε δείγμα 200 μεσαίων και μεγάλων εταιρειών τροφίμων αποκάλυψε ότι η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού ήταν εξαιρετικά περιορισμένη, ενώ οι περισσότερες επενδύσεις σε ψηφιακά συστήματα από τις συμμετέχουσες εταιρείες αφορούσαν τη διασφάλιση των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας των εταιρικών δεδομένων. Κύριος περιοριστικός παράγοντας για την υιοθέτηση τους αναδείχθηκε η έλλειψη εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού, παρόλο που μόνο το 11% των εταιρειών που συμμετείχαν στην έρευνα αναγνώρισε την εκπαίδευση και ενημέρωση των εργαζομένων ως απαραίτητο στοιχείο για την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν οι εν λόγω τεχνολογίες.

Στην Ιταλία, μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες, όπως η Nestlé, έχουν ολοκληρώσει σημαντικά έργα, όπως το νέο εργοστάσιο «Pizza Hub» στο Μπενεβέντο (Benevento), με επένδυση άνω των 50 εκατομμυρίων ευρώ και προσωπικό 150 εργαζομένων. Το εργοστάσιο υποστηρίζει την έννοια της «συνδεδεμένης μονάδας» (connected factory), η οποία εξελίσσει την αλυσίδα αξίας (value chain) μέσω της σύνδεσης διαφορετικών λειτουργιών που καταλήγουν σε μια ολοκληρωμένη μονάδα.

Μεσαίες επιχειρήσεις, όπως η Cereal Dock που δραστηριοποιείται στην παραγωγή δημητριακών και οσπρίων, έχουν επενδύσει στην αυτοματοποίηση εστιάζοντας στην παραγωγική διαδικασία, στην εφοδιαστική αλυσίδα και στην συνολική βελτιστοποίηση των λειτουργιών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συλλογής όσο το δυνατόν περισσότερων και κατάλληλων δεδομένων, τα οποία με σωστή ανάλυση και διαχείριση μπορούν να βελτιώσουν τις υπηρεσίες, την ιχνηλασιμότητα και την επιχειρηματική ανάπτυξη.

Ο συνεταιρισμός Patfrut, ο οποίος ασχολείται με την προετοιμασία και συσκευασία φρούτων και λαχανικών, είχε επενδύσει το 2018 ποσό άνω των 2 εκατομμυρίων ευρώ σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο μηχάνημα διαλογής, το οποίο αξιοποιεί οπτικά συστήματα για την κατηγοριοποίηση φρούτων σε τρεις κατηγορίες ποιότητας. Η οπτική ταξινόμηση στη συνέχεια ελέγχεται περαιτέρω από τους χειριστές, ο αριθμός των οποίων αυξήθηκε από έναν σε δύο, προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία προσαρμογής εντός της εταιρείας. Ο εξοπλισμός αποκτήθηκε στην Ολλανδία και η συναρμολόγηση, η υποστήριξη και η παρακολούθηση πραγματοποιήθηκαν από τον προμηθευτή, ο οποίος επίσης παρείχε εκπαίδευση στους

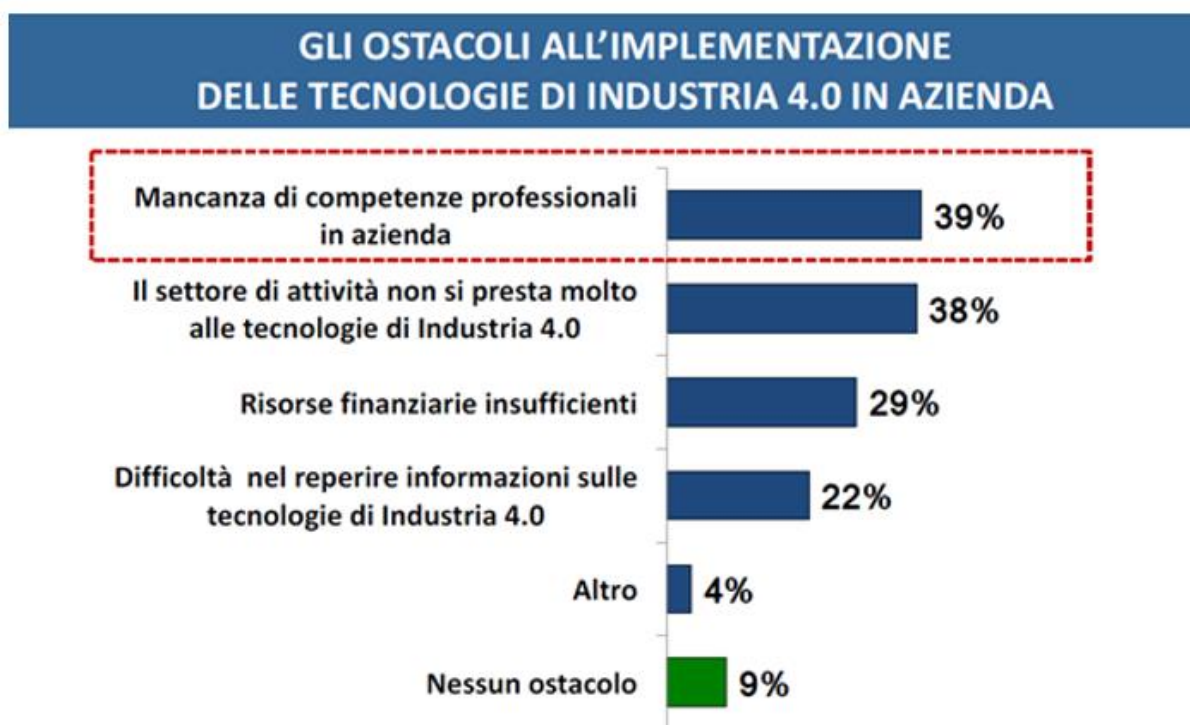
υπαλλήλους της Patfrut, διευκολύνοντας την προσαρμογή τους στο νέο σύστημα. Αμέσως μετά την εγκατάσταση της νέας γραμμής, οργανώθηκε ένα σεμινάριο διάρκειας δύο εβδομάδων, προκειμένου οι χειριστές μηχανών να χρησιμοποιήσουν και να προγραμματίσουν σωστά τη νέα γραμμή. Επιπλέον, η εταιρεία έχει προχωρήσει στην υλοποίηση ψηφιοποίησης των εγκαταστάσεων της. Οι επενδύσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με στόχο τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά και τη βελτίωση της έρευνας και ανάπτυξης καινοτόμων προϊόντων.

Το 2017, η Amadori επένδυσε 45 εκατομμύρια ευρώ για την κατασκευή ενός νέου αυτοματοποιημένου εργοστασίου επεξεργασίας πουλερικών, που εξυπηρετεί την επεξεργασία 25 τόνων κρέατος ανά ώρα. Τα δεδομένα παράγονται σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας πληροφορίες για τη συνεχή βελτίωση της παραγωγής και την αλληλεπίδραση με την εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον, συνεργάστηκε με εξειδικευμένο προσωπικό για να βελτιώσει την εργονομία των σταθμών εργασίας για περισσότερους από 450 εργαζομένους που απασχολεί.

Η Pizzoli, ιταλική εταιρεία που ασχολείται με την καλλιέργεια, μεταποίηση και εμπορευματοποίηση νωπών και κατεψυγμένων πατατών, το 2017 προχώρησε σε επένδυση 15 εκατομμυρίων ευρώ για τη δημιουργία ενός νέου εξαιρετικά αυτοματοποιημένου εργοστασίου, με εκτιμώμενη αύξηση της παραγωγής κατεψυγμένων προϊόντων από 35.000 τόνους σε 100.000 τόνους ετησίως.

Επιπλέον, το 2017 αποτελέσματα ιταλικής έρευνας, σχετικά με την υιοθέτηση των τεχνολογιών αυτοματισμού από επιχειρήσεις, τα εμπόδια που αντιμετωπίζουν και τις τεχνολογίες που προτιμούν δείχνουν τα εξής (Denis Pantini, 2017):

1. Το 57% των εταιρειών έχει ήδη υιοθετήσει τουλάχιστον μία ψηφιακή τεχνολογία, ενώ το 43% δεν έχει υιοθετήσει καμία τεχνολογία.
2. Η κυβερνοασφάλεια είναι η κυρίαρχη τεχνολογία που υιοθετείται (47%), ακολουθούμενη από το Cloud (21%) και το IoT (15%). Μόνο το 6% των εταιρειών έχει υιοθετήσει περισσότερες από τρεις τεχνολογίες αυτοματισμού, υποδεικνύοντας ότι οι περισσότερες εταιρείες επιλέγουν μεμονωμένες λύσεις παρά μια ολοκληρωμένη προσέγγιση.
3. Το μεγαλύτερο εμπόδιο είναι η έλλειψη επαγγελματικών δεξιοτήτων (39%), ακολουθούμενο από την έλλειψη οικονομικών πόρων (29%) και την ανεπαρκή ενημέρωση σχετικά με τις εν λόγω τεχνολογίες (22%).



**Εικόνα 8.1** Τα εμπόδια στην υλοποίηση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 στις επιχειρήσεις (Denis Pantini, 2017).

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αν και υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, πολλές εταιρείες δεν έχουν προχωρήσει στην εφαρμογή τους, κυρίως λόγω έλλειψης δεξιοτήτων, πόρων και ορθής ενημέρωσης.

Επιπλέον, στην Ιταλία αναμένεται ότι θα χρειαστούν πάνω από 43.000 νέοι εργαζόμενοι τα επόμενα πέντε χρόνια, ως αποτέλεσμα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Για τον λόγο αυτό, τα ιταλικά συνδικάτα έχουν συνεργαστεί για τη δημιουργία ταμείου που θα καλύψει τις δαπάνες εκπαίδευσης και μέχρι σήμερα (2017) περισσότερα από 4.000 άτομα έχουν λάβει εκπαίδευση.

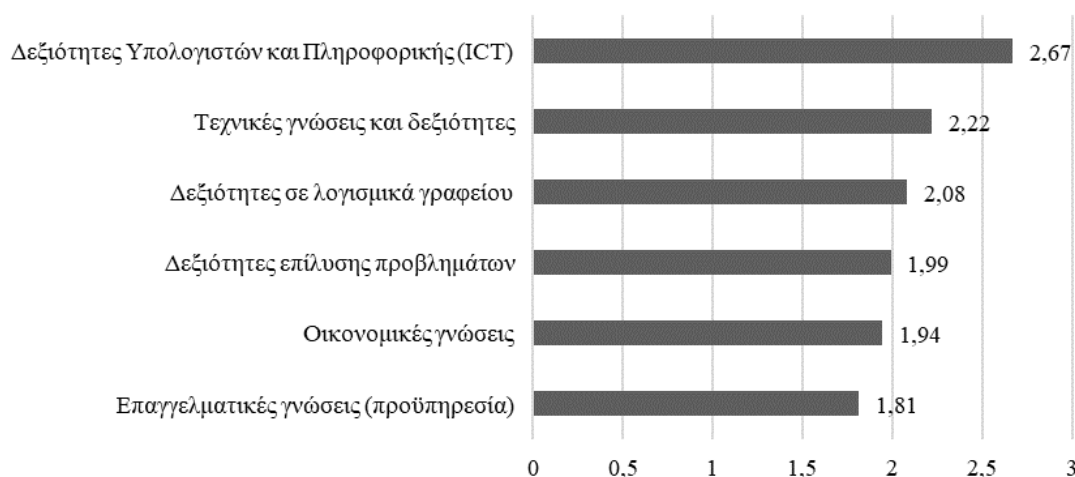
### 8.1.2 Ουγγαρία

Η ουγγρική εταιρεία Bonafarm, που ασχολείται με τη παραγωγή, μεταποίηση και διανομή γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων, έχει βελτιώσει την ανταγωνιστικότητά της και έχει αυξήσει το εργατικό δυναμικό της, ως συνέπεια της βελτιωμένης συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, καθώς έχει επενδύσει στην εγκατάσταση ψηφιοποιημένων συστημάτων στα διάφορα στάδια παραγωγής. Στόχος της είναι η ενίσχυση της συμμετοχής των εργαζομένων σε όλες τις λειτουργίες της, καθώς και η δημιουργία μιας κοινής βάσης επαγγελματικών γνώσεων. Για τους ανωτέρω λόγους, υπάρχει τακτική συνεργασία με εκπαιδευτικά ιδρύματα, ενώ η εσωτερική εκπαίδευση της επιχείρησης τροποποιείται διαρκώς, ώστε να ανταποκριθεί στις προσδοκίες των καταναλωτών στη σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων.



Το εργοστάσιο Bük στην Ουγγαρία αναγνωρίζεται ως ένα από τα πιο προηγμένα και αυτοματοποιημένα εργοστάσια της Nestlé, με εξειδίκευση στην παραγωγή τροφών για κατοικίδια υπό την επωνυμία Purina. Η ανάγκη για αύξηση της παραγωγικής ικανότητας λόγω της αυξημένης ζήτησης, οδήγησε τη Nestlé να επενδύσει σε αυτοματοποιημένες παραγωγικές τεχνολογίες, αξιοποιώντας και την εμπειρία των εργαζομένων για τη μετάβαση από ημιαυτόματες σε πλήρως αυτοματοποιημένες παραγωγικές διαδικασίες. Μεταξύ των θετικών αποτελεσμάτων ήταν η δημιουργία περισσότερων από 50 νέων θέσεων εργασίας εκπαιδευμένων χειριστών, προσθέτοντας αξία στις παραγωγικές διαδικασίες. Επιπλέον, τα ψηφιακά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της διαφάνειας και της ιχνηλασιμότητας, μέσω της χρήσης tablet στο χώρο παραγωγής.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της έρευνας που διεξήχθη μεταξύ ουγγρικών επιχειρήσεων αγροδιατροφής (Hamza et al, 2018), οι ουγγρικές γεωργικές και βιομηχανικές επιχειρήσεις τροφίμων θεωρούν σημαντικό και απαραίτητο να διευρύνουν συνεχώς τις γνώσεις των εργαζομένων τους, με το 73% των ερωτηθέντων να υποστηρίζει την κατάρτιση των υπαλλήλων τους, καθώς το 26,4% των εργαζομένων δεν διαθέτει καμία εκπαιδευτική κατάρτιση. Κάτωθι παρατίθεται ένα γράφημα της εν λόγω μελέτης, το οποίο απεικονίζει το επίπεδο ψηφιακών δεξιοτήτων νέων εργαζομένων στον αγροδιατροφικό τομέα της Ουγγαρίας (1 = ανεπαρκής, 4 = εξαιρετική). Όπως φαίνεται, ο μέσος όρος είναι κάτω από το επιθυμητό επίπεδο, με τη μεγαλύτερη τιμή να φτάνει το 2,67 για τις ICT δεξιότητες.



**Εικόνα 8.2** Μέσες τιμές επαγγελματικών ικανοτήτων και δεξιοτήτων νέων εργαζομένων στον αγροδιατροφικό τομέα της Ουγγαρίας (1 = ανεπαρκής, 4 = εξαιρετική) (Hamza et al, 2018),

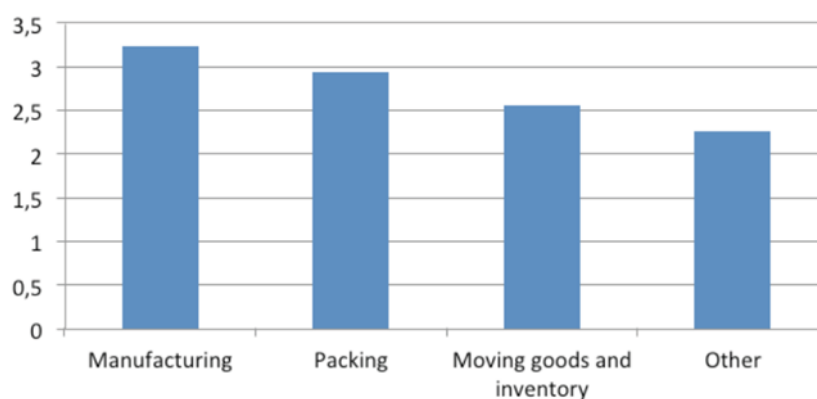
### 8.1.3 Γερμανία

Μια μελέτη, στην οποία συμμετείχαν 304 γερμανικές βιομηχανίες τροφίμων αποκαλύπτει, ότι τα δύο τρίτα των ερωτηθέντων είχαν εγκαταστήσει ψηφιακά και αυτοματοποιημένα συστήματα. Ενώ, η έρευνα Bitkom έδειξε ότι το επίπεδο ψηφιοποίησης στον εν λόγω τομέα είναι 79%, σε αντίθεση με 96% στις εταιρείες logistics, υποδεικνύοντας δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης.

### 8.1.4 Γαλλία

Μέχρι το 2019, περισσότερα από τα δύο τρίτα των επιχειρήσεων στη γαλλική βιομηχανία τροφίμων είχαν ξεκινήσει διαδικασίες για την αυτοματοποίηση των λειτουργιών τους, δηλαδή 30% περισσότερες εταιρείες σε σχέση με το 2017.

Η γραφική παράσταση παρουσιάζει τα αποτελέσματα της αυτοματοποίησης σε διάφορες λειτουργίες της βιομηχανίας τροφίμων το 2019, όπως βαθμολογούνται σε μια κλίμακα από 1 (χειρότερη επίδοση) έως 5 (καλύτερη επίδοση). Φαίνεται ότι η βιομηχανία τροφίμων έχει κάνει σημαντικά βήματα στην αυτοματοποίηση, κυρίως στις διαδικασίες παραγωγής και συσκευασίας (με βαθμολογία περίπου 3,3 και 3,0 αντίστοιχα). Ωστόσο, οι τομείς που αφορούν τη μεταφορά προϊόντων, τη διαχείριση αποθεμάτων και άλλες υποστηρικτικές λειτουργίες εμφανίζουν χαμηλότερα επίπεδα αυτοματοποίησης, υποδεικνύοντας πιθανές ευκαιρίες για περαιτέρω βελτιώσεις.



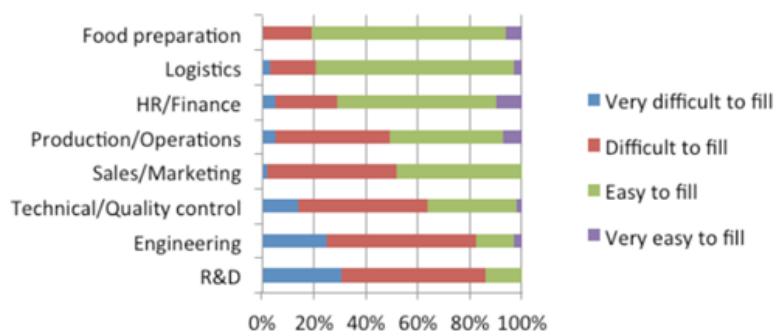
**Εικόνα 8.3** Η αυτοματοποίηση στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων το 2019 (Karen Hamann, 2019).

Είναι ενδεικτικό ότι υπάρχει ένα χάσμα μεταξύ των δεξιοτήτων του σημερινού εργατικού δυναμικού της βιομηχανίας τροφίμων και των απαιτήσεων της αγοράς. Στη Γερμανία, το 88% της βιομηχανίας τροφίμων έχει αναγνωρίσει την έλλειψη ψηφιακών ικανοτήτων του εργατικού δυναμικού ως το σημαντικότερο εμπόδιο για την προσαρμογή των τεχνολογιών αυτοματισμού.

Αξιοσημείωτο είναι, ότι το 59,2% των ερωτηθέντων επιχειρήσεων τροφίμων εκτιμά ότι οι απαραίτητες δεξιότητες για την προσαρμογή στον ψηφιακό μετασχηματισμό είναι ήδη υπάρχουσες, και μόνο το 37% των συμμετεχουσών επιχειρήσεων είχε αρχίσει να εφαρμόζει στρατηγικές επανεκπαίδευσης του προσωπικού. Τέλος, το 46% ανέφερε, ότι η υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση σταθερού αριθμού εργαζομένων, ενώ το 24% επισήμανε αύξηση νέων κενών θέσεων εργασίας και το 5% των ερωτηθέντων δήλωσε μείωση του εργατικού δυναμικού.

Η βιομηχανία τροφίμων στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει επισημάνει την ανάγκη επανεκπαίδευσης του προσωπικού, καθώς για θέσεις εργασίας στην παραγωγική διαδικασία, το ποσοστό κενών θέσεων φτάνει σχεδόν το 50%, ενώ για τις τεχνικές και ποιοτικές θέσεις το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 60%. Το παρόν χάσμα δεξιοτήτων εκτιμάται ότι θα απαιτήσει την κάλυψη

130.000 επιπλέον θέσεων εργασίας έως το 2024, με προσανατολισμό σε εργάτες, μηχανικούς τροφίμων και επιστήμονες. Αναλυτικότερα, στην εικόνα 8.4 απεικονίζονται τα ποσοστά των κενών θέσεων εργασίας στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2016. Οι τομείς με τη σειρά απεικόνισης (από πάνω προς τα κάτω) είναι οι εξής: συσκευασία, logistics, ανθρώπινο δυναμικό / οικονομικά, παραγωγική διαδικασία, πωλήσεις / marketing, τεχνικός και ποιοτικός έλεγχος, μηχανική, έρευνα και ανάπτυξη νέων προϊόντων. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι θέσεις με τη μεγαλύτερη δυσκολία πλήρωσης, με κόκκινο χρώμα με μικρότερη δυσκολία, με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι θέσεις που καλύπτονται με ευκολία και τέλος με μωβ χρώμα οι θέσεις με την μεγαλύτερη ευκολία.



**Εικόνα 8.4** Τα ποσοστά των κενών θέσεων εργασίας στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2016 (Karen Hamann, 2019).

## **8.2 Ευρωπαϊκές μελέτες για το σύνολο του βιομηχανικού τομέα**

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2020 από επιστημονικούς συνεργάτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission) βρέθηκε, ότι η ευαισθητοποίηση σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη είναι υψηλή σε ολόκληρη την Ε.Ε. με ποσοστό 78%. Τέσσερις στις δέκα επιχειρήσεις έχουν υιοθετήσει τουλάχιστον μία τεχνολογία AI, ενώ το 25% έχει υιοθετήσει τουλάχιστον δύο. Το 18% των επιχειρήσεων προγραμματίζει την υιοθέτηση τεχνητής νοημοσύνης στα επόμενα δύο χρόνια, ενώ το 40% ούτε έχει υιοθετήσει ούτε προγραμματίζει να υιοθετήσει (Ipsos Belgium, 2020).

Επιπλέον, το 59% των επιχειρήσεων της Ε.Ε. που χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη έχουν προμηθευτεί έτοιμα προς χρήση λογισμικά από εξωτερικούς συνεργάτες. Μόνο το 20% έχει αναπτύξει λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης πλήρως εσωτερικά ή έχει τροποποιήσει ένα ήδη υπάρχον, φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως σε μεγάλες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε τομείς πληροφορικής ή φυσικών επιστημών. Οι ανωτέρω διαφοροποιήσεις υπογραμμίζουν τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με εσωτερικούς παράγοντες.

Τρία βασικά εσωτερικά εμπόδια των επιχειρήσεων στην υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης είναι η δυσκολία εύρεσης εργατικού δυναμικού με τις κατάλληλες δεξιότητες (57%), το κόστος υιοθέτησης (52%) και το κόστος προσαρμογής των λειτουργικών διαδικασιών (49%).

Δυσκολία παρατηρείται, επίσης, στην υιοθέτηση περισσότερων προηγμένων τεχνολογιών από μεγάλες επιχειρήσεις, εκ των οποίων το 39% χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερες τεχνολογίες σε σύγκριση με το 21% που αφορά τις μικρομεσαίες και το 22% τις μικρές επιχειρήσεις.

Οι επιχειρήσεις γενικά θεωρούν ότι τα εσωτερικά εμπόδια συνιστούν μεγαλύτερη πρόκληση σε σύγκριση με τα εξωτερικά εμπόδια. Συγκεκριμένα, τα κύρια εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις σχετίζονται με την έλλειψη δεξιοτήτων μεταξύ του υπάρχοντος προσωπικού (45%) και την δυσκολία εύρεσης νέου προσωπικού με τις κατάλληλες δεξιότητες (57%), καθώς και το κόστος υλοποίησης (κόστος υιοθέτησης 52%, κόστος προσαρμογής επιχειρησιακών διαδικασιών 49%, έλλειψη εξωτερικής/δημόσιας χρηματοδότησης 36%). Ειδικότερα, ο παράγοντας του εξειδικευμένου προσωπικού παρατηρείται σε όλες τις επιχειρήσεις ανεξαρτήτου τομέα δραστηριοποίησης και μεγέθους.

Αναφορικά με τα εξωτερικά εμπόδια, η ανάγκη θέσπισης νέων κανονισμών (29%), η έλλειψη κρατικής χρηματοδότησης (33%) και η τυποποίηση των δεδομένων (33%) αναγνωρίζονται ως σημαντικά, αν και όχι καθοριστικά για την υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης και γενικότερα των προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού.

Σχεδόν οκτώ στις δέκα επιχειρήσεις στην Ε.Ε. (78%) δηλώνουν ότι γνωρίζουν τι είναι τεχνητή νοημοσύνη και προηγμένες τεχνολογίες αυτοματισμού, ενώ οι υπόλοιπες είτε δεν γνωρίζουν (7%) είτε είναι αβέβαιο (15%). Διαφορές παρατηρούνται μεταξύ των μεγεθών των επιχειρήσεων: 85% στις μεγάλες επιχειρήσεις και 74% στις μικρές. Οι τομείς που συγκεντρώνουν τα υψηλότερα ποσοστά είναι η πληροφορική (91%), η εκπαίδευση (88%) και η μεταποίηση (81%). Αντίθετα, ανεπαρκής ενημέρωση παρατηρείται στον πρωτογενή τομέα και στη βιομηχανία τροφίμων.

Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά των επιχειρήσεων οι αποκλίσεις στην υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης είναι πιο έντονες μεταξύ των χωρών, σε αντίθεση με τους τομείς δραστηριότητας και το μέγεθος τους. Το ποσοστό των επιχειρήσεων που έχουν ενσωματώσει τουλάχιστον μία τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης κυμαίνεται από 27% στην Κύπρο και στην Εσθονία ως 61% στην Τσεχία. Στις χώρες με υψηλά ποσοστά υιοθέτησης ανήκουν, επίσης, η Λιθουανία και η Βουλγαρία (54%), καθώς και η Αυστρία και το Λουξεμβούργο (51%). Αντίθετα, χαμηλότερα ποσοστά εμφανίζουν η Μάλτα (31%) και η Σλοβακία (29%).

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν, επίσης, ότι οι τομείς ICT, χρηματοοικονομικών και ασφαλιστικών δραστηριοτήτων αξιοποιούν εκτενώς την τεχνητή νοημοσύνη στις λειτουργίες τους. Στον αντίποδα, η γεωργία, η μεταποίηση και η διαχείριση αποβλήτων χρησιμοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη σε μικρότερη συχνότητα.

Τα αυστηρά πρότυπα για την ανταλλαγή δεδομένων, η έλλειψη δημόσιας ή εξωτερικής χρηματοδότησης και η ανάγκη θέσπισης νέων νόμων και κανονισμών, αναγνωρίζονται ως σημαντικά εξωτερικά εμπόδια στην υιοθέτηση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης από μεγάλο ποσοστό εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην Ε.Ε. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις στη Νότια και Δυτική Ευρώπη συγκριτικά με τις Βόρειες και Ανατολικές περιοχές, είναι πιο πιθανό να θεωρούν τα ανωτέρω εμπόδια βασική τροχοπέδη.

Το κυριότερο εσωτερικό εμπόδιο που αντιμετωπίζουν καθολικά οι επιχειρήσεις είναι η δυσκολία πρόσληψης εξειδικευμένου προσωπικού. Συγκεκριμένα, το 85% των επιχειρήσεων αναγνωρίζει τη δυσκολία πρόσληψης εξειδικευμένου προσωπικού με τις κατάλληλες

δεξιότητες ως σημαντικό εμπόδιο, ενώ το 83% θεωρεί την έλλειψη δεξιοτήτων του υπάρχοντος προσωπικού ως σημαντική. Αντίθετα, οι σύνθετοι αλγόριθμοι και η έλλειψη εσωτερικών δεδομένων εκλαμβάνονται ως λιγότερο σημαντικά εμπόδια (75%), ακολουθούμενοι από το κόστος υιοθέτησης (52%).

Επιπλέον, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η Κύπρος, και σε μικρότερο βαθμό η Ελλάδα, αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες δυσκολίες στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, κυρίως λόγω εσωτερικών ζητημάτων. Αντίθετα, χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ισλανδία, η Νορβηγία, η Ιρλανδία και η Εσθονία, καθώς και η Τσεχία, η Ρουμανία και η Ουγγαρία, αντιμετωπίζουν χαμηλότερα εμπόδια. Τέλος, τα εσωτερικά εμπόδια φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο τις χώρες με χαμηλότερο κατά κεφαλήν ΑΕΠ σε σύγκριση με εκείνες με υψηλότερο.

Ειδικότερα για την Ελλάδα, η έρευνα έδειξε ότι υιοθετεί τουλάχιστον μία τεχνολογία ΑΙ σε ποσοστό 43%, ελαφρώς υψηλότερο από τον μέσο όρο της Ε.Ε. (42%). Επίσης, το 34% των ελληνικών επιχειρήσεων χρησιμοποιεί τουλάχιστον δύο τεχνολογίες ΑΙ, κατατάσσοντας τη χώρα στις τρεις πρώτες θέσεις στην Ε.Ε. Παράλληλα, το 19% των επιχειρήσεων σχεδιάζει να υιοθετήσει ΑΙ την επόμενη διετία, σχεδόν αντίστοιχο με το μέσο όρο της Ε.Ε. (18%). Ωστόσο, παραμένει ανησυχητικό ότι το 37% των επιχειρήσεων στην Ελλάδα δεν σκοπεύει να υιοθετήσει ΑΙ, αν και το αντίστοιχο ποσοστό στην Ε.Ε. είναι ελαφρώς υψηλότερο (40%).

Οι μεγάλες επιχειρήσεις (250+ άτομα) εμφανίζουν υψηλότερο ποσοστό υιοθέτησης ΑΙ (50%) σε σύγκριση με τις μικρότερες, αν και είναι ελαφρώς μικρότερο του αντίστοιχου ποσοστού στην Ε.Ε. (55%). Αξιοσημείωτο είναι ότι οι μεσαίες επιχειρήσεις (50-249 άτομα) εμφανίζουν το υψηλότερο ποσοστό υιοθέτησης ΑΙ (50%).

Τα εμπόδια υιοθέτησης ΑΙ στην Ελλάδα παρουσιάζονται πιο έντονα σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, ιδιαίτερα όσον αφορά το κόστος υιοθέτησης (64% στην Ελλάδα έναντι 52% στην Ε.Ε.) και το κόστος προσαρμογής των διαδικασιών (65% στην Ελλάδα έναντι 49% στην Ε.Ε.). Επίσης, οι ελληνικές επιχειρήσεις αναφέρουν υψηλότερα ποσοστά σχετικά με την έλλειψη δημόσιας χρηματοδότησης και την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων.

Τέλος, οι απαιτούμενες δεξιότητες ΑΙ, όπως η προγραμματιστική ικανότητα (72%) και οι δεξιότητες μηχανικής μάθησης (50%), αναδεικνύονται ως κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχή υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στις ελληνικές επιχειρήσεις.

Μια ακόμη έρευνα που πραγματοποιήθηκε με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2023, έδειξε ότι ο μισός πληθυσμός της Ελλάδας διαθέτει τουλάχιστον βασικές ψηφιακές δεξιότητες (52%), κοντά στον μέσο όρο της Ε.Ε. (54%). Το ποσοστό συμμετοχής του εξειδικευμένου προσωπικού ICT στη συνολική απασχόληση στην Ελλάδα ανέρχεται στο 2,5%, το οποίο κατατάσσει τη χώρα μεταξύ των χαμηλότερων στην Ε.Ε. Το ποσοστό συμμετοχής των γυναικών μεταξύ αυτών ανέρχεται σε 20,3%, το οποίο είναι υψηλότερο από τον μέσο όρο της Ε.Ε. (18,9%) (European Commission, 2023).

Η Ελλάδα οφείλει να εντείνει σημαντικά τις προσπάθειές της στον τομέα των ψηφιακών δεξιοτήτων, ενισχύοντας την αγορά εργασίας με εξειδικευμένο προσωπικό ICT και προβλέποντας τις μελλοντικές απαιτήσεις. Επιπλέον, οφείλει να μεριμνήσει για χρηματοδοτήσεις και κατάλληλα ενημερωτικά προγράμματα, ιδιαίτερα για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις.



Το επίπεδο ψηφιοποίησης των μικρομεσαίων επιχειρήσεων στην Ελλάδα είναι 41%, σημαντικά χαμηλότερο από τον μέσο όρο της Ε.Ε., ο οποίος ανέρχεται σε 69%. Σχετικά με την υιοθέτηση προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών, οι ελληνικές επιχειρήσεις παρουσίασαν καθυστέρηση στην υιοθέτησή τους: το 2020, το 13% χρησιμοποιούσε ανάλυση μεγάλων δεδομένων (μέσος όρος Ε.Ε.: 14%), το 15% χρησιμοποιούσε υπηρεσίες cloud (μέσος όρος Ε.Ε.: 34%) και μόλις το 3% χρησιμοποιούσε τεχνητή νοημοσύνη (μέσος όρος Ε.Ε.: 8%).

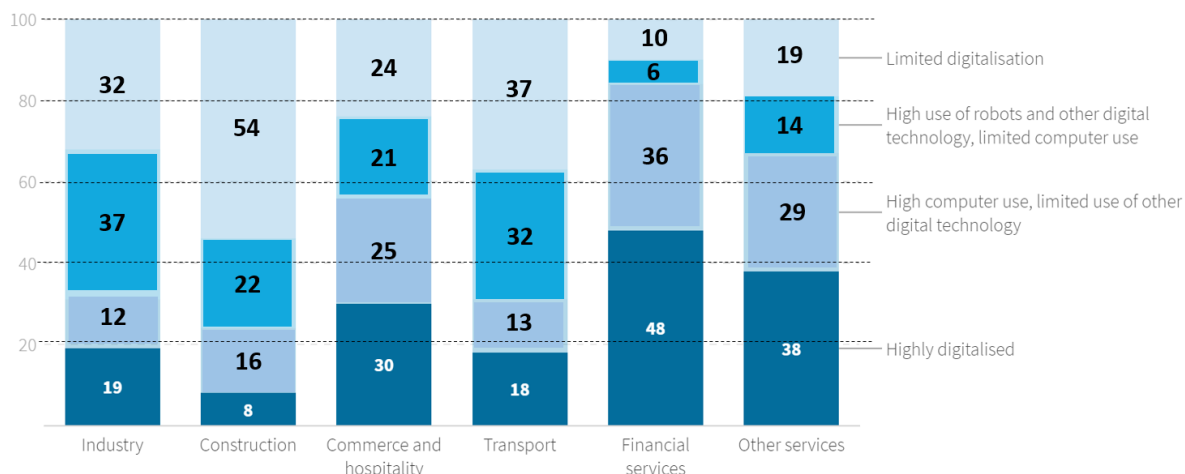
Όμοια αποτελέσματα αναφέρονται και στην έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 2024 για την Ελλάδα. Συνοπτικά, υπάρχει ακόμα μεγάλο περιθώριο βελτίωσης των αποδόσεων της, προκειμένου να συμβάλει στους στόχους της Ψηφιακής Δεκαετίας της Ε.Ε., ενώ δείχνει πολύ δυναμική με ενδιαφέρουσες προτάσεις. Επιπλέον, εμφανίζει ζήτηση για επενδύσεις από πολύ μεγάλες διεθνείς τεχνολογικές εταιρείες, ενισχύοντας τον ψηφιακό μετασχηματισμό της οικονομίας.

Ωστόσο, η Ελλάδα υστερεί ως προς τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων, με πολλές μικρομεσαίες επιχειρήσεις να έχουν μέτρια προς χαμηλά επίπεδα καινοτομίας και ψηφιοποίησης (innovation and digital maturity) (European Commission, 2024).

Μια μελέτη της Έρευνας Ευρωπαϊκών Εταιρειών (ECS) το 2019, η οποία περιλαμβάνει επιχειρήσεις με τουλάχιστον 10 υπαλλήλους, εντοπίζει τέσσερις κατηγορίες επιχειρήσεων βάσει της χρήση διαφορετικών τεχνολογιών (όπως φαίνεται και στο κάτωθι διάγραμμα) (Mandl, 2021):

- Υψηλά ψηφιοποιημένη / Highly digitalised (28% των εγκαταστάσεων στην Ε.Ε.): υψηλό ποσοστό εργαζομένων χρησιμοποιεί υπολογιστές καθημερινά και οι επιχειρήσεις είναι διαθέτουν ενδοεπιχειρησιακό λογισμικό. Σχεδόν όλα τα εξαιρετικά ψηφιοποιημένα ιδρύματα εφαρμόζουν αναλύσεις δεδομένων για την βελτίωση των διαδικασιών, με την χρήση των ρομπότ να είναι ελαφρώς υψηλότερη από τον μέσο όρο και το ηλεκτρονικό εμπόριο να είναι σχετικά διαδεδομένο.
- Υψηλή χρήση υπολογιστών και περιορισμένη χρήση άλλης ψηφιακής τεχνολογίας (26%): σε αυτή τη κατηγορία, σημαντικό ποσοστό του προσωπικού χρησιμοποιεί υπολογιστές καθημερινά, ωστόσο η χρήση ERP και e - shop είναι λιγότερο συχνή.
- Υψηλή χρήση ρομπότ και άλλων ψηφιακών τεχνολογιών, αλλά περιορισμένη χρήση υπολογιστών (19%): σε αυτές τις εγκαταστάσεις, ένα σχετικά χαμηλό ποσοστό εργαζομένων χρησιμοποιεί υπολογιστές καθημερινά, ωστόσο είναι συχνή η χρήση τεχνολογιών αυτοματισμού.
- Περιορισμένη ψηφιοποίηση (27%): σε αυτές τις εγκαταστάσεις, η χρήση όλων των τεχνολογιών που καλύπτονται από την έρευνα είναι κάτω από τον μέσο όρο.





**Εικόνα 8.5** Οι τέσσερις κατηγορίες επιχειρήσεων βάσει της χρήσης διαφορετικών τεχνολογιών σε διάφορους επιχειρησιακούς τομείς (από αριστερά προς δεξιά: βιομηχανία, κατασκευαστικός τομέας, τουριστικός τομέας, μεταφορές, χρηματοοικονομικά, άλλες υπηρεσίες) (Mandl, 2021).

Υψηλά ψηφιοποιημένες επιχειρήσεις βρίσκονται στην Μάλτα (39%) και στη Δανία (37%), από ό,τι στη Λετονία και στη Λιθουανία (και οι δύο 12%).

Επιπλέον, τα δεδομένα της Eurostat υποδεικνύουν ότι το 2020 όλες οι τεχνολογίες αυτοματισμού τείνουν να είναι περισσότερο διαδεδομένες σε μεγαλύτερες επιχειρήσεις παρά σε μικρότερες, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στις απαιτούμενες επενδύσεις, οι οποίες είναι πιο προσιτές για τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις.

Ειδικότερα το 2020, το IoT χρησιμοποιείται από το 18% των επιχειρήσεων με τουλάχιστον 10 υπαλλήλους στην Ε.Ε. Συγκεκριμένα, είναι πιο διαδεδομένο στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (38%), όπου αξιοποιείται για έξυπνη μέτρηση και παρακολούθηση της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, αερίου και νερού, στην πληροφόρηση και στην επικοινωνία (22%) και στη μεταφορά και αποθήκευση (27%), όπου χρησιμοποιείται για παρακολούθηση και βελτιστοποίηση στόλου και τέλος στην προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance). Επιπλέον, παρατηρείται αυξημένη χρήση του IoT σε αγροτικούς τομείς, όπως η γεωργία, για την παρακολούθηση ποιότητας και αποδόσεων καλλιεργειών, τη διασφάλιση ιχνηλασιμότητας και ποιοτικού ελέγχου προϊόντων, καθώς και στον προγραμματισμό διανομής. Ανά χώρα, το IoT εμφανίζει μεγαλύτερη διάδοση στην Τσεχία (44%) και μικρότερη στην Ρουμανία (7%). Είναι πιθανό να παρατηρηθεί σημαντική υιοθέτηση του IoT στη Δυτική Ευρώπη έως το 2025, ιδίως στη Γερμανία.

Το 2021, μεταξύ των κρατών μελών της Ε.Ε., η Δανία κατέγραψε το υψηλότερο ποσοστό επιχειρήσεων που χρησιμοποίησαν τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (24%). Άλλες χώρες με σχετικά υψηλή χρήση αυτών των τεχνολογιών ήταν η Πορτογαλία (17%) και η Φινλανδία (16%). Αντιθέτως, τα χαμηλότερα ποσοστά καταγράφηκαν στη Ρουμανία (1%), στην Πολωνία, στην Ουγγαρία, στην Κύπρο, στην Εσθονία και στη Βουλγαρία (3%) (Eurostat, 2022).

Επιπλέον, το 29% των επιχειρήσεων της Ε.Ε. χρησιμοποίησε τεχνολογίες IoT, κυρίως για την ασφάλεια των χώρων (π.χ. έξυπνα συστήματα συναγερμού, έξυπνες κάμερες και άλλες έξυπνες συσκευές, 72%). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε σε μικρότερο βαθμό για τη διαχείριση της

κατανάλωσης ενέργειας (π.χ. έξυπνοι μετρητές, έξυπνοι θερμοστάτες, 30%) και για την παρακολούθηση συγκεκριμένων συνθηκών θερμοκρασίας ή πίεσης (24%).

Τα μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης IoT παρατηρήθηκαν στην Αυστρία (51%), στην Σλοβενία (49%), στην Φινλανδία και στην Σουηδία (40%), ενώ τα χαμηλότερα καταγράφηκαν στην Ρουμανία (11%), στην Βουλγαρία (15%) και στην Εσθονία (17%).

Όσον αφορά το επίπεδο βασικών ψηφιακών δεξιοτήτων των πολιτών της Ευρώπης Ένωσης, το 2021 ενώ το 87% των ατόμων ηλικίας 16 - 74 ετών χρησιμοποιούσαν τακτικά το διαδίκτυο, μόνο το 54% διέθετε τουλάχιστον βασικές ψηφιακές δεξιότητες, καθώς η απλή πρόσβαση στο διαδίκτυο δεν επαρκεί για τη χρηστική του αξιοποίηση. Στις κορυφαίες θέσεις βρίσκονται η Ολλανδία και η Φινλανδία, ενώ η Ρουμανία και η Βουλγαρία παρουσιάζουν υστέρηση. Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες θέσεις εργασίας απαιτούν τέτοιες δεξιότητες, ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού της Ε.Ε. συνεχίζει να στερείται βασικών ψηφιακών δεξιοτήτων (European Commission, 2022).

Το χάσμα μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών στη χρήση του διαδικτύου παραμένει (94% στις πόλεις και 89% σε αγροτικές περιοχές) και είναι ιδιαίτερα εμφανές στη Βουλγαρία, στην Ελλάδα και στην Πορτογαλία με ποσοστά κατώτερα του 80%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι στην Εσθονία, στη Σουηδία και στην Πολωνία, το χαμηλότερο ποσοστό πρόσβασης στο διαδίκτυο καταγράφεται στις πόλεις και όχι στις αγροτικές περιοχές.

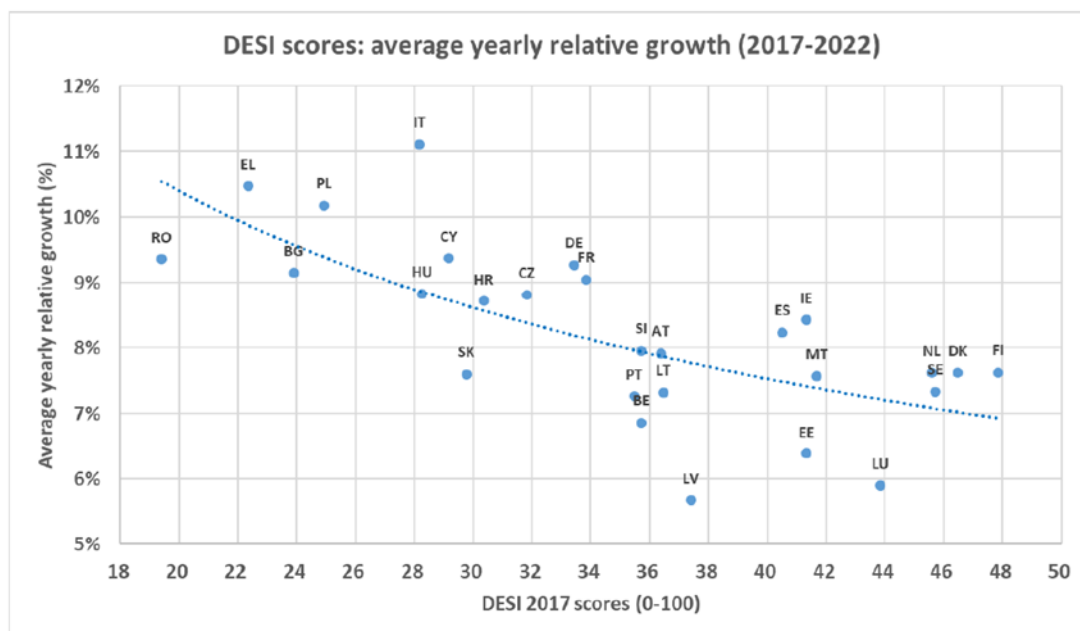
Επιπρόσθετα παρατηρούνται διαφορές ως προς τα κοινωνικοδημογραφικά χαρακτηριστικά των πολιτών, όπου το 71% των νεαρών ενηλίκων (ηλικίας 16-24 ετών), το 79% των ατόμων με υψηλή τυπική εκπαίδευση και το 77% των φοιτητών τριτοβάθμιας εκπαίδευσης κατέχουν τουλάχιστον βασικές ψηφιακές δεξιότητες. Αντιθέτως, μόνον το 35% των ατόμων ηλικίας 55-74 ετών και το 29% των συνταξιούχων και μη ενεργού πληθυσμού (στην αγορά εργασίας) διαθέτει αντίστοιχες δεξιότητες.

Ακόμη πιο έντονο είναι το φαινόμενο της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού ICT δεξιοτήτων στην αγορά εργασίας της Ε.Ε. παρά τη ζήτηση που υπάρχει και συνεχώς αυξάνεται. Συγκεκριμένα, το 2020, το 55% των επιχειρήσεων ανέφεραν δυσκολίες στην κάλυψη των εν λόγω θέσεων και το 2021, οι ICT επαγγελματίες κάλυπταν το 4,5% της συνολικής απασχόλησης με τα υψηλότερα ποσοστά να καταγράφονται στην Γερμανία, στην Γαλλία και στην Ιταλία. Επιπλέον, ένα φαινόμενο που έχει παρατηρηθεί ως προς τις ICT δεξιότητες είναι η ανισότητα μεταξύ των φύλων, δεδομένου ότι μόνο το 19% των απασχολούμενων στον κλάδο και ένας στους τρεις πτυχιούχους επιστημών τεχνολογίας, μηχανικής ή/και μαθηματικών (STEM) είναι γυναίκες.

Υπάρχει σημαντικό χάσμα μεταξύ μεγάλων και μικρομεσαίων επιχειρήσεων ως προς τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών. Συγκεκριμένα, το 2021 μόνον το 55% των μικρομεσαίων επιχειρήσεων είχε υιοθετήσει σε βασικό επίπεδο ψηφιακές τεχνολογίες (όπως ERP λογισμικά). Ξεχωρίζουν η Σουηδία και η Φινλανδία διαθέτοντας τα υψηλότερα ποσοστά επιχειρήσεων που εφαρμόζουν βασικές ψηφιακές τεχνολογίες (86% και 82% αντίστοιχα), ενώ η Ρουμανία και η Βουλγαρία παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά. Για την επίτευξη του στόχου της ψηφιακής δεκαετίας, απαιτείται τουλάχιστον το 90% των μικρομεσαίων επιχειρήσεων στην Ε.Ε. να διαθέτουν το βασικό επίπεδο ψηφιακών τεχνολογιών έως το 2030.

Σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα παραμένει η υιοθέτηση προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών. Ειδικότερα, το 34% των επιχειρήσεων το 2021 ενσωμάτωσε cloud computing, ενώ το ίδιο έτος μόλις το 8% εφάρμοσε στις λειτουργίες του την τεχνητή νοημοσύνη και το 14% την ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data). Ωστόσο, σύμφωνα με την πρόταση Path to the Digital Decade, μέχρι το 2030 αναμένεται τουλάχιστον το 75% των επιχειρήσεων να υιοθετήσει τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, cloud και μεγάλων δεδομένων. Ένα κυρίαρχο εμπόδιο στην υιοθέτηση τους είναι η ανεπαρκής ενημέρωση ως προς τις δυνατότητες που παρέχουν οι ψηφιακές τεχνολογίες, καθώς και η έλλειψη ψηφιακών δεξιοτήτων μεταξύ των εργαζομένων.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την πρόοδο των κρατών μελών της Ε.Ε. ως προς το συνολικό επίπεδο ψηφιοποίησης τους (με βάση τα ανωτέρω) την τελευταία πενταετία. Για κάθε χώρα, το σχήμα αποτυπώνει τη σχέση μεταξύ των βαθμολογιών του δείκτη Digital Economy and Society Index (DESI) το 2017 (οριζόντιος άξονας) και της μέσης ετήσιας ανάπτυξης DESI κατά την περίοδο 2017-2022 (κάθετος άξονας). Χώρες που βρίσκονται πάνω από τη μπλε γραμμή έχουν παρουσιάσει υψηλότερες επιδόσεις από αυτές που αναμενόταν, ενώ οι χώρες που εντοπίζονται κάτω από την μπλε γραμμή παρουσιάζουν την αντίθετη κατάσταση.



Source: DESI 2022, European Commission

**Εικόνα 8.6** Η εικόνα απεικονίζει την πρόοδο των κρατών μελών της Ε.Ε. ως προς το συνολικό επίπεδο ψηφιοποίησης τους (με βάση τα ανωτέρω) την τελευταία πενταετία (European Commission, 2022).

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, στις πέντε κορυφαίες επιδόσεις ανήκουν η Γερμανία, η Ιρλανδία, η Γαλλία και η Πολωνία, με την Ιταλία να παρουσιάζει τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης. Ενώ από την άλλη μεριά της καμπύλης, η Λετονία παρουσίασε βελτίωση στη βαθμολογία DESI αλλά με αργό ρυθμό ανάπτυξης. Τέλος, το Λουξεμβούργο, η Ρουμανία, το Βέλγιο, η Σλοβακία και η Εσθονία εμφανίζουν την μεγαλύτερη απόκλιση από την καμπύλη.

Συνολικά η βαθμολογία DESI το 2022 έδειξε ότι η Φινλανδία, η Δανία, η Ολλανδία και η Σουηδία κατέχουν τις πιο προηγμένες ψηφιακές οικονομίες στην Ε.Ε., ακολουθούμενες από

την Ιρλανδία, τη Μάλτα και την Ισπανία. Αντίθετα, η Ρουμανία, η Βουλγαρία και η Ελλάδα καταγράφουν τις χαμηλότερες επιδόσεις.

Η νέα έκθεση World Robotics κατέγραψε 553.052 εγκατεστημένα ρομπότ σε εργοστάσια παγκοσμίως, σημειώνοντας ρυθμό ανάπτυξης 5% το 2022, από έτος σε έτος. Ειδικότερα, το 73% εγκαταστάθηκε στην Ασία, το 15% στην Ευρώπη και το 10% στην Αμερική (International Federation of Robotics, 2023).

Το 2022, οι ετήσιες εγκαταστάσεις ρομπότ έφτασαν τις 290.258 μονάδων υπερέβησαν το προηγούμενο ρεκόρ του 2021, σημειώνοντας αύξηση 5%. Αυτή η αύξηση είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη, δεδομένου ότι ξεπερνά ακόμη και την αύξηση 57% του 2021 σε σύγκριση με το 2020. Για την υποστήριξη αυτής της δυναμικής αγοράς, εγχώριοι και διεθνείς προμηθευτές ρομπότ έχουν δημιουργήσει εργοστάσια παραγωγής στην Κίνα και συνεχώς αυξάνουν την παραγωγική ικανότητα. Κατά μέσο όρο, οι ετήσιες εγκαταστάσεις ρομπότ αυξάνονται κατά 13% κάθε χρόνο (2017-2022).

Η Ιαπωνία παρουσίασε αύξηση 9% στις εγκαταστάσεις ρομπότ, φτάνοντας τις 50.413 μονάδες, υπερβαίνοντας το επίπεδο πριν από την πανδημία των 49.908 μονάδων το 2019. Η Ιαπωνία είναι η κυρίαρχη χώρα κατασκευής ρομπότ παγκοσμίως, κατέχοντας μερίδιο 46% της παγκόσμιας παραγωγής ρομπότ.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση συνεχίζει να κατέχει τη δεύτερη θέση παγκοσμίως με 70.781 μονάδες (+5%) το 2022. Η Γερμανία, με μερίδιο αγοράς 36% εντός της Ε.Ε., κατατάσσεται μεταξύ των πέντε κορυφαίων χωρών που υιοθετούν ρομπότ παγκοσμίως. Οι εγκαταστάσεις στη Γερμανία μειώθηκαν κατά 1%, φτάνοντας τις 25.636 μονάδες. Ακολουθεί η Ιταλία με 16% μερίδιο στην Ε.Ε. και εγκαταστάσεις οι οποίες αυξήθηκαν κατά 8% στις 11.475 μονάδες. Η τρίτη μεγαλύτερη αγορά στην Ε.Ε. είναι η Γαλλία, η οποία κατέγραψε μερίδιο αγοράς 10%, με αύξηση 13%, εγκαθιστώντας 7.380 μονάδες το 2022. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, μετά το Brexit, οι εγκαταστάσεις βιομηχανικών ρομπότ αυξήθηκαν κατά 3%, φτάνοντας τις 2.534 μονάδες το 2022 (λιγότερο από το ένα δέκατο των πωλήσεων της Γερμανίας). Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις ρομπότ στην Πολωνία καταγράφουν ισχυρή ανοδική πορεία για εννέα έτη.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι συγκριτικά με την έρευνα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου το 2023 (βλ. αρχή του παρόντος κεφαλαίου) για τις εγκαταστάσεις αυτοματισμού, κυρίως ρομπότ, στον αγροδιατροφικό τομέα η Ευρώπη βρισκόταν στις τελευταίες θέσεις, ενώ με βάση τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας συνολικά στον βιομηχανικό τομέα η Ευρώπη συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι εγκαταστάσεις ρομπότ αυξήθηκαν κατά 8% το 2022, φθάνοντας τις 56.053 μονάδες, υπερβαίνοντας το επίπεδο αιχμής του 2018 που ήταν 55.212 μονάδες. Η μεγαλύτερη περιφερειακή αγορά, οι Ηνωμένες Πολιτείες, αντιπροσώπευαν το 71% των εγκαταστάσεων στην αμερικανική αγορά το 2022. Οι εγκαταστάσεις ρομπότ ανήλθαν στις 39.576 μονάδες, σημειώνοντας αύξηση 10%. Παρά την αύξηση αυτή, οι εγκαταστάσεις παρέμειναν κάτω από το ανώτατο επίπεδο των 40.373 μονάδων που επιτεύχθηκε το 2018. Κύριος μοχλός ανάπτυξης υπήρξε η αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία παρουσίασε αύξηση εγκαταστάσεων κατά 47% φθάνοντας τις 14.472 μονάδες. Το μερίδιο της αυτοκινητοβιομηχανίας ανήλθε στο 37%, ακολουθούμενο από τη βιομηχανία μετάλλων και μηχανημάτων με 3.900 μονάδες και τη βιομηχανία ηλεκτρικών/ηλεκτρονικών με 3.732 μονάδες.

Σημαντικές αγορές περιλαμβάνουν το Μεξικό, όπου οι εγκαταστάσεις αυξήθηκαν κατά 13% φθάνοντας τις 6.000 μονάδες, και τον Καναδά, όπου παρατηρήθηκε μείωση κατά 24% στις 3.223 μονάδες, αποτέλεσμα μειωμένης ζήτησης από την αυτοκινητοβιομηχανία, τον κυριότερο θεσμό υιοθέτησης ρομπότ.

Η Βραζιλία αναγνωρίζεται ως σημαντική τοποθεσία παραγωγής μηχανοκίνητων οχημάτων και ανταλλακτικών. Ο Διεθνής Οργανισμός Κατασκευαστών Μηχανοκίνητων Οχημάτων (OICA) αναφέρει παραγωγή 2,4 εκατομμυρίων οχημάτων το 2022, υπογραμμίζοντας τις δυνατότητες αυτοματισμού στη χώρα. Οι ετήσιες εγκαταστάσεις παρουσίασαν αύξηση, με 1.858 ρομπότ να εγκαθίστανται το 2022, που αντιστοιχεί σε αύξηση 4% από το προηγούμενο έτος.

Στη Γερμανία, η αυτοκινητοβιομηχανία παραμένει παραδοσιακά ο κύριος πελάτης των βιομηχανικών ρομπότ, με το 27% των πρόσφατα εγκατεστημένων ρομπότ να ανήκει σε αυτόν τον τομέα το 2022, ποσοστό που αντιστοιχεί σε 7.100 μονάδες και σημειώνει μείωση 22% από το προηγούμενο έτος. Στον τομέα της γενικής βιομηχανίας, η βιομηχανία μετάλλων υπήρξε ο κύριος πελάτης, εγκαθιστώντας 4.200 μονάδες με αύξηση 20% το 2022, καταγράφοντας επίπεδα ανώτερα πριν από την πανδημία. Οι εγκαταστάσεις στον τομέα των πλαστικών και χημικών προϊόντων επιστρέφουν σε προ πανδημίας επίπεδα, με 2.200 μονάδες το 2022, αύξηση 7%.

Η Ιταλία, η δεύτερη μεγαλύτερη αγορά ρομπότ στην Ευρώπη μετά τη Γερμανία, παρουσίασε ιστορικό υψηλό σχεδόν 12.000 μονάδων το 2022. Το μερίδιο της Ιταλίας αντιστοιχεί στο 16% των συνολικών εγκαταστάσεων της ΕΕ. Στον τομέα των μετάλλων και μηχανημάτων, οι πωλήσεις έφτασαν τις 3.700 μονάδες, αυξημένες κατά 18%. Ο τομέας των πλαστικών και χημικών προϊόντων ανήλθε κατά 42% με 1.400 εγκαταστάσεις. Επιπλέον, ο τομέας τροφίμων και ποτών παρουσίασε αύξηση 9% φθάνοντας τις 1.400 μονάδες το 2022. Στον αντίποδα, η ζήτηση από την αυτοκινητοβιομηχανία μειώθηκε κατά 22%, φθάνοντας τις 900 μονάδες.

Στην Ισπανία, οι ετήσιες εγκαταστάσεις αυξήθηκαν κατά 12%, συνοδευόμενες από έναν συνολικό αριθμό 3.800 μονάδων. Η αυτοκινητοβιομηχανία, παραδοσιακά καθοριστικός παράγοντας, εγκατέστησε 900 μονάδες σημειώνοντας αύξηση 5%. Παράλληλα, οι πωλήσεις στη βιομηχανία μετάλλων αυξήθηκαν κατά 20%, φθάνοντας τις 900 μονάδες. Οι τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας και των μετάλλων συνεισέφεραν σχεδόν το 50% των εγκαταστάσεων ρομπότ το 2022.

### **8.3 Συμπεράσματα**

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών τόσο στην βιομηχανία τροφίμων όσο και γενικά στον βιομηχανικό τομέα, αναδεικνύουν τα σημαντικά κενά και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) στον τομέα του ψηφιακού μετασχηματισμού. Η επίτευξη των φιλόδοξων στόχων που έχουν τεθεί απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες σε πολλά επίπεδα, όπως η διαμόρφωση κατάλληλων πολιτικών, η επένδυση στην εκπαίδευση και την κατάρτιση, η προώθηση της καινοτομίας και η ανάπτυξη ισχυρών υποδομών.

Ιδιαίτερη έμφαση θα ήταν ωφέλιμο να δοθεί στην ολοκληρωμένη επιμόρφωση, καθώς αποτελεί κρίσιμο στοιχείο προκειμένου να ενισχυθούν οι ψηφιακές δεξιότητες του εργατικού δυναμικού και να επιτευχθούν οι στόχοι του ψηφιακού μετασχηματισμού. Παράλληλα, η παροχή κινήτρων και η υποστήριξη της καινοτομίας είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της ψηφιακής μετάβασης των επιχειρήσεων. Η ενίσχυση των μικρομεσαίων επιχειρήσεων και



η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τα μεγάλα δεδομένα (big data), είναι καθοριστικοί παράγοντες για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της Ε.Ε. σε διεθνές επίπεδο.

Η ψηφιακή τεχνολογία καταγράφει αυξανόμενη σημασία στην καθημερινότητα, γεγονός που αντικατοπτρίζεται στην άποψη της συντριπτικής πλειοψηφίας των Ευρωπαίων πολιτών. Συγκεκριμένα, το 80% των ερωτηθέντων θεωρούν ότι οι ψηφιακές τεχνολογίες θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη ζωή τους έως το 2030. Για να διευκολυνθεί η καθημερινή χρήση των τεχνολογιών αυτών, το 75% των πολιτών υπογραμμίζουν την ανάγκη για ενισχυμένη κυβερνοασφάλεια, βελτιωμένη συνδεσιμότητα, και καλύτερη προστασία των δεδομένων (European Commission, 2023).

Επιπλέον, συγκριτικά με την παρούσα έρευνα για την ελληνική βιομηχανία τροφίμων και ποτών, υπάρχει συμφωνία ως προς τα κενά που αντιμετωπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών στον τομέα του ψηφιακού μετασχηματισμού, τονίζοντας τη σημασία της ενίσχυσης των ψηφιακών δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού μέσω εκπαίδευσης και κατάρτισης.

Παράλληλα, φαίνεται ότι είναι καθολικό φαινόμενο η περιορισμένη χρήση τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), τα μεγάλα δεδομένα (big data), τα ρομπότ και το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), παρόλο που η ενσωμάτωσή τους θεωρείται καθοριστική για τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά.

Κοινά και σημαντικά εμπόδια στην υιοθέτηση των ανωτέρω τεχνολογιών είναι η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού, η περιορισμένη πρόσβαση σε κρατικές χρηματοδοτήσεις και οι ανεπαρκείς ψηφιακές υποδομές.

Συνοψίζοντας, οι έρευνες συμφωνούν ως προς την ανάγκη για ενίσχυση των ψηφιακών δεξιοτήτων, υποστήριξη της καινοτομίας και εφαρμογή συντονισμένων πολιτικών για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων κενών, προκειμένου να επιταχυνθεί ο ψηφιακός μετασχηματισμός σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Τέλος, παρά τη σημασία που αποδίδεται στην ψηφιοποίηση των επιχειρήσεων και τις πολυάριθμες μελέτες που έχουν διεξαχθεί, τα διαθέσιμα δεδομένα σε επίπεδο Ε.Ε. είναι περιορισμένα και εξακολουθεί να υφίσταται ανάγκη για έρευνα σχετικά με την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών από τις επιχειρήσεις σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση. Συνεπώς, θα ήταν ωφέλιμο να εντατικοποιηθούν οι έρευνες, ώστε να υποστηριχθεί καλύτερα η στρατηγική ψηφιοποίησης της Ε.Ε. και να διευκολυνθούν οι επιχειρήσεις στην προσαρμογή τους στις νέες τεχνολογικές απαιτήσεις.

#### **8.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Για μελλοντική έρευνα, ένα σημαντικό πεδίο μελέτης είναι η διερεύνηση των τρόπων, με τους οποίους οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις μπορούν να επιταχύνουν την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα, το διαδίκτυο των πραγμάτων και τα ψηφιακά δίδυμα. Ειδικά στην Ευρώπη, η οποία αντιμετωπίζει ελλείψεις σε εξειδικευμένο προσωπικό και υποδομές, η έρευνα μπορεί να εστιάσει σε μοντέλα επιτυχημένης υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών σε άλλες χώρες ή κλάδους. Επίσης, θα



μπορούσαν να αναπτυχθούν σενάρια χρηματοδότησης και παροχής κινήτρων για τη διευκόλυνση της εισαγωγής νέων τεχνολογιών σε επιχειρήσεις με περιορισμένους πόρους.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας έρευνας είναι η ενίσχυση των ψηφιακών δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία τονίζει την ανάγκη για εκπαίδευση και κατάρτιση, αλλά η ανάπτυξη ενός εναρμονισμένου προγράμματος σπουδών που να καλύπτει τις ανάγκες τόσο των μικρομεσαίων όσο και των μεγάλων επιχειρήσεων μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη. Η έρευνα θα μπορούσε να εστιάσει σε βέλτιστες πρακτικές που εφαρμόζονται σε άλλες χώρες ή σε διαφορετικούς βιομηχανικούς κλάδους, για να διαπιστωθεί ποιες μέθοδοι είναι πιο αποτελεσματικές στη βελτίωση των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού σε ό,τι αφορά τις ψηφιακές τεχνολογίες.

Τέλος, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την κυβερνοασφάλεια και τη διαχείριση δεδομένων. Δεδομένου ότι το 75% των πολιτών της Ε.Ε. θεωρούν την κυβερνοασφάλεια ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών, οι μελλοντικές μελέτες μπορούν να εστιάσουν στις βέλτιστες πρακτικές για την προστασία των επιχειρησιακών δεδομένων και των προσωπικών πληροφοριών των χρηστών. Επιπλέον, η έρευνα μπορεί να εξετάσει πώς οι επιχειρήσεις μπορούν να ενσωματώσουν τις κανονιστικές απαιτήσεις σχετικά με την προστασία των δεδομένων, ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τους κανονισμούς της Ε.Ε. και να προωθείται η εμπιστοσύνη των πολιτών στη χρήση των ψηφιακών υπηρεσιών.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:**  
**ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ**

*ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ:*

Αξιότιμη κυρία / Αξιότιμε κύριε,

Είμαι τελειόφοιτη του μεταπτυχιακού προγράμματος «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών» (Industrial Automation), του τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Στο πλαίσιο εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας, με θέμα «Εφαρμογές των Ψηφιακών Διδύμων (DT) και του Διαδικτύου Πραγμάτων (IoT) στην εφοδιαστική αλυσίδα: Η περίπτωση της βιομηχανίας τροφίμων», πραγματοποιώ έρευνα αναφορικά με το επίπεδο του αυτοματισμού και της ψηφιοποίησης των επιχειρήσεων τροφίμων από τη πρωτογενή παραγωγή (agriculture) ως και τη χονδρική πώληση (wholesale) των τελικών προϊόντων, σε όλη τη χώρα.

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις ως προς τη ποιότητα των παρεχόμενων προϊόντων και υπηρεσιών και τον ανταγωνισμό στην αγορά, απαιτούν από την εφοδιαστική αλυσίδα προσαρμοστικότητα, ευελιξία και ενσωμάτωση της καινοτομίας. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η συγκέντρωση και η εξαγωγή αντιπροσωπευτικών συμπερασμάτων, για την ανάδειξη των σύγχρονων λειτουργικών προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας (συμπεριλαμβανομένης και της Ελληνικής βιομηχανίας τροφίμων και ποτών) και του ρόλου των τεχνολογιών του αυτοματισμού στην άμεση εξάλειψη αυτών.

Το παρόν ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο και η συμμετοχή σας προαιρετική. Η συμπλήρωση όλων των ερωτήσεων και η ειλικρίνειά σας θεωρούνται απαραίτητα στοιχεία για την επιτυχή ολοκλήρωση της έρευνας. Τα στοιχεία του ερωτηματολογίου χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ερευνητικούς – ακαδημαϊκούς λόγους (και μόνο στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας), ενώ η παρούσα μελέτη θα αναρτηθεί στο Ιδρυματικό Αποθετήριο Πολυλόγη του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Τέλος, ο χρόνος συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου είναι περίπου 15 λεπτά και ο συνολικός αριθμός ερωτήσεων είναι 22.

Για οποιαδήποτε διευκρίνιση μπορείτε να επικοινωνήσετε μαζί μου στη κάτωθι διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου:  
stav.artemis@gmail.com

Ευχαριστώ εκ των προτέρων για τη συμβολή σας στην έρευνα.

Με εκτίμηση,  
Σταυροπούλου Άρτεμις

**I. ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ (DIGITAL SKILLS / ICT SKILLS)**

A. Πόσο συχνά χρησιμοποιείτε τις παρακάτω ψηφιακές εφαρμογές στην εργασιακή σας καθημερινότητα;

|  | <b>Καθόλου</b> | <b>Σπάνια</b> | <b>Λιγότερο Σπάνια</b> | <b>Συχνά</b> | <b>Καθημερινά</b> |
|--|----------------|---------------|------------------------|--------------|-------------------|
| Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e – mail).  |                |               |                        |              |                   |
| Εφαρμογές γραφείου (π.χ. Microsoft: Excel, Word, Power Point, Access).   |                |               |                        |              |                   |
| Αναζήτηση δεδομένων και πληροφοριών στο διαδίκτυο.   |                |               |                        |              |                   |
| Χρήση στατιστικών προγραμμάτων για ανάλυση δεδομένων (π.χ. SPSS).  |                |               |                        |              |                   |
| Λογισμικό ενδοεπιχειρησιακού σχεδιασμού (Enterprise resource planning, ERP), όπως το SAP ERP ή Microsoft dynamics 365. |                |               |                        |              |                   |

B. Πόσο σημαντική πιστεύετε ότι είναι η ανάπτυξη των ψηφιακών δεξιοτήτων σας για την εργασία σας;

1. Δεν γνωρίζω
2. Καθόλου σημαντική
3. Λιγότερο σημαντική
4. Σημαντική
5. Πολύ σημαντική

Γ. Πόσο καλά γνωρίζετε τις παρακάτω τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνίας (ICT δεξιότητες) για την εργασία σας;  
*(Οι ICT δεξιότητες (Information and Communication Technology) αναφέρονται στις*

*ικανότητες χρήσης και διαχείρισης τεχνολογικών εργαλείων και πόρων, που σχετίζονται με την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά πληροφοριών, όπως το υπολογιστικό νέφος, η διαχείριση μεγάλων δεδομένων, η μηχανική μάθηση κ.α.).*

|   | <b>Δεν γνωρίζω</b> | <b>Μέτρια</b> | <b>Καλή</b> | <b>Πολύ καλή</b> | <b>Άριστη (πιστοποιημένη δεξιότητα)</b> |
|---|--------------------|---------------|-------------|------------------|---|
| Υπολογιστικό νέφος (Cloud computing).           |                    |               |             |                  |   |
| Ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data Analytics). |                    |               |             |                  |   |
| Μηχανική μάθηση (Machine learning).             |                    |               |             |                  |   |
| Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial intelligence).    |                    |               |             |                  |   |
| Γλώσσες Προγραμματισμού (π.χ. Python).          |                    |               |             |                  |   |
| Θέματα κυβερνοασφάλειας (Cyber security).       |                    |               |             |                  |   |

Δ. Πόσο σημαντική πιστεύετε ότι είναι η ανάπτυξη των ICT δεξιοτήτων σας για την εργασία σας;

1. Δεν γνωρίζω
2. Καθόλου σημαντική
3. Λιγότερο σημαντική
4. Σημαντική
5. Πολύ σημαντική

Ε. Ποια από τα παρακάτω εμπόδια θεωρείτε ότι αντιμετωπίζετε στην ανάπτυξη των ψηφιακών δεξιοτήτων σας και των ICT δεξιοτήτων σας;

|  | <b>Δεν γνωρίζω</b> | <b>Καθόλου σημαντικό</b> | <b>Λιγότερο σημαντικό</b> | <b>Σημαντικό</b> | <b>Πολύ σημαντικό</b> |
|--|--------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|
|--|--------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|

|   |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|
| Έλλειψη χρόνου λόγω προσωπικών υποχρεώσεων ή υπερεργασίας.        |  |  |  |  |  |
| Έλλειψη πρόσβασης σε κατάλληλα εκπαιδευτικά προγράμματα ή πόρους. |  |  |  |  |  |
| Ανασφάλεια ως προς τη τεχνολογική εξέλιξη.                        |  |  |  |  |  |
| Δεν παρέχονται επιβραβεύσεις από το περιβάλλον εργασίας.          |  |  |  |  |  |

*II. ΕΣΝΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ (INTEGRATION OF DIGITAL TECHNOLOGY)*

A. Κάτωθι παρατίθενται προηγμένες τεχνολογικές εφαρμογές αυτοματισμού (με τυχαία ταξινόμηση). Ποια είναι η τρέχουσα κατάσταση υιοθέτησης στην εταιρεία που εργάζεστε για κάθε μία από αυτές τις εφαρμογές;

|  | Δεν γνωρίζω | Δεν χρησιμοποιείται | Χρησιμοποιείται επί του παρόντος | Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια |
|--|-------------|---------------------|----------------------------------|---|
| Προβλεπτική συντήρηση, διαχείριση ενεργειακών πόρων και λήψη αποφάσεων με χρήση αλγόριθμων μηχανικής μάθησης.  |             |                     |                                  |   |
| Βελτιστοποίηση διαδικασιών ή εξοπλισμού μέσω τεχνητής νοημοσύνης.  |             |                     |                                  |   |
| Χρήση Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) για την εικονική αναπαράσταση μιας παραγωγικής διαδικασίας ή ενός καινοτόμου προϊόντος.   |             |                     |                                  |   |
| Χρήση του διαδικτύου πραγμάτων (IoT) για την επικοινωνία μεταξύ όλων των τμημάτων μέσα σε μια βιομηχανία, αλλά και των ενδιαφερόμενων μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο. |             |                     |                                  |   |
| Εξοπλισμός και μηχανήματα αυτοματισμού, όπως ρομπότ (ή cobots) και αισθητήρες (π.χ. RFID).   |             |                     |                                  |   |

B. Κάτωθι παρατίθενται κάποια βασικοί πόροι πληροφορικής (IT resources), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη και την εκτέλεση βασικών και προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών (με τυχαία ταξινόμηση). Ποια είναι η τρέχουσα κατάσταση υιοθέτησης στην εταιρεία που εργάζεστε για κάθε έναν από αυτούς τους πόρους;

|   | Δεν γνωρίζω | Δεν χρησιμοποιείται | Χρησιμοποιείται επί του παρόντος | Υπάρχει σχέδιο να χρησιμοποιηθεί στα επόμενα έξι (6) χρόνια |
|---|-------------|---------------------|----------------------------------|---|
| Υλικό (hardware), όπως υπολογιστές, συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο, αποθηκευτικοί χώροι δεδομένων.   |             |                     |                                  |   |
| Λογισμικό (software), όπως λειτουργικά συστήματα, εφαρμογές γραφείου, βάσεις δεδομένων.   |             |                     |                                  |   |
| Δίκτυα (networks), που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συσκευών και υπολογιστών.                                       |             |                     |                                  |   |
| Ανθρώπινοι πόροι (human resources): εξειδικευμένο προσωπικό που διαχειρίζεται, σχεδιάζει, αναπτύσσει και χρησιμοποιεί τις ψηφιακές τεχνολογίες. |             |                     |                                  |   |

Γ. Με ποιους από τους κάτωθι τρόπους έχει αναπτύξει η εταιρεία που εργάζεστε το λογισμικό και τα συστήματα ψηφιακών εφαρμογών που χρησιμοποιεί;  
(Οι επιλογές σας μπορεί να είναι το πολύ 2).

1. Αναπτύχθηκαν πλήρως εσωτερικά στην εταιρεία.
2. Τροποποίηση (εσωτερικά) εμπορικού λογισμικού ή συστήματος ανοικτού κώδικα, ώστε να προσαρμοστεί στις ανάγκες της εταιρείας.
3. Αγορά έτοιμου προς χρήση λογισμικού ή συστήματος.
4. Πρόσληψη εξωτερικών συμβούλων για την ανάπτυξη λογισμικού ή συστήματος, ώστε να καλύπτει τις ανάγκες της εταιρείας.
5. Δεν χρησιμοποιείται.
6. Δεν γνωρίζω.

Δ. Κάτωθι παρατίθενται κάποια ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ εμπόδια που μπορεί να αντιμετωπίζει μια επιχείρηση στην εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών και προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού (με τυχαία ταξινόμηση) . Πόσο σημαντικά πιστεύετε ότι είναι για την υιοθέτηση των εν λόγω;

|   | Δεν γνωρίζω | Καθόλου σημαντικό | Λιγότερο σημαντικό | Σημαντικό | Πολύ σημαντικό |
|---|-------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------|
| Το κόστος της εφαρμογής και προσαρμογής τους.   |             |                   |                    |           |                |
| Οι πολύπλοκοι αλγόριθμοι και η δυσκολία κατανόησης τους.  |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη δεξιοτήτων μεταξύ του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού.  |             |                   |                    |           |                |
| Δυσκολία εύρεσης εξειδικευμένου προσωπικού για τη χρήση, την ανάπτυξη και τη συντήρηση των εν λόγω εφαρμογών. |             |                   |                    |           |                |
| Ανεπαρκής ή μη συμβατός υπολογιστικός εξοπλισμός.   |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη αποθηκευτικού χώρου για τον μεγάλο όγκο των παραγόμενων δεδομένων.                                    |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη εμπιστοσύνης ως προς τη καταχώριση εμπιστευτικών δεδομένων στις εν λόγω εφαρμογές.                    |             |                   |                    |           |                |



|  | Δεν γνωρίζω | Καθόλου σημαντικό | Λιγότερο σημαντικό | Σημαντικό | Πολύ σημαντικό |
|--|-------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------|
| Ανεπαρκής ενημέρωση σχετικά με τις δυνατότητες και τα οφέλη των εν λόγω εφαρμογών.                               |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη κρατικών επιδοτήσεων, πόρων και υποδομών για την ενίσχυση του ψηφιακού μετασχηματισμού των επιχειρήσεων. |             |                   |                    |           |                |

Ε. Πόσο σημαντικό πιστεύετε ότι είναι για το ανθρώπινο δυναμικό της εταιρείας που εργάζεστε να έχει γνώση των παρακάτω ICT δεξιοτήτων;

|  | Δεν γνωρίζω | Καθόλου σημαντικό | Λιγότερο σημαντικό | Σημαντικό | Πολύ σημαντικό |
|--|-------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------|
| Δεξιότητες μηχανικής μάθησης ή αλγορίθμων.             |             |                   |                    |           |                |
| Δεξιότητες διαχείρισης υπολογιστικού νέφους.           |             |                   |                    |           |                |
| Δεξιότητες διαχείρισης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. |             |                   |                    |           |                |
| Δεξιότητες προγραμματισμού.                            |             |                   |                    |           |                |
| Δεξιότητες ρομποτικής.                                 |             |                   |                    |           |                |

### III. ΚΡΑΤΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ (DIGITAL PUBLIC SERVICES)

Α. Κάτωθι παρατίθενται κάποια ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ εμπόδια που μπορεί να αντιμετωπίζει μια επιχείρηση στην εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών και προηγμένων τεχνολογιών αυτοματισμού (με τυχαία ταξινόμηση). Πόσο σημαντικά πιστεύετε ότι είναι για την υιοθέτηση των εν λόγω;

|   | Δεν γνωρίζω | Καθόλου σημαντικό | Λιγότερο σημαντικό | Σημαντικό | Πολύ σημαντικό |
|---|-------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------|
| Ανάγκη θέσπισης νέων και αυστηρότερων νόμων ή κανονισμών σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων.   |             |                   |                    |           |                |
| Ρυθμιστικοί κανόνες σχετικά με τη χρήση των προηγμένων εφαρμογών, όπως τεχνητή νοημοσύνη.   |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη κρατικών κεφαλαίων για ενίσχυση του ψηφιακού μετασχηματισμού των επιχειρήσεων.  |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη ενημέρωσης και δοκιμαστικών εφαρμογών σχετικά με τις τεχνολογίες αυτοματισμού.  |             |                   |                    |           |                |
| Ανεπαρκής ανάπτυξη ψηφιακών υποδομών, όπως γρήγορες και ευρυζωνικές διαδικτυακές συνδέσεις, ψηφιακές πλατφόρμες και εφαρμογές για την εξυπηρέτηση των επιχειρήσεων. |             |                   |                    |           |                |
| Έλλειψη παροχής κινήτρων και επιβράβευσης για την εκπαίδευση στις ICT δεξιότητες.   |             |                   |                    |           |                |

B. Ποιες από τις παρακάτω ψηφιακές δεξιότητες θα θέλατε να αποκτήσετε ή να βελτιώσετε στο μέλλον;

*(Οι επιλογές σας μπορεί να είναι το πολύ 2).*

1. Εκμάθηση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού.
2. Ανάπτυξη δεξιοτήτων σε λογισμικά ανάλυσης δεδομένων.
3. Εκμάθηση ρομποτικής λογικής και μηχανικής.
4. Ανάπτυξη δεξιοτήτων σε λογισμικά γραφείου.
5. Δεν γνωρίζω.

Γ. Σε ποιους πόρους θα θέλατε να έχετε πρόσβαση για να βελτιώσετε τις ψηφιακές σας δεξιότητες;

*(Οι επιλογές σας μπορεί να είναι παραπάνω από μία).*

1. Εκπαιδευτικά βιβλία και εγχειρίδια.
2. Σεμινάρια και εκπαιδευτικά εργαστήρια.
3. Online μαθήματα και πλατφόρμες μάθησης.
4. Δεν γνωρίζω

#### IV. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

A. Ποιο είναι το φύλο σας;

1. Θήλυ
2. Άρρεν
3. Άλλο

B. Ποια είναι η ηλικία σας;

1. 18 – 24
2. 25 – 34
3. 35 – 44
4. 45 – 54
5. 55+

Γ. Ποιας χώρας είναι ο νόμιμος κάτοχος της εταιρείας που εργάζεστε;

Συμπλήρωση

Δ. Σε ποια περιφέρεια εδρεύει η εταιρεία που εργάζεστε;

Συμπλήρωση

Ε. Πόσους εργαζομένους απασχολεί η εταιρεία που εργάζεστε (συμπεριλαμβανομένου και εσάς);

1. < 10
2. 10 – 49
3. 50 – 249
4. > 250

ΣΤ. Ποια είναι η εργασιακή σας εμπειρία σε έτη;

1. 0 – 4
2. 5 – 9
3. Παραπάνω από 10

Z. Ποιο είναι το εκπαιδευτικό σας επίπεδο;

1. Πρωτοβάθμια / Δευτεροβάθμια εκπαίδευση
2. Τριτοβάθμια εκπαίδευση
3. Μεταπτυχιακός / Διδακτορικός τίτλος

H. Σε ποιο τμήμα της επιχείρησης εργάζεστε;

1. Διοίκηση
2. Πωλήσεις / Μάρκετινγκ
3. Έρευνα και ανάπτυξη νέων προϊόντων (R&D)
4. Ποιοτικός έλεγχος
5. Παραγωγική διαδικασία
6. Λογιστήριο
7. Άλλο: Συμπλήρωση

Θ. Σε ποιον από τους κάτωθι τομείς, θα λέγατε ότι δραστηριοποιείται η εταιρεία που εργάζεστε;

1. Γεωργία
2. Αλιεία
3. Κτηνοτροφία
4. Παραγωγή τροφίμων ζωικής προέλευσης (γαλακτοβιομηχανία, αλλαντοβιομηχανία)
5. Παραγωγή τροφίμων φυτικής προέλευσης (δημητριακά, έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες, συσκευασμένα φρούτα και λαχανικά).
6. Ποτοποιία
7. Υλικά και Αντικείμενα που προορίζονται να έλθουν σε επαφή με τρόφιμα
8. Πρόσθετες ύλες τροφίμων – Τεχνολογικά βοηθήματα – Καρυκεύματα
9. Εταιρεία Logistics
10. Διαχείριση αποβλήτων και ζωικών υποπροϊόντων
11. Χονδρικό εμπόριο
12. Άλλο: Συμπλήρωση

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Abdo Hassoun, A. A.-K.-M. (2022, Φεβρουάριος 03). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*(63), σσ. 6547- 6563. doi:10.1080/10408398.2022.2034735
2. Abdo Hassoun, M. A. (2022, Οκτώβριος 20). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. *Food Research International*(162). doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112068
3. Abdo Hassouna, A. E.-D. (2022, Αύγουστος 05). The fourth industrial revolution in the food industry—part II: Emerging food trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*(64), σσ. 407 - 437. doi:10.1080/10408398.2022.2106472
4. Advance Manufacturing Forum. (n.d.). Standards & Guidelines. Ανάκτηση 09 19, 2024, από Advance Manufacturing Forum: <https://i4amf.aigroup.com.au/streams/standards-guidelines/>
5. Agnes Clare Odimarha, S. A. (2024, Μάρτιος 23). The role of technology in supply chain risk management: Innovations and challenges in logistics. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*(10), σσ. 138 - 145. doi:https://doi.org/10.30574/msarr.2024.10.2.0052
6. Alexandros Koulouris, N. M. (2021, Φεβρουάριος 06). Applications of process and digital twin models for production simulation and scheduling in the manufacturing of food ingredients and products. *Food and Bioproducts Processing*(126), σσ. 317 - 333. doi:https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.016
7. Alfian, G. M. (2020). Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model. *Food Control*(110). doi:10.1016/j.foodcont.2019.107016.
8. Amir Parnianifard, A. Z. (2020). Robust optimal design of FOPID controller for five bar linkage robot in a Cyber-Physical System: A new simulation-optimization approach. *PLOS ONE*(15). doi:10.1371/journal.pone.0242613
9. Anet Režek Jambrak, M. N. (2021, Ιανουάριος 12). Internet of Nonthermal Food Processing Technologies (IoNTP): Food Industry 4.0 and Sustainability. *Applies sciences*(11), σ. 686. doi:https://doi.org/10.3390/app11020686
10. Bong, N. (2022, Απρίλιος 26). The Evolution of Automation. Ανάκτηση 09 22, 2024, από Progressive Automation: [https://www.progressiveautomations.com/blogs/news/the-evolution-of-automation?srsId=AfmBOorSvrIJqKmAvWA8jLE6mgC8-HarcXPt\\_uhhL5TbsRAgpASNvrAD](https://www.progressiveautomations.com/blogs/news/the-evolution-of-automation?srsId=AfmBOorSvrIJqKmAvWA8jLE6mgC8-HarcXPt_uhhL5TbsRAgpASNvrAD)
11. Boreham, J. (2024, Μάιος 17). Top 8 Digital Twin Platforms In 2024. Ανάκτηση 09 25, 2024, από Digital Twin Insider: <https://digitaltwininsider.com/2024/05/17/top-8-digital-twin-platforms-in-2024/>
12. Chunguang Bai, P. D. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*(229). doi:https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776
13. Cristina Orsolin Klingenberg, M. A. (2022, Ιούνιος 07). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technology in Society*(70). doi:https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102009

14. David Gómez-Ríos, R. B.-Z.-E. (2017, Μάρτιος 06). Comparison of process technologies for chitosan production from shrimp shell waste: A techno-economic approach using Aspen Plus. *Food and Bioproducts Processing*(103), σσ. 49-57. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2017.02.010>
15. DELOITTE, Σ. (2020). Ψηφιακά Εφοδιαστικά Δίκτυα. Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ. Ανάκτηση από [https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53335/SEV\\_Deloitte\\_Psifiaka\\_efodiastika\\_diktva.pdf](https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53335/SEV_Deloitte_Psifiaka_efodiastika_diktva.pdf)
16. Denis Pantini, E. D. (2017). LA PROPENSIONE DELL'ALIMENTARE ITALIANO ALL'ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE DI INDUSTRIA 4.0. Roma: Nomisma, Societa di studi economici. Ανάκτηση 09 05, 2024, από <https://www.fondazionemetes.it/wp-content/uploads/2017/04/Industria-4-0-Slide-Pantini-6-4-17.pdf>
17. Devinder Kumar, R. K. (2022, Ιούλιος 14). Applications of the internet of things for optimizing warehousing and logistics operations: A systematic literature review and future research directions. *Computers & Industrial Engineering*(171). doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108455>
18. DONALD J. BOWERSOX, D. J. (2013). LOGISTICS: Εφοδιαστική & Διοίκηση Δικτύων Διανομής (4η εκδ.). New York: McGraw - Hill Companies, Inc.
19. EFFAT, F. (2019). New professions and carrer paths in the food and drink industry: Delivering high - level food industry skills in the digital economy. Βρυξέλλες: EFFAT.
20. ENISA. (2024). ENISA THREAT LANDSCAPE 2024. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). doi:10.2824/0710888
21. Europe, F. D. (2023). Data & Trends EU Food and Drink Idustry. Βρυξέλλες. Ανάκτηση 09 08, 2024, από <https://www.fooddrinkeurope.eu/resource/data-trends-of-the-european-food-and-drink-industry-2023/>
22. European Commision. (2023). Report on the state of the digital decade 2030: Greece. European Union: European Commission. Ανάκτηση 09 05, 2024, από <https://digital-strategy.ec.europa.eu/el/library/2023-report-state-digital-decade>
23. European Commission. (2021). Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe. Luxembourg: European Union. doi:10.2777/17322
24. European Commission. (2022). Digital Economy and Society Index (DESI). European Union: European Commission. Ανάκτηση 09 05, 2024, από <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
25. European Commission. (2023). Road Safety Thematic Report – Professional drivers of trucks and buses. Brussels: European Road Safety Observatory.
26. European Commission. (2024). Digital Decade Country Report 2024: Greece. European Union: European Commission. Ανάκτηση 09 05, 2024, από [Digital\\_Decade\\_country\\_report\\_Greece\\_NSR7Zd99IEc8qYCXEcBnVYAivoM\\_106700](https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-decade-country-report-2024-greece)
27. European Commission. (n.d.). Smart manufacturing. Ανάκτηση 09 19, 2024, από European Commission: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/tools-databases/adma/smes/transformations/smart-manufacturing\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/tools-databases/adma/smes/transformations/smart-manufacturing_en)
28. European Parliament. (2023). Artificial intelligence in the agri-food sector: Applications, risks and impacts. Βρυξέλλες: European Parliamentary Research Service. doi:10.2861/516636

29. Eurostat. (2022, Ιούνιος 09). Smart technologies in EU enterprises: AI and IoT. Ανάκτηση 09 05, 2024, από Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220609-1>
30. Farhadi, F. (2024, Ιανουάριος 07). Top 7 Digital Twin Software in 2024. Ανάκτηση 09 25, 2024, από Neuroject: <https://neuroject.com/digital-twin-software/>
31. Fatima, N. A. (2022). Siamese network-based computer vision approach to detect papaya seed adulteration in black peppercorns. *Journal of Food Processing and Preservation*(46), σσ. 1 - 7. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.16043>
32. FoodDrinkEurope. (2023). DATA & TRENDS: EU Food and Drink Industry. Βέλγιο: FoodDrinkEurope.
33. Global Market Research Matrix. (2024, Φεβρουάριος 27). Top 10 Companies in the IoT in Warehouse Management Industry: Revolutionizing Inventory Control. Ανάκτηση 09 23, 2024, από Global Market Research Matrix: <https://www.linkedin.com/pulse/top-10-companies-iot-warehouse-management-uvggf/>
34. Groover, M. P. (2024, Σεπτέμβριος 06). Automation. Ανάκτηση 09 18, 2024, από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/automation>
35. Groumos, P. P. (2021). A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions. IFAC: Conference on technology, culture and international stability. 54, σσ. 464 - 471. Moscow: IFAC. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>
36. Hajar soleymanizadeh, Q. Q. (2022). Digital Twin Empowering Manufacturing Paradigms: Lean, Agile, Just-In-Time (JIT), Flexible, Resilience, Sustainable. *Procedia Computer Science*, σσ. 1258-1267. doi:10.1016/j.procs.2023.08.114
37. Harsh Dadhaneeya, P. K. (2023, Ιούλιος 13). Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. *Trends in Food Science & Technology*(139). doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.006>
38. Hartmut Kaelble. (n.d.). Η βιομηχανική επανάσταση στην Ευρώπη: Μια γενική εισαγωγή. Ανάκτηση 09 08, 2024, από Shares histories: <https://www.he.duth.gr/sharedhistories/index.php/contents/the-impact-of-the-industrial-revolution/the-impact-of-the-industrial-revolution>
39. History.com Editors. (2023, Μάρτιος 27). Industrial Revolution. Ανάκτηση 09 08, 2024, από HISTORY: <https://www.history.com/topics/industrial-revolution/industrial-revolution>
40. Hogan, M. (2024, Σεπτέμβριος 04). Rain lifts Rhine river levels in Germany but ships still part loaded. (G. Jones, Επιμελητής) Ανάκτηση 09 16, 2024, από Reuters: <https://www.reuters.com/world/europe/rain-lifts-rhine-river-levels-germany-ships-still-part-loaded-2024-09-04/>
41. Hong, I. P. (2014). IoT-based smart garbage system for efficient food waste management. *Scientific World Journal*, σσ. 1 - 13. doi:10.1155/2014/646953
42. IBM. (2023, Δεκέμβριος 08). What is principal component analysis (PCA)? Ανάκτηση 09 06, 2024, από IBM: <https://www.ibm.com/topics/principal-component-analysis>
43. IBM. (n.d.). What is Industry 4.0? Ανάκτηση 09 10, 2024, από IBM: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>
44. International Federation of Robotics. (2023, Σεπτέμβριος 26). World Robotics 2023 Report: Asia ahead of Europe and the Americas. Ανάκτηση 09 05, 2024, από International Federation of Robotics: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas>



45. International Road Transport Union. (2007). European Truck Accident Causation. European Commission.
46. Ipsos Belgium, iCite. (2020). European enterprise survey on the use of technologies based on artificial intelligence. Luxemburg: European Commission. doi:10.2759/759368
47. Jaadi, Z. (2024, Φεβρουάριος 23). Principal Component Analysis (PCA): A Step-by-Step Explanation. Ανάκτηση 09 06, 2024, από Built In: <https://builtin.com/data-science/step-step-explanation-principal-component-analysis>
48. Jagtap, S. a. (2018). Real-time data collection to improve energy efficiency in food manufacturing. International Congress on Organizational Management, Energy Efficiency and Occupational Health and Safety in Agrifood Industry (+AGRO 2018),. Castelo Branco, Portugal. doi:10.5281/zenodo.10036136
49. Josse De Baerdemaeker, S. H.-M.-P. (2023). Artificial intelligence in the agri-food sector. Brussels, European Union: Panel for the Future of Science and Technology - European Parliament. doi:10.2861/516636
50. Karen Hamann, M. G. (2019). NEW PROFESSIONS AND CAREER PATHS IN THE FOOD AND DRINK INDUSTRY: DELIVERING HIGH-LEVEL FOOD INDUSTRY SKILLS IN THE DIGITAL ECONOMY. Brussels: EFFAT, FoodDrinkEurope. Ανάκτηση 09 05, 2024, από <https://fooddrinkeurope-effat-toolbox.eu/wp-content/uploads/2020/03/FoodDrinkEurope-EFFAT-Digitalisation-report.pdf>
51. Kritzinger, W. K. (2018). Digital Twin in man-ufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine(51), σσ. 1016–1022. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
52. Kun Zhou, R. R. (2024, Αύγουστος 21). Special Issue Editorial: Advanced Materials for Additive Manufacturing. Advanced Materials(34). doi:<https://doi.org/10.1002/adma.202410446>
53. Library Automation Direct. (n.d.). History of the PLC. Ανάκτηση 09 22, 2024, από Library Automation Direct: <https://library.automationdirect.com/history-of-the-plc/>
54. Lvivity Team. (2020, Οκτώβριος 09). What is Industry 4.0? Everything You Need to Know About That. Ανάκτηση 09 22, 2024, από Lvivity Team: <https://lvivity.com/what-is-industry-4-0>
55. Lydon, B. (n.d.). Industry 4.0: Intelligent and flexible production. Ανάκτηση 09 19, 2024, από International Society of Automation: InTech: <https://www.isa.org/intech-home/2016/may-june/features/industry-4-0-intelligent-and-flexible-production>
56. Mandl, I. (2021, Δεκέμβριος 15). Automation, Digitisation and Platforms In The World of Work. Ανάκτηση 09 05, 2024, από Eurofound: <https://www.eurofound.europa.eu/en/automation-digitisation-and-platforms-world-work>
57. Matuszak, J. (2022, Μάρτιος 17). Is Your Business Ready for Industry 5.0? Ανάκτηση 09 11, 2024, από KNOWHOW: <https://knowhow.distrelec.com/manufacturing/is-your-business-ready-for-industry-5-0/>
58. McKinsey & Company. (2022, Αύγουστος 17). What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR? Ανάκτηση 09 10, 2024, από McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir>

59. Miguel, P. (2024, Σεπτέμβριος 24). Guide To The 18 Best Digital Twin Software Of 2024. Ανάκτηση 09 25, 2024, από The CTO : <https://thectoclub.com/tools/best-digital-twin-software/>
60. Nevatio Engineering. (2021, Δεκέμβριος 16). What are PLCs? Ανάκτηση 09 22, 2024, από Nevatio Engineering: <https://www.nevatio.com/learn/automation-and-controls/what-are-plcs>
61. Nikhil Gopal, A. A. (2024, Μάρτιος 06). K-means clustering using Python on IBM watsonx.ai. Ανάκτηση 09 06, 2024, από IBM: <https://developer.ibm.com/tutorials/awb-k-means-clustering-in-python/>
62. OECD. (2024, Ιούλιος 19). Enterprises by business size. Ανάκτηση 09 06, 2024, από Organisation for Economic Co-operation and Development: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/enterprises-by-business-size.html>
63. Orzes, G. P. (2020). Implementing industry 4.0 in SMEs: a focus group study on organizational requirements. In: Industry 4.0 for SMEs. Στο Industry 4.0 for SMEs (σσ. 251 - 277). Palgrave Macmillan. doi:10.1007/978-3-030-25425-4\_9
64. Paraskevoopoulos, D. (2022, Οκτώβριος 20). The rise of Industry 4.0 in 5 stats. Ανάκτηση 09 22, 2024, από IOT ANALYTICS: <https://iot-analytics.com/industry-4-0-in-5-stats/>
65. Parikh, R. (2021, Μάρτιος 10). Good Mechatronics Projects for Engineers and Hobbyists. Ανάκτηση 09 12, 2024, από Skyfi Labs: <https://www.skyfilabs.com/blog/good-mechatronics-projects-for-engineers-and-hobbyists>
66. Pieter Verboven, T. D. (2020, Μάρτιος 19). Digital twins of food process operations: the next step for food process models? Current Opinion in Food Science(35), σσ. 79 - 87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.002>
67. Pratik Maheshwari, S. K. (2023, Αύγουστος 24). Digital twin-driven real-time planning, monitoring, and controlling in food supply chains. Technological Forecasting & Social Change(195). doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122799>
68. Rahul Kodan, P. P. (2019, Αύγουστος 28). Internet of Things for Food Sector: Status Quo and. Food Reviews International. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1657442>
69. Revathi Nukala, K. P. (2016). Internet of Things: A review from ‘Farm to Fork’. Conference: 2016 27th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), (σσ. 1 - 6). doi:10.1109/ISSC.2016.7528456
70. Robinson, S. (2024, Φεβρουάριος). Supply chain management (SCM). (D. Daniel, Επιμελητής) Ανάκτηση 09 17, 2024, από TechTarget: <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/supply-chain-management-SCM>
71. Rodríguez, C. &.-H.-M. (2021). Are European Food SMEs ready for Artificial Intelligence? European Union: EIT Food, Azti, AI Talentum. Ανάκτηση 09 05, 2024, από [https://www.eitfood.eu/media/documents/EIT\\_Food\\_Report\\_Are\\_European\\_Food\\_SMEs\\_ready\\_for\\_Artificial\\_Intelligence\\_compressed.pdf](https://www.eitfood.eu/media/documents/EIT_Food_Report_Are_European_Food_SMEs_ready_for_Artificial_Intelligence_compressed.pdf)
72. Sandeep Jagtap, F. B.-G. (2020, Δεκέμβριος 30). Food Logistics 4.0: Opportunities and Challenges. Logistics(5). doi:<https://doi.org/10.3390/logistics5010002>
73. Sandeep Jagtap, G. G.-G. (2021, Φεβρουάριος 05). Optimisation of the resource efficiency of food manufacturing via theInternet of Things. Computers in Industry(127). doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103397>

74. Sandeep Jagtap, G. S. (2021, Μάρτιος 18). An Internet of Things Approach for Water Efficiency: A Case Study of the Beverage Factory. *Sustainability*(13). doi:<https://doi.org/10.3390/su13063343>
75. SAP. (n.d.). Industry 5.0: Adding the human edge to industry 4.0. Ανάκτηση 09 11, 2024, από SAP: <https://www.sap.com/greece/insights/industry-5-0.html>
76. SAP. (n.d.). What is industry 4.0? Ανάκτηση 09 10, 2024, από SAP: <https://www.sap.com/greece/products/scm/industry-4-0/what-is-industry-4-0.html>
77. Sarah Schiffing, N. V. (2022, Σεπτέμβριος 07). 5 challenges facing global supply chains. Ανάκτηση 09 14, 2024, από World Economic Forum: <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/5-challenges-global-supply-chains-trade/>
78. Seng-Kyoun Jo, D.-H. P.-H. (2018). Smart Livestock Farms Using Digital Twin: Feasibility Study. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (σσ. 1461-1463). Jeju, Korea (South): Electronics and Telecommunications Research Institute. doi:10.1109/ICTC.2018.8539516.
79. Sharmin Attaran, M. A. (2024). Digital Twins and Industrial Internet of Things: Uncovering operational intelligence in industry 4.0. *Decision Analytics Journal*(10). doi:<https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100398>
80. Sild, S. (2024, Μάρτιος 31). Top Supply Chain Challenges in 2024. Ανάκτηση 09 14, 2024, από Fractory: <https://fractory.com/supply-chain-challenges-in-2024/>
81. Silva, G. F. (2024, Ιούλιος 31). Microsoft says cyber-attack triggered latest outage. Ανάκτηση 09 21, 2024, από BBC: <https://www.bbc.com/news/articles/c903e793w74o>
82. Simmons, K.-J. (2023, Ιούλιος 06). Supply Chain Statistics: Industry Trends & Turbulence. (M. Brophy, Επιμελήτης) Ανάκτηση 09 17, 2024, από Fit Small Business: <https://fitsmallbusiness.com/supply-chain-statistics/>
83. Singh, D. P. (2009, Αύγουστος 05). *Berkas:Porter Value Chain.png*. Ανάκτηση 09 15, 2024, από Wikipedia: [https://id.m.wikipedia.org/wiki/Berkas:Porter\\_Value\\_Chain.png](https://id.m.wikipedia.org/wiki/Berkas:Porter_Value_Chain.png)
84. Srivastava, S. (2024, Σεπτέμβριος 13). IoT in supply chains and logistics - Benefits, use cases & challenges. Ανάκτηση 09 23, 2024, από Appinventiv: <https://appinventiv.com/blog/iot-in-logistics-and-supply-chain-management/>
85. Suiting Ding, H. W. (2023). Revealing the hidden potentials of Internet of Things (IoT) - An integrated approach using agent-based modelling and system dynamics to assess sustainable supply chain performance. *Journal of Cleaner Production*(421). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138558>
86. Susana Garrido, J. M. (2024, Ιανουάριος 18). Operations Management, Sustainability & Industry 5.0: A critical analysis and future agenda. *Chain, Cleaner Logistics and Supply*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100141>
87. Truein. (2024, Ιούλιος 03). Supply Chain Issues of 2023 and Possible Solutions. Ανάκτηση 09 16, 2024, από Truein: <https://truein.com/supply-chain-issues-and-possible-solutions/>
88. UNESCO. (2023, Απρίλιος 21). Artificial Intelligence: examples of ethical dilemmas. Ανάκτηση 09 21, 2024, από UNESCO: <https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/recommendation-ethics/cases>
89. University of Michigan: Business+Tech. (n.d.). Tech 101: Internet of Things. Ανάκτηση 09 22, 2024, από University of Michigan: Business+Tech: <https://businesstech.bus.umich.edu/uncategorized/tech-101-internet-of-things/>

90. Xun Xu, Y. L.-H. (2021, Οκτώβριος 18). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, σσ. 530 - 535. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
91. Zaman, R. (2023, Νοέμβριος 19). Unfolding Fourth Industrial Revolution - waves of creative destructions. *Ανάκτηση 09 09, 2024, από The waves: Technology, Society and Policy*: <https://www.the-waves.org/2020/07/15/fourth-industrial-revolution/>
92. A3 Association for Advancing Automation. (2019, Δεκέμβριος 02). What are the 4 Types of Collaborative Robots? *Ανάκτηση 09 21, 2024, από A3 Association for Advancing Automation*: <https://www.automate.org/robotics/blogs/what-are-the-4-types-of-collaborative-robots>
93. Αικατερίνη Μαρινάγη, Χ. Σ. (2022). Διαχείριση Γνώσης. Αθήνα: ΚΑΛΛΙΠΟΣ , ΑΝΟΙΚΤΕΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ. doi:<http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-27>
94. Αλέξη Φωτεινή (2020). Διαχείριση κρίσεων και προκλήσεις στην διεθνή εφοδιαστική αλυσίδα. Η περίπτωση ανεφοδιασμού φαρμακευτικών και παρά φαρμακευτικών προϊόντων κατά την έξαρση της πανδημίας του Covid-19. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. *Ανάκτηση 09 14, 2024, από* <http://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/25884>
95. Απέργης, Α. (2020, Οκτώβριος 08). Τι είναι η Αλυσίδα Αξίας του Porter (Porter's Value Chain). *Ανάκτηση 09 15, 2024, από Εγκυκλοπαίδεια Επιχειρήσεων*: <https://businessrev.gr/2020/10/08/ti-einai-i-alytida-axias-toy-porter-value-chain/>
96. ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΛΗΣ, Ι. (2020). ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Πειραιώς. doi:[http://dx.doi.org/10.26267/unipi\\_dione/555](http://dx.doi.org/10.26267/unipi_dione/555)
97. Γιαννατσής, Ι. Δ. (2015). Τεχνολογίες Αυτοματοποίησης και Ψηφιακού Ελέγχου. Στο Σύγχρονες τεχνολογίες κατασκευής με τη βοήθεια Η/Υ (σσ. 181 - 210). Αθήνα: Κάλλιπος, Άνοιχτες Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. doi: <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-572>
98. Ζαφειρόπουλος Κώστας. (2015). Πως γίνεται μια επιστημονική εργασία; (2η εκδ.). Αθήνα: Κριτική ΑΕ.
99. Θεοχάρης, Ε. (2020). Εφαρμογές Βιομηχανικού και Λειτουργικού Ελέγχου. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
100. Καπνουτζής, Μ. (2021). Η εξέλιξη των αυτοματισμών και οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές. Λάρισα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. doi:<http://dx.doi.org/10.26253/heal.uth.10886>
101. ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗΣ, Β. (2022). Ανάπτυξη και υλοποίηση ρομποτικού οχήματος με ασύρματο έλεγχο ελεγχόμενο από μικροελεγκτή. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. doi:<http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-1745>
102. Λέντζου, Μ. (2023). Μετάβαση από τη Βιομηχανία 4.0 στη Βιομηχανία 5.0. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. doi:<http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-4750>
103. Μαζούρα, Α. (2023, Ιανουάριος 19). Τι είναι η εκτεταμένη, η επαυξημένη, η μεικτή και η εικονική πραγματικότητα;. *Ανάκτηση 09 21, 2024, από My science*: <https://myscience.gr/article/ti-einai-i-ektetameni-i-epayximeni-i-meikti-kai-i-eikoniki-pragmatikotita>
104. Μαστραντωνάς, Α. (2023). ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ INDUSTRY 4.0 ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΜΕ ΓΝΩΜΟΝΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ (LOGISTICS 4.0). Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. doi:<http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-4629>
105. Μπάιος, Δ. (2024). ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΑΝΔΗΜΙΑΣ COVID-19 ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΤΕΠΕΙΤΑ ΕΠΟΧΗ.

- Ξάνθη: ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ. Ανάκτηση 09 14, 2024, από <http://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/25205>
106. ΜΠΑΛΤΑΣ, Β. (n.d.). Risk Management με ψηφιακά εργαλεία. TUV Austria.
107. Μπασάς, Β. (2022). Τα Ψηφιακά Δίδυμα στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία έργων. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Ανάκτηση από <https://apothesis.eap.gr/archive/item/170495>
108. Νομική Βιβλιοθήκη. (2024, Ιούλιος 19). Κυβερνοεπιθέσεις, η εντεινόμενη απειλή – Ποιος ήταν μέχρι τώρα ο αντίκτυπος στην Ελλάδα; Πόσο «έτοιμοι» είμαστε;. Ανάκτηση 09 21, 2024, από Νομική Βιβλιοθήκη: <https://daily.nb.org/featured/afieromakynvernoepitheseis-i-enteinomeni-apeili-poios-itan-mechri-tora-o-antiktypos-stin-ellada-poso-etoimoi-eimaste/>
109. Παναγιωτόπουλος, Γ. (2021). 4η Βιομηχανική Επανάσταση: Η πρόκληση της διαχείρισης των νέων συνθηκών από του εκπαιδευτικούς. Αθήνα: ΑΔΕΔΥ. Ανάκτηση από <https://digitalrepository.ekdd.gr/jspui/handle/123456789/932>
110. Παραλόπουλος, Α. (2022). Τεχνητή νοημοσύνη & συμβολή αυτής στην 4η βιομηχανική επανάσταση. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Πειραιώς. doi:[http://dx.doi.org/10.26267/unipi\\_dione/1516](http://dx.doi.org/10.26267/unipi_dione/1516)
111. Παρατηρητήριο Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ. (2020). Ψηφιακά Εφοδιαστικά Δίκτυα. DELOITTE. Ανάκτηση 09 10, 2024, από [https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53335/SEV\\_Deloitte\\_Psifiaka\\_efodiastika\\_diktva.pdf](https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53335/SEV_Deloitte_Psifiaka_efodiastika_diktva.pdf)
112. Πούντζας, Ι. (2021). ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. doi:<http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-987>
113. ΣΑΚΑΤΖΙΑΔΗΣ, Α. (2021). ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ 4Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ. Χίος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Ανάκτηση 09 14, 2024, από <http://hdl.handle.net/11610/22445>
114. ΣΕΒ. (2019). Βιομηχανία 4.0: Οι συμπράξεις και μια ολοκληρωμένη στρατηγική είναι τα κλειδιά της επιτυχίας. Αθήνα: ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ. Ανάκτηση 09 10, 2024, από <https://www.sev.org.gr/ekdoseis/viomichania-4-0-oi-sybraxeis-kai-mia-olo/>
115. Σπανός, Χ. (2023). Συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και διαχείριση δεδομένων από συστήματα IoT σε γεωργικές και απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Αθήνα: Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. doi:<http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-5324>
116. Χατζηγεωργίου, Ν. (n.d.). Αυτοματισμοί Προγραμματιζόμενης Λογικής. Ανάκτηση 09 18, 2024, από Τομέας Ηλεκτρολογίας, Ηλεκτρονικής και Αυτοματισμού: [https://users.sch.gr/nchatzigeo/aytomatismoi\\_programmatizomenis\\_logikis.htm](https://users.sch.gr/nchatzigeo/aytomatismoi_programmatizomenis_logikis.htm)
117. Χατζηδάκης, Α. (2023). Βιομηχανία 5.0: Προκλήσεις και εφαρμογές στη διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων και στη μαζική εξατομίκευση. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης. doi:<https://doi.org/10.26233/heallink.tuc.96594>