



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΤΕΛΕΧΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
(MBA EXECUTIVE)

Διπλωματική Εργασία

Βιομηχανία 4.0: Διερεύνηση της υιοθέτησης της στις Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων

του

ΤΖΙΑΜΠΑΖΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ / MBX21046

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Γκοτζαμάνη Αικατερίνη

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος στη
Διοίκηση Επιχειρήσεων (M.B.A.)

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

Αφιέρωση

Στην Κατερίνα, τη Μαρία και τη Χριστίνα

για την άπειρη υπομονή τους

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κυρία Γκοτζαμάνη Αικατερίνη, της οποίας η καθοδήγηση, οι γνώσεις και οι συμβουλές της συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους διευθυντές και τους υπαλλήλους των εταιριών που συμμετείχαν στην έρευνα για τη συνεργασία και τη συνολική βοήθειά τους κατά τη διάρκεια αυτού του έργου.

Περίληψη

Το παγκόσμιο βιομηχανικό τοπίο έχει αλλάξει βαθιά τα τελευταία χρόνια λόγω των διαδοχικών τεχνολογικών εξελίξεων και καινοτομιών στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτό το νέο βιομηχανικό καθεστώς βελτιώνει τις διαδικασίες παραγωγής και αυξάνει την παραγωγικότητα, επηρεάζοντας το σύνολο κύκλου ζωής του προϊόντος, τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων, την αλλαγή του εργασιακού περιβάλλοντος και αναδιάρθρωση της αγοράς εργασίας. Η έννοια του Industry 4.0 (I4.0) έχει πλέον προκύψει.

Στο τέλος της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, υπήρξε μια υγειονομική κρίση (πανδημία COVID-19) η οποία έφερε γρήγορα και οικονομική κρίση. Αυτή την ιδιαίτερα σοβαρή περίοδο, ο κλάδος των αγροδιατροφών στην Ελλάδα παρουσίασε εντυπωσιακές αντοχές. Είναι πλέον προφανής η σημαντικότητα της βιομηχανίας τροφίμων για την Ελληνική οικονομία. Είναι επίσης υψίστης σημασίας η ενσωμάτωση των νέων αυτών τεχνολογιών I4.0, οι οποίες αυτοματοποιούν και επιταχύνουν τις διαδικασίες παραγωγής, βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων και ελαχιστοποιούν το κόστος παραγωγής.

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζονται οι εννέα τεχνολογικοί πυλώνες του I4.0 σύμφωνα με το Boston Consulting Group και οι προκλήσεις υιοθέτησης τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διάφορα μοντέλα ωριμότητας της υιοθέτησης του I4.0 και η επιλογή του μοντέλου του πανεπιστημίου Warwick για την αξιολόγηση της υιοθέτησης του I4.0 από τις εταιρίες των μελετών περίπτωσης και εκθέτονται οι ωφέλειες του I4.0 ενώ αναλύονται οι βασικοί δείκτες απόδοσης καθώς και η χρήση τους στη βιομηχανία των τροφίμων. Ερευνώνται τρεις εταιρίες περίπτωσης. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ένα μάλλον χαμηλό βαθμό υιοθέτησης των τεχνολογιών I4.0, ο οποίος ίσως να οφείλεται στο ότι οι διοικήσεις των εταιριών ίσως να μην έχουν αναγνωρίσει όσο θα έπρεπε τα οφέλη του I4.0. Οι προκλήσεις της υιοθέτησης κατηγοριοποιούνται σε τεχνολογικές και οργανωτικές. Μια στις τρεις εταιρίες χρησιμοποιεί τεχνολογίες I4.0 για την βελτίωση των βασικών δεικτών απόδοσης.

Λέξεις κλειδιά: Βιομηχανία 4.0, Ωφέλειες του I4.0, Προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0, Μοντέλο ωριμότητας, Βασικοί δείκτες απόδοσης, Βιομηχανία Τροφίμων

Περιεχόμενα

Αφιέρωση.....	i
Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη.....	iii
Περιεχόμενα.....	iv
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	vii
Κατάλογος Εικόνων.....	viii
Εικόνα τίτλου Διπλωματικής Εργασίας.....	ix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αιτιολόγηση της έρευνας.....	1
1.1.1 Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση - Industry 4.0.....	1
1.1.2 Η σημαντικότητα της Βιομηχανίας τροφίμων στην Ελληνική Οικονομία.....	2
1.2 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικές ερωτήσεις.....	5
1.3 Μεθοδολογία.....	8
1.4 Δομή της εργασίας.....	8
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	10
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	10
2.2 Η Βιομηχανία 4.0.....	11
2.2.1 Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση - Big Data and Analytics (BD).....	14
2.2.2 Αυτόνομα Ρομποτικά - Autonomous Robots.....	18
2.2.3 Προσομοίωση - Simulation.....	20
2.2.4 Οριζόντια και Κάθετη ολοκλήρωση συστημάτων- Horizontal and Vertical System Integration.....	22
2.2.5 Το Βιομηχανικό Ιντερνετ Των Πραγμάτων - The Industrial Internet of Things (IIoT).....	25
2.2.6 Κυβερνοασφάλεια - Cybersecurity.....	28
2.2.7 Το Νέφος - The Cloud.....	31
2.2.8 Προσθετική Κατασκευή - Additive Manufacturing (AM).....	37
2.2.9 Επαυξημένη Πραγματικότητα - Augmented Reality (AR).....	39
2.2.10 Λοιπές τεχνολογίες I4.0.....	41
2.3 Οι προκλήσεις της υιοθέτησης της Βιομηχανίας 4.0.....	47
2.3.1 Οι προκλήσεις υιοθέτησης των τεχνολογιών των 9 πυλώνων του I4.0.....	48
2.3.2 Γενικότερες προκλήσεις της Βιομηχανίας 4.0.....	56
2.3.3 Οι προκλήσεις στη βιομηχανία των τροφίμων.....	60
2.4 Ο βαθμός υιοθέτησης (ωριμότητας) της Βιομηχανίας 4.0.....	63
2.5 Οι ωφέλειες του I4.0 και βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI).....	73
2.5.1 Οι ωφέλειες της υιοθέτησης του I4.0.....	73
2.5.2 Οι ωφέλειες της υιοθέτησης του I4.0 στη βιομηχανία των τροφίμων.....	77
2.5.3 Βασικοί δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators, KPI).....	81
2.5.4 Οι βασικοί δείκτες απόδοσης στη βιομηχανία των τροφίμων.....	84
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	87
3.1 Στρατηγική έρευνας.....	87

3.2	Επιλογή δείγματος.....	88
3.3	Συλλογή δεδομένων	89
3.4	Εγκυρότητα και αξιοπιστία	92
3.5	Ηθική.....	94
4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ	96
4.1	Δημογραφικά στοιχεία της έρευνας	98
4.2	Χρήση τεχνολογιών I4.0 και βαθμός υιοθέτησης τους	98
4.2.1	Περίπτωση Α.....	98
4.2.2	Περίπτωση Β.....	103
4.2.3	Περίπτωση Γ	108
4.3	Προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0	112
4.3.1	Περίπτωση Α.....	112
4.3.2	Περίπτωση Β.....	113
4.3.3	Περίπτωση Γ	113
4.4	Χρήση δεικτών απόδοσης και η στοχευμένη χρήση των τεχνολογιών I4.0 ως εργαλείο βελτίωσής τους.....	114
4.4.1	Περίπτωση Α.....	115
4.4.2	Περίπτωση Β.....	115
4.4.3	Περίπτωση Γ	116
4.5	Ανάλυση διασταύρωσης των περιπτώσεων	116
4.5.1	Χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και βαθμός υιοθέτησης του I4.0 σε τεχνολογικό και στρατηγικό-οργανωτικό επίπεδο.....	117
4.5.2	Οι προκλήσεις της υιοθέτησης του I4.0	120
4.5.3	Δείκτες απόδοσης και η χρήση των τεχνολογιών I4.0 για τη βελτίωσή τους	122
4.6	Ερμηνεία Ευρημάτων.....	123
4.6.1	Βαθμός υιοθέτησης του Industry 4.0 των μελετών περίπτωσης	123
4.6.2	Προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0	124
4.6.3	Δείκτες απόδοσης και η χρήση των τεχνολογιών I4.0 για τη βελτίωσή τους	125
4.7	Συμπεράσματα	125
4.7.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων της έρευνας με αντίστοιχα στη βιβλιογραφία.....	125
4.7.2	Θεωρητική Συμβολή	128
4.7.3	Περιορισμοί και γενίκευση της έρευνας	129
4.7.4	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	130
	Βιβλιογραφία	131
	Προσάρτημα 1. Ερωτήσεις συνεντεύξεων	143
	Προσάρτημα 2. Ερωτηματολόγιο	145

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Σχέδια ψηφιακού μετασχηματισμού (προς I4.0) των πιο ανεπτυγμένων βιομηχανικά κρατών.	2
Πίνακας 2. Βασικά διαρθρωτικά στοιχεία στους κυριότερους κλάδους της μεταποίησης.	3
Πίνακας 3. Ορισμοί της Βιομηχανίας 4.0.	13
Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας μεταξύ IoT και ΠoT.	27
Πίνακας 5. Μοντέλα ωριμότητας.	65
Πίνακας 6. Διάσταση «κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες».	70
Πίνακας 7. Διάσταση «στρατηγική και οργάνωση».	71
Πίνακας 8. Διάσταση «κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες» τροποποιημένη.	72
Πίνακας 9. Ωφέλειες την Βιομηχανίας 4.0.	76
Πίνακας 10. Σύνοψη των υπάρχουσών εφαρμογών I4.0 στη ψηφιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.	80
Πίνακας 11. Βασικοί KPI για τις βιομηχανίες.	82
Πίνακας 12. KPI του εργοστασίου πριν (2017) και μετά (2018) την εφαρμογή τεχνολογιών I4.0. .	83
Πίνακας 13. Προτεινόμενοι δείκτες κρι από εταιρίες συμβούλων.	85
Πίνακας 14. Στοιχεία δείγματος της έρευνας.	88
Πίνακας 15. Κριτήρια ποιότητας των ερευνητικών σχεδιασμών.	94
Πίνακας 16. Περίγραμμα ανάλυσης.	96
Πίνακας 17. Χρήση τεχνολογιών I4.0 στις μελέτες περίπτωσης.	117
Πίνακας 18. Επίπεδο ωριμότητας μελετών Περίπτωσης στην τεχνολογική διάσταση.	118
Πίνακας 19. Επίπεδο ωριμότητας των μελετών Περίπτωσης στη στρατηγική/Οργανωτική διάσταση.	119
Πίνακας 20. Σύνοψη των προκλήσεων από τη διασταυρούμενη ανάλυση.	121
Πίνακας 21. Συσχέτιση μεταξύ τεχνολογικής και στρατηγικές ωριμότητας I4.0 των περιπτώσεων.	123
Πίνακας 22. Υιοθέτηση τεχνολογιών I4.0, μετά από επιβεβαιωτική παραγοντική ανάλυση (CFA).	126

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Α.Π.Α Παραγωγής ανά τομέα* ως % ΑΕΠ.	4
Διάγραμμα 2. Πωλήσεις ελληνικού εταιρικού τομέα 2020, % ετήσια μεταβολή.....	5
Διάγραμμα 3. Μέσες αξιολογήσεις για τεχνολογικά οφέλη και προκλήσεις, κανονικοποιημένα. ...	60
Διάγραμμα 4. Ανάπτυξη όγκου παραγωγής και ποικιλία παραλλαγών.	77
Διάγραμμα 5. Ποσοστό του ακαθάριστου σχηματισμού πάγιου κεφαλαίου της βιομηχανίας σε μηχανήματα & εξοπλισμό στο σύνολο της οικονομίας.	127

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Μια επισκόπηση των τεσσάρων βιομηχανικών επαναστάσεων	10
Εικόνα 2. Οι 9 πυλώνες της Βιομηχανίας 4.0.	14
Εικόνα 3. Εφευρέσεις αυτόνομων ρομπότ.	20
Εικόνα 4. Ιστορική Εξέλιξη της Προσομοίωσης.	21
Εικόνα 5. Οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση.	24
Εικόνα 6. Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με το IoT.	26
Εικόνα 7. Τα μοντέλα του Cloud computing.	33
Εικόνα 8. Το μοντέλο του κατασκευαστικού νέφους (CMfg).	35
Εικόνα 9. Κατασκευή εξαρτήματος από πλαστικό με τη μέθοδο FDM.	38
Εικόνα 10. Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας στη συντήρηση.	41
Εικόνα 11. Γενική δομή ενός κυβερνοφυσικού συστήματος.	42
Εικόνα 12. Το μοντέλο του έξυπνου εργοστασίου.	46
Εικόνα 13. Το ψηφιακό δίδυμο σύμφωνα με την NASA.	47
Εικόνα 14. Αναπαράσταση της πρόκλησης της Διαλειτουργικότητας του IoT.	52
Εικόνα 15. Ψηφιακή συλλογή δεδομένων θερμικής επεξεργασίας προϊόντος.	99
Εικόνα 16. Συλλογή δεδομένων σε βάση δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση.	99
Εικόνα 17. Εισαγωγή δεδομένων συντήρησης/επισκευής μηχανήματος σε βάση δεδομένων από έντυπο.	100
Εικόνα 18. Απομακρυσμένη παρακολούθηση του αποθέματος της πρώτης ύλης που βρίσκεται σε δεξαμενές αποθήκευσης (αριστερά) και θερμοκρασιών ψυγείων (δεξιά).	101
Εικόνα 19. Συλλογή δεδομένων θερμοκρασίας κατά την επεξεργασία προϊόντος.	104
Εικόνα 20. Απομακρυσμένη παρακολούθηση γραμμής παραγωγής.	106
Εικόνα 21. Σύστημα ελέγχου σπινθήρων.	106
Εικόνα 22. Παρακολούθηση ενεργειακής απόδοσης (συνημίτονου) και καταναλώσεων του εργοστασίου.	107
Εικόνα 23. Ψηφιακή συλλογή δεδομένων θερμικής επεξεργασίας και μεταφορά τους μέσω SD card προς αποθήκευση σε ειδικό λογισμικό.	108
Εικόνα 24. Απομακρυσμένη παρακολούθηση θερμοκρασιών ψυγείων.	110
Εικόνα 25. Υπηρεσίες virtual network drive στο νέφος.	111
Εικόνα 26. Εθνικά προγράμματα μετασχηματισμού της βιομηχανίας στην ΕΕ.	127

Εικόνα τίτλου Διπλωματικής Εργασίας



Η εικόνα είναι φανταστική και δημιουργήθηκε με πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο μετατρέπει απλό κείμενο («robots in food factory») σε εικόνα.

<https://tinyurl.com/m4verxn>

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αιτιολόγηση της έρευνας

Η Τέταρτη Βιομηχανική επανάσταση είναι η ενοποίηση των τεχνολογιών του αυτοματισμού και πληροφορικής στη βιομηχανία, σκιαγραφώντας την παραγωγή του αύριο. Από την άλλη, οι βιομηχανίες τροφίμων στην Ελλάδα αποτελούν ένα οχυρό για την οικονομία που αντέχει σε ισχυρές προκλήσεις όπως ο Covid-19. Αυτή η εργασία επιχειρεί να εξετάσει την κατάσταση της ψηφιοποίησης (I4.0) στις Ελληνικές Βιομηχανίες τροφίμων, εστιάζοντας στις τεχνολογίες I4.0.

1.1.1 Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση - Industry 4.0

Το παγκόσμιο βιομηχανικό τοπίο έχει αλλάξει βαθιά τα τελευταία χρόνια λόγω των διαδοχικών τεχνολογικών εξελίξεων και καινοτομιών στις διαδικασίες παραγωγής. Αυτό το νέο βιομηχανικό καθεστώς συγκεντρώνει τον ψηφιακό και φυσικό κόσμο μέσω των Κυβερνοφυσικών Συστημάτων (CPS) που ενισχύονται από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και αναμένεται να έχει συνέπειες στη βιομηχανία, τις αγορές και την οικονομία. Βελτιώνει τις διαδικασίες παραγωγής και αυξάνει την παραγωγικότητα, επηρεάζοντας το σύνολο κύκλου ζωής του προϊόντος, τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων, την αλλαγή του εργασιακού περιβάλλοντος και αναδιάρθρωση της αγοράς εργασίας. Η έννοια του Industry 4.0 (I4.0) έχει πλέον προκύψει. Ο όρος «Industry 4.0» σημαίνει την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, με στόχο την αυτοματοποίηση και τις ανταλλαγές δεδομένων μεταξύ των συστημάτων (Lasi *et al.*, 2014). Οι Zhou, Liu και Zhou (2015) όρισαν το Industry 4.0 ως την ενοποίηση των τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών με τη βιομηχανική τεχνολογία. Σύμφωνα με τους Pereira και Romero (2017), το Industry 4.0 θα οδηγήσει σε πιθανές βαθιές αλλαγές σε αρκετούς τομείς που υπερβαίνουν τον βιομηχανικό τομέα: η εφαρμογή του θα έχει επιπτώσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας (chain value), βελτιώνοντας τις διαδικασίες παραγωγής και μηχανικής, βελτιώνοντας την ποιότητα προϊόντων και υπηρεσιών, βελτιστοποιώντας τη σχέση μεταξύ πελατών και οργανισμών, φέρνοντας νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες και οικονομικά οφέλη, αλλάζοντας τις απαιτήσεις εκπαίδευσης και μεταμορφώνοντας το τρέχον εργασιακό περιβάλλον. Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο έχουν συνειδητοποιήσει πλέον τη σημασία αυτής της νέας

γενιάς τεχνολογιών παραγωγής και μεταποίησης με ενεργές πρωτοβουλίες, συμπεριλαμβανομένης της ενημέρωσης, των σχεδίων δράσης και υποστήριξης, μέσω επενδύσεων σε υποδομές, επιδοτήσεων και φορολογικών οφελών για τη διευκόλυνση της υλοποίησής της στις εταιρείες. Αυτά τα σχέδια ψηφιακού μετασχηματισμού (Πίνακας 1) αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Country	Industrial plan	Reference
Germany	High-Tech Strategy 2020	Kagermann et al. (2013b)
France	<i>La Nouvelle France Industrielle</i> (The New Industrial France)	Conseil National de l'Industrie (2013)
United Kingdom	Future of Manufacturing	Foresight (2013)
United States	Advances Manufacturing Partnership	Rafael et al., 2014)
China	Made in China 2025	State Council of China, 2015)
Singapore	Research, Innovation and Enterprise	National Research Foundation (2016)
South Korea	Innovation in Manufacturing 3.0	Kang et al. (2016)
Italy	<i>Impresa 4.0</i>	Ministero dello Sviluppo Economico (2017)

Πίνακας 1. Σχέδια ψηφιακού μετασχηματισμού (προς το 14.0) των πιο ανεπτυγμένων βιομηχανικά κρατών.

Πηγή: (Büchi, Cugno and Castagnoli, 2020)

1.1.2 Η σημαντικότητα της Βιομηχανίας τροφίμων στην Ελληνική Οικονομία

Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες της μεταποίησης στην Ελλάδα και παραμένει βασικός μοχλός για την ανάπτυξη παραγωγικών δραστηριοτήτων και της ίδιας της χώρας. Η ελληνική βιομηχανία τροφίμων και ποτών είναι ένας δυναμικός και ανταγωνιστικός κλάδος, από τους σημαντικότερους στην εγχώρια οικονομία. Χαρακτηρίζεται από μεγάλες επενδύσεις, με προοπτικές ανάπτυξης, έντονη εξωστρέφεια και έντονη επιχειρηματική δραστηριότητα (IOBE, 2020). Η εγχώρια βιομηχανία τροφίμων και ποτών καλύπτει περίπου το 30% του συνόλου των επιχειρήσεων της ελληνικής μεταποίησης, γεγονός που την κατατάσσει πρώτη ανάμεσα στους κλάδους της μεταποίησης, ενώ ταυτόχρονα συνιστά και τον μεγαλύτερο εργοδότη της εγχώριας μεταποίησης, αφού σε αυτόν απασχολείται άνω του το 35% του συνόλου των απασχολούμενων (Πίνακας 2). Σε σύγκριση με την ΕΕ-27 κατά μέσο όρο, ο τομέας των τροφίμων και ποτών στην Ελλάδα έχει μεγαλύτερη συμβολή στον τομέα της μεταποίησης, όσον αφορά τον αριθμό των επιχειρήσεων και τον αριθμό των απασχολούμενων, καθώς

είναι πρώτος σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες και δεύτερος στον κύκλο εργασιών.

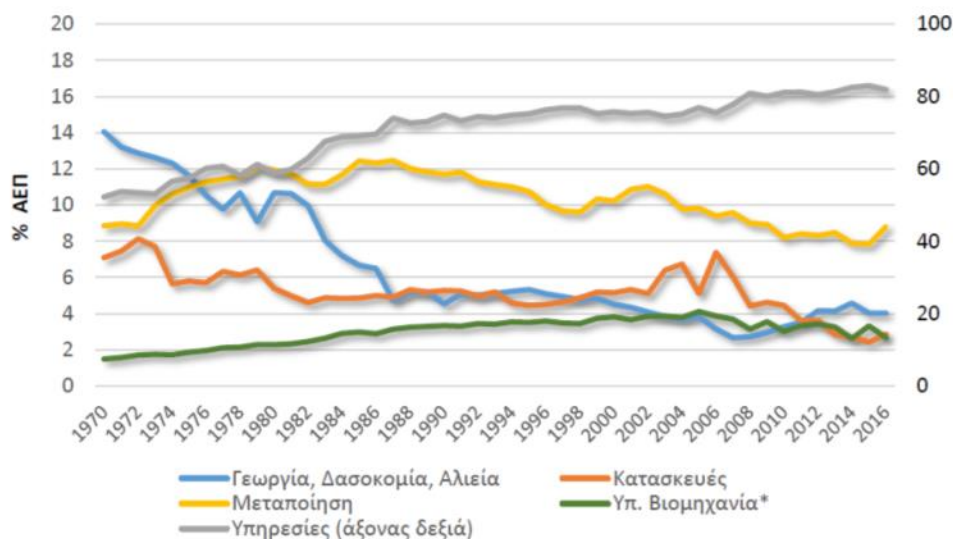
Αριθμός επιχειρήσεων			
Ελλάδα		ΕΕ-27	
Μεταποίηση (57.061 επιχ.)	100,0%	Μεταποίηση (2.025.318 επιχ.)	100,0%
Τρόφιμα-Ποτά	28,5%	Μεταλλικά προϊόντα	18,8%
Μεταλλικά προϊόντα	13,9%	Τρόφιμα-Ποτά	14,3%
Άλλοι τομείς μεταποίησης	7,5%	Επισκευή μηχανημάτων και εξοπλισμού	9,9%
Είδη ένδυσης	7,0%	Προϊόντα ξύλου	7,9%
Επισκευή μηχανημάτων και εξοπλισμού	6,8%	Άλλοι τομείς μεταποίησης	7,4%
Κύκλος εργασιών			
Ελλάδα		ΕΕ-27	
Μεταποίηση (€60.904 εκατ.)	100,0%	Μεταποίηση (€7.700.014 εκατ.)	100,0%
Οπτόανθρακας και προϊόντα δύλισης	29,6%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	14,4%
Τρόφιμα-Ποτά	25,6%	Τρόφιμα-Ποτά	14,2%
Παραγωγή βασικών μετάλλων	5,1%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	9,1%
Μεταλλικά προϊόντα	4,1%	Μεταλλικά προϊόντα	7,8%
Χημικά προϊόντα	4,1%	Οπτόανθρακας και προϊόντα δύλισης	6,6%
Αριθμός εργαζομένων			
Ελλάδα		ΕΕ-27	
Μεταποίηση (357.764 εργαζόμενοι)	100,0%	Μεταποίηση (29.892.974 εργαζόμενοι)	100,0%
Τρόφιμα-Ποτά	36,8%	Τρόφιμα-Ποτά	15,1%
Μεταλλικά προϊόντα	6,2%	Μεταλλικά προϊόντα	12,0%
Πλαστικά	4,3%	Κατασκευή μηχανημάτων και ειδών εξοπλισμού	10,0%
Έπιπλα	3,8%	Κατασκευή μηχανοκίνητων οχημάτων	8,6%
Εκτυπώσεις	3,6%	Προϊόντα από καουτσούκ και πλαστικό	5,6%

Πίνακας 2. Βασικά διαρθρωτικά στοιχεία στους κυριότερους κλάδους της μεταποίησης.

Πηγή: Eurostat, Structural Business Statistics; ΕΕΔ-ΕΛΣΤΑΤ, Επεξεργασία στοιχείων: IOBE

Το μεγαλύτερο μερίδιο του ελληνικού κλάδου τροφίμων και ποτών στη μεταποίηση αντανακλά αφενός την εγχώρια δυναμική του, και αφετέρου την εγγύηση σταθερότητας της ανάπτυξης.

Η σημαντικότητα του κλάδου της μεταποίησης για την Ελληνική οικονομία είναι εμφανής από το παρακάτω διάγραμμα.



Πηγή: EUROSTAT, Ameco Database, Επεξεργασία: IOBE

*Περιλαμβάνονται τα Ορυχεία, Λατομεία και η Παροχή Ηλ. Ρεύματος και Νερού

Διάγραμμα 1. Α.Π.Α Παραγωγής ανά τομέα ως % ΑΕΠ.*

Πηγή: (Βέττας et al., 2017)

Ο τομέας των υπηρεσιών κατέχει τα πρωτεία με τον τουρισμό, ενώ οι επιδόσεις της χώρας στον τομέα της μεταποίησης έπονται, δείχνοντας ότι υπάρχουν πολλά περιθώρια για βελτίωση.

Στο τέλος της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, υπήρξε μια υγειονομική κρίση (πανδημία COVID-19) η οποία έφερε γρήγορα και οικονομική κρίση (Susskind and Vines, 2020), με αποτέλεσμα οι επιχειρήσεις να επιστρέψουν σε μια κατάσταση περιορισμένης ζήτησης και υψηλού κόστους. Αυτή την ιδιαίτερα σοβαρή περίοδο, ο κλάδος των αγροδιατροφών παρουσίασε εντυπωσιακές αντοχές, με ελαφρά αύξηση του τζίρου, ενώ ο υπόλοιπος κλάδος υποχώρησε κατά 14% (Διάγραμμα 2). Η κύρια στήριξη του κλάδου είναι η ανάπτυξη των εξαγωγών (τρόφιμα και ποτά αυξήθηκαν κατά 11% έναντι 3% για τα συνολικά προϊόντα), η οποία χαρακτηρίζεται από εξαγωγικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των φρούτων - λαχανικών και γαλακτοκομικών προϊόντων, και από νέους προορισμούς, με διείσδυση σε ανεπτυγμένα αγορές στην Ευρώπη, συνεχίζοντας έτσι την αυξητική πορεία μιας επιτυχημένης στρατηγικής της περασμένης δεκαετίας (Βουμβάκη, Κουτούζου and Γιούρας, 2021).



Διάγραμμα 2. Πωλήσεις ελληνικού εταιρικού τομέα 2020, % ετήσια μεταβολή.

Πηγή: (Βουμβάκη, Κουτούζου and Γιούρας, 2021)

Είναι πλέον προφανής η σημαντικότητα της βιομηχανίας τροφίμων για την Ελληνική οικονομία. Είναι επίσης υψίστης σημασίας η ενσωμάτωση των νέων αυτών τεχνολογιών I4.0, οι οποίες αυτοματοποιούν και επιταχύνουν τις διαδικασίες παραγωγής, βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων και ελαχιστοποιούν το κόστος παραγωγής (Sisinni *et al.*, 2018). Με δεδομένο και τη σχετική έλλειψη στη βιβλιογραφία, αυτή η εργασία επιχειρεί να εξετάσει την κατάσταση της ετοιμότητας ψηφιοποίησης (I4.0) στις Ελληνικές Βιομηχανίες τροφίμων, εστιάζοντας στις τεχνολογίες I4.0, οι οποίες υποστηρίζουν τη διοίκηση να λειτουργεί πιο αποτελεσματικά την επιχείρηση και να λαμβάνει καλύτερες αποφάσεις.

1.2 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικές ερωτήσεις

Δεδομένου ότι το φαινόμενο και η έννοια του Industry 4.0 είναι σχετικά νέα και μη καθιερωμένη, εξακολουθεί να είναι μια ασαφής έννοια και αναπτύσσεται συνεχώς. Υπάρχουν αρκετοί ορισμοί του Industry 4.0 και δεν υπάρχει καμία συσχέτιση σχετικά με τις οριοθετήσεις του. Αν και μελέτες όπως οι Rüßmann *et al* (2015), Erboz (2017), Pereira and Romero (2017), Santos, Charrua-Santos and Lima (2018), Mamad (2018) και άλλοι προσπαθούν να δημιουργήσουν μια επισκόπηση του Industry 4.0, οι διαφορές στην εξάπλωση και την εφαρμογή των τεχνολογιών I4.0 εξακολουθεί να είναι ένα θέμα που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Επί του παρόντος δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που να συσχετίζουν τον κλάδο της μεταποίησης των τροφίμων, με την υιοθέτηση και την εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0. Οι έρευνες σχετικά με την εφαρμογή των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 στη βιομηχανία των τροφίμων αυξήθηκαν από μόλις 2

δημοσιεύσεις το 2015 σε περισσότερες από 50 το 2021 (Hassoun *et al.*, 2022). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την αυξημένη ευαισθητοποίηση σχετικά με τις δυνατότητες των τεχνολογιών Industry 4.0 και των ψηφιακών λύσεων, ώστε να συμβάλλουν στη βιωσιμότητα των παραγωγικών μονάδων μεταποίησης τροφίμων. Κατά συνέπεια, η σχέση μεταξύ των αναγκών του κλάδου των τροφίμων και των συγκεκριμένων υλοποιήσεων της I4.0 δεν είναι ακόμα σαφής.

Μελέτες έχουν επισημάνει τις προκλήσεις της εφαρμογής του Industry 4.0. Οι Lee, Zhang και Ng (2017) βρήκαν τρεις κύριες προκλήσεις για την υιοθέτηση του έξυπνου εργοστασίου (Smart Factory). Πρώτον, μεγάλος αριθμός και τύποι συσκευών IoT, δεύτερον, η μεγάλη έκταση ανταλλαγής δεδομένων και τρίτον, η δημιουργία και συντήρηση αξιόπιστων πλατφορμών cloud. Επιπλέον, φαίνεται να υπάρχει ευρεία συναίνεση ότι οι ανησυχίες για την ασφάλεια και το απόρρητο είναι οι κύριες προκλήσεις για την υιοθέτηση του IoT (Haddud *et al.*, 2017). Ένα άλλο ζήτημα που έχει επισημανθεί είναι η έλλειψη συμβατότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων IIoT που μπορεί να λειτουργήσει και αποθαρρυντικά για την υιοθέτηση του (Arnold and Voigt, 2019). Μια άλλη μελέτη ανέφερε ότι το υψηλό κόστος υιοθέτησης μπορεί να θεωρηθεί ως η κύρια εσωτερική πρόκληση, ενώ η έλλειψη ειδικευμένων εργαζομένων θεωρήθηκε ως η κύρια εξωτερική πρόκληση για την υιοθέτηση του Industry 4.0 (Tortorella and Fettermann, 2018). Όσο αφορά το μάνατζμεντ, η Deloitte (2018) αναφέρει ότι τα στελέχη κατανοούν ότι πρέπει να επενδύσουν στην τεχνολογία για να δημιουργήσουν νέα επιχειρηματικά μοντέλα. Ωστόσο, λόγω έλλειψης σαφούς εσωτερικής στρατηγικής και βραχυπρόθεσμης προσέγγισης, δυσκολεύονται να εφαρμόσουν πλήρως τις ευκαιρίες που προσφέρει η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση στις εταιρείες τους. Η υιοθέτηση της τεχνολογίας Industry 4.0 απαιτεί βαθιές αλλαγές μέσα σε έναν οργανισμό. Το πρόβλημα είναι ότι η βιβλιογραφική ανασκόπηση δείχνει ότι οι προκλήσεις για την υιοθέτηση της τεχνολογίας Industry 4.0 στις διαδικασίες παραγωγής δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί και εντοπιστεί διεξοδικά. Δεδομένου ότι η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση έχει ήδη ξεκινήσει, είναι ζωτικής σημασίας για τις εταιρίες να είναι προετοιμασμένες, ώστε να διατηρήσουν την ανταγωνιστική τους θέση στην αγορά (Pereira and Romero, 2017). Για να είναι προετοιμασμένες οι εταιρίες για αυτές τις αλλαγές, είναι σημαντικό να εντοπιστούν οι προκλήσεις της υιοθέτησης.

Οι Strozzi, et al. (2017) αναφέρουν ότι οι αλλαγές στις διαδικασίες παραγωγής λόγω των νέων τεχνολογιών παραγωγής έχουν παραβλεφθεί από την έρευνα. Ως εκ τούτου, οι συγγραφείς προτείνουν τη μελέτη των προκλήσεων που επηρεάζουν την υιοθέτηση των Smart Factories. Η μελέτη υπογραμμίζει ότι οι οργανωσιακές πτυχές της υιοθέτησής του έχουν παραμεληθεί, ενώ οι διοικητικές πτυχές και οι διαφορετικές απαιτήσεις έχουν μελετηθεί μόνο σε εννοιολογικό επίπεδο. Η υιοθέτηση του Industry 4.0 θα απαιτήσει προσαρμογές σε όλες τις βασικές διαδικασίες σε μια παραγωγική μονάδα. Προηγούμενες μελέτες έχουν επισημάνει προκλήσεις για την προσαρμογή από τεχνολογική, οργανωτική, και οικονομική προοπτική, κυρίως σε εννοιολογικό επίπεδο. Όπως αναφέρουν οι Pereira και Romero (2017), είναι σημαντικό για τις εταιρείες να γνωρίζουν τις κύριες απαιτήσεις της υιοθέτησης του Industry 4.0.

Το Industry 4.0 θεωρείται ως το επόμενο βήμα εξέλιξης της παραγωγής και συνδέεται με πολλές δυνατότητες. Αυτό το εξελικτικό βήμα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη ψηφιοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Ωστόσο, λίγα είναι γνωστά για το πώς οι βιομηχανίες βλέπουν τη θετική συμβολή των τεχνολογιών 4.0 στην απόδοση της βιομηχανίας. Παραδείγματα για τέτοιες δυνατότητες είναι καλύτερος έλεγχος της πολυπλοκότητας και η μείωση του χρόνου παραγωγής και R&D. Οι Bonte *et al.* (2020) αναφέρουν ότι οι τεχνολογίες I4.0 μπορούν να δημιουργήσουν 8,5% εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους, η οποία ισοδυναμεί με \$200 έως \$600 ανά τετραγωνικό μέτρο ετησίως για ένα εργοστάσιο ή βιομηχανικό χώρο. Στον έλεγχο της παραγωγής, υπάρχει ένα πλήθος διαφορετικών δεικτών απόδοσης, γνωστά και ως Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (key performance indicators -KPIs). Οι βασικοί δείκτες απόδοσης είναι κρίσιμοι για την κατανόηση της απόδοσης του οργανισμού και για τη λήψη αποφάσεων. Χρησιμοποιούνται σχεδόν από όλους τους τύπους επιχειρήσεων, από τους μανάτζερ, για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας στην επίτευξη στρατηγικών και επιχειρησιακών στόχων (Bishop, 2018).

Ο **στόχος** αυτής της εργασίας είναι ο εντοπισμός των αναδυόμενων τεχνολογιών της ψηφιοποίησης και ποιες από αυτές υιοθετούνται στον κλάδο της βιομηχανίας των τροφίμων. Επιπλέον, η εργασία σκοπό έχει να εντοπίσει και να αναλύσει πιθανές δυσκολίες της υιοθέτησης της Βιομηχανίας 4.0. Επειδή οι αλλαγές γίνονται με σκοπό την βελτίωση,

θα προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε τα πιθανά οφέλη αυτών των τεχνολογιών και ποιους συγκεκριμένους δείκτες απόδοσης ενδιαφέρονται να βελτιώσουν οι βιομηχανίες τροφίμων.

Για την εκπλήρωση των παραπάνω στόχων τέθηκαν τα κάτωθι ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4 εφαρμόζονται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων και ποιος είναι ο βαθμός διείσδυσης τους;
2. Ποιες είναι οι προκλήσεις της υιοθέτησης της Βιομηχανίας 4.0;
3. Ποιους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI) επιδιώκουν να βελτιώσουν Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων με την υιοθέτηση του I4.0;

1.3 Μεθοδολογία

Για να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα, έχει επιλεγθεί η μέθοδος της μελέτης περίπτωσης. Η μέθοδος μελέτης περίπτωσης επιτρέπει την έρευνα σε πληθώρα δεδομένων της υπόθεσης παρά τον μικρό αριθμό περιπτώσεων (Eisenhardt, 1989). Η εφαρμογή των τεχνολογιών Industry 4.0 μελετήθηκε σε τρεις διαφορετικές βιομηχανίες τροφίμων, διεξάγοντας έτσι μια μελέτη πολλαπλών περιπτώσεων. Επιπλέον, για να διασφαλιστεί η εγκυρότητα, η ποιότητα και η αξιοπιστία της έρευνας, υιοθετείται σε αυτή την έρευνα τριγωνοποίηση της συλλογής δεδομένων μέσω συνεντεύξεων, άμεσων παρατηρήσεων και ερωτηματολογίων (Yin, 2018). Η τριγωνοποίηση με τη διεξαγωγή άμεσων παρατηρήσεων, συμβάλλει στη μείωση της προκατάληψης (bias) από τις συνεντεύξεις (Patton, 2015).

1.4 Δομή της εργασίας

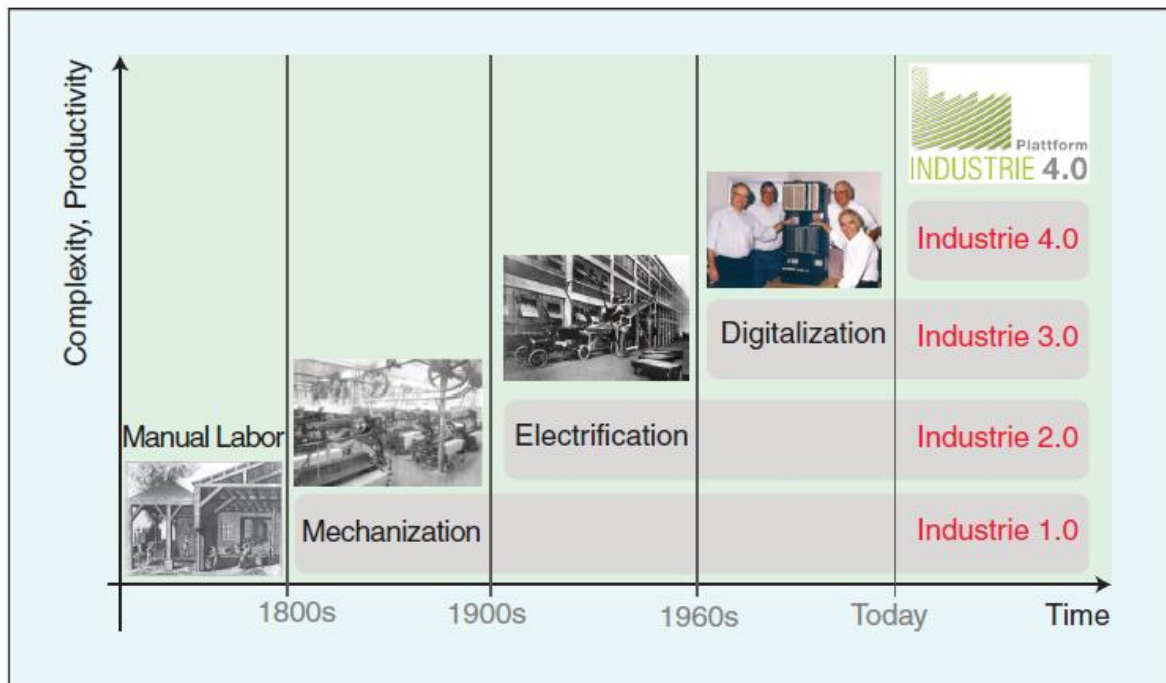
Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως εξής: Το πρώτο κεφάλαιο είναι η εισαγωγή του θέματος της διπλωματικής όπου ορίζεται ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα, περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία της έρευνας και αναφέρονται σχετικές πληροφορίες. Το δεύτερο κεφάλαιο είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου παρουσιάζονται οι εννέα τεχνολογικοί πυλώνες του I4.0 σύμφωνα με το Boston Consulting Group και οι προκλήσεις υιοθέτησης τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διάφορα

μοντέλα ωριμότητας της υιοθέτησης του I4.0 και η επιλογή του μοντέλου του πανεπιστημίου Warwick για την αξιολόγηση της υιοθέτησης του I4.0 από τις εταιρίες των μελετών περίπτωσης. Τέλος, εκθέτονται οι ωφέλειες του I4.0 και αναλύονται οι βασικοί δείκτες απόδοσης καθώς και η χρήση τους στη βιομηχανία των τροφίμων. Το τρίτο κεφάλαιο, η μεθοδολογία της έρευνας, αναφέρεται στη στρατηγική με την οποία διεξάχθηκε η έρευνα, την αιτιολόγηση της επιλογής του δείγματος καθώς και την περιγραφή των μεθόδων συλλογής των δεδομένων. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και οι τρεις εταιρίες περίπτωσης. Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας για κάθε περίπτωση ξεχωριστά και γίνεται εφαρμογή του επιλεγμένου μοντέλου ωριμότητας ώστε να αξιολογηθεί η υιοθέτηση του I4.0 από τις εταιρίες της έρευνας. Τα ευρήματα διασταυρώνονται μεταξύ τους και ερμηνεύονται κατάλληλα. Τέλος, το κεφάλαιο περιλαμβάνει τη σύγκριση των ευρημάτων και αναμενόμενου αποτελέσματος από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, δίνει τις απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας,, αναφέρει τους περιορισμούς της έρευνας και προτείνει τομείς για μελλοντική έρευνα.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Ιστορική αναδρομή

Οι βιομηχανικές επαναστάσεις είναι ιστορικές περίοδοι (Εικόνα 1) που έχουν χαρακτηριστεί από την εμφάνιση ρηξικέλευθων προόδων στη βιομηχανική παραγωγή, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την τεχνολογική εξέλιξη. Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση (18ος–αρχές 19ου αιώνα) χαρακτηρίστηκε από τις πρώτες αλλαγές προς την εντατικοποίηση της εργατικής δραστηριότητας με την χρήση των εφευρέσεων και με τις αναβαθμίσεις των μηχανημάτων που λειτουργούν με ατμό. Τα εργοστάσια οργανώθηκαν για να φιλοξενήσουν περισσότερους εργάτες και μηχανές και να παράγουν περισσότερα σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι κλάδοι της κλωστοϋφαντουργίας, του άνθρακα, του σιδήρου, καθώς και των χημικών εντάθηκαν. Την ίδια περίοδο, η μεταποίηση ορισμένων προϊόντων διατροφής μετατρέπεται από οικιακή σε εργοστασιακή (Koetsier, 2019).



Εικόνα 1. Μια επισκόπηση των τεσσάρων βιομηχανικών επαναστάσεων

Πηγή: (Drath and Horch, 2014)

Η εξέλιξη της μηχανοποίησης, η εντατικοποίηση και επέκταση της εργασίας που προήλθε από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, οδήγησε στη δεύτερη βιομηχανική

επανάσταση (19ος–αρχές 20ού αιώνα). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η τεχνολογία των εργαλειομηχανών βελτιώθηκε και αναπτύχθηκε η μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία οδήγησε σε αλματώδεις προόδους στις μεταφορές και στη γέννηση της αυτοκινητοβιομηχανίας (Zhang and Yang, 2020). Σε βιομηχανικό επίπεδο, η χρήση μεταφορικών ταινιών επιτάχυνε τις διαδικασίες, οι οποίες αύξησαν την απόδοση και τη βιομηχανική παραγωγή. Καινοτομίες και ανάπτυξη νέων υλικών όπως κράματα, ελαφρύτερα μέταλλα και συνθετικά πλαστικά, συνέβησαν επίσης με αυτές τις τεχνολογικές προόδους. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια απέκτησε μεγάλο ενδιαφέρον και αντικατέστησε τις ατμοκίνητες μηχανές για βιομηχανικές δραστηριότητες, επιτρέποντας έτσι τη μαζική παραγωγή (Zhang and Yang, 2020).

Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση -ψηφιακή επανάσταση- (από το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα – αρχές του 21ου αιώνα) συνίστατο σε μια μετάβαση από τα αναλογικά στα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα. Οι υπολογιστές και το Διαδίκτυο ήταν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, οι οποίες επιτάχυναν τις επικοινωνίες και διευκόλυναν τις συνδέσεις σε όλο τον κόσμο. Επιπλέον, η παραγωγή έγινε αυτοματοποιημένη χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά συστήματα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ανάπτυξη και η χρήση της πυρηνικής ενέργειας έγινε πιο σημαντική για την κάλυψη της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης από καταναλωτές όλων των ειδών: βιομηχανικούς, δημόσιους και οικιακούς (Xu, David and Kim, 2018).

Η επίκαιρη Βιομηχανία 4.0 ή Industry 4.0 (I4.0) (αρχές 21ου αιώνα) χαρακτηρίζεται από υψηλές τεχνολογικές εξελίξεις, με επίκεντρο κυρίως το Διαδίκτυο, την πλήρη αυτοματοποίηση και την ενοποίηση με τις ψηφιακές τεχνολογίες. Αυτή η συνεχής επανάσταση συνδυάζει φυσικά και ψηφιακά στοιχεία και επιτρέπει την επικοινωνία και συνδεσιμότητα μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών σε πραγματικό χρόνο (Lu, 2017).

2.2 Η Βιομηχανία 4.0

Η έννοια του Industry 4.0 έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία και μεγάλη δημοτικότητα από τότε που εισήχθη για πρώτη φορά από τη γερμανική κυβέρνηση στην Έκθεση του

Αννόβερο τον Νοέμβριο του 2011 (Lee, 2013). Η κύρια ιδέα είναι να αξιοποιηθούν οι δυνατότητες των νέων τεχνολογιών και εννοιών όπως:

- διαθεσιμότητα και χρήση του διαδικτύου και του IoT
- ενσωμάτωση τεχνικών διαδικασιών και επιχειρηματικών διαδικασιών στις εταιρείες
- ψηφιακή χαρτογράφηση και εικονικοποίηση (virtualization) του πραγματικού κόσμου
- «Έξυπνο» εργοστάσιο που περιλαμβάνει «έξυπνα» μέσα βιομηχανικής παραγωγής και «έξυπνα» προϊόντα

Σύμφωνα όμως με τους Büchi, Cugno and Castagnoli (2020) η εισαγωγή της έκφρασης «τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση» πάει πιο παλιά. Εισήχθη για πρώτη φορά το 1988 για να προσδιορίσει τις διαδικασίες των εξελισσόμενων καινοτόμων εφευρέσεων στις ομάδες παραγωγής. Το 2011, αυτό ονομάστηκε "Industry 4.0" από το βιομηχανικό σχέδιο της Γερμανίας "Industrie 4.0" (Kagermann, Lukas and Wahlster, 2011). Άλλες χώρες έχουν διαφορετικά ονόματα για το Industry 4.0, όπως το "Industrial Internet" ή "Advanced Manufacturing" στις Ηνωμένες Πολιτείες, "Factories of the Future" από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το "Future of Manufacturing" στο Ηνωμένο Βασίλειο. Άλλοι τέτοιοι όροι περιλαμβάνουν την «Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση», «Ψηφιακό Εργοστάσιο», «Ψηφιακή Κατασκευή», «Έξυπνο Εργοστάσιο», «Διασυνδεδεμένο Εργοστάσιο», «Ολοκληρωμένη Βιομηχανία», «Παραγωγή 4.0» και «Συνεργασία Ανθρώπου-Μηχανής».

Σήμερα, το Industry 4.0 δημιουργεί ένα νέο βιομηχανικό πεδίο που εξαρτάται άμεσα από την απόκτηση και την κοινή χρήση δεδομένων σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Ταυτόχρονα, το Industry 4.0 είναι μια νέα μέθοδος σύνδεσης του ψηφιακού κόσμου με τον φυσικό κόσμο. Επιπλέον, οι Oesterreich και Teuteberg (2016) δήλωσαν ότι το Industry 4.0 μπορεί να περιγραφεί ως «η αυξανόμενη ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση του περιβάλλοντος παραγωγής καθώς και η δημιουργία μιας ψηφιακής αλυσίδας αξίας που θα επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ των προϊόντων και του περιβάλλοντος τους και των επιχειρηματικών εταίρων» (Oesterreich and Teuteberg, 2016, p. 122).

Σύμφωνα με τους Pereira και Romero (2017, p. 1207), ο όρος Industry 4.0 είναι ένας «όρος-ομπρέλα για ένα νέο βιομηχανικό παράδειγμα» και αποτελείται από Cyber-Physical

System (CPS), Internet of Things (IoT), Internet of Services (IoS), Ρομποτική, Big Data, Cloud Manufacturing και επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality).

Ο Huang (Πίνακας 3) έχει συλλέξει κάποιους ορισμούς του I4.0 έτσι όπως έχουν διατυπωθεί από διάφορους ερευνητές και ερευνητικές ομάδες:

Authors	Industry 4.0 ...
Koch et al. (2014)	“The term Industry 4.0 stands for the fourth industrial revolution and is best understood as a new level of organization and control over the entire value chain of the life cycle of products, it is geared towards increasingly individualized customer requirements”.
MacDougall (2014)	“Industry 4.0 or Smart industry refers to the technological evolution from embedded systems to cyber-physical systems. It connects embedded system production technologies and smart production processes to pave the way to a new technological age which will radically transform industry and production value chains and business models”.
McKinsey Digital (2015)	“Industry 4.0 seen as a digitization of the manufacturing sector, with embedded sensors in virtually all product components and manufacturing equipment, ubiquitous cyber physical systems, and analysis of all relevant data”.
Deloitte AG (2015)	“The term Industry 4.0 refers to a further development stage in the organization and management of the entire value chain process involved in manufacturing industry”
Geissbauer et al. (2016)	“Industry 4.0 - the fourth industrial revolution, focuses on the end-to-end digitization of all physical assets and integration into digital ecosystems with value chain partners”.
Pfohl et al. (2015)	“Industry 4.0 is the sum of all disruptive innovations derived and implemented in a value chain to address the trends of digitalization, automization, transparency, mobility, modularization, network collaboration and socializing of products and processes”.
Hermann et al. (2015)	“Industrie 4.0 is a collective term for technologies and concepts of value chain organization. Within the modular structured Smart Factories of Industrie 4.0, CPS monitor physical processes, create a virtual copy of the physical world and make decentralized decisions. Over the IoT, CPS communicate and cooperate with each other and humans in real time. Via the IoS, both internal and cross organizational services are offered and utilized by participants of the value chain”.

Πίνακας 3. Ορισμοί της Βιομηχανίας 4.0.

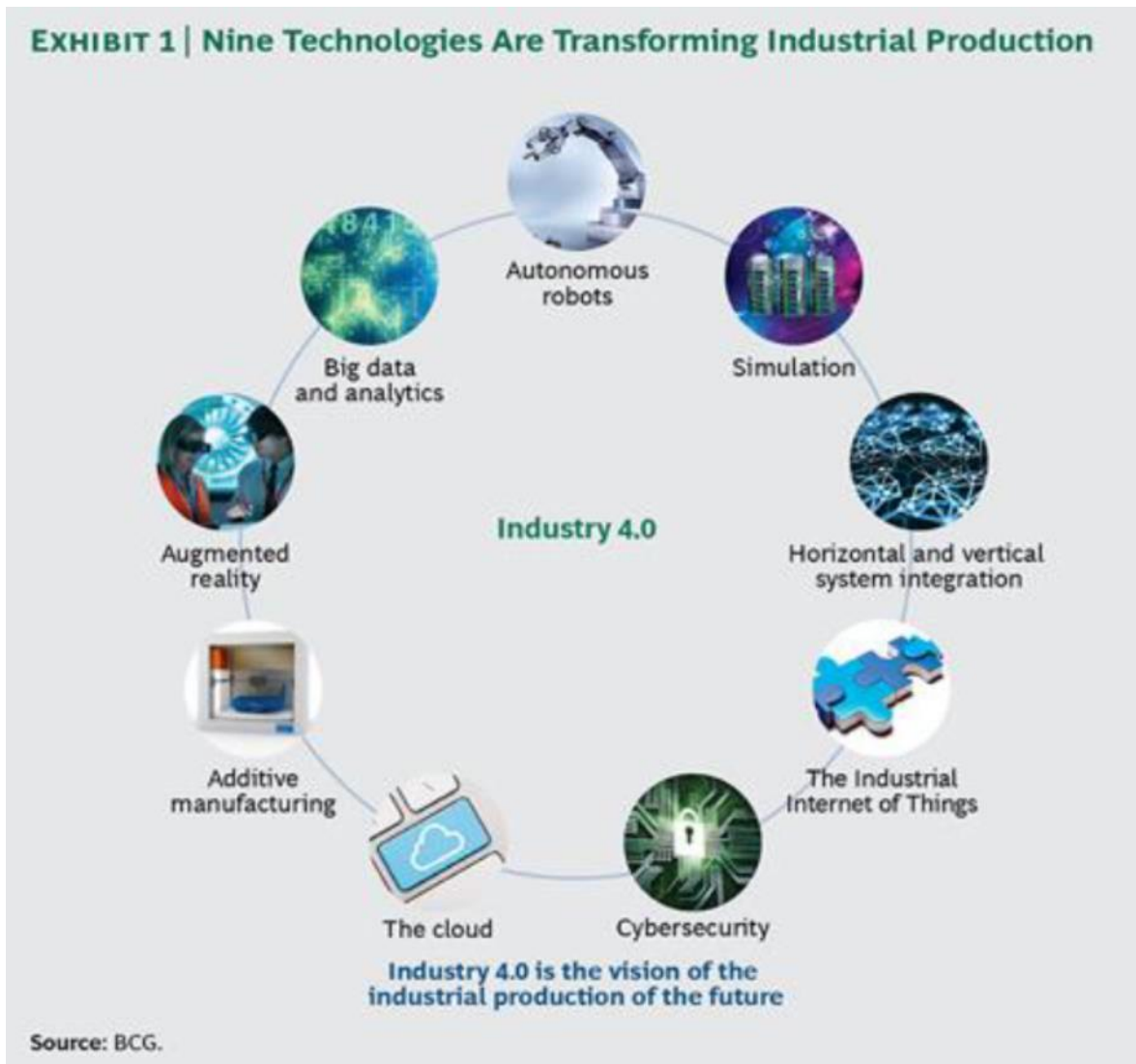
Πηγή: (Huang, 2017, σε Mamad, 2018)

Αυτή η πληθώρα των ορισμών δείχνει και την έλλειψη κάποιου κυρίαρχου ορισμού που θα είναι καθολικά αποδεκτός (Schneider, 2018).

Σε αυτή την εργασία θα διερευνήσουμε τους 9 πυλώνες των τεχνολογιών που απαρτίζουν τη Βιομηχανία 4.0, όπως προτάθηκε από το Boston Consulting Group© (Εικόνα 2) (Rüßmann *et al.*, 2015):

- Big Data and Analytics - Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση
- Autonomous Robot – Αυτόνομα Ρομπότ
- Simulation - Προσομοίωση
- Horizontal and Vertical System Integration – Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων
- The Industrial Internet of Things – Το Βιομηχανικό Ιντερνετ των Πραγμάτων

- Cybersecurity - Κυβερνοασφάλεια
- The Cloud (ή Cloud Computing) – Το νέφος
- Additive Manufacturing – Τρισδιάστατη Εκτύπωση
- Augmented Reality – Επαυξημένη Πραγματικότητα



Εικόνα 2. Οι 9 πλώνες της Βιομηχανίας 4.0.

Πηγή:(Rübmann et al., 2015)

2.2.1 Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση - Big Data and Analytics (BD)

Τα Big Data αναφέρονται στην απόκτηση, αποθήκευση και ανάλυση τεράστιου όγκου δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Ο όρος «Μεγάλα Δεδομένα» μπορεί να οριστεί ως μια νέα γενιά τεχνολογιών που έχουν σχεδιαστεί για οργανισμούς να εξάγουν αξία από

μεγάλους όγκους δεδομένων (Villars, Olofson and Eastwood, 2011). Ο παγκόσμιος όγκος δεδομένων που δημιουργήθηκαν και αντιγράφηκαν αυξήθηκε σχεδόν εννέα φορές από το 2010 έως το 2014 (Villars, Olofson and Eastwood, 2011). Αυτό μπορεί σε μεγάλο βαθμό να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα διακριτικών συσκευών που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονες αλυσίδες εφοδιασμού, όπως ενσωματωμένοι αισθητήρες, συστήματα υπολογιστών και ηλεκτρονικές συσκευές (Addo-Tenkorang and Helo, 2016). Σύμφωνα με τους Μούρτζη κ.ά. (2016) σε ένα πλαίσιο δομημένο από επίπεδα εισόδων δεδομένων σε μια μεταποιητική επιχείρηση, το χαμηλότερο επίπεδο δημιουργεί δεδομένα απευθείας από εργαλειομηχανές και χειριστές. Για μια επιχείρηση, αυτά τα δεδομένα είναι πολύ σημαντικά, καθώς παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες όταν χρησιμοποιούνται και αναλύονται, επιτρέποντας στη επιχείρηση να έχει προσαρμοστικότητα και ευελιξία.

Η συλλογή και ολοκληρωμένη αξιολόγηση των δεδομένων αυτών από πολλές διαφορετικές πηγές εξοπλισμού της παραγωγής και των συστημάτων της καθώς και τα συστήματα διαχείρισης επιχειρήσεων και πελατών μπορούν να γίνουν πρότυπα για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (Rüßmann *et al.*, 2015). Τα Μεγάλα αυτά Δεδομένα (BD) μπορεί να είναι δομημένα, ημιδομημένα και μη δομημένα. Για να ληφθεί η αντίστοιχη αξία, αυτά τα δεδομένα χρειάζονται πάρα πολύ χρόνο και χρήμα για να αποθηκευτούν και να αναλυθούν (Qi and Tao, 2018). Η συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων χαρακτηρίζει το BD, αλλά το βασικό χαρακτηριστικό των BD είναι η ανάλυση δεδομένων και χωρίς αυτήν, η BD δεν έχει μεγάλη αξία. Η ανάλυση των BD μπορεί να παράσχει συστηματική καθοδήγηση για σχετικές παραγωγικές δραστηριότητες σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, επιτυγχάνοντας οικονομικά αποδοτική λειτουργία της διαδικασίας και χωρίς σφάλματα, και βοηθώντας τους διευθυντές στη λήψη αποφάσεων ή/και στην επίλυση προβλημάτων (Tao *et al.*, 2018).

Οι Gandomi and Haider (Gandomi and Haider, 2015) πρότειναν ένα χαρακτηρισμό των BD που σχετιζόταν ως προς τον Όγκο (Volume), την Ποικιλία (Variety) και την Ταχύτητα (Velocity) και ονομάστηκαν «Τα τρία V». Τα «Three-V» είναι το όριο πέρα από το οποίο οι εταιρείες αρχίζουν να ασχολούνται με μεγάλα δεδομένα. Οι Iqbal *et al.* (2020) (σε Hošovský *et al.*, 2021) παρουσιάζουν άλλους δύο «V» χαρακτηρισμούς: αληθοφάνεια (Veracity) και αξία (Value). Πέρα από αυτές τις διαστάσεις, οι ερευνητές Alcácer and Cruz-Machado (2019) έχουν επισημάνει και άλλες, όπως: Vision (όραμα), Volatility (αστάθεια),

Verification (επαλήθευση), Validation (επικύρωση) και Variability (μεταβλητότητα). Η περιγραφή των διαστάσεων καταλήγει να έχει ως εξής:

- **Όγκος** – αναφέρεται στο μέγεθος των δεδομένων. Τα μεγάλα μεγέθη δεδομένων είναι πολλαπλάσια των Terabyte και Petabyte.
- **Ποικιλία** – διάφοροι τύποι πληροφοριών, που παράγονται από μεγάλη ποικιλία πηγών και μορφών, και πολυδιάστατα περιεχόμενα πεδίων δεδομένων. Αναφέρεται στη δομική ετερογένεια ενός συνόλου δεδομένων.
- **Ταχύτητα** – Η παραγωγή, η ανάλυση, η παράδοση και η δημιουργία δεδομένων μετρώνται με βάση τη συχνότητά τους. Αναφέρεται στο ρυθμό παραγωγής δεδομένων και στην ταχύτητα ανάλυσης και αντίδρασης.
- **Αληθοφάνεια** – αντιπροσωπεύει την αναξιπιστία σε ορισμένες πηγές δεδομένων. Η ανάγκη αντιμετώπισης ανακριβών και αβέβαιων δεδομένων είναι μια άλλη πτυχή των μεγάλων δεδομένων, η οποία αντιμετωπίζεται με τη χρήση εργαλείων και αναλυτικών στοιχείων που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση και την εξόρυξη τέτοιων αβέβαιων δεδομένων.
- **Όραμα** – Η δημιουργία δεδομένων θα πρέπει διέπεται από κάποιο σκοπό. Η πιθανότητα της διαδικασίας παραγωγής δεδομένων αντανακλάται σε αυτή τη διάσταση.
- **Αστάθεια** – Τα δεδομένα που δημιουργούνται μπορεί να χαρακτηριστούν από μια περιορισμένη ωφέλιμη ζωή. Εξασφαλίζει την αναπλήρωση των απαραιτωμένων δεδομένων με νέα δεδομένα.
- **Επαλήθευση** – Είναι η συμμόρφωση από ένα σύνολο προδιαγραφών των δεδομένων που δημιουργούνται. Εξασφαλίζει τη συμμόρφωση των μηχανικών μετρήσεων.
- **Επικύρωση** – Η συμμόρφωση με το όραμα και τον σκοπό των δεδομένων που δημιουργούνται. Πίσω από τη διαδικασία, διασφαλίζεται η διαφάνεια των υποθέσεων και των συνδέσεων.

- **Μεταβλητότητα** – Είναι οι ρυθμοί ροής δεδομένων που μετρώνται από τη διακύμανσή τους. Η μεταβλητότητα και η πολυπλοκότητα προστέθηκαν ως δύο πρόσθετες διαστάσεις των BD.
- **Αξία** – μέσω της εξαγωγής και του μετασχηματισμού, καθορίζεται πόσο πολύ παράγουν τα BD οφέλη και γνώσεις αξίας σε οικονομικούς όρους.

2.2.1.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Η έννοια των μεγάλων δεδομένων αναφέρεται σε μεγάλα, διαφορετικά και πολύπλοκα σύνολα πληροφοριών που επηρεάζουν τις στρατηγικές αποφάσεις στις εταιρείες. Επομένως, η αύξηση των όγκων των δεδομένων και η βελτίωση των τεχνολογικών δυνατοτήτων μπορεί να επιταχύνει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μιας εταιρείας μέσω της αυξημένης παραγωγικότητας, της καινοτομίας και του ανταγωνισμού. Η ανάλυση των μεγάλων συνόλων δεδομένων παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις προτιμήσεις των πελατών, αλγόριθμους συσχετίσεων, τάσεων και άλλα. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπως η πρόβλεψη σφαλμάτων για τη μείωση της πιθανότητας σφάλματος (Ji and Wang, 2017) και επίσης οι προγνωστικοί αλγόριθμοι που βασίζονται σε μεγάλα δεδομένα, μειώνουν μία μεγάλη ζημία πριν συμβούν πολλές βλάβες (Seele, 2017). Η ικανότητα διαχείρισης μεγάλων δεδομένων δίνει ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα στις επιχειρήσεις, τα οποία θα μπορούσαν να ωφελήσουν τις λειτουργίες τους, το μάρκετινγκ, την εμπειρία των πελατών και πολλά άλλα.

Η επεξεργασία τροφίμων μοιάζει με την χημική και την φαρμακευτική επεξεργασία με πολλούς τρόπους, και οι ίδιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται συχνά σε αυτούς τους τομείς. Η ανάλυση δεδομένων όπως αναλυτική τεχνολογία διεργασιών (process analytical technology, PAT), ο προηγμένος έλεγχος διεργασιών (advanced process control, APC), ο προγνωστικός έλεγχος μοντέλων (model predictive control, MPC) και ο στατιστικός έλεγχος διεργασιών (statistical process control, SPC) είναι όλες έννοιες που στοχεύουν στην παρακολούθηση και τον έλεγχο σημαντικών ποιοτικών χαρακτηριστικών για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση των αποβλήτων και εξασφαλίζουν την ποιότητα του προϊόντος (Hassoun *et al.*, 2022). Επιπλέον, το μάρκετινγκ είναι ένα άλλο πεδίο χρήσης των BD. Οι έμποροι λιανικής συλλέγουν και αναλύουν τακτικά πληροφορίες, για παράδειγμα, κάρτες αφοσίωσης και δεδομένα ηλεκτρονικών παντοπωλείων για

μεμονωμένα προφίλ πελατών, τα οποία μπορούν να προβλέψουν την αγοραστική συμπεριφορά και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εξατομικευμένων προσφορών (Hassoun *et al.*, 2022).

2.2.2 Αυτόνομα Ρομποτικά - Autonomous Robots

Οι κατασκευαστές σε πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούν εδώ και καιρό ρομπότ για να αντιμετωπίσουν πολύπλοκες εργασίες, αλλά τα ρομπότ εξελίσσονται για ακόμη μεγαλύτερη χρησιμότητα. Γίνονται πιο αυτόνομα, ευέλικτα και συνεργάσιμα μέρα με τη μέρα και σίγουρα θα αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο και να εργάζονται με ασφάλεια δίπλα-δίπλα με τους ανθρώπους και να μαθαίνουν από αυτούς (Rübmann *et al.*, 2015).

Το πρότυπο παραγωγής μετατοπίζεται γρήγορα από μαζική προς την προσαρμοσμένη παραγωγή, η οποία απαιτεί για παράδειγμα, ρομπότ ως επαναδιαμορφώσιμη τεχνολογία αυτοματισμού. Ο αντίκτυπος στα συστήματα παραγωγής είναι ότι αυτή η τάση οδηγεί στην προσαρμογή της παραγωγής για μια ευρύτερη παραλλαγή προϊόντων, εστιάζοντας στο ιδανικό μέγεθος παρτίδας. Σήμερα, για να επιτευχθεί το απαιτούμενο επίπεδο ευελιξίας, τα ρομπότ είναι απαραίτητα στα συστήματα παραγωγής (Pedersen *et al.*, 2016). Προς αυτή την κατεύθυνση, οι ικανότητες στους υπολογισμούς, την επικοινωνία, τον έλεγχο, την αυτονομία και την κοινωνικότητα επιτυγχάνονται όταν συνδυάζονται μικροεπεξεργαστές και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) με προϊόντα, υπηρεσίες και μηχανές για να γίνουν πιο έξυπνα. Τα ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη είναι προσαρμοστικά και ευέλικτα και μπορούν να διευκολύνουν την κατασκευή διαφορετικών προϊόντων και κατά συνέπεια να παρέχουν μειωμένο κόστος παραγωγής (Salkin *et al.*, 2018). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα πλήρως αυτόνομα ρομπότ παίρνουν τις δικές τους αποφάσεις για να εκτελούν εργασίες σε περιβάλλοντα συνεχώς μεταβαλλόμενα χωρίς την αλληλεπίδραση του χειριστή (Ben-Ati and Mondada, 2018). Η ιδέα των συνεργατικών ρομπότ εισάγει επίσης την εγγύτητα του ρομπότ με ανθρώπους. Σύμφωνα με το όραμα του SmartFactory, τα συνεργατικά ρομπότ (cobots) και οι άνθρωποι μπορούν να συνεργαστούν στενά. Τα Cobots είναι μια κατηγορία ρομπότ ειδικά σχεδιασμένα για να αλληλεπιδρούν άμεσα και σωματικά με τους ανθρώπους, σε στενή συνεργασία (Weiss and Huber, 2016). Αυτό είναι δυνατό λόγω των υφιστάμενων ορίων ασφαλείας στην ταχύτητα και τις δυνάμεις που επανεκκινούν αυτόματα το cobot επιτρέποντας την καθοδήγηση του cobot με το χέρι (Weiss and Huber,

2016). Έτσι, το φράγμα ανθρώπου-ρομπότ καταρρέει προσφέροντας μεγαλύτερη οικονομική προσιτότητα και ευελιξία λύσεων.

2.2.2.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Με την εμφάνιση του Industry 4.0, η αυξανόμενη χρήση των βιομηχανικών ρομπότ στα εργοστάσια επιταχύνεται. Τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς όπως η μεταποίηση, η εφοδιαστική, οι δραστηριότητες διανομής και μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως από τον άνθρωπο λόγω της συνεργασίας ανθρώπου-ρομπότ. Εταιρείες στο χώρο της ρομποτικής εισάγουν αρκετές νέες τεχνολογίες, όπως η ABB η οποία εκτελεί με επιτυχία ευαίσθητες εργασίες και συνεργάζεται με ανθρώπους στο χώρο εργασίας. Αυτά τα ρομπότ έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν από τους ανθρώπους και να ελέγχουν, να βελτιστοποιούν και να καταγράφουν εργασίες με τη βοήθεια συστημάτων cloud (Bahrin *et al.*, 2016). Τα αυτόνομα ρομπότ μπορούν να ολοκληρώσουν μια συγκεκριμένη εργασία με ακρίβεια και έξυπνο τρόπο εντός δεδομένου χρονικού ορίου και επίσης να εστιάσουν στην ασφάλεια, την ευελιξία και τη συνεργασία (Bahrin *et al.*, 2016).

Στη βιομηχανία τροφίμων τα βιομηχανικά ρομπότ με ενσωματωμένο σύστημα επεξεργασίας εικόνας υψηλής τεχνολογίας, γίνονται έξυπνα, ικανά να «βλέπουν» και να αντιδρούν. Αυτό αποκεντρώνει την ανάλυση και τις αποφάσεις σε διαφορετικές καταστάσεις επιτρέποντας απαντήσεις σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, αυτό διασφαλίζει ότι πληρούνται τα απαιτούμενα πρότυπα ασφάλειας τροφίμων και επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση του ελαττώματος που στη συνέχεια μειώνει τη σπατάλη τροφίμων και τις δαπανηρές ανακλήσεις (Noor Hasnan and Yusoff, 2018).



Εικόνα 3. Εφαρμογές αυτόνομων ρομπότ.

Πηγές: <https://tinyurl.com/4h8ywrj9> (αριστερά), <https://tinyurl.com/4ffz56xs> (κέντρο), <https://tinyurl.com/t93pur8> (δεξιά)

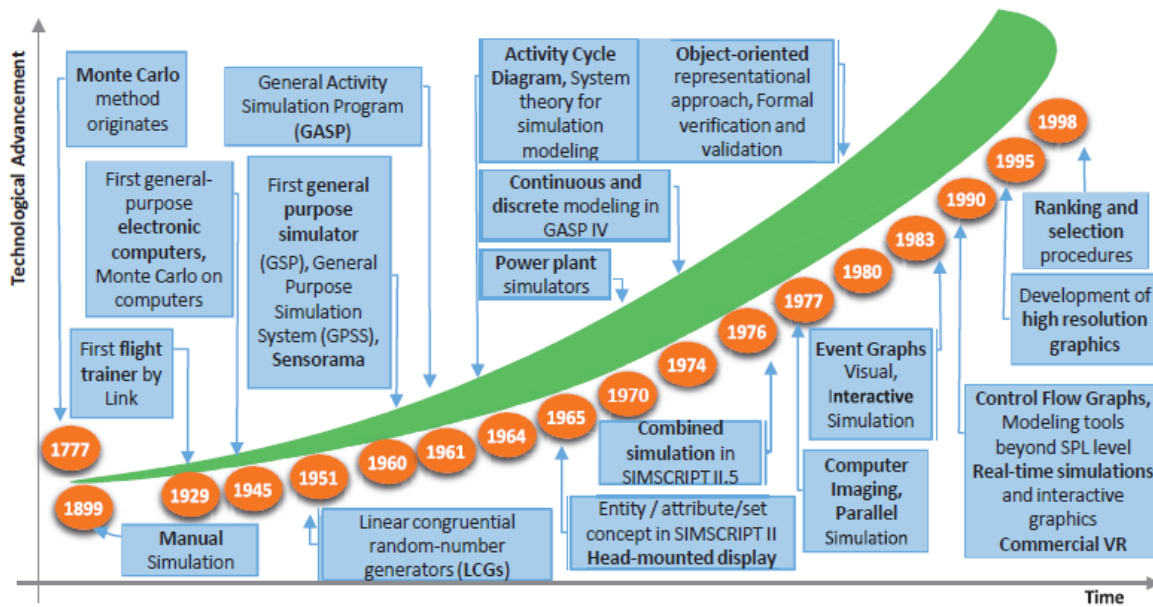
2.2.3 Προσομοίωση - Simulation

Η προσομοίωση ορίζεται ως μια απομίμηση λειτουργίας, με την πάροδο του χρόνου, ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας του πραγματικού κόσμου. Χρησιμοποιείται η τεχνητή ιστορία ενός συστήματος και η παρατήρησή του, αντλώντας συμπεράσματα σχετικά με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της αναπαράστασης του πραγματικού συστήματος. Η μοντελοποίηση της προσομοίωσης είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί ένα πραγματικό μοντέλο ή φανταστικά μοντέλα συστημάτων ή φανταστικά μοντέλα διαδικασίας. Βοηθά στην καλύτερη εκτίμηση και κατανόηση των μοντελοποιημένων συστημάτων ή διαδικασίας μέσω της συμπεριφορικής ανάλυσης (Rodič, 2017).

Οι Mourtzis, Doukas and Bernidaki (2014) παρουσίασαν στην έρευνά τους, τρεις βασικές διαστάσεις των μοντέλων προσομοίωσης με βάση: 1) χρόνο αλλαγής, 2) τυχαιότητα και 3) οργάνωση δεδομένων. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, αν η προσομοίωση εξαρτάται από τον παράγοντα χρόνο ή όχι, μπορεί να ταξινομηθεί σε στατική και δυναμική. Η στατική προσομοίωση είναι ανεξάρτητη του χρόνου ενώ η δυναμική προσομοίωση εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Η δυναμική προσομοίωση μπορεί περαιτέρω να κατηγοριοποιηθεί σε συνεχή και διακριτή. Στη διακριτή προσομοίωση, οι αλλαγές συμβαίνουν σε διακριτά σημεία του χρόνου, ενώ στη συνεχή, η μεταβλητή του χρόνου είναι συνεχής.

Για την επιτυχή υλοποίηση της ψηφιακής μεταποίησης, η προσομοίωση με υπολογιστή είναι ένα απαραίτητο και ισχυρό εργαλείο, μια τεχνολογία για την καλύτερη κατανόηση

της δυναμικής των επιχειρησιακών συστημάτων. Οι τρέχουσες προκλήσεις της βιομηχανίας μεταποίησης, μπορούν να προσεγγιστούν με αυτήν την τεχνολογία, η οποία ασχολείται με την πολυπλοκότητα των συστημάτων και με στοιχεία αβεβαιότητας που δεν μπορούν να επιλυθούν με συνηθισμένα μαθηματικά μοντέλα.



Εικόνα 4. Ιστορική Εξέλιξη της Προσομοίωσης.

Πηγή: (Mourtzis, Doukas and Bernidaki, 2014)

2.2.3.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Τα εργαλεία προσομοίωσης διαδραματίζουν υποστηρικτικό ρόλο σε δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή, προωθώντας ένα περιβάλλον παραγωγής με βιώσιμη ανάπτυξη. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται στις λειτουργίες της παραγωγής για την αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για να αντικατοπτρίζουν το φυσικό κόσμο σε ένα εικονικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει μηχανές, προϊόντα και ανθρώπους, μειώνοντας έτσι τους χρόνους εγκατάστασης των μηχανημάτων και αυξάνοντας την ποιότητα (Rübmann et al., 2015). Οι δισδιάστατες και τρισδιάστατες προσομοιώσεις μπορούν να δημιουργηθούν για μια εικονική θέση σε λειτουργία και για προσομοίωση των χρόνων κύκλου, της κατανάλωσης ενέργειας ή των εργονομικών πτυχών μιας εγκατάστασης παραγωγής. Η χρήση των προσομοιώσεων των παραγωγικών διαδικασιών μπορούν όχι μόνο να μειώσουν ή να αλλάξουν τους χρόνους διακοπής λειτουργίας, αλλά να μειώσουν και τις αστοχίες παραγωγής κατά τη φάση της εκκίνησης (Simons, Abé and Naser, 2017). Η ποιότητα της

λήψης αποφάσεων μπορεί ενδεχομένως να βελτιωθεί με εύκολο και γρήγορο τρόπο με τη βοήθεια των προσομοιώσεων.

Η προσομοίωση επιτρέπει πειράματα για την επικύρωση των προϊόντων, διαδικασιών ή συστημάτων σχεδιασμού και διαμόρφωσης (Mourtzis, Doukas and Bernidaki, 2014). Η μοντελοποίηση της προσομοίωσης βοηθά στη μείωση του κόστους, στη μείωση των κύκλων ανάπτυξης και στην αύξηση της ποιότητας του προϊόντος. Επιπλέον, επιτρέπει την απόκτηση γνώσεων για πολύπλοκα συστήματα με την ανάπτυξη πολύπλοκων και ευέλικτων προϊόντων και καθιστά δυνατή τη δοκιμή νέων εννοιών ή συστημάτων και νέων λειτουργιών πριν από την πραγματική τους εφαρμογή, επιτρέποντας τη συλλογή πληροφοριών και γνώσεων χωρίς παρεμβολές στο πραγματικό σύστημα λειτουργίας (Rodič, 2017). Προκειμένου να αναλύσουν τις λειτουργίες τους και να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων, οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν μοντελοποίηση και προσομοίωση. Οι τεχνολογίες προσομοίωσης έχουν ήδη αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους στην προσέγγιση αρκετών πρακτικών προβλημάτων στον τομέα της μεταποίησης.

Η Προσομοίωση μεταφέρει την λειτουργία του εργοστασίου τροφίμων σε νέο επίπεδο. Το λογισμικό είναι σε θέση να λαμβάνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να τα μοντελοποιεί το σύστημα φυσικής παραγωγής σε εικονικό μοντέλο. Περιλαμβάνει υλικά ή προϊόντα (τρόφιμα), διαδικασίες, μηχανές, γραμμές επεξεργασίας, ανθρώπους, συστήματα χειρισμού υλικών και άλλα πιθανά στοιχεία στο οικοσύστημα παραγωγής. Ως αποτέλεσμα, οι δοκιμές, η ανάλυση και η βελτιστοποίηση μπορούν να πραγματοποιηθούν στον εικονικό κόσμο πριν προκύψουν φυσικές αλλαγές στο πραγματικό εργοστάσιο (Noor Hasnan and Yusoff, 2018).

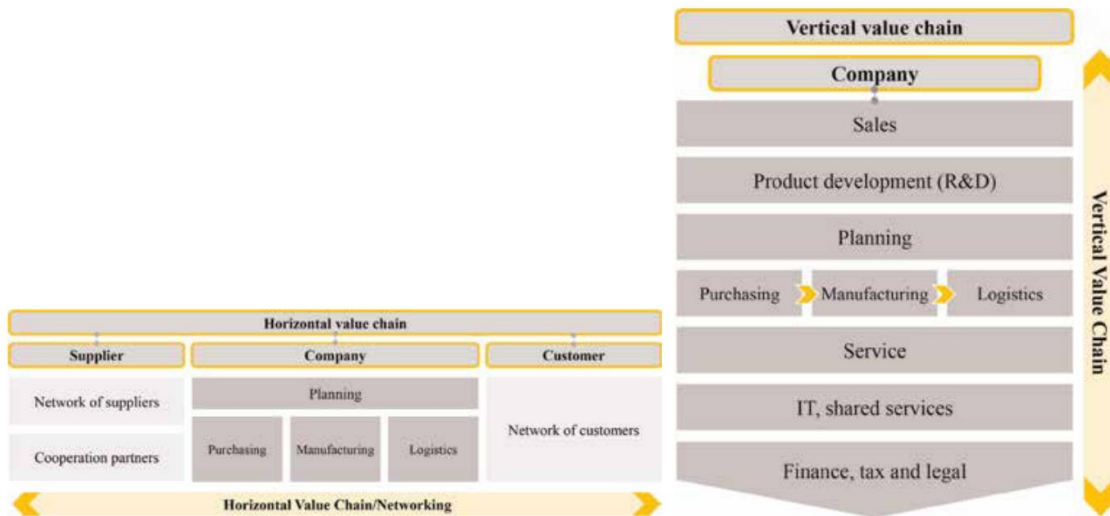
2.2.4 Οριζόντια και Κάθετη ολοκλήρωση συστημάτων- Horizontal and Vertical System Integration

Η ολοκλήρωση και η αυτοβελτιστοποίηση είναι οι δύο κύριοι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική οργάνωση (Schuh et al., 2014). Γενικά, η ολοκλήρωση συστημάτων του I4.0 έχει δύο προσεγγίσεις: την οριζόντια και κάθετη ενοποίηση (Rübmann et al., 2015; Suri et al., 2017). Η πλήρης ψηφιακή ολοκλήρωση και

αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγωγής στην κάθετη και οριζόντια διάσταση συνεπάγεται επίσης αυτοματοποίηση της επικοινωνίας, την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και της συνεργασίας ειδικά κατά μήκος τυποποιημένων διαδικασιών και την ευέλικτη παραγωγή για να καταστεί δυνατή η εξατομικευμένη παραγωγή (de Sousa Jabbour *et al.*, 2018).

Η κάθετη ολοκλήρωση του Industry 4.0 περιλαμβάνει τη σύνδεση όλων των επιχειρηματικών μονάδων και διαδικασιών στην επιχείρηση (Suri *et al.*, 2017). Με άλλα λόγια, σύγκλιση της επιχειρησιακής τεχνολογίας (operation technology-OT) σε επίπεδο παραγωγής με την τεχνολογία πληροφορικής (information technology-IT) σε επίπεδο επιχείρησης. Με αυτήν την ενοποίηση, τα δεδομένα ρέουν και διατίθενται σε όλες τις επιχειρησιακές μονάδες. Αυτό περιλαμβάνει το εργοστάσιο, τις πωλήσεις, τις αγορές, το μάρκετινγκ, το HR, την εξυπηρέτηση πελατών, τη λογιστική, το R&D, τον ποιοτικό έλεγχο και άλλα.

Ενώ η κάθετη ολοκλήρωση περιλαμβάνει ευθυγράμμιση εντός της επιχείρησης, η οριζόντια ολοκλήρωση του Industry 4.0 περιλαμβάνει τη σύνδεση όλων των τμημάτων της αλυσίδας εφοδιασμού. Είναι η διεταιρική ολοκλήρωση (Suri *et al.*, 2017) και αποτελεί το θεμέλιο για μια στενή και υψηλού επιπέδου συνεργασία μεταξύ πολλών εταιρειών, χρησιμοποιώντας συστήματα πληροφοριών για τον εμπλουτισμό του κύκλου ζωής του προϊόντος. Αυτή η βαθύτερη ευθυγράμμιση βελτιώνει την ορατότητα, την ευελιξία και την παραγωγικότητα, ενώ παράλληλα ενισχύει τα επίπεδα αυτοματισμού (Saucedo-Martínez *et al.*, 2018).



Εικόνα 5. Οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση.

Πηγή: (Koch V, Kuge S, Geissbauer R, Schrauf S., 2014, σε Ortiz, 2020)

2.2.4.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Η κάθετη ολοκλήρωση δεν αφορά μόνο την ενσωμάτωση συστημάτων σε επίπεδο επιχείρησης με τον εργοστασιακό χώρο, αλλά δημιουργεί επίσης ευκαιρίες για ενοποίηση σε ολόκληρο το επίπεδο πεδίου του οργανισμού. Ένα καλό παράδειγμα είναι το επιχειρηματικό μοντέλο batch-size-of-one όπου ένας πελάτης ζητά προσαρμογή προϊόντος. Αντί το τμήμα πωλήσεων να ανακτά πληροφορίες από την παραγωγή σχετικά με το εάν το αίτημα μπορεί να παραδοθεί, οι πληροφορίες θα είναι άμεσα διαθέσιμες στο σύστημα ERP. Η δυνατότητα της παραγωγής μικρών μεγεθών παρτίδας και προσαρμοσμένων προϊόντων, με υψηλό επίπεδο και ευέλικτο τρόπο, επιτρέπει τη κάθετη ολοκλήρωση να μετατρέψει το εργοστάσιο σε smart factory (SF) (Salkin et al., 2018). Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ευθυγράμμιση της προμήθειας πρώτων υλών με τη ζήτηση της αγοράς για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της παρτίδας παραγωγής.

Η οριζόντια ολοκλήρωση εφαρμόζεται εντός της παραγωγικής εγκατάστασης, σε λειτουργίες πολλών τοποθεσιών και σε τρίτους συνεργάτες στην αλυσίδα εφοδιασμού. Μέσα στις εγκαταστάσεις της παραγωγής, η οριζόντια ολοκλήρωση αφορά την επίτευξη του Smart Factory, όπου όλα τα συστήματα, οι διαδικασίες και οι μηχανές συνδέονται, επιτρέποντας τη συνεχή επικοινωνία. Η οριζόντια ενοποίηση παρέχει το ίδιο επίπεδο συνδεσιμότητας σε λειτουργίες πολλαπλών τοποθεσιών, εξασφαλίζοντας μέγιστη ορατότητα, προσαρμοστικότητα παραγωγής και συνεργασία.. Οι τεχνολογίες Industry 4.0 καθιστούν εφικτό τον παραπάνω στόχο ολοκλήρωσης σε όλες τις μεταποιητικές

βιομηχανίες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας όπου η κωδικοποίηση και οι λύσεις παρακολούθησης και ανίχνευσης είναι βασικά στοιχεία (Oltra-Mestre *et al.*, 2021).

2.2.5 Το Βιομηχανικό Ιντερνετ Των Πραγμάτων - The Industrial Internet of Things (IIoT)

Ο όρος IoT επινοήθηκε το 1999 από τον Kevin Ashton, Εκτελεστικό Διευθυντή του Κέντρου Auto-ID στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT). Αναφερόταν στη δυνατότητα χρήσης ετικετών αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) για την παρακολούθηση αντικειμένων στην αλυσίδα εφοδιασμού της Procter and Gamble (Postscapes, 2019). Είναι η σύνθεση δύο λέξεων: «Internet» («Διαδίκτυο» ως το δίκτυο των δικτύων) και «πράγματα». Ένα παγκόσμιο σύστημα που εξυπηρετεί χρήστες σε όλο τον κόσμο με διασυνδεδεμένα δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν Standard Internet Protocol suit (TCP/IP). Τα «πράγματα», καθώς διακρίνονται μεμονωμένα από τον πραγματικό κόσμο, μπορεί να είναι οτιδήποτε σαν αντικείμενο ή άτομο (Madakam, Ramaswamy and Tripathi, 2015). Σήμερα, το IoT χρησιμοποιείται ευρέως, για παράδειγμα, στις μεταφορές, την υγειονομική περίθαλψη ή τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας (Sezer, Dogdu and Ozbayoglu, 2018). Το Industrial Internet of Things είναι η βιομηχανική έκδοση του Internet of Things (Πίνακας 4). Μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση του αυτοματισμού και μια προοδευτική βελτίωση του τρόπου με τον οποίο οι μηχανές επικοινωνούν μεταξύ τους στις εγκαταστάσεις παραγωγής. Το IIoT σχετίζεται κυρίως με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-αντικειμένου (Demartini *et al.*, 2018).

Σύμφωνα με αρκετούς συγγραφείς (Li, Xu and Zhao, 2015; Sadiku *et al.*, 2017; Ben-Daya, Hassini and Bahrour, 2019) η πιο κοινή διαστρωμάτωση της αρχιτεκτονικής του IoT σε ένα τυπικό δίκτυο, περιλαμβάνει τέσσερα κύρια επίπεδα:

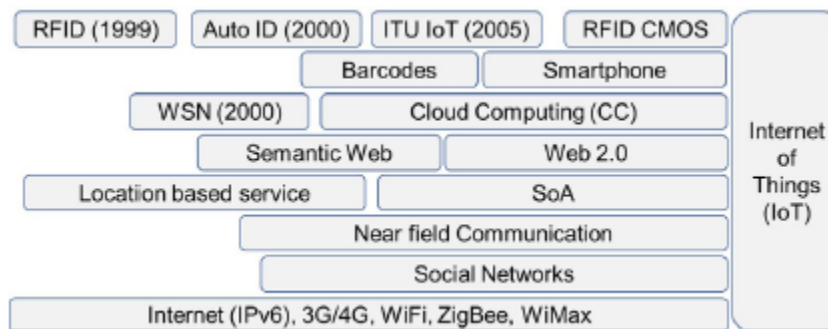
1) «Επίπεδο ανίχνευσης» για την ανίχνευση της κατάστασης «πραγμάτων» που έχουν μοναδική ταυτότητα και για ενσωμάτωση, π.χ. αισθητήρες, ετικέτες RFID.

2) «Επίπεδο δικτύου» για την υποστήριξη των μεταφερόμενων πληροφοριών μέσω ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου από το «Επίπεδο ανίχνευσης» στο «Επίπεδο υπηρεσίας», που είναι η υποδομή της υποστήριξης. Αυτό το επίπεδο καθορίζει και

αντιστοιχίζει τα «πράγματα» αυτόματα στο δίκτυο, επιτρέποντας τη σύνδεση όλων των «πράξεων» για κοινή χρήση και ανταλλαγή δεδομένων.

3) «Επίπεδο εξυπηρέτησης» που χρησιμοποιεί ενδιάμεσο λογισμικό το οποίο υποστηρίζει υπηρεσίες και εφαρμογές, οι οποίες απαιτούνται από τους χρήστες ή τις εφαρμογές. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των ετερογενών συσκευών διασφαλίζεται από αυτό το επίπεδο, το οποίο παρέχει χρήσιμες υπηρεσίες, π.χ. μηχανές αναζήτησης πληροφοριών και επικοινωνία, αποθήκευση δεδομένων, ανταλλαγή και διαχείριση δεδομένων καθώς και τη βάση δεδομένων.

4) «Επίπεδο διεπαφής» (Human Interface-HMI ή User Interface-UI) για να διευκολύνει τη διασύνδεση και τη διαχείριση των «πραγμάτων» και να εμφανίζει πληροφορίες που επιτρέπουν μια σαφή και κατανοητή αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα.



Εικόνα 6. Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με το IoT.

Πηγή : (Li, Xu and Zhao, 2015)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σημαίνει ένα παγκόσμιο δίκτυο διασυνδεδεμένων και ομοιόμορφων αναγνωρισμένων αντικειμένων που επικοινωνούν μέσω standard πρωτοκόλλων.

COMPARISON BETWEEN CONSUMER IOT AND INDUSTRIAL IOT

	Consumer IoT	Industrial IoT
Impact	Revolution	Evolution
Service Model	Human-centered	Machine-oriented
Current Status	New devices and standards	Existing devices and standards
Connectivity	Ad-Hoc (infrastructure is not tolerated; nodes can be mobile)	Structured (nodes are fixed; centralized network management)
Criticality	Not stringent (excluding medical applications)	Mission critical (timing, reliability, security, privacy)
Data Volume	Medium to High	High to Very High

Πίνακας 4. Συγκριτικός πίνακας μεταξύ IoT και IIoT.

Πηγή: (Sisinni *et al.*, 2018)

2.2.5.1 **Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες**

Το Industrial Internet of Things (IIoT) είναι η σύνδεση βιομηχανικών προϊόντων, όπως εξαρτημάτων ή/και μηχανών, στο διαδίκτυο. Για παράδειγμα, συνδέοντας τα δεδομένα ανίχνευσης που συλλέγονται σε ένα εργοστάσιο με την πλατφόρμα IoT, το IIoT αυξάνει την απόδοση της παραγωγής με την ανάλυση των BD (Choi and Chung, 2017). Το Internet of Things (IoT) θα πρέπει επίσης να είναι γνωστό ως Internet of Everything (IoE) που αποτελείται από Internet of Service (IoS), Internet of Manufacturing Services (IoMs), Internet of People (IoP), ένα ενσωματωμένο σύστημα και ενοποίηση πληροφοριών και επικοινωνίας τεχνολογία (IICT) (Neugebauer *et al.*, 2016). Ως φυσική εξέλιξη του IoT, το IoS μπορεί να θεωρηθεί ως η συνδεσιμότητα και η αλληλεπίδραση των πραγμάτων που δημιουργούν πολύτιμες υπηρεσίες και είναι μια από τις θεμελιώδεις βάσεις του έξυπνου εργοστασίου. Για τη βελτίωση των σύγχρονων βιομηχανικών συστημάτων, το IIoT εφαρμόζει διασπαστική τεχνολογία όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, RFIDS, λογισμικό, συστήματα ελέγχου, μηχανή με μηχανή, ανάλυση δεδομένων και μηχανισμούς ασφαλείας (Mourtzis, Vlachou and Milas, 2016). Πέρα από τα συνδεδεμένα RFID, το IoT μπορεί να γίνει πλατφόρμα διασύνδεσης με ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN), ενδιάμεσο λογισμικό, λογισμικό εφαρμογής IoT και Software Defined Networking (SDN) ως βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης (Sadiku *et al.*, 2017). Η αλυσίδα αξίας γίνεται έξυπνη, ευέλικτη και δικτυωμένη, ενσωματώνοντας φυσικά αντικείμενα, ανθρώπινους παράγοντες, έξυπνες

μηχανές, έξυπνους αισθητήρες, διαδικασία παραγωγής και γραμμές παραγωγής μαζί πέρα από τα όρια του οργανισμού (Schumacher, Erol and Sihm, 2016).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες IoT έχουν φέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στην βιομηχανία των τροφίμων. Μια βασική πτυχή που παρέχεται από το IoT είναι η ιχνηλασιμότητα σε πραγματικό χρόνο, η οποία επιτρέπει γρήγορη αντίδραση στην αντιμετώπιση ανακλήσεων προϊόντων. Επιπλέον η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής των τροφίμων και επιτρέπει τον επανασχεδιασμό της επεξεργασίας τροφίμων της εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο (Kittiranyangam and Tan, 2020). Ερευνητές έχουν προτείνει ένα σύστημα ελέγχου απάτης τροφίμων βασισμένο στο IoT, το οποίο περιέχει διάφορους αισθητήρες για τη θερμοκρασία, το λάδι, την υγρασία, το αλάτι, το μέταλλο, το χρώμα, το pH και το ιξώδες για την παρακολούθηση των νοθειών σε προϊόντα διατροφής (Hassoun *et al.*, 2022)

2.2.6 Κυβερνοασφάλεια - Cybersecurity

Κάθε χρόνο, όλο και περισσότερες συσκευές συνδέονται με το διαδίκτυο. Κατά συνέπεια, το IoT, τα εικονικά περιβάλλοντα, η απομακρυσμένη πρόσβαση, τα αποθηκευμένα δεδομένα σε συστήματα cloud, κ.λπ., είναι πολλές ανοιχτές ευκαιρίες που αντιπροσωπεύουν αυξανόμενες νέες ευπάθειες οι οποίες οδηγούν σε παραβίαση πληροφοριών για ανθρώπους και επιχειρήσεις. Το σενάριο κινδύνου γίνεται πραγματικότητα επειδή τα όρια της επιχείρησης είναι ασαφή και εξαφανίζονται (He *et al.*, 2016). Το I4.0 δημιουργεί πολύτιμες πληροφορίες που πρέπει να προστατεύονται. Η κυβερνοασφάλεια (CS) είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στην προστασία, τον εντοπισμό και την απόκριση σε επιθέσεις (Piedrahita *et al.*, 2018). Οι τεχνολογίες I4.0 πρέπει να επιτρέπουν τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Είναι σημαντικό τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα μόνο για εξουσιοδοτημένα άτομα. Πρέπει να είναι εξακριβωμένη η ακεραιότητα και οι πηγές πληροφοριών.

Οι άμεσες επιθέσεις από κακόβουλα άτομα ή/και λογισμικό μπορεί να αποτελέσουν σοβαρούς κινδύνους για τα Συστήματα Βιομηχανικού Ελέγχου (Industrial Control Systems-ICS). Αυτά τα ICS των βιομηχανικών τομέων είναι βασικοί έλεγχοι όπως ο Εποπτικός Έλεγχος και η Απόκτηση Δεδομένων (SCADA), τα συστήματα ελέγχου

διεργασιών, τα κατανεμημένα συστήματα ελέγχου, ή οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) (Ani, He and Tiwari, 2017).

Οι He *et al.*(2016) διέκριναν 3 ευάλωτους τομείς σε κυβερνοεπιθέσεις στους οποίους απαιτείται η κυβερνοασφάλεια ώστε να λειτουργούν όλα τα συστήματα απρόσκοπτα. Τα είδη των κυβερνοεπιθέσεων είναι πολλά μεταξύ των οποίων της διαδικτυακής καταδίωξης και της παρενόχλησης, του εκβιασμού, της χειραγώγησης του χρηματιστηρίου, της εταιρικής κατασκοπείας και του σχεδιασμού ή της εκτέλεσης τρομοκρατικών δραστηριοτήτων. Οι ευάλωτοι τομείς σε κυβερνοεπιθέσεις είναι η Εφοδιαστική Αλυσίδα, τα Μεγάλα Δεδομένα και τα Βιομηχανικά Συστήματα Ελέγχου.

Οι Μπενιάς και ο Μαρκόπουλος (2017) συζήτησαν τους κύριους λόγους για τους οποίους παραβιάζονται οι βιομηχανικές συσκευές:

- Συσκευές που λειτουργούν για πάρα πολύ χρόνο (εβδομάδες ή μήνες) χωρίς ενημέρωση εργαλείων ασφαλείας ή προστασίας από ιούς.
- Σημαντικός αριθμός παλαιών ελεγκτών που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ICS, σχεδιασμένοι όταν η CS δεν ήταν σημαντική.
- Οι απειλές μπορούν να εισέλθουν παρακάμπτοντας μέτρα CS λόγω της ύπαρξης πολλαπλών διαδρομών από διάφορα δίκτυα ICS.
- Γρήγορη εξάπλωση κακόβουλου λογισμικού λόγω πολλών δικτύων ICS που εξακολουθεί να εφαρμόζεται ως επίπεδο δίκτυο χωρίς φυσική ή εικονική απομόνωση μεταξύ άλλων άσχετων δικτύων.

Η αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών σημαίνει περισσότερες πιθανότητες κυβερνοεπιθέσεων. Ως εκ τούτου, οι επιθέσεις, οι απειλές και το κακόβουλο λογισμικό πρέπει να ανιχνεύονται αυτόματα. Οι παραγωγικές δραστηριότητες μπορούν να τερματιστούν από μια κυβερνοεπίθεση, επομένως, οι εταιρείες έχουν απώλειες χρημάτων, αλλά το κύριο ζήτημα είναι οι κυβερνοεπιθέσεις που στοχεύουν σε συστήματα που εποπτεύουν λειτουργίες ασφαλείας και ελλοχεύουν σοβαρό κίνδυνο για την ασφάλεια των χειριστών (Tsuchiya *et al.*, 2018). Η κυβερνοεπίθεση θα μπορούσε να προέρχεται από εσωτερική ή/και εξωτερική πηγή. Σύμφωνα με τους Khalid *et al.* (2018), μια

κυβερνοεπίθεση μπορεί να προέλθει από μια εσωτερική πηγή, όπως ένας χειριστής που έχει φυσική πρόσβαση σε μια θύρα δεδομένων ή μια εξωτερική πηγή, όπως ένα εξωτερικό κανάλι επικοινωνίας ή επίσης μια ασύρματη μετάδοση. Μια μελέτη του FBI και του Ινστιτούτου Ασφάλειας Υπολογιστών για το Έγκλημα στον κυβερνοχώρο στις ΗΠΑ, διαπίστωσε ότι το 71% των παραβιάσεων της ασφάλειας πραγματοποιήθηκαν από ανθρώπους εμπιστοσύνης. Αυτό υποστηρίζει τη συνειδητοποίηση ότι τα άτομα με υψηλές τεχνικές δεξιότητες και γνώσεις διαδικασίας αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή για έναν οργανισμό (Byres and Hoffman, 2004).

Μπροστά σε μία ποικιλία βιομηχανικών επιθέσεων, τα δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό (Software-Defined Networks, SDN) και εικονικοποίηση (virtualization) λειτουργιών δικτύου (Network-Function Virtualization, NFV) μπορούν να διευκολύνουν την αυτόματη απόκριση σε τέτοιου είδους περιστατικό (Piedrahita *et al.*, 2018). Η έννοια της άμυνας σε βάθος, αναφέρεται από τους Jasen *et al.* (2018), σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC/ISA-62433 με την ενσωμάτωση τριών μέτρων ως τεχνολογικών, οργανωτικών και ανθρωποκεντρικών, ως πολυεπίπεδη προσέγγιση για την ασφάλεια των ICS. Η συνεχής ενημέρωση των εφαρμοζόμενων ελέγχων ασφαλείας είναι υποχρεωτική, διατηρώντας την προστασία ενημερωμένη, όπως παρακάτω:

- Επίπεδο συσκευής - με την εγκατάσταση νέων ενημερώσεων κώδικα ασφαλείας.
- Επίπεδο δικτύου - με ενημερωμένες τις υπογραφές τείχους προστασίας των νέων απειλών.
- Επίπεδο εγκατάστασης/εργοστάσιο - με ανάλυση και παρακολούθηση των καταγραφών των πηγών.

2.2.6.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Στο παρελθόν, τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου λειτουργούσαν σχετικά με ασφάλεια χάρη στις έννοιες «Air-gapping» που εξασφάλιζαν τη φυσική απομόνωση τέτοιων συστημάτων χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα ελέγχου με εμπορικό σήμα, υλικό και λογισμικό παλαιού τύπου και δομές δικτύου χωρίς δυνατότητα δρομολόγησης εκτός του εργοστασίου. Το υλικό υπολογιστών με ανοιχτά πρότυπα, τα λειτουργικά συστήματα και τα

πρωτόκολλα δικτύου αντικαθιστούν τα προηγούμενα συστήματα με μοντέρνα επώνυμα στοιχεία, μετατρέποντας τα συστήματα αυτά σε σχεδόν συμβατικά συστήματα πληροφοριών. Αυτός ο μετασχηματισμός λόγω της ολοκλήρωσης εκθέτει το ICS σε πιθανές απειλές για την ασφάλεια, ευπάθειες και δυνατότητες κυβερνο-σαμποτάζ. Ο Steve Morgan σε ένα άρθρο του για το περιοδικό Cybercrime Magazine (2020) αναφέρει: «Αν μετρηθεί ως χώρα, τότε το έγκλημα στον κυβερνοχώρο - το οποίο προβλέπεται να προκαλέσει ζημιές συνολικού ύψους 6 τρισεκατομμυρίων δολαρίων παγκοσμίως το 2021 - θα ήταν η τρίτη μεγαλύτερη οικονομία στον κόσμο μετά τις ΗΠΑ και την Κίνα». Οι οικονομικές απώλειες, καταστροφές υλικού και υποδομών και δεδομένων, η διαρροή ευαίσθητων δεδομένων, η απώλεια ελέγχου συστημάτων υποδομών με κίνδυνο για την δημόσια υγεία και ασφάλεια (Ani, He and Tiwari, 2017; Benias and Markopoulos, 2017) θέτουν την κυβερνοασφάλεια σε πρώτη προτεραιότητα, η ύπαρξη της οποίας ισοδυναμεί με ωφέλεια όχι μόνο για την ίδια την βιομηχανία αλλά και για όλο το κοινωνικό σύνολο.

Στη βιομηχανία τροφίμων, απαιτείται αυξημένη ευαισθητοποίηση για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι διαρροές συνταγών, η παραβίαση των διαδικασιών και η κλοπή δεδομένων των καταναλωτών αποτελούν τη μεγαλύτερη ανησυχία. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να απειλήσουν την αλυσίδα εφοδιασμού, τη φήμη και τα κέρδη μιας εταιρείας. Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν την απενεργοποίηση λογισμικού και υλικού και παρέμβαση της εφοδιαστικής αλυσίδας εφοδιασμού (Hassoun *et al.*, 2022).

2.2.7 Το Νέφος - The Cloud

Στη βιβλιογραφία το νέφος (cloud) είναι επίσης γνωστό και ως “**υπολογιστικό νέφος** (Cloud computing, CC)” (Wang, Wan, Zhang, *et al.*, 2016). Οι εταιρείες χρησιμοποιούν ήδη λογισμικό που βασίζεται στο νέφος για ορισμένες εφαρμογές, αλλά με τη Βιομηχανία 4.0, ο οργανισμός χρειάζεται αυξημένη κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ των τοποθεσιών και των άλλων εταιρειών, δηλαδή την επίτευξη των χρόνων αντίδρασης σε χιλιοστά του δευτερολέπτου ή ακόμα πιο γρήγορα (Rübmann *et al.*, 2015).

Το cloud computing είναι η παροχή υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου. Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν εργαλεία και εφαρμογές όπως αποθήκευση δεδομένων, διακομιστές, βάσεις δεδομένων, δικτύωση και λογισμικό. Αντί να διατηρούνται τα αρχεία σε ιδιόκτητο σκληρό δίσκο ή τοπική συσκευή αποθήκευσης, η αποθήκευση που βασίζεται στο νέφος καθιστά δυνατή την αποθήκευση τους σε μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων. Εφόσον μια ηλεκτρονική συσκευή έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, έχει πρόσβαση στα δεδομένα και στα προγράμματα λογισμικού για την εκτέλεσή της.

Στο Cloud computing οι πληροφορίες βρίσκονται εξ αποστάσεως στο cloud ή σε έναν εικονικό χώρο. Οι εταιρείες που παρέχουν υπηρεσίες cloud επιτρέπουν στους χρήστες να αποθηκεύουν αρχεία και εφαρμογές σε απομακρυσμένους διακομιστές και στη συνέχεια να έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης δεν απαιτείται να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο μέρος για να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτό, επιτρέποντας στο χρήστη να εργάζεται εξ αποστάσεως. Η υιοθέτηση του CC έχει πολλά πλεονεκτήματα που σχετίζονται με τη μείωση του κόστους, π.χ. το άμεσο και έμμεσο κόστος για την αφαίρεση της υποδομής πληροφορικής στον οργανισμό, την υπηρεσία εξορθολογισμού πόρων από τους δυναμικά επεκτάσιμους χρήστες που καταναλώνουν μόνο τους υπολογιστικούς πόρους που χρησιμοποιούν στην πραγματικότητα ή τη φορητότητα κατά τη χρήση οποιουδήποτε τύπου συσκευής που είναι συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο, όπως κινητά τηλέφωνα ή tablet που έχουν πρόσβαση από οποιαδήποτε τοποθεσία του κόσμου (Branco, de Sá-Soares and Rivero, 2017). Έτσι, το νέφος μπορεί να έχει οποιονδήποτε από τους τέσσερις τύπους πρόσβασης (Xu, 2012; Alqaryouti and Siyam, 2018):

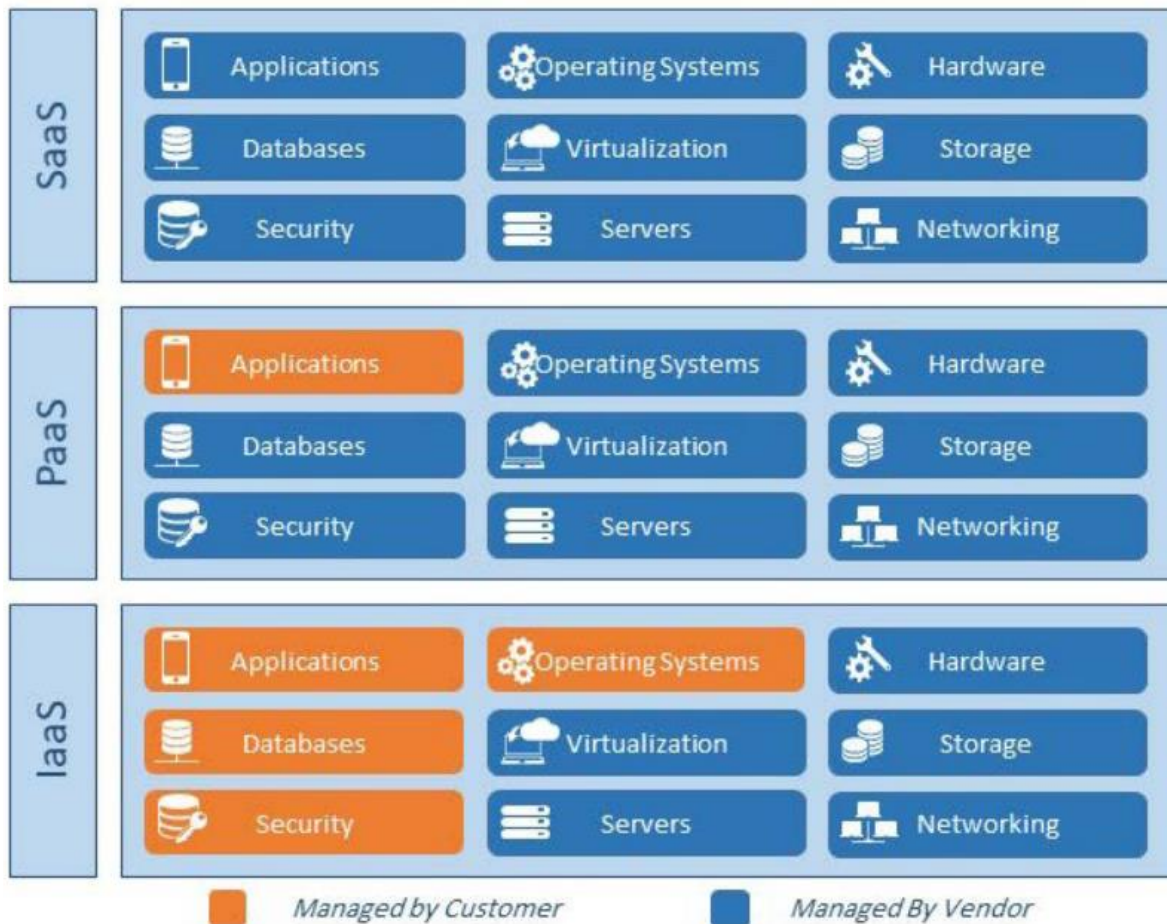
- Δημόσια (συνήθως σε τοποθεσία κέντρου δεδομένων, διαχειριζόμενη από προμηθευτές και διαθέσιμη για όλο το κοινό. Οι υπηρεσίες παρέχονται μέσω Διαδικτύου έναντι χρέωσης)
- Ιδιωτική (ίδια τοποθεσία του οργανισμού και προσφέρει ειδικά προνόμια και φιλοξενούμενες υπηρεσίες για συγκεκριμένο πελατολόγιο. Προορίζονται συνήθως μία επιχείρηση ή οργανισμό)
- Υβριδική (συνδυάζει στοιχεία τόσο των δημόσιων όσο και των ιδιωτικών υπηρεσιών. Όπως υποδηλώνει το όνομα, ένας συνδυασμός δημόσιων και ιδιωτικών

υπηρεσιών. Αυτός ο τύπος μοντέλου επιτρέπει στο χρήστη μεγαλύτερη ευελιξία και βοηθά στη βελτιστοποίηση της υποδομής και της ασφάλειας του χρήστη)

- Κοινοτική (κοινοποιούνται από πολλούς οργανισμούς και υποστηρίζονται από ένα συγκεκριμένο μοίρασμα ενδιαφερόντων από την κοινότητα).

2.2.7.1 Τύποι Cloud Computing

Το cloud computing δεν είναι ένα ενιαίο κομμάτι τεχνολογίας όπως ένα μικροτσίπ ή ένα κινητό τηλέφωνο. Αντίθετα, είναι ένα σύστημα που αποτελείται κυρίως από τρεις υπηρεσίες (Εικόνα 7): υποδομή ως υπηρεσία (IaaS), πλατφόρμα ως υπηρεσία (PaaS) και λογισμικό ως υπηρεσία (SaaS) (Xu, 2012; Assante *et al.*, 2016; Alqaryouti and Siyam, 2018; Senyo, Addae and Boateng, 2018):



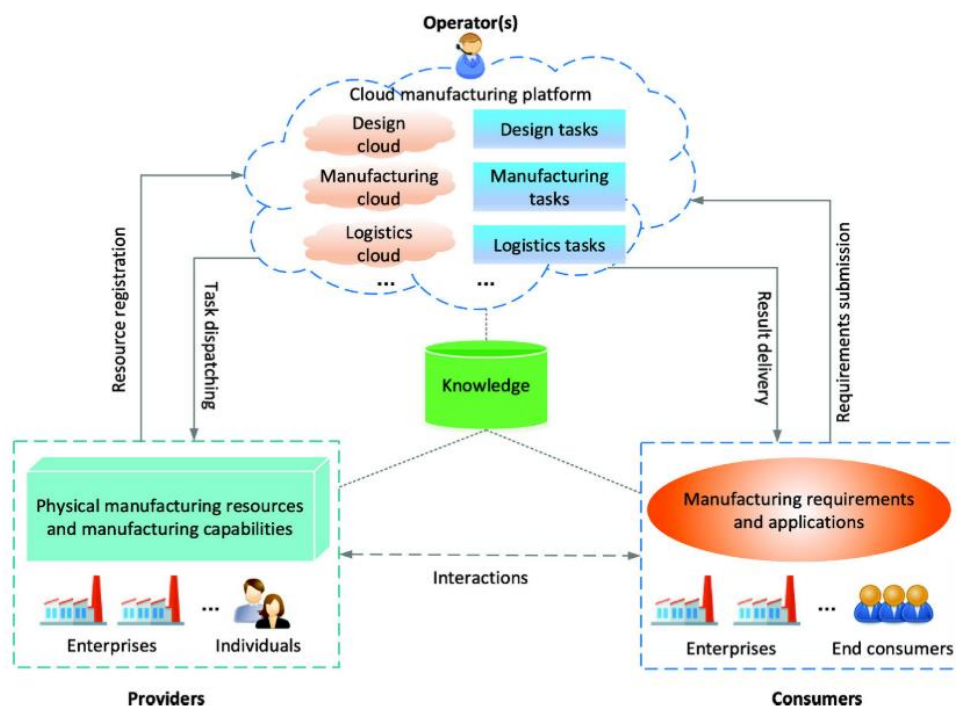
Εικόνα 7. Τα μοντέλα του Cloud computing.

Πηγή: (Alqaryouti and Siyam, 2018)

- Η υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service, IaaS) είναι όπου οι πάροχοι υπηρεσιών cloud παρέχουν στους χρήστες βασικούς υπολογιστικούς πόρους, με εικονικές υποδομές, π.χ. Για παράδειγμα, εφαρμογές λειτουργικών συστημάτων. Οι πελάτες μπορούν να αποφύγουν την ανάγκη αγοράς λογισμικού ή διακομιστών και αντ' αυτού να προμηθεύονται αυτούς τους πόρους σε μια εξωτερική ανάθεση υπηρεσίας κατ' απαίτηση.
- Η πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service, PaaS) είναι όπου οι χρήστες αναπτύσσουν και εκτελούν εφαρμογές χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού στις υποδομές cloud. Ως εκ τούτου, μπορεί να επιτευχθεί επεκτασιμότητα, διακομιστής υψηλής ταχύτητας και αποθήκευσης. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν, να εκτελέσουν και να αναπτύξουν τις δικές τους εφαρμογές με τη χρήση απομακρυσμένων πλατφορμών πληροφορικής.
- Το λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a Service, SaaS) είναι το μέρος όπου οι εφαρμογές βρίσκονται και εκτελούνται σε μια υποδομή cloud. Προσβάσιμο από διάφορες συσκευές-πελάτες μέσω μιας διεπαφής όπως ένα πρόγραμμα περιήγησης Ιστού (browser) και προγράμματα. Το επίκεντρο είναι η εξάλειψη των εφαρμογών υπηρεσιών σε τοπικές συσκευές μεμονωμένων χρηστών, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση και επιδόσεις για τους χρήστες. Αυτή η κατηγορία επιτρέπει εφαρμογές λογισμικού όπως το λογισμικό Computer-Aided-Design (CAD) και το λογισμικό Enterprise Resource Planning (ERP), με χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας.

Με τον συνδυασμό αυτών των προηγμένων τεχνολογιών, προκύπτει ένας νέος τρόπος παραγωγής προσανατολισμένος στην πληροφορική και στις υπηρεσίες ως **κατασκευαστικό νέφος** (cloud manufacturing, CMfg) (Zhang *et al.*, 2019). Μια λύση όπως το CMfg επιτρέπει στους χρήστες να ζητούν υπηρεσίες από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, από το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη διαχείριση και ούτω καθεξής. Με αυτή την έννοια, τα κύρια χαρακτηριστικά του CMfg (Feng and Huang, 2018) είναι: 1) ο προσανατολισμός στις υπηρεσίες και 2) η μετατόπιση του προσανατολισμού της κατασκευής και μεταποίησης από την παραγωγή στις υπηρεσίες. Το CMfg μπορεί να παρέχει σε μια μορφή υπηρεσίας σε επεκτάσιμες, ευέλικτες και οικονομικά αποδοτικές λύσεις με χαμηλότερο κόστος συντήρησης και υποστήριξης. Οι εργασίες κατασκευής και μεταποίησης μπορούν επίσης να ληφθούν ως υπηρεσίες στην πλατφόρμα υπηρεσιών

CMfg. Το κέντρο δεδομένων Cloud κατέχει τους υπολογιστικούς πόρους και οι διάφοροι οργανισμοί, π.χ. οι μεταποιητικές επιχειρήσεις, κατέχουν τους πόρους παραγωγής (Zhou *et al.*, 2018). Δεν χρειάζεται οι κατασκευαστές και οι χρήστες να επενδύουν σε υπολογιστές υψηλής τεχνολογίας, σε άδειες υπολογιστών ή να ανησυχούν για ενημερώσεις ή αναβαθμίσεις λογισμικού. Στην Εικόνα 8 δείχνεται παραστατικά το μοντέλο του CMfg.



Εικόνα 8. Το μοντέλο του κατασκευαστικού νέφους (CMfg).

Πηγή: (Zhou *et al.*, 2018)

Το μοντέλο CMfg όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8, αποτελείται από τρεις κατηγορίες ενδιαφερομένων: παρόχους, φορείς εκμετάλλευσης και καταναλωτές:

- Πάροχοι – κατέχουν και παρέχουν τις ικανότητες τους και τους πόρους παραγωγής. Μέσα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, για σκοπούς κοινής χρήσης, οι πάροχοι δημοσιεύουν κατασκευαστικούς πόρους στην πλατφόρμα CMfg και λαμβάνουν επίσης παραγγελίες κατασκευής από την πλατφόρμα cloud. Όλα μετατρέπονται σε υπηρεσίες, υπό την αποκλειστική διαχείριση του φορέα εκμετάλλευσης.
- Χειριστής/ές - οι οποίοι λειτουργούν την πλατφόρμα CMfg και παρέχουν υπηρεσίες σε παρόχους, καταναλωτές, ακόμη και σε τρίτους. Με αυτόν τον τρόπο,

οι καταναλωτές από την πλατφόρμα cloud μπορούν να επιτύχουν κατ' απαίτηση υπηρεσίες υψηλής ποιότητας και βιώσιμης παραγωγής. Οι πάροχοι έχουν άδεια να δημοσιεύουν τους πόρους και τις δυνατότητές τους με τη χρήση εργαλείων που παρέχονται από την πλατφόρμα cloud.

- Καταναλωτές - εγγράφονται στη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών παραγωγής στην πλατφόρμα υπηρεσιών CMfg. Υπό την αποκλειστική διαχείριση του φορέα εκμετάλλευσης, οι πελάτες, συμπεριλαμβανομένων των πελατών επιχειρήσεων και των μεμονωμένων πελατών, υποβάλλουν τις απαιτούμενες εργασίες στην πλατφόρμα CMfg, π.χ., εργασίες σχεδίασης, κατασκευής, μεταποίησης, δοκιμής ή προσομοίωσης και επίσης λαμβάνουν τα αποτελέσματα εκτέλεσης των παραγγελιών τους.

2.2.7.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Το CMfg είναι ένα μοντέλο παραγωγής που βασίζεται στη γνώση. Η έννοια του CMfg χρησιμοποιεί υπολογιστικό νέφος, μεγάλα δεδομένα, IoT, την διασυνδεδεμένη κατασκευή, κατασκευή προσανατολισμένη στις υπηρεσίες, την εικονική κατασκευή και εικονική επιχείρηση (Zhou et al., 2018). Η συνεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί και να υποστηριχθεί από το CMfg, την κοινή χρήση και τη διαχείριση των κατασκευαστικών πόρων, όπως οι δυνατότητες κατασκευής, ο εξοπλισμός, οι εφαρμογές, τα εργαλεία λογισμικού, η τεχνογνωσία κ.λπ., των εταιρειών και αυτές οι εταιρείες με τη σειρά τους μπορούν να συμπεριληφθούν στο νέφος, καθιστώντας την μεταποίηση προσιτή σε δυνητικούς και απομακρυσμένους καταναλωτές. Στο CMfg, οι πόροι και οι δυνατότητες κατασκευής εικονικοποιούνται και ενσωματώνονται ως υπηρεσίες κατασκευής νέφους (Manufacturing Cloud Services, MCS), προτού εγγραφούν και δημοσιευτούν στην πλατφόρμα CMfg. Μέσω του δικτύου, τα MCS μπορούν εύκολα να ανακαλυφθούν και να προσπελαστούν από τους πελάτες. Ταυτόχρονα, η έξυπνη και αποτελεσματική διαχείριση και οι λειτουργίες των MCS έχουν οδηγήσει στην πλήρη κατανομή των πόρων και τη βαθιά συνεργασία μεταξύ των επιχειρήσεων. Για τις συνεργαζόμενες επιχειρήσεις, οι κοινόχρηστοι πόροι, η γνώση και οι τεχνολογίες μπορούν να καλύψουν τους τεχνολογικούς περιορισμούς τους, έτσι ώστε να μειωθούν τα εμπόδια για τη συμμετοχή σε πολύπλοκα έργα.

2.2.8 Προσθετική Κατασκευή - Additive Manufacturing (AM)

Η προσθετική κατασκευή, συχνά γνωστή ως τρισδιάστατη (3D ή 3D) εκτύπωση, είναι η τεχνική δημιουργίας τρισδιάστατων στερεών αντικειμένων από ένα αρχείο υπολογιστή (CAD) ή τρισδιάστατο σαρωτή αντικειμένων. Αν και οι όροι "3D printing" και "rapid prototyping" χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την προσθετική κατασκευή, κάθε διαδικασία είναι στην πραγματικότητα ένα υποσύνολο της προσθετικής κατασκευής. Ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση φαίνεται νέα σε πολλούς, στην πραγματικότητα υπάρχει εδώ και αρκετές δεκαετίες. Ένα αντικείμενο κατασκευάζεται με την τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης με την τοποθέτηση διαδοχικών στρωμάτων υλικού μέχρι να ολοκληρωθεί το προϊόν. Κάθε ένα από αυτά τα στρώματα μπορεί να θεωρηθεί ως διατομή του αντικειμένου που έχει κοπεί σε πολύ μικρά πάχη (3dprinting.com, 2022). Όπως υποδηλώνει το όνομα, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής προσθέτουν υλικό για τη δημιουργία αντικειμένων. Αντίθετα, όταν τα αντικείμενα δημιουργούνται με παραδοσιακά μέσα, είναι συχνά απαραίτητο να αφαιρεθεί το υλικό με φρεζάρισμα, μηχανική κατεργασία, σκάλισμα, χύτευση ή άλλα μέσα (General Electric, 2022).

Οι Jian et al. (2017) διερεύνησαν τις δυνατότητες της AM στην αντικατάσταση πολλών συμβατικών διαδικασιών παραγωγής. Η προσθετική κατασκευή είναι μια τεχνολογία που βοηθάει σε νέα προϊόντα, νέα επιχειρηματικά μοντέλα και νέες αλυσίδες εφοδιασμού. Ένα σύνολο τεχνολογιών που επιτρέπει την «τρειςδιάστατη εκτύπωση» φυσικών αντικειμένων αποτελούν τον συλλογικό όρο «προσθετική κατασκευή» (AM). Προϊόντα όπως μοναδικά στο είδος τους, μπορούν να κατασκευαστούν χωρίς τα συμβατικά πλεονάσματα, επομένως είναι μεγάλο πλεονέκτημα. Μερικά πιθανά οφέλη της 3D εκτύπωσης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Tofail *et al.*, 2018):

- Κατασκευή εξαρτημάτων απευθείας από αρχεία δεδομένων CAD (με ελάχιστη έως καθόλου πρόσθετη επεξεργασία).
- Μεγαλύτερη δυνατότητα τροποποίησης του αρχικού εξαρτήματος χωρίς επιπλέον κόστος εργαλείων ή κατασκευής.
- Κατασκευή σύνθετων γεωμετριών (ορισμένες γεωμετρίες δεν μπορούν να επιτευχθούν με συμβατικές διαδικασίες, χωρίς να χωριστούν σε πολλά μέρη).

- Κατασκευή κούφιων εξαρτημάτων (πετυχαίνοντας μικρότερο βάρος) ή δικτυωτών κατασκευών.
- Μεγιστοποίηση της χρήσης υλικών για την επίτευξη «μηδενικά απόβλητα».
- Μικρότερο λειτουργικό αποτύπωμα για την κατασκευή μεγάλης ποικιλίας ανταλλακτικών.
- Κατασκευή κατά παραγγελία και εξαιρετική επεκτασιμότητα.

Οι Chang et al. (2018) εξέτασαν την επόμενη γενιά εφαρμογών της AM. Νέες διαδικασίες όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση σε μικρο/νανοκλίμακα, η βιοεκτύπωση (AM βιοϋλικών) και η 4D εκτύπωση (συνδυασμός AM με έξυπνα υλικά (που ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα που αλλάζουν το σχήμα ή τις λειτουργικές τους ιδιότητες) για την κατασκευή σε υψηλό επίπεδο ανάλυση σύνθετων τρισδιάστατων χαρακτηριστικών, σε πολλαπλά υλικά ή πολλαπλές λειτουργίες. Στο εγγύς μέλλον, η τεχνολογία AM θα επεκταθεί υποκαθιστώντας τελικά τις τρέχουσες τεχνολογίες.



Εικόνα 9. Κατασκευή εξαρτήματος από πλαστικό με τη μέθοδο FDM.

Πηγή: (Open.edu, 2016) <https://tinyurl.com/3r3hs4cw>

2.2.8.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Η 3D εκτύπωση χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία πρωτοτύπων και την παραγωγή μεμονωμένων εξαρτημάτων. Με το Industry 4.0, αυτές οι μέθοδοι AM μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως για την παραγωγή μικρών παρτίδων εξατομικευμένων προϊόντων που προσφέρουν κατασκευαστικά πλεονεκτήματα, όπως πολυπλοκότητα, ελαφρύς σχεδιασμός (Rüßmann et al., 2015). Η παραγωγή γίνεται ταχύτερη και φθηνότερη

με τη χρήση τεχνολογιών AM όπως η μέθοδος εξώθησης υλικού (Fused Deposition Modeling, FDM), η επιλεκτική τήξη με λέιζερ (Selective Laser Melting, SLM) και η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ (Selective Laser Sintering, SLS) κ.α. (Landherr, Schneider and Bauernhansl, 2016). Καθώς οι ανάγκες του πελάτη αλλάζουν συνεχώς, πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή για να αντιμετωπίζουν την πρόκληση της αυξανόμενης εξατομίκευσης των προϊόντων και της μείωσης του χρόνου για να φτάσει στην αγορά.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εκπληρώνει τον κεντρικό στόχο του Industry 4.0 που είναι να εξυπηρετεί τις ατομικές ανάγκες και προτιμήσεις των πελατών. Σε έναν τρισδιάστατο εκτυπωτή τροφίμων τα ακατέργαστα συστατικά εναποτίθενται κατά στρώματα σε μια διαδοχική διαδικασία σύμφωνα με τη συνταγή, το διαμορφωμένο σχήμα και τη διάταξη. Άλλες πιθανές προσαρμογές περιλαμβάνουν τη γεύση, το θρεπτικό περιεχόμενο, την υφή και το χρώμα. Η τεχνολογία έχει ανοίξει τη δυνατότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων και ως εκ τούτου, παρέχει στις εταιρείες και πρόσβαση σε μια νέα ευκαιρία στην αγορά (Noor Hasnan and Yusoff, 2018). Από την άποψη της συντήρησης, η 3D εκτύπωση είναι μια πιθανή λύση για την παραγωγή ανταλλακτικών που έχουν πολύπλοκη γεωμετρία, απαιτούν κουραστική συναρμολόγηση ή είναι δυσεύρετα.

2.2.9 Επαυξημένη Πραγματικότητα - Augmented Reality (AR)

Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι μια διαδραστική εμπειρία ενός πραγματικού περιβάλλοντος όπου τα αντικείμενα που βρίσκονται στον πραγματικό κόσμο ενισχύονται από αντιληπτικές πληροφορίες που δημιουργούνται από υπολογιστή, μερικές φορές σε πολλαπλές αισθητηριακές μεθόδους, όπως οπτική, ακουστική, απτική, σωματοαισθητική και οσφρητική (Wikipedia, 2022). Το AR μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα που ενσωματώνει τρία βασικά χαρακτηριστικά: έναν συνδυασμό πραγματικού και εικονικού κόσμου, αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο και ακριβή τρισδιάστατη καταγραφή εικονικών και πραγματικών αντικειμένων. Με την άνοδο της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, ένας από τους κύριους στόχους της επαυξημένης πραγματικότητας είναι να τονίσει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου, να αυξήσει την κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών και να αποκτήσει έξυπνη και προσβάσιμη γνώση

που μπορεί να εφαρμοστεί σε εφαρμογές του πραγματικού κόσμου. Τέτοια μεγάλα δεδομένα (BD) μπορούν να βοηθήσουν τις εταιρείες να λάβουν αποφάσεις και να αποκτήσουν γνώσεις για τις καταναλωτικές συνήθειες και πολλά άλλα (Hayes, 2020).

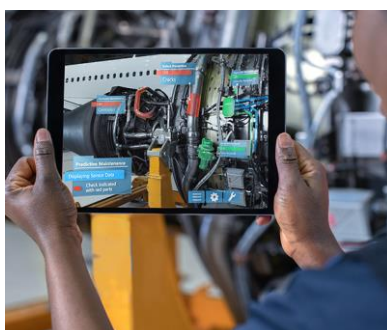
Στόχος του AR είναι η προσομοίωση, η βοήθεια και η βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής με μια καινοτόμο και αποτελεσματική επίλυση προβλημάτων πριν αυτές οι διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν. Οι εφαρμογές AR περιλαμβάνουν υλικό και λογισμικό, όπως οθόνες που τοποθετούνται στο κεφάλι και ανιχνευτές ακριβείας (Nee *et al.*, 2012). Τα εργαλεία επαυξημένης πραγματικότητας εφαρμόζονται σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής του προϊόντος και έχουν σημαντική συμβολή σε όλες τις φάσεις του. Συνοπτικά, μπορεί να ειπωθεί ότι ο στόχος των εφαρμογών AR είναι να αυξήσουν τη εικόνα που βλέπει ο χρήστης με πρόσθετες πληροφορίες συνδυάζοντας την πραγματική εικόνα με την εικονική σκηνή που έχει δημιουργηθεί από έναν υπολογιστή (Elia, Gnoni and Lanzilotto, 2016). Τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας υποστηρίζουν μια ποικιλία υπηρεσιών, όπως η επιλογή εξαρτημάτων σε μια αποθήκη και η αποστολή εντολών επισκευής μέσω φορητών συσκευών. Οι βιομηχανίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την επαυξημένη πραγματικότητα για να παρέχουν στους υπαλλήλους πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για να βελτιώσουν τη λήψη αποφάσεων και τη ροή εργασίας. Η τεχνολογία AR αυξάνει την αντίληψη της πραγματικότητας του χειριστή κάνοντας χρήση τεχνητών πληροφοριών για το περιβάλλον. Έτσι, όταν ένας υπάλληλος επιθεωρεί το πραγματικό σύστημα που χρειάζεται επισκευή, μπορεί να λάβει οδηγίες επισκευής σχετικά με τον τρόπο αντικατάστασης ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος (Rüßmann *et al.*, 2015).

2.2.9.1 Πεδίο εφαρμογής και ωφέλειες

Η τεχνολογία AR μπορεί να έχει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, π.χ. μεταποίηση, συντήρηση, χειρουργική, εφοδιαστική, ψυχαγωγία, μάρκετινγκ, τουρισμός, κ.λπ. (Palmarini *et al.*, 2018). Μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη ορισμένων κενών, π.χ., μεταξύ ανάπτυξης προϊόντος και της παραγωγής του, λόγω της ικανότητας αναπαραγωγής και επαναχρησιμοποίησης ψηφιακών πληροφοριών και γνώσεων, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει λειτουργίες συναρμολόγησης (Rentzos *et al.*, 2013). Σύμφωνα με τους Segovia *et al.* (2015), ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη αυτού του εργαλείου είναι η μείωση του χρόνου ελέγχου. Η συντήρηση είναι ένας από τους πιο υποσχόμενους τομείς που μπορεί να

βρεί εφαρμογή η AR. Η επαυξημένη πραγματικότητα ενισχύει τις ανθρώπινες επιδόσεις στην εκτέλεση εργασιών τεχνικής συντήρησης καθώς επίσης υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη συντήρηση (Palmarini et al., 2018).

Η τεχνολογία αυτή έχει εφαρμογή και στο marketing μιας βιομηχανίας τροφίμων. Υποστηρίζει τον καταναλωτή να ασχοληθεί προσωπικά με το προϊόν και να τον αφήσει να εξετάσει προσεκτικά τα προϊόντα σαν να ήταν ακριβώς μπροστά του. Καθώς ο καταναλωτής αντιλαμβάνεται την εικόνα των προϊόντων διατροφής ζωντανά μέσω της κάμερας του, μπορεί να δει πληροφορίες σχετικά με την τιμή, τις θερμίδες και το μέγεθος (Noor Hasnan and Yusoff, 2018).



Εικόνα 10. Εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας στη συντήρηση.

Πηγή: <https://tinyurl.com/4rayy7eu>

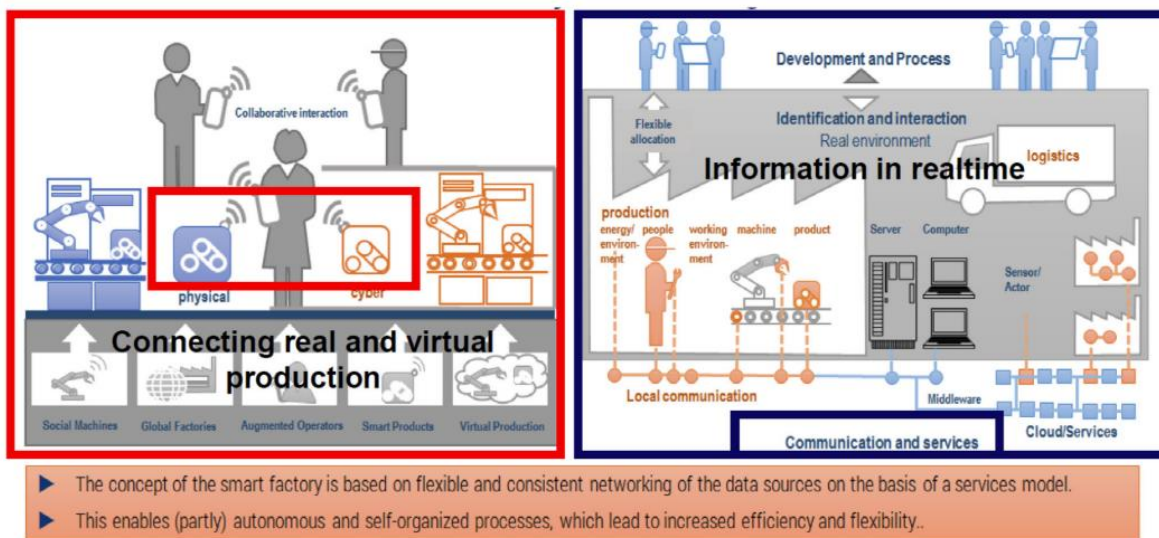
2.2.10 Λοιπές τεχνολογίες I4.0

Κατά την έρευνα της βιβλιογραφίας, διάφοροι συγγραφείς στα πλαίσια της δικής τους έρευνας για το I4.0 έχουν αναφερθεί σε τεχνολογικά πλαίσια τα οποία δεν είναι παρά ο συνδυασμός και η συνεργασία των 9 τεχνολογικών πυλώνων που πλαισιώνουν τη Βιομηχανία 4.0. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από τους τεχνολογικούς όρους που έχουν βρεθεί.

2.2.10.1 Κυβερνοφυσικά συστήματα – Cyber physical systems

Ο όρος κυβερνοφυσικά συστήματα (Cyber-Physical Systems, CPS) έχει οριστεί ως τα συστήματα στα οποία τα φυσικά και τα ανθρωπογενή συστήματα (φυσικός χώρος) είναι στενά ενσωματωμένα με συστήματα υπολογισμού, επικοινωνίας και ελέγχου

(κυβερνοχώρος) (Bagheri *et al.*, 2015). Το μοντέλο των CPS μπορεί να περιγραφεί ως μια μονάδα ελέγχου με έναν ή περισσότερους μικροελεγκτές, αισθητήρες ελέγχου και ενεργοποιητές που αλληλεπιδρούν με τον πραγματικό κόσμο και επεξεργάζονται τα δεδομένα που συλλέγονται. Μια διεπαφή επικοινωνίας θα επιτρέψει σε αυτό το ενσωματωμένο σύστημα να ανταλλάσσει δεδομένα με το cloud ή με άλλα ενσωματωμένα συστήματα (Εικόνα 11). Η αποκέντρωση και η αυτόνομη συμπεριφορά της παραγωγικής διαδικασίας είναι τα κύρια χαρακτηριστικά του CPS. Το CPS, ή διαφορετικά «έξυπνες μηχανές» (Thoben, Wiesner and Wuest, 2017), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενοποίηση του φυσικού με το εικονικό περιβάλλον, τις διαδικασίες και τις λειτουργίες ελέγχου και συντονισμού των μηχανών. Ταυτόχρονα, αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να προσφέρουν την πρόσβαση σε δεδομένα και διαδικασίες και να την χρησιμοποιούν (Monostori *et al.*, 2016). Η τεχνολογία των κυβερνοφυσικών συστημάτων μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς όπως ψηφιακά ιατρικά όργανα και συστήματα που υιοθετούν τεχνολογία αυτόματης απόκτησης και ελέγχου, κατακεντρωμένα συστήματα ενέργειας, αεροδιαστημικός έλεγχος και έλεγχος αεροσκαφών, βιομηχανικός έλεγχος κ.λπ. (Liu *et al.*, 2017).



Εικόνα 11. Γενική δομή ενός κυβερνοφυσικού συστήματος.

Πηγή: (Mueller, Chen and Riedel, 2017)

2.2.10.2 M2M

Το M2M σημαίνει «επικοινωνία μηχανής με μηχανή» (Machine to Machine communication). Αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ μηχανών και εργαλείων. Είναι

άμεσα συνδεδεμένο με τα Big Data και Analytics, καθώς απαιτεί σύστημα συγχρονισμού, συλλογής και παρακολούθησης των δεδομένων που προέρχονται από τα μηχανήματα (Guizani, 2019). Το M2M αποτελείται από ένα σύστημα επικοινωνίας με διαλειτουργικότητα, το οποίο καθιστά τα μηχανήματα ικανά να κατανοούν το ένα το άλλο, διευκολύνοντας την προσαρμογή τους στις γραμμές παραγωγής (Gilchrist, 2016, σε Frank, Dalenogare and Ayala, 2019, p. 10). Η επικοινωνία αυτή επιτυγχάνεται με την βοήθεια του ΠoT το οποίο λειτουργεί ως η κύρια πλατφόρμα επικοινωνίας (Sezer, Dogdu and Ozbayoglu, 2018; Guizani, 2019).

2.2.10.3 Μηχανική μάθηση και Τεχνητή νοημοσύνη – Machine learning & Artificial Intelligence

Η μηχανική μάθηση (Machine Learning, ML) είναι μια δυναμική τεχνική που βασίζεται σε υπολογιστικές μεθόδους και που μπορεί να εξάγει χρήσιμες πληροφορίες και βέλτιστες αποφάσεις με την επεξεργασία των μεγάλων δεδομένων (BD), τόσο δομημένων όσο και μη, που μπορούν να επιτευχθούν από μια επιχείρηση σε μια δεδομένη χρονική στιγμή (Moktadir *et al.*, 2018). Το επίκεντρο της ML δεν είναι η επίτευξη τεχνητής νοημοσύνης αλλά η επίλυση πρακτικών προβλημάτων με βάση στατιστικές και πιθανολογικές μεθόδους και μοντέλα (M. A. Ruiz Garcia *et al.* σε Matt, Modrák and Zsifkovits, 2021). Η μηχανική μάθηση έχει να προσφέρει θετικά στο σύστημα παραγωγής μιας μονάδας μεταποίησης για την παρακολούθηση ελαττωμάτων, τον εντοπισμό σφαλμάτων και την πρόβλεψη μελλοντικών αναγκών. Συχνά, μαζί με τον όρο ML αναφέρεται και ο όρος τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence, AI), ο οποίος σημαίνει τη μίμηση της ανθρώπινης νοημοσύνης χρησιμοποιώντας υπολογιστές. Το AI βασίζεται συνήθως σε έναν ή περισσότερους αισθητήρες και εξωτερικές ροές δεδομένων, σε συνδυασμό με αλγόριθμους ML και λογικούς ή αιτιακούς περιορισμούς (Hassoun *et al.*, 2022). Δανειζόμενοι ένα πλαίσιο από τη στατιστική, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις βιομηχανικές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης ως descriptive, predictive, ή prescriptive. (Olsen and Tomlin, 2020). Η τεχνητή νοημοσύνη, για παράδειγμα, μπορεί να αναγνωρίζει εικόνες ή αντικείμενα και έτσι να μπορεί να ενδυναμώσει τις δεξιότητες πχ. κατηγοριοποίησης των εργαζομένων, ή εναλλακτικά, να επιτρέψει στα ρομπότ να αυτοματοποιήσουν τους τύπους των εργασιών αναγνώρισης μοτίβων.

2.2.10.4 Blockchain

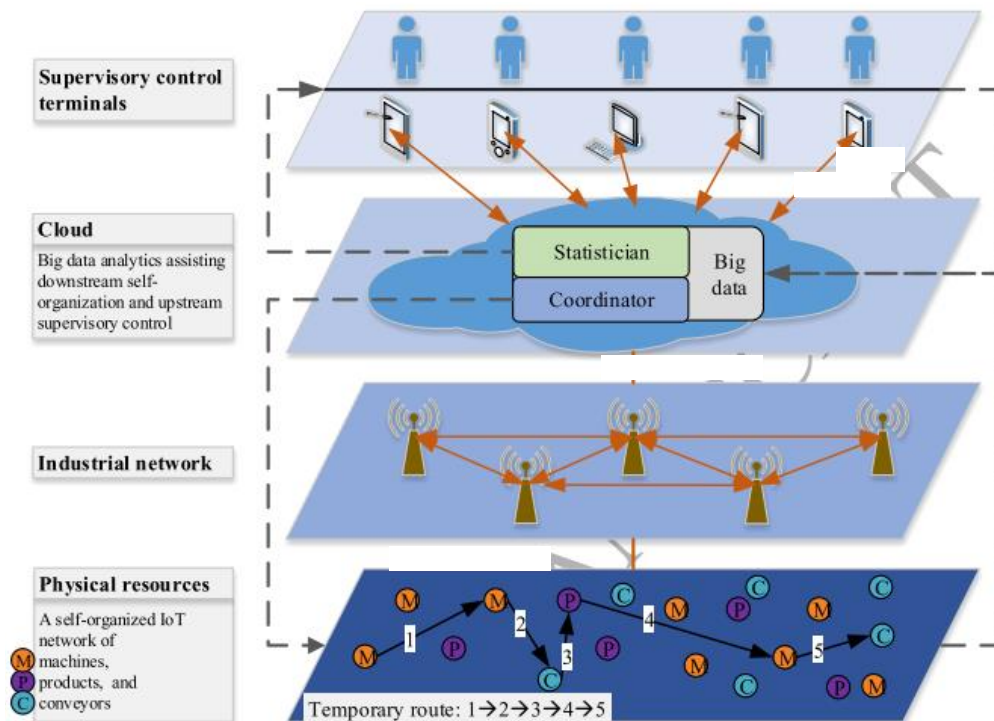
«Το Blockchain είναι ένας κατακευμαμένος λογιστικός κατάλογος (distributed ledger), δημόσιος ή ιδιωτικός, στον οποίο συναλλαγές ή δεδομένα συνδέονται μεταξύ τους σε συνδεδεμένα μπλοκ δεδομένων καθιστώντας τα πρακτικά αμετάβλητα και αδιαμφισβήτητα από όλους τους κατακευμαμένους κόμβους (Nodes) στους οποίους έχει γίνει η ενημέρωση του καταλόγου» (Hellenic Blockchain Hub, no date). Το Blockchain επιτρέπει τη διατήρηση πληροφοριών σε ολόκληρη την ιστορία ενός προϊόντος καθώς αυτό ταξιδεύει κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Αν και αυτό μπορεί επίσης να γίνει μέσω μιας κεντρικής βάσης δεδομένων (π.χ. SAP και Oracle), η κατακευμαμένη φύση της παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία. Με το blockchain, δεν υπάρχει ανάγκη να επιτρέπεται η πρόσβαση τρίτων σε εμπορικά ευαίσθητα συστήματα. Επιπλέον, οποιοσδήποτε στην αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να ανεβάσει πληροφορίες στην αλυσίδα και δεν χρειάζεται να είναι άμεσα συνδεδεμένος με κάποιον κεντρικό «κάτοχο» (Olsen and Tomlin, 2020). Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων στερούνται επαρκούς ιχνηλασιμότητας των προϊόντων, με αποτέλεσμα την απουσία της διαφάνειας στις ετικέτες και επιπλοκές στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να είναι μια λύση σε αυτές τις διαταραχές της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Το Blockchain αυξάνει την ιχνηλασιμότητα σε όλη την αλυσίδα, συνδέει και παρακολουθεί τα δεδομένα από τον παραγωγό έως στον καταναλωτή, επιτρέποντας πιο ακριβείς και ταχύτερες ανακλήσεις προϊόντων, εξαλείφοντας έτσι κάποιους κινδύνους και προσφέροντας τρόφιμα καλύτερης ποιότητας (Hassoun *et al.*, 2022). Αυτή η ασφάλεια των δεδομένων του blockchain είναι απόρροια του πυλώνα της κυβερνοασφάλειας.

Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων στερούνται ιχνηλασιμότητας και ιχνηλασιμότητας των προϊόντων, με αποτέλεσμα την απουσία διαφάνειας στην επισήμανση, αργούς κύκλους καινοτομίας προϊόντων και επιπλοκές στα logistics. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να είναι μια λύση σε αυτές τις ανησυχίες της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Το blockchain έχει προταθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, που υποστηρίζεται από το Industry 4.0, που αποτελείται από ψηφιακά, αποκεντρωμένα, κατακευμαμένα λογιστικά βιβλία που διατηρούνται από ένα δίκτυο πολλαπλών υπολογιστών που μπορούν να προωθήσουν την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια (Hassoun *et al.*, 2022).

2.2.10.5 Έξυπνο Εργοστάσιο – Smart factory

Στο πλαίσιο του Το I4.0 είναι η ανάπτυξη του έξυπνου εργοστασίου. Το έξυπνο εργοστάσιο (Smart Factory, SF) βασίζεται στο Cloud computing και λειτουργεί σε ένα δίκτυο στο οποίο εταιρείες, προμηθευτές και πελάτες συνδέονται στενά και ο ανθρώπινος παράγοντας είναι θεμελιώδης (Strozzi *et al.*, 2017). Οι Pereira and Romero (2017) έχουν βρεί στην έρευνά τους ότι τα κύρια συστατικά του SF είναι CPS, IoT και IoS. Οι (Wang *et al.*(2016) επιβεβαίωσαν ότι τεχνολογίες πληροφορικής όπως το IoT, τα μεγάλα δεδομένα και το cloud computing, μαζί με τις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, βοηθούν στην υλοποίηση του έξυπνου εργοστασίου του Industry 4.0 (Εικόνα 12).

Σύμφωνα με τους Tura, Simota and Steiner (2017), η κύρια και βασική τεχνολογία που διέπει το SF είναι τα κυβερνοφυσικά συστήματα. Το SF είναι το βασικό χαρακτηριστικό του I4.0 και το πιο κρίσιμο από τα στοιχεία του I4.0, όπου υλοποιείται η κάθετη ολοκλήρωση, ενώ η οριζόντια ολοκλήρωση λαμβάνει χώρα στο δίκτυο αξίας του SF αλλά και σε διαφορετικά έξυπνα εργοστάσια, επιτρέποντας την ενσωμάτωση της τεχνολογίας από άκρο σε άκρο σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Αυτές οι τεχνολογικές λύσεις δημιουργούν ένα έξυπνο περιβάλλον στις αλυσίδες εφοδιασμού για την επίτευξη ευέλικτων και προσαρμοστικών παραγωγικών διαδικασιών (Alcácer and Cruz-Machado, 2019).



Εικόνα 12. Το μοντέλο του έξυπνου εργοστάσιου.

Πηγή: (Wang, Wan, Zhang, *et al.*, 2016)

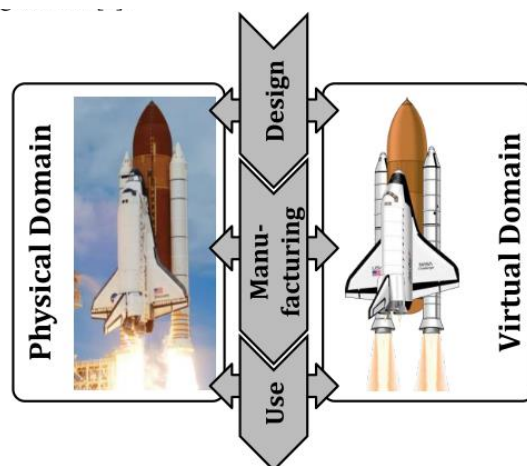
2.2.10.6 Έξυπνοι αισθητήρες – Smart sensors

Ένας έξυπνος αισθητήρας είναι μια συσκευή που λαμβάνει δεδομένα από το φυσικό περιβάλλον και χρησιμοποιεί ενσωματωμένους υπολογιστικούς πόρους για να εκτελέσει μια προκαθορισμένη λειτουργία όταν ανιχνεύεται μια συγκεκριμένη είσοδος και στη συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα πριν τη μετάδοσή της. Το έξυπνο εργοστάσιο στοχεύει στην επίτευξη της ενσωμάτωσης του εικονικού και φυσικού κόσμου με βάση το CPS, το IoT και το cloud (Wan, Cai and Zhou, 2015). Η αναπτυσσόμενη τεχνολογία έξυπνων αισθητήρων και το ενσωματωμένο σύστημα λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και τη μεταφορά πληροφοριών στα εργοστάσια, είναι οι δύο βασικές κατευθύνσεις που σχετίζονται στενά με την ανάπτυξη του ενσωματωμένου συστήματος. Υπάρχουν πέντε κύριοι τύποι έξυπνων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη Βιομηχανία 4.0 (RGBSI, 2020): στάθμης, θερμοκρασίας, πίεσης, υπέρυθρων και εγγύτητας.

2.2.10.7 Ψηφιακά δίδυμα - Digital twins

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για τα ψηφιακά δίδυμα. Λέγεται (σε Wagner *et al.*, 2019, p. 89) ότι η NASA έδωσε τον πρώτο ορισμό: “A Digital Twin is an integrated multiphysics,

multiscale, probabilistic simulation of an as-built vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin”. Η Εικόνα 13 δίνει μία οπτικοποίηση αυτού του ορισμού. Ενώ τόσο τα ψηφιακά δίδυμα όσο και οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν ψηφιακά μοντέλα για την αναπαραγωγή των πολλών λειτουργιών ενός συστήματος, ένα ψηφιακό δίδυμο είναι πραγματικά ένας εικονικός κόσμος, καθιστώντας την έρευνα πολύ πιο πλούσια. Η κύρια διάκριση μεταξύ ενός ψηφιακού δίδυμου και μιας προσομοίωσης είναι η κλίμακα: Ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να εκτελέσει όσες ουσιαστικές προσομοιώσεις χρειάζεται για να εξερευνήσει πολλές διεργασίες, ενώ μια προσομοίωση συνήθως αναλύει μόνο μια συγκεκριμένη διαδικασία. Υπάρχουν ακόμη περισσότερες διαφορές. Για παράδειγμα, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο δεν είναι συνήθως χρήσιμα για προσομοιώσεις. Ωστόσο, τα ψηφιακά δίδυμα δημιουργούνται γύρω από μια αμφίδρομη ροή πληροφοριών που ξεκινά όταν οι αισθητήρες αντικειμένων παρέχουν στον επεξεργαστή του συστήματος σχετικά δεδομένα και συνεχίζεται όταν ο επεξεργαστής μοιράζεται πληροφορίες με το αρχικό αντικείμενο προέλευσης (IBM, 2022).



Εικόνα 13. Το ψηφιακό δίδυμο σύμφωνα με την NASA.

Πηγή: (Wagner et al., 2019)

2.3 Οι προκλήσεις της υιοθέτησης της Βιομηχανίας 4.0

Η υιοθέτηση των τεχνολογιών που προσφέρει στην παραγωγή το I4.0 περιλαμβάνει πολλές πτυχές και αντιμετωπίζει πολλούς τύπους δυσκολιών και προκλήσεων,

συμπεριλαμβανομένων επιστημονικών, τεχνολογικών και οικονομικών προκλήσεων, κοινωνικών προβλημάτων καθώς και πολιτικών ζητημάτων.

2.3.1 Οι προκλήσεις υιοθέτησης των τεχνολογιών των 9 πυλώνων του I4.0

2.3.1.1 Επεξεργασία και ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

Τα 5 «V» των μεγάλων δεδομένων (Όγκος-Volume, Ταχύτητα-Velocity, Ποικιλία-Variety, Ακρίβεια-Veracity, Αξία-Value) αποτελούν από μόνα τους πρόκληση. Σύμφωνα με τους Sen, Ozturk and Vayvay (2016) οι εταιρίες που καλούνται να τα διαχειριστούν πρέπει να απαντήσουν στις παρακάτω ερωτήσεις:

- Ποια είναι η ικανότητα αποθήκευσης των δεδομένων;
- Πώς θα γίνει η επεξεργασία αυτών;
- Ποιος θα παράγει λογικές πληροφορίες από αυτό;
- Πώς εξασφαλίζεται η ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων;

Άλλοι ερευνητές (Ortiz, 2020) τονίζουν την αναγκαιότητα των συστημάτων καταγραφής των μεγάλων δεδομένων να είναι συνέχεια συνδεδεμένα σε πραγματικό χρόνο σε υπολογιστές, συστήματα και τα μηχανήματα της βιομηχανίας, όπως επίσης να είναι συνέχεια συνδεδεμένα σε πραγματικό χρόνο και με τις ανάγκες και τις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των stakeholders. Οι Vaidya, Ambad and Bhosle (2018) αναφέρουν ότι η διασφάλιση υψηλής ποιότητας και ακεραιότητας των δεδομένων που καταγράφονται από το σύστημα παραγωγής αποτελεί άλλη μία πρόκληση. Τα είδη των δεδομένων είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους και η ενσωμάτωση των δεδομένων από διαφορετικές πηγές με διαφορετική σημασιολογία που προορίζονται για προηγμένες αναλύσεις δεδομένων, είναι μια αυξανόμενη πρόκληση.

2.3.1.2 Αυτόνομα Ρομπότ

Το σύστημα παραγωγής του I4.0 χρειάζεται περισσότερη αυτονομία και δυνατότητες κοινωνικότητας ως βασικοί παράγοντες αυτοοργανωμένων συστημάτων. Το σημερινό σύστημα έχει έλλειψη αυτονομίας από τέτοιου είδους συστήματα και δεν υπάρχουν ευφρείς μηχανισμοί λήψης αποφάσεων (Wang, Wan, Li, *et al.*, 2016). Ο Ortiz

(2020) στην έρευνα του αναφέρει ότι σημαντικά ανασταλτικός παράγοντας αποτελεί το υψηλό κόστος απόκτησης εξοπλισμού CPS μέρος των οποίων αποτελούν και τα ρομποτικά. Επιπλέον, η ανάγκη διασύνδεσης όλων των συστημάτων, αισθητήρων και μηχανών και η ακατάπαυστη λειτουργία τους στους χώρους παραγωγής για την μετάδοση των σημάτων σε πραγματικό χρόνο, καθιστούν το όλο εγχείρημα δύσκολο και επιτακτική την περιοδική συντήρηση των συστημάτων αυτών. Σύμφωνα με την Wikipedia «Ένα αυτόνομο ρομπότ είναι ένα ρομπότ που δρα χωρίς προσφυγή στον ανθρώπινο έλεγχο.» (Wikiderpia, 2022a). Η βασική διαφορά από τα κοινά ρομπότ είναι στο ότι έχουν δυνατότητα της προσαρμοστικότητας και την αυτόνομη λήψη απόφασης με την βοήθεια εξελιγμένων αισθητήρων και προηγμένων υπολογισμών, οι οποίοι βασίζονται στην ανάλυση πολλών δεδομένων μέσω ΗοΤ και με την δυνατότητα της ανατροφοδότησης για βελτιστοποίηση των επιδόσεων (Kumar and Gupta, 2020). Μία από τις εργασίες των αυτόνομων ρομπότ μπορεί να είναι η μεταφορά υλικών κατά μήκος και πλάτος σε όλο το δάπεδο του εργοστασίου, αποφεύγοντας τα εμπόδια και ταυτοποιώντας τις παραλαβές ή την απόρριψη υλικού σε πραγματικό χρόνο. Αυτό παρουσιάζει ένα πρόβλημα πλοήγησης σε ένα αβέβαιο και/ή μη δομημένο περιβάλλον (A. Hořsovský et al σε Matt, Modrák and Zsifkovits, 2021).

2.3.1.3 Προσομοίωση

Στη μοντελοποίηση συστημάτων, η εφαρμογή της γενικής αυτοοργανωμένης θεωρίας, σαν διαδικασία επίλυσης, μπορεί να οδηγήσει σε απροσδόκητες καταστάσεις όπως χάος. Για να μειωθούν οι δυναμικές εξισώσεις και να ολοκληρωθεί το κατάλληλο μοντέλο ελέγχου, τα συστήματα θα πρέπει να μοντελοποιούνται ως αυτοοργανωμένο σύστημα παραγωγής. Οι θεωρίες για το αυτοοργανωμένο σύστημα δεν έχουν ωριμάσει και η έρευνα πολύπλοκων συστημάτων εξακολουθεί να είναι ένα δύσκολο θέμα προς επίλυση (Wang, Wan, Li, *et al.*, 2016). Οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται για μεθόδους παρακολούθησης διεργασιών, έχουν περιορισμούς και ελλείψεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Για παράδειγμα, το εύρος των συνθηκών λειτουργίας που καλύπτονται από το μοντέλο, περιορίζεται λόγω των τρόπων λειτουργίας και της εξέτασης των φυσικών πηγών στοχαστικής μεταβλητότητας (Kenett and Vicario, 2021). Υπάρχουν επίσης περιορισμοί στα προσομοιωμένα σφάλματα. Όπως αναφέρουν οι ίδιοι ερευνητές, οι σημερινές προσομοιώσεις δεν αντιμετωπίζουν διαλείπουσες βλάβες ή φθορά του εξοπλισμού, που είναι κοινά χαρακτηριστικά στη βιομηχανία. Επιπλέον, τα προσομοιωμένα σφάλματα διεργασιών αποτελούνται από απλοποιημένα ελαττωματικά σενάρια που περιγράφονται

από ντετερμινιστικά μοτίβα. Τέτοια σενάρια δεν έχουν ακριβές φυσικό νόημα που να ταυτίζεται με πραγματικά φαινόμενα τη βιομηχανία.

2.3.1.4 Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων (ολοκλήρωση)

Η οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση έχει να κάνει με την ενσωμάτωση όλων των διαφορετικών συστημάτων όλων των επιπέδων σε ένα υπερσύστημα διαμεταγωγής πληροφοριών. Ο Lu (2017) αναφέρει ότι απαιτείται μια ποικιλία μεθόδων και τεχνικών ενσωμάτωσης των βιομηχανικών πληροφοριών στην αρχιτεκτονική των επιχειρήσεων. Αυτές οι πληροφορίες προέρχονται από το Business Process Management (BPM), την Διαχείριση Ροής Εργασιών (Workflow Management, WM), Ενοποίηση Εφαρμογών Επιχείρησης (Enterprise Application Integration, EAI), την Αρχιτεκτονική Προσανατολισμένη στις Υπηρεσίες (Service-Oriented Architecture, SOA), Προγραμματισμός Πόρων Επιχειρήσεων (Enterprise Resource Planning, ERP) και Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management SCM). Οι προηγμένοι μηχανισμοί πρέπει να ενσωματώσουν τις βιομηχανικές πληροφορίες και να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση Πληροφοριακών Συστημάτων Επιχειρήσεων (Enterprise Information Systems, EIS). Αυτή η ενσωμάτωση δεν είναι κάτι εύκολο και καταλήγει να είναι πολύπλοκη καθώς εμπεριέχει σημαντικές δυσκολίες λόγω της ασυμβατότητας των συστημάτων μεταξύ τους (Moktadir *et al.*, 2018). Αυτή η πρόκληση όπως περιγράφηκε άπτεται της τεχνολογίας ΙοΤ τα προβλήματα υιοθέτησης της οποίας θα εξηγηθούν πιο κάτω.

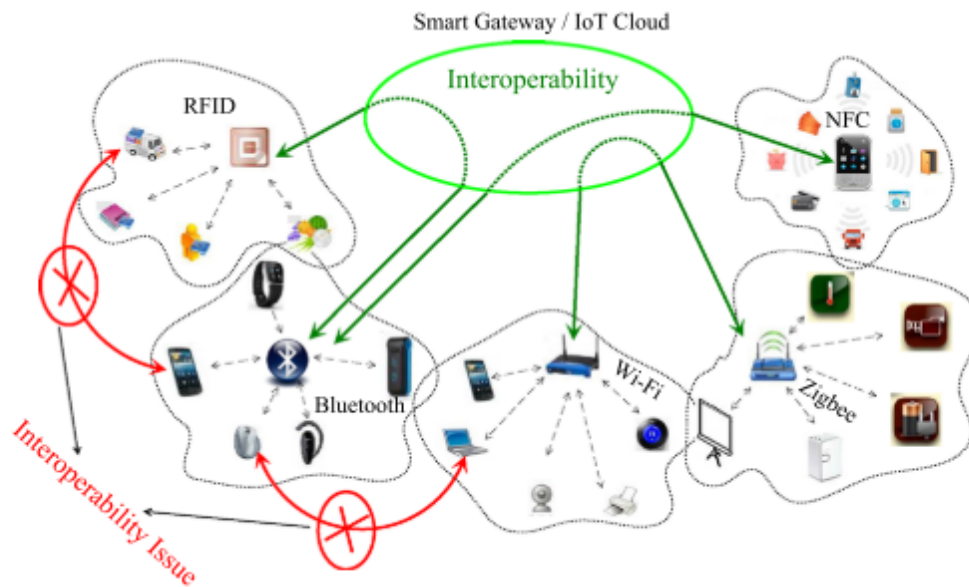
2.3.1.5 Το Βιομηχανικό Ιντερνετ των Πραγμάτων

Το ΙοΤ είναι η ενοποίηση ετερογενών τεχνολογιών και χρησιμοποιείται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς όπως η ανίχνευση, η συλλογή, η αντίδραση, η επεξεργασία, η διαχείριση, η μετάδοση, η κοινοποίηση και η αποθήκευση δεδομένων (Hussain, 2017). Ο Hussain (2017) δηλώνει ότι τα κύρια ερευνητικά ζητήματα και προκλήσεις περιλαμβάνουν: 1) την ετερογένεια, 2) τη διαλειτουργικότητα, 3) την επεκτασιμότητα, 4) την ασφάλεια και το απόρρητο και τέλος 5) την ποιότητα της υπηρεσίας (Quality Of Service, QoS). Τα ζητήματα αυτά αναλύονται παρακάτω.

Πρώτον, ένα από τα κύρια ζητήματα του ΙοΤ είναι η ετερογένεια, καθώς στο ΙοΤ χρησιμοποιούνται ετερογενείς συσκευές, διαφορετικές τεχνολογίες, διάφορα λογισμικά και στρατηγικές επεξεργασίας. Η αιτία της ετερογένειας στο ΙοΤ είναι οι συνθήκες

λειτουργίας, η λειτουργικότητα, η πλατφόρμα υλικού αναλύσεων, το πρότυπο υπηρεσίας, οι τρόποι αλληλεπίδρασης και η υλοποίηση. Η αποτελεσματικότητα των σύγχρονων επιχειρήσεων εξαρτάται από εκατοντάδες, αν όχι χιλιάδες προσαρμοσμένες ψηφιακές εφαρμογές που μπορούν να αποκτηθούν από τρίτους, ανήκουν σε ένα παλαιού τύπου σύστημα ή σε συνδυασμό τους (R. A. Rojas and M. A. Ruiz Garcia σε Matt, Modrák and Zsifkovits, 2020). Οι προκλήσεις στην υιοθέτηση του IoT είναι η χρήση διαφορετικών γλωσσών προγραμματισμού και διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων όπως Android, iOS κ.λπ. Είναι δύσκολο να ακολουθηθούν τα πρότυπα ενός πρωτοκόλλου στο IoT λόγω του αριθμού των νέων εφαρμογών. Αυτές οι νέες εφαρμογές περιλαμβάνουν νέες συσκευές, πρωτόκολλα, μεθόδους συνδεσιμότητας δικτύου. Η χρήση του IoT για την υποστήριξη διαφορετικών τύπων εφαρμογών δεν λειτουργεί, καθώς δεν υπάρχουν οι κατάλληλοι πόροι όπως τεχνογνωσία, χρόνος και πόροι επεξεργασίας που να μπορούν να επιλύσουν τα προβλήματα στις περιορισμένες συσκευές και δίκτυα (Elkhodr, Shahrestani and Cheung, 2016).

Δεύτερον, η διαλειτουργικότητα (Εικόνα 14) είναι μια από τις κύριες προκλήσεις στο IoT. Υπάρχουν διαφορετικοί περιορισμοί σε διαφορετικές συσκευές, όπως περιορισμός ενέργειας, απαιτήσεις εύρους ζώνης επικοινωνίας, υπολογιστικές δυνατότητες και δυνατότητες ασφάλειας. Ένα εργοστάσιο πρέπει να λαμβάνει, να συνδυάζει, να μοιράζεται και να ειδοποιεί τα εσωτερικά και εξωτερικά ερεθίσματα της βιομηχανίας και επίσης πρέπει να περιλαμβάνεται σε συστήματα συνεργατών και δικτύων υπηρεσιών από άλλους κλάδους (Ortiz, 2020). Τα συστήματα IoT δεν μπορούν να ξεδιπλώσουν πλήρως τις δυνατότητές τους. Λόγω της έλλειψης διαλειτουργικότητας πάνω από το 60% της δυνητικής αξίας είναι επί του παρόντος κλειδωμένο (Elkhodr, Shahrestani and Cheung, 2016).



Εικόνα 14. Αναπαράσταση της πρόκλησης της Διαλειτουργικότητας του IoT.

Πηγή: (Hussain, 2017)

Η τρίτη πρόκληση του IoT είναι η επεκτασιμότητα. Για να διατηρηθεί ή να αυξηθεί το QoS, η παρακολούθηση, η ασφάλεια και η διαχείριση του αριθμού των συσκευών απαιτεί ανάλογη αύξηση των πόρων. Η εφαρμογή IoT θα πρέπει να έχει αρκετή ικανότητα να υποστηρίζει τον αυξανόμενο αριθμό ενσωματωμένων συσκευών, χρηστών, χαρακτηριστικών εφαρμογών και αναλυτικών δυνατοτήτων. Επιπλέον, το IoT αντιμετωπίζει προκλήσεις σχετικά με τη δικτύωση και την επικοινωνία μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών συσκευών (Elkhodr, Shahrestani and Cheung, 2016).

Μια άλλη πρόκληση είναι η ασφάλεια και το απόρρητο στο IoT. Η προστασία των πληροφοριών είναι μια τεράστια πρόκληση λόγω της φύσης των συσκευών IoT με περιορισμένους πόρους. Ταυτόχρονα, ο αριθμός των πιθανών εισβολέων αυξάνεται λόγω της παγκόσμιας πρόσβασης και σύνδεσης που σημαίνει ότι ο καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση σε συσκευές IoT. Έτσι, ο κακόβουλος εισβολέας μπορεί να πραγματοποιήσει μια επίθεση DoS είτε με πλημμύρα UDP είτε TCP για να μπλοκάρει σκόπιμα την επικοινωνία μεταξύ του master και του slave station που είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο ενός πχ. ηλεκτρικού οχήματος (Khalid *et al.*, 2018).

Η τελευταία πρόκληση είναι η ποιότητα της υπηρεσίας (Quality Of Service, QoS) σε εφαρμογές IoT. Το QoS είναι ένα νέο και μη διευρυμένο ερευνητικό θέμα. Στην προοπτική του IoT, το QoS έχει σοβαρές προκλήσεις που απαιτούν επίλυση, όπως

διαθεσιμότητα, αξιοπιστία, κινητικότητα, απόδοση, επεκτασιμότητα, διαλειτουργικότητα, ασφάλεια, διαχείριση και εμπιστοσύνη (Elkhodr, Shahrestani and Cheung, 2016; Hussain, 2017).

2.3.1.6 Κυβερνοασφάλεια

Η αυξανόμενη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών μέσα στη βιομηχανική παραγωγή, η αυξανόμενη χρήση του Διαδικτύου και των φορητών συσκευών και η διασύνδεση όλων των συστημάτων κάτω από το ΠoT, σημαίνει ότι τα όρια μιας επιχείρησης εξαφανίζονται, και ως αποτέλεσμα, ο κίνδυνος έκθεσης σε κυβερνοεπιθέσεις γίνεται απεριόριστος. Τα κυβερνοφυσικά συστήματα που είναι συνδεδεμένα με ΙoT αντιμετωπίζουν τρωτά σημεία και απειλές από το Διαδίκτυο όπου τα σύγχρονα συστήματα κυβερνοασφάλειας δεν μπορούν ακόμα να αντιμετωπίσουν. Οι He *et al* (2016) αξιολόγησαν τις απαιτήσεις ασφάλειας των τεχνολογιών I4.0 και βρήκαν ότι δεν υπάρχει ακόμα ένας μηχανισμός που θα επιτρέψει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των στοιχείων ασφαλείας στην αρχιτεκτονική του ΙoT και, κατά συνέπεια, την εφαρμογή της «Ασφάλειας από Σχεδιασμό», που απαιτεί το Industry 4.0. Οι ίδιοι αναφέρουν επίσης, ότι απαιτείται ένας αυτόματος μηχανισμός απόκρισης συμβάντων ασφαλείας για το ΙoT, έτσι ώστε να βελτιωθεί η απόκριση περιστατικών όταν ένα σύστημα ΙoT δέχεται επίθεση. Όσο αφορά την μέθοδο πρόσβασης, οι He *et al* (2016) έχουν επισημάνει ότι είναι δυνατό να πλαστογραφηθεί ένα μεμονωμένο δακτυλικό αποτύπωμα ή να παρουσιαστεί μια φωτογραφία ενός ατόμου μπροστά από ένα μη εξελιγμένο πρόγραμμα αναγνώρισης δακτύλων ή προσώπου και, στη συνέχεια, θα είναι δυνατή η πρόσβαση στη συσκευή. Καμία μεμονωμένη μέθοδος πρόσβασης δεν πρόκειται ποτέ να είναι απολύτως ασφαλής.

Επιπλέον, η ροή δεδομένων του δικτύου και η ευρυζωνικότητα αποτελούν προκλήσεις για τη μεταφορά τεράστιου όγκου δεδομένων από συνδεδεμένες συσκευές. Το Fog computing (παρόμοιο με το cloud computing) παρέχει μια νέα ιδέα, που επιτρέπει την ευφυΐα να φτάσει στις συσκευές (He *et al.*, 2016). Οι ερευνητές προτείνουν τη χρήση της Εξελικτικής Υπολογιστικής (Evolutionary Computation, EC) και άλλες τεχνικές Υπολογιστικής Νοημοσύνης (Computational Intelligence, CI) αλλά και άλλων αλγόριθμων υπολογιστικής ευφυΐας τα οποία θα επιτρέψουν τα συστήματα να έχουν αυτόματη ανίχνευση κακόβουλου λογισμικού, απειλών και επιθέσεων με μηδενική εγκατάσταση. Η υπολογιστική νοημοσύνη θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για την

κυβερνοπαρακολούθηση, ανάλυση, εντοπισμό απειλών ψηφιακής ασφάλειας για την καταπολέμηση ιών, των χάκερ και τρομοκρατών που υπάρχουν στο. Επομένως, η υψηλή απόδοση των αλγορίθμων υπολογιστικής νοημοσύνης για συσκευές IoT είναι ένα άλλο θέμα που δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς.

Την ανάγκη ύπαρξης τειχών προστασίας δικτύων που καθορίζονται από λογισμικό (Software Defined Networking Firewall, SDN Firewall) ειδικά προσαρμοσμένα για τις βιομηχανίες έχει επισημανθεί από τους Tsuchiya *et al.*(2018), καθώς μια από τις κύριες αιτίες συμβάντων ασφαλείας στη βιομηχανία είναι οι επιθέσεις που βασίζονται στη σάρωση/διερεύνηση του δικτύου (Network Scanning/Probing) εναντίον του θύματος.

2.3.1.7 Το νέφος

Σύμφωνα με τους Tao, Zhang και Nee (2011), υπάρχουν πέντε κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι MME βιομηχανίες παραγωγής στην υιοθέτηση του Manufacturing Grid (προπομπός του κατασκευαστικού νέφους CMfg). Η πρώτη πρόκληση είναι τα σύνθετα σχέδια προϊόντων. Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός νέων προϊόντων απαιτεί ενσωμάτωση εξαιρετικά πολύπλοκων και προηγμένων εφαρμογών, λογισμικού, υπηρεσιών και δομών γνώσης. Η δεύτερη πρόκληση είναι η έλλειψη υπηρεσίας παρακολούθησης. Η υπηρεσία παρακολούθησης είναι ένα σημαντικό στοιχείο για τις αυξημένες ευκαιρίες συναλλαγών και τη δημιουργία πρόσθετης αξίας, ωστόσο, οι εταιρείες δεν προσφέρουν κάτι τέτοιο. Τρίτον, πολλές MME αντιμετωπίζουν την πρόκληση του υψηλού κόστους υπεργολαβίας, ενώ το κόστος για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος αποτελεί σημαντικό μέρος του κόστους υπεργολαβίας. Ως εκ τούτου, το κόστος υπεργολαβίας καθίσταται ολοένα και πιο απαραίτητο στις MME, καθώς η ανάπτυξη του προϊόντος γίνεται όλο και πιο σημαντική και πολύπλοκη. Τέταρτον, οι MME αντιμετωπίζουν την πρόκληση της επίτευξης ισορροπίας μεταξύ των παραγγελιών παραγωγής, της ικανότητας πόρων και της ικανότητας. Ο λόγος για τον οποίο οι MME δεν μπορούν να ολοκληρώσουν τις παραγγελίες κατασκευής είναι η έλλειψη προηγμένου εξοπλισμού. Άλλες εταιρείες διαθέτουν αυτόν τον προηγμένο εξοπλισμό, αλλά δεν έχουν παραγγελίες πελατών. Αυτό το πρόβλημα μεταξύ του παρόχου πόρων και των καταναλωτών πόρων ονομάζεται πρόβλημα αντιστοίχισης πόρων. Η τελευταία πρόκληση είναι η έλλειψη λειτουργίας κοινής χρήσης πόρων και δυνατοτήτων. Αυτά τα ζητήματα δυσκολεύουν τις εταιρείες στο να είναι

ανταγωνιστικές ενώ βασίζονται αποκλειστικά στους εσωτερικούς πόρους και τις δυνατότητές τους.

Επιπλέον, η ανάγκη άφθονης χωρητικότητας αποθήκευσης δεδομένων και πληροφοριών, ενώ οι συνδέσεις με βιομηχανικούς υπολογιστές, συστήματα και μηχανήματα, η λήψη, αρχειοθέτηση και κοινή χρήση δεδομένων και πληροφοριών που πρέπει να γίνονται σε πραγματικό χρόνο (Ortiz, 2020), είναι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι Appandairajan, Zafar Ali Khan and Madiajagan,(2012) σε έρευνα τους για τους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά την εφαρμογή του ERP σε οργανισμούς, ανακάλυψαν ότι οι ανησυχίες για την ασφάλεια βρίσκονται στην κορυφή της λίστας αρνητικών επιρροών της εφαρμογής του Cloud ERP, ακολουθούμενο από την απρόβλεπτη απόδοση κατά τη φάση της ανάπτυξής του. Η σημασία του ERP για την εταιρεία λειτουργεί επίσης ως εμπόδιο για την είσοδο των εταιρειών στο Cloud ERP.

2.3.1.8 Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Πέρα από τα οφέλη της 3Δ εκτύπωσης, υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα που δυσκολεύουν την χρήση της. Αυτά τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν: υψηλό κόστος, περιορισμένες δυνατότητες για μεγάλες κατασκευές και μαζική παραγωγή, κατώτερες μηχανικές ιδιότητες του παραγόμενου αντικειμένου, περιορισμός υλικών κατασκευής, ελαττώματα επιφάνειας και κατώτερη ανάλυση εκτύπωσης. Ο μεγάλος χρόνος επεξεργασίας και το υψηλότερο κόστος της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι οι κύριες προκλήσεις που εμποδίζουν τη μαζική παραγωγή εξαρτημάτων μαζικής παραγωγής (Ngo *et al.*, 2018; Abdulhameed *et al.*, 2019). Πέρα από αυτά, οι Gao *et al* (2015) έχουν επισημάνει την έλλειψη τυποποίησης και προδιαγραφών για την προσθετική κατασκευή. Είναι επιτακτική ανάγκη οι βιομηχανίες 3Δ εκτύπωσης να αναπτύξουν πρότυπα υλικού, διεργασιών, βαθμονόμησης, δοκιμών και μορφοποίησης αρχείων ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα των ανταλλακτικών, η επαναληψιμότητα και η συνέπεια μεταξύ των κατασκευών και των μηχανημάτων.

2.3.1.9 Επαυξημένη Πραγματικότητα

Υπάρχουν τέσσερις κύριες προκλήσεις που περιλαμβάνουν την ακρίβεια, την καταγραφή, τα ζητήματα λανθάνοντος χρόνου (latency) και την τεχνολογία διεπαφής AR (Nee *et al.*, 2012) τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Πρώτον, απαιτούνται υψηλά επίπεδα ακρίβειας για εφαρμογές AR για την επίτευξη παρακολούθησης και υπέρθεσης της

επαυξημένης πληροφορίας. Τα συστήματα AR περιλαμβάνουν εξωτερικά και εσωτερικά συστήματα. Τα εξωτερικά συστήματα AR εφαρμόζουν τεχνικές GPS και εσωτερικής παρακολούθησης. Τα εσωτερικά συστήματα AR και το υψηλό επίπεδο ακρίβειας παρακολούθησης θέσης και προσανατολισμού απαιτούνται συνήθως για δραστηριότητες σχεδιασμού και κατασκευής. Τα εσωτερικά συστήματα AR περιλαμβάνουν τεχνικές όρασης υπολογιστή, εσωτερικής και υβριδικής παρακολούθησης. Επιπλέον, τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν λέιζερ, RFID και άλλους τύπους συσκευών ανίχνευσης. Δεύτερον, η εγγραφή είναι ένα άλλο βασικό ζήτημα στο AR. Περιλαμβάνει δύο τύπους σφαλμάτων. Το πρώτο αναφέρεται ως στατικό σφάλμα που προκύπτει από την ανακρίβεια που υπάρχει στις αισθητήριες συσκευές, τις κακές ευθυγραμμίσεις μεταξύ των αισθητήρων και/ή τους λανθασμένους αλγόριθμους καταχώρισης. Το επόμενο είναι τα δυναμικά σφάλματα που είναι λιγότερο προβλέψιμα, τα οποία μπορεί να οφείλονται σε προβλήματα καθυστέρησης μεταξύ των ροών δεδομένων λόγω καθυστέρησης εκτός κεντρικού υπολογιστή, συγχρονισμού και υπολογιστικών καθυστερήσεων. Τρίτον, τα ζητήματα λανθάνοντος χρόνου μπορούν να θεωρηθούν ως μείζον ζήτημα. Οι οθόνες AR απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή υστέρηση για τη διατήρηση των εικονικών αντικειμένων σε σταθερή θέση. Τέταρτον, τεχνολογία διεπαφής AR. Υπάρχουν τέσσερις κύριοι παράγοντες που πρέπει να καθοριστούν, οι οποίοι περιλαμβάνουν θέσεις-στόχους, περιεχόμενα AR, μονάδα παρακολούθησης και το σύστημα εμφάνισης σε περιβάλλον AR.

2.3.2 Γενικότερες προκλήσεις της Βιομηχανίας 4.0

Πέρα από τις τεχνικές προκλήσεις υιοθέτησης των τεχνολογιών του I4.0 οι οποίες έχουν αναλυθεί στην προηγούμενη ενότητα, υπάρχουν και γενικότερες προκλήσεις που επηρεάζουν την εταιρία όχι μόνο σε τεχνικό και οικονομικό επίπεδο, αλλά επηρεάζουν επίσης το ανθρώπινο δυναμικό και το μάνατζμεντ της επιχείρησης.

Σύμφωνα με τους Pereira et al. (2017), το Industry 4.0 θα επηρεάσει θεμελιωδώς το σχεδιασμό, τις διαδικασίες, τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες αγαθών και βιομηχανικών συστημάτων, και οι επιχειρήσεις θα αντιμετωπίσουν νέα προβλήματα ως αποτέλεσμα των εξελίξεων του ψηφιακού μετασχηματισμού και της αυξημένης διασύνδεσης. Επιπλέον, αναμένεται να έχει περαιτέρω επιπτώσεις στο management και τις μελλοντικές θέσεις

εργασίας, επιτρέποντας τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών μοντέλων που θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη βιομηχανία και τις αγορές, επηρεάζοντας αποτελεσματικά ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, παρέχοντας έναν νέο τρόπο παραγωγής και επιχειρηματικής δραστηριότητας, επιτρέποντας έτσι τη βελτίωση των διαδικασιών και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της εταιρείας. Οι ίδιοι συγγραφείς έχουν αναφέρει έξι βασικούς τομείς στους οποίους το Industry 4.0 θα οδηγήσει σε πιθανές βαθιές αλλαγές, οι οποίες ξεφεύγουν από τα όρια του βιομηχανικού τομέα. Οι επιπτώσεις και η επιρροή του I4.0 μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε: (1) Βιομηχανία, (2) Προϊόντα και υπηρεσίες, (3) Επιχειρηματικά μοντέλα και αγορά, (4) Οικονομία, (5) Εργασιακό περιβάλλον και (6) Ανάπτυξη δεξιοτήτων.

Οι G. Orzes et al (σε Matt, Modrák and Zsifkovits, 2020) έχουν ομαδοποιήσει τα οργανωτικά εμπόδια της εφαρμογής του Industry 4.0 σε 6 κατηγορίες:

- Οικονομικά/χρηματοοικονομικά - απαιτούνται υψηλές επενδύσεις, έλλειψη νομισματικών πόρων, έλλειψη σαφώς καθορισμένων οικονομικών οφελών
- Κουλτούρα - έλλειψη υποστήριξης από την ανώτατη διοίκηση
- Ικανότητες/πόροι - έλλειψη ειδικευμένων εργαζομένων, έλλειψη τεχνικών γνώσεων, πολυπλοκότητα της εφαρμογής Industry 4.0 τόσο τεχνική όσο και πρακτική, ανάγκη εύρεσης κατάλληλου ερευνητικού συνεργάτη
- Νομικές - ανησυχίες για την ασφάλεια των δεδομένων
- Τεχνικές - έλλειψη προτύπων, αβεβαιότητα σχετικά με την αξιοπιστία των συστημάτων, αδύναμη υποδομή πληροφορικής, δύσκολη διαλειτουργικότητα/συμβατότητα, τεχνολογική ανωριμότητα
- Διαδικασία υλοποίησης - ανάγκη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, έλλειψη μεθοδικής προσέγγισης υλοποίησης

Οι Modrak, Soltysova and Poklemba (2019) διεξήγαγαν μια δομημένη ανασκόπηση βιβλιογραφίας και εντόπισαν τις ακόλουθες προκλήσεις I4.0 για τις MME:

(i) Παραγωγή: χρήση τεχνολογιών RFID για επεξεργασία δεδομένων, χρήση διεπαφών κινητών χρηστών, χρήση μηχανών με σύνδεση στο Διαδίκτυο, χρήση τεχνολογιών επικοινωνίας και πληροφορικής για τον προσδιορισμό της κατάστασης της παραγωγής και εισαγωγή του IoT στην παραγωγή

(ii) Logistics: εφαρμογή αυτόματου ελέγχου στις διαδικασίες παράδοσης και εισαγωγή αυτόνομης διαχείρισης αποθεμάτων

(iii) Οργανωτική και διαχειριστική: εφαρμογή οργανωτικών μοντέλων παραγωγής για μαζικώς εξατομικευμένα προϊόντα

Οι Müller et al. (2018) πραγματοποίησαν μια μελέτη περίπτωσης βασισμένη σε συνέντευξη με υπαλλήλους από 68 Γερμανικές ΜΜΕ. Σκόπευαν να κατανοήσουν τις αντιλήψεις των εργαζομένων για το Industry 4.0, τα σχετικά επιχειρηματικά μοντέλα και τον αντίκτυπο στη στρατηγική συνεργασία. Η μελέτη εντόπισε έλλειψη μεθόδων συνεργασίας μεταξύ των επιχειρήσεων.

Ο Mamad (2018) στην ανασκόπηση βιβλιογραφίας που διενήργησε εντόπισε μεταξύ άλλων και τις παρακάτω δυσκολίες:

- Ανάγκη για δεξιότητες και προσόντα των εργαζομένων τους σχετικά με π.χ. ικανότητες επίλυσης προβλημάτων, ανάλυση σφαλμάτων, ικανότητα αντιμετώπισης συνεχών αλλαγών αλλά και εντελώς νέων εργασιών
- Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις του κλάδου, φαίνονται μάλλον απρόθυμες να ξεκινήσουν τη διαδικασία ψηφιακού μετασχηματισμού

Οι Dorleón and Sikadie FS (2017) επισημαίνουν τα ακόλουθα:

- Η απόφαση για μια ψηφιακή μεταμόρφωση είναι δαπανηρή και απαιτεί τεράστιο κεφάλαιο
- Η χρήση μηχανών μειώνει επίσης το ποσοστό απασχόλησης των φυσικών προσώπων σε ορισμένους κλάδους της βιομηχανίας. Απώλεια πολλών θέσεων

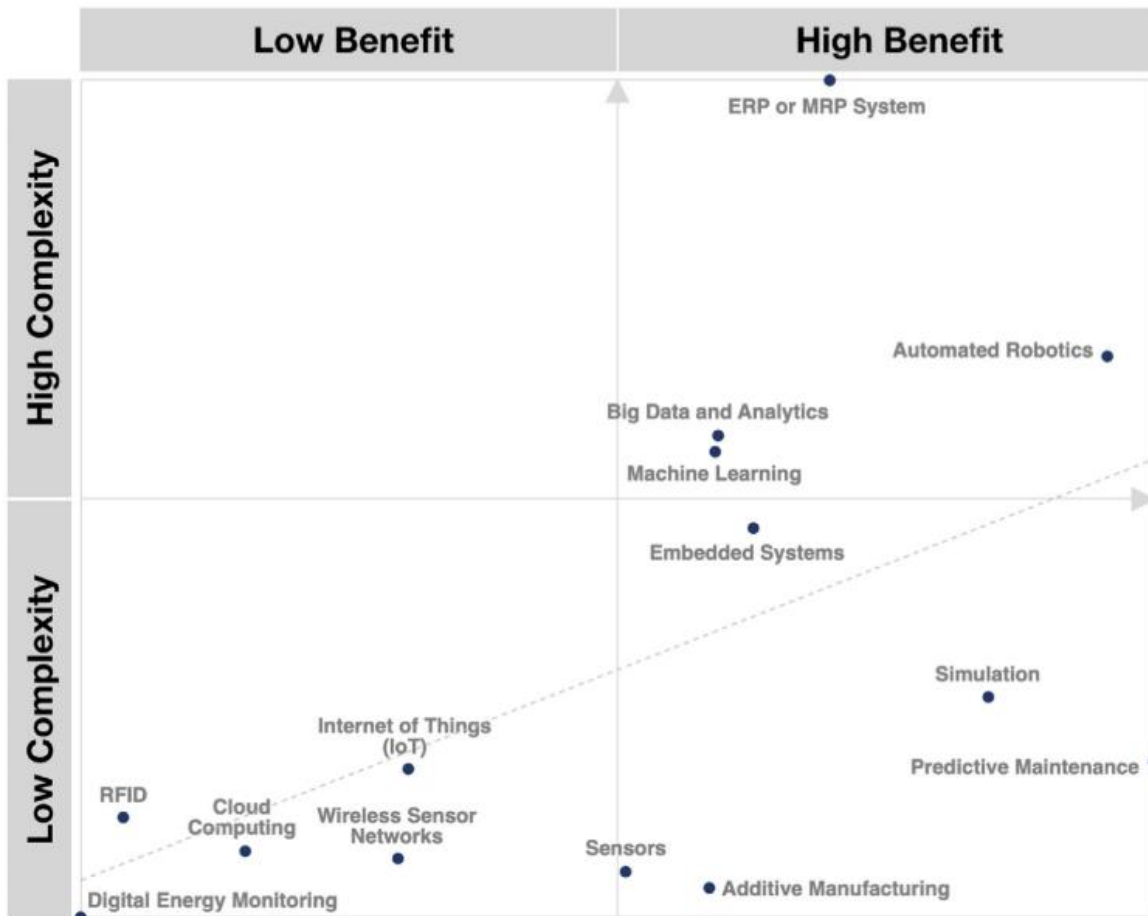
εργασίας σε αυτοματοποιημένες και ελεγχόμενες από υπολογιστή διαδικασίες, ειδικά για τα λιγότερο μορφωμένα άτομα

- Έλλειψη προσωπικού με επαρκείς δεξιότητες
- Γενική απροθυμία για αλλαγή από τους stakeholders

Παρατηρούμε από ότι η υιοθέτηση του Industry 4.0 έχει πολυεπίπεδες προκλήσεις και εμπόδια τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 βασικούς άξονες: τεχνολογικός και μάνατζμεντ.

Σε συμφωνία με τα παραπάνω, η έρευνα της Deloitte (2018) αποκάλυψε ότι τα στελέχη παγκοσμίως βρίσκονται ακόμα στα πρώτα στάδια της προετοιμασίας των επιχειρήσεών τους για την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού τους για την 4η Βιομηχανική Επανάσταση. Πράγματι, Μόνο το 30% των ερωτηθέντων είναι αισιόδοξοι για την ικανότητά τους να ανταποκρίνονται στις οργανωτικές και επιχειρηματικές ανάγκες κατά τη διάρκεια των αλλαγών που επέφερε η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, ενώ μόνο το 14% φαίνεται βέβαιο ότι οι εταιρείες θα μπορέσουν να επωφεληθούν πλήρως από αυτές τις αλλαγές. Επιπλέον, μόνο το 25% των ερωτηθέντων δηλώνει με σιγουριά πως το εργατικό δυναμικό του διαθέτει τις απαιτούμενες δεξιότητες για τη μετάβαση στο μέλλον (I4.0). Τα στελέχη αντιλαμβάνονται πως πρέπει να επενδύσουν οι εταιρίες τους, ωστόσο, λόγω έλλειψης σαφούς εσωτερικής στρατηγικής αλλά και βραχυπρόθεσμης προσέγγισης δυσκολεύονται να εφαρμόσουν στις επιχειρήσεις τους πλήρως τις ευκαιρίες που προσφέρει η 4η Βιομηχανική Επανάσταση.

Το παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 3) ταξινομεί τις διάφορες τεχνολογίες σύμφωνα με την πολυπλοκότητα εφαρμογής της και αναμενόμενης ωφέλειας.



Διάγραμμα 3. Μέσες αξιολογήσεις για τεχνολογικά οφέλη και προκλήσεις, κανονικοποιημένα.

.Πηγή: (Masood and Sonntag, 2020)

2.3.3 Οι προκλήσεις στη βιομηχανία των τροφίμων

Παρότι υπάρχει μια σχετικά πλούσια βιβλιογραφία γύρω για την Βιομηχανία 4.0, οι αναφορές που έχουν να κάνουν στη βιομηχανία των τροφίμων είναι λίγες. Συγκεκριμένα, οι δημοσιεύσεις που σχετίζονται με την βιομηχανία των τροφίμων από 2 που ήταν το 2015 αυξήθηκαν στις 50 το 2021 (Hassoun *et al.*, 2022). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τη συνειδητοποίηση των δυνατοτήτων που οι τεχνολογίες I4.0 μπορούν να συνεισφέρουν την βιομηχανία τροφίμων και επιπροσθέτως, η κρίση του COVID-19 επιτάχυνε την αναγκαιότητα της χρήσης των τεχνολογιών I4.0 (Hassoun *et al.*, 2022).

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις προκλήσεις και τις δυσκολίες της υιοθέτησης του I4.0 στη βιομηχανία των τροφίμων έδειξε παρόμοια ευρήματα με αυτά που βρέθηκαν

και αναλύθηκαν πιο πάνω για τους άλλους κλάδους. Συγκεκριμένα, οι Kumar, Mangla and Kumar (2022) έχουν διεξάγει μία έρευνα σχετικά με τα εμπόδια της υιοθέτησης του I4.0 στην εφοδιαστική αλυσίδα των τροφίμων (Food Supply Chain). Οι ερευνητές έχουν εντοπίσει 12 εμπόδια μέσω λεπτομερούς βιβλιογραφικής ανάλυσης και συζητήσεων με τους ειδικούς:

- **Τεχνολογικοί περιορισμοί.** Είναι η κακή διαλειτουργικότητα των διαφορετικών τεχνολογιών. Απαιτείται πολύπλοκη ενοποίηση δεδομένων, συστημάτων και χρηστών.
- **Τεχνολογική ανωριμότητα.** Οι τεχνολογίες είναι νέες και δεν έχουν φτάσει σε επίπεδο ωριμότητας για ευρεία εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο.
- **Υψηλό κόστος επένδυσης.** Το υψηλό επενδυτικό κόστος και οι μεγάλες περίοδοι αποπληρωμής εμποδίζουν την λήψη της απόφασης. Οι βιομηχανίες συχνά βλέπουν αυτές τις τεχνολογίες ως πρόσθετο κόστος.
- **Αντίσταση από παλιά επιχειρηματικά μοντέλα.** Οι stakeholders φοβούνται μια αλλαγή στο επιχειρηματικό μοντέλο της εταιρίας καθώς αισθάνονται άνετα μόνο με τους παραδοσιακούς ρόλους.
- **Έλλειψη εξειδικευμένων τεχνικών.** Οι άνθρωποι που εργάζονται στις βιομηχανίες σπάνια διαθέτουν γνώσεις βασισμένες σε εφαρμογές και τεχνικές δεξιότητες για την εφαρμογή των προηγμένων τεχνολογιών I4.0.
- **Έλλειψη τεχνολογικής υποδομής.** Η υποδομή που απαιτείται για τέτοιες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας, σπάνια υπάρχουν σε απομακρυσμένες τοποθεσίες.
- **Σύνθετο δίκτυο Εφοδιαστικής Αλυσίδας.** Τα δίκτυα FSC είναι πολύπλοκα και εξαιρετικά κατακερματισμένα. Αυτές οι πολυπλοκότητες καθιστούν προβληματική την αναγνώριση, την επίβλεψη και την παρακολούθηση των προϊόντων, διαδικασιών και συναλλαγών σε αυτά τα δίκτυα.

- **Φτώχη συμμετοχή των εμπλεκομένων στη βιομηχανία.** Η διστακτικότητα για την ανταλλαγή πληροφοριών, η έλλειψη εμπιστοσύνης στις νέες τεχνολογίες των stakeholders ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για τους βασικούς συμμετέχοντες.
- **Έλλειψη κοινών πλαισίων, αρχιτεκτονικής και εφαρμοσμένων προτύπων.** Το I4.0 απαιτεί νέες αρχιτεκτονικές και πλαίσια που μπορούν να ενσωματώσουν πολλαπλές τεχνολογίες σε μια ενιαία πλατφόρμα.
- **Θέματα ασφάλειας.** Υπάρχει μεγάλος φόβος ασφάλειας από κακόβουλους χάκερ. Οι stakeholders φοβούνται την απώλεια του απορρήτου καθώς και την οικονομική απώλεια.
- **Έλλειψη κρατικής υποστήριξης.** Η κρατική υποστήριξη είναι απαραίτητη για την παροχή ευνοϊκού περιβάλλοντος στις νέες τεχνολογίες.
- **Έλλειψη ευαισθητοποίησης μεταξύ stakeholders.** Οι ενδιαφερόμενοι δεν εμπιστεύονται τις νέες τεχνολογίες και φοβούνται ότι θα χάσουν τη δουλειά τους ή δεν θέλουν να μάθουν καμία δεξιότητα.

Οι Hassoun *et al* (2022) έχουν διακρίνει ότι η υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών είναι πιο αργή στη βιομηχανία τροφίμων σε σύγκριση με άλλους τομείς. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μια νοοτροπία του κλάδου, ότι δηλαδή δεν επιθυμούν να μοιραστούν πληροφορίες με άλλους. Επιπλέον οι περισσότερες νέες τεχνολογίες είναι ακόμη δύσκολο να εφαρμοστούν εξαιτίας του υψηλού κόστους και της δυσκολίας προσαρμογής τους στο βιομηχανικό περιβάλλον. Άλλα εμπόδια είναι η έλλειψη τεχνολογικής εξειδίκευσης των εργαζομένων και οι αβεβαιότητες σχετικά με την ανάπτυξη, την επικύρωση και τη συντήρηση των συστημάτων μεγάλων δεδομένων, καθώς και έλλειψη ικανοτήτων και πόρων. Στην προσπάθεια τους να ρίξουν φώς στο πεδίο των ανερχόμενων δεξιοτήτων που θα πρέπει να έχει ο εργαζόμενος στο περιβάλλον του I4.0 οι Akyazi *et al.*, (2020) έχουν εστιάσει στον καθορισμό των βασικών δεξιοτήτων και ικανοτήτων που απαιτούνται από καθένα από τα επαγγελματικά προφίλ που σχετίζονται με τη βιομηχανία τροφίμων για την τρέχουσα κατάσταση και για το προσεχές μέλλον. Οι ερευνητές δημιούργησαν μια αυτοματοποιημένη βάση δεδομένων με τρέχοντα και μελλοντικά επαγγέλματα, ικανότητες και δεξιότητες.

2.4 Ο βαθμός υιοθέτησης (ωριμότητας) της Βιομηχανίας 4.0

Γενικά, ο όρος «ωριμότητα» αναφέρεται σε μια «κατάσταση αυτού που έχει ολοκληρωμένη ανάπτυξη, που έχει πλήρως ανεπτυγμένα τα χαρακτηριστικά» (Μπαμπινιώτης, 2008, p. 2003). Τα μοντέλα ωριμότητας (ΜΩ) χρησιμοποιούνται συνήθως ως όργανο για να αντιληφθούμε και να μετρήσουμε την ωριμότητα ενός οργανισμού ή μιας διαδικασίας σχετικά με κάποια συγκεκριμένη κατάσταση-στόχο. Οι Schumacher, Erol and Sihn (2016) επισημαίνουν την διαφορά μεταξύ ωριμότητας (maturity) και ετοιμότητας (readiness): η αξιολόγηση της ετοιμότητας λαμβάνει χώρα πριν από τη συμμετοχή στη διαδικασία ωρίμανσης, ενώ η αξιολόγηση ωριμότητας στοχεύει στην αποτύπωση της κατάστασης όπως είναι κατά την διαδικασία ωρίμανσης. Κάτω από αυτό το πρίσμα και με δεδομένο ότι το I4.0 αποτελείται από μια σειρά τεχνολογιών, κάποιες από τις οποίες προϋπήρχαν πολύ πιο πριν από τη σύλληψη της ιδέας του I4.0 και είχαν ήδη υιοθετηθεί από τις βιομηχανίες, ο όρος «ετοιμότητα» ενδεχομένως να μην εφαρμόζεται απόλυτα κάτω από το γενικό όρο I4.0. Για παράδειγμα, μπορεί να αναφερθεί η τεχνολογία PoT, όπου με την εισαγωγή του Ethernet το 1980, οι επιστήμονες άρχισαν να εξερευνούν την ιδέα ενός δικτύου έξυπνων συσκευών, ενώ ήδη από το 1982 ένας τροποποιημένος αυτόματος πωλητής αναψυκτικού COKE στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon έγινε η πρώτη συσκευή συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο (Wikidpedia, 2022b). Ήδη από το 1995 το Ethernet χρησιμοποιούνταν στη βιομηχανία ενώ οι ερευνητές προσπαθούσαν να βρουν τρόπους για τη βελτίωση της απόδοσης του (Pritty *et al.*, 1995). Κατά συνέπεια, σε μια βιομηχανία που χρησιμοποιεί Ethernet το οποίο είναι η ραχοκοκαλιά του PoT σε διάφορα σημεία της παραγωγής πολύ πριν από το 2011 (όπως ονομάστηκε το I4.0 για πρώτη φορά στην Εμπορική Έκθεση του Ανόβερου το 2011 στη Γερμανία) ο όρος «ετοιμότητα» για την τεχνολογία PoT δεν υφίσταται.

Το μοντέλο ωριμότητας είναι ένα εργαλείο που προσφέρει μια αξιολόγηση της τρέχουσας αποτελεσματικότητας του συστήματος. Στο πλαίσιο των τεχνολογιών I4.0, τα ΜΩ χρησιμοποιούνται επομένως για τον προσδιορισμό του βαθμού αποτελεσματικότητας ενός συστήματος. Καθώς το επίπεδο ωριμότητας του συστήματος αυξάνεται, γίνονται βελτιώσεις σε διάφορους τομείς που υποστηρίζουν την ανάπτυξη της επιχείρησης. Το επίπεδο ωριμότητας ενός συστήματος καθορίζεται από τη συμμόρφωσή του στα επίπεδα και τις παραμέτρους του ΜΩ. Για την αξιολόγηση της ωριμότητας ενός οργανισμού στο

Industry 4.0 έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία εργαλείων. Οι Çinar, Zeeshan and Korhan (2021) ανέλυσαν δεκαέξι μοντέλα ωριμότητας (ΜΩ) (Πίνακας 5). Τα μοντέλα αυτά παρουσιάζονται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα μοντέλα ωριμότητας, μπορεί φανεί ότι οι διαστάσεις ωριμότητας και τα κριτήρια αξιολόγησης που μπορούν να αποδοθούν στην αξιολόγηση της ωριμότητας του Industry 4.0, εξαρτώνται πλήρως από την οπτική γωνία των ερευνητών (Wagire *et al.*, 2021).

Maturity Model	Origin	Institution/Source	Assessment Approach	Levels/Dimensions/Items
The Connected Enterprise Maturity Model [33]	USA	Rockwell Automation	A five-stage approach to identifying I4.0; technology assessment has four dimensions and five levels	Five levels and four dimensions, no details about items
IMPULS ¹ —Industry 4.0 Readiness [34]	DE	Manufacturing enterprises	IMPULS MM is developed by a German aircraft manufacturer that specialized in beginner and flight training hang gliders	Six levels, six dimensions, eighteen items
RAMI4.0 [35]	DE	Society for measurement, automation, and technology	The Reference Architecture Model Industry (RAMI 4.0) MM has a three-dimensional structure that shows how to approach I4.0	Six levels, seven dimensions, no details about items
Digital Maturity and Transformation [36]	CH	Manufacturing enterprises	Contains nine dimensions: Product innovation, Information Technology (IT), process digitalization, culture and expertise, customer experience, product innovation, strategy, organization, collaboration, transformation management	Nine dimensions, no details about levels and items
I4.0 Reifegradmodell [37]	DE	FH—Oberösterreich	Assessment of maturity; no details for items and development of this maturity model is not finished yet	Ten levels, three dimensions, thirteen items
Empowerment and Implementation Strategies for I4.0 [38]	DE	Stator assembly for an electrical drive with 30 single teeth and a housing	Assessment of I4.0 MM is used to quickly check and realize a part of a process model	No details about levels, dimensions, or items
MM for Industrial Internet [39]	FI	Heavy-equipment manufacturing industries	Provides systematic design guidelines for industrial internet maturity model for mass production manufacturing industries	No details about levels, dimensions, or items
A Categorical Framework of Manufacturing for I4.0 [40]	U.K.	Manufacturing enterprises	The five levels contain four dimensions: factory, business, products, and customers	Five levels, four dimensions, no details about items
I4.0/Digital Operations Self-Assessment [41]	DE	PricewaterhouseCoopers	Online self-assessment with seven dimensions split into three stages of digital maturity; three of the six maturity dimensions require the use of a consultancy instrument.	Three levels, six dimensions, no details about items
SIMMI 4.0 [42]	DE	-	System Integration Maturity Model Industry 4.0 (SIMMI 4.0) has no exploratory case study has been conducted	Five levels, four dimensions, no details about items
A Maturity Model for Assessing I4.0 Readiness [14]	DE	Manufacturing enterprises	Readiness and maturity model specifically used to evaluate readiness and maturity of manufacturing enterprises	Five levels, nine dimensions, sixty-two items
ACATECH I4.0 Maturity Index [43]	DE	ACATECH, National Academy of Science and Engineering	Value-based development stages presented in the model	Six dimensions, no details about levels or items
SPICE-based I4.0 MM [28]	TR	No exploratory case study	Software Process Improvement Capability Determination (SPACE)-based I4.0 MM evaluates system maturity in light of I4.0	Six levels, nine dimensions, no details about items
DREAMY [44]	I	Manufacturing enterprises	Digital Readiness Assessment MM (DREAMY) used to help manufacturing enterprises to create a roadmap for I4.0 integration	Five levels, six dimensions, no details about items
The University of Warwick (WMC) MM [45]	U.K.	Crimson & Co., Pinsent Masons	Online self-assessment provided for this model to evaluate maturity of the company	Four levels, six dimensions, fifty-three items
Maturity and Readiness Model for I4.0 [29]	TR	Retail company operating in Turkey	Measures companies' maturity and business levels	Four levels, three dimensions, thirteen items
MM for assessing the implementation of I4.0 [46]	IN	Auto-component manufacturing	Implemented to real-world companies to validate the model	Five levels/seven dimensions, thirty-six items

¹ IMPULS: German aircraft manufacturer.

Πίνακας 5. Μοντέλα οριμότητας.

Πηγή: (Çinar, Zeeshan and Korhan, 2021)

Συνδεδεμένη επιχείρηση: Αυτό το μοντέλο αξιολογεί σε πέντε επίπεδα ωριμότητας. Ωστόσο, οι διαστάσεις του μοντέλου δεν αναφέρθηκαν, επομένως δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις ή τα στοιχεία του ΜΩ.

IMPULS: Το επίπεδο ωριμότητας επηρεάζεται από το στάδιο ωριμότητας των ανταγωνιστριών εταιριών. Με άλλα λόγια, το στάδιο ωριμότητας της αγοράς αξιολογείται εάν στην έρευνα συμμετείχαν και άλλες επιχειρήσεις στην ίδια αγορά. διαφορετικά, αγνοούνται.

RAMI 4.0: Το μοντέλο RAMI έχει έξι διαστάσεις: επιχειρηματικό, λειτουργικό, πληροφορία, επικοινωνία, ενοποίηση και περιουσιακά στοιχεία. και επτά στοιχεία: προϊόν, συσκευή πεδίου, συσκευή ελέγχου, σταθμός, κέντρα εργασίας, επιχείρηση και συνδεδεμένος κόσμος. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ωριμότητας του συστήματος και τη λήψη μέτρων για την ολοκλήρωση της ενοποίησης του I4.0. Ωστόσο, δεν παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία που το απαρτίζουν και επίσης το μοντέλο δεν περιλαμβάνει τον ρόλο του χειριστή στις τεχνολογίες I4.0.

Ψηφιακή ωριμότητα και μετασχηματισμός: Η αξιολόγηση περιλαμβάνει εννέα διαστάσεις, αλλά δεν υπάρχουν πληροφορίες για τα επίπεδα και τα στοιχεία. Δεν παρουσιάζεται η δομή του μοντέλου.

I4.0 Μοντέλο ωριμότητας: Υπάρχουν τρεις διαστάσεις και δέκα στοιχεία που προτείνονται σε αυτή την αξιολόγηση ωριμότητας. Δεν παρέχονται λεπτομέρειες για στοιχεία ή την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου ωριμότητας και είναι ακόμη ολοκληρωμένο.

Στρατηγικές Ενδυνάμωσης και Εφαρμογής για I4.0: Δεν υπάρχουν διαθέσιμες πλήρεις επεξηγήσεις όσον αφορά τη σύνθεση του μοντέλου ωριμότητας ή τις διαστάσεις και τα στοιχεία του..

Ένα κατηγορικό πλαίσιο παραγωγής για το I4.0: Αυτό είναι ένα πλαίσιο για σχεδιάστηκε για να προσδιορίσει την ανάγκη για την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση που περιλαμβάνει πέντε στοιχεία: σύνδεση, μετατροπή, κυβερνοχώρος, γνώση και διαμόρφωση. Οι διαστάσεις ορίζονται ως: εργοστάσιο, επιχείρηση, προϊόντα και πελάτες. Ωστόσο, δεν υπάρχουν λεπτομέρειες σχετικά με τα στοιχεία ή τις διαστάσεις.

I4.0/Αυτοαξιολόγηση ψηφιακών λειτουργιών (PWC): Αυτό είναι ένα διαδικτυακό εργαλείο αυτοαξιολόγησης για ετοιμότητα στο I4.0, με ιδιαίτερη προσοχή στη ψηφιακή ετοιμότητα. Το μοντέλο έχει έξι διαστάσεις. Οι διαστάσεις και τα στοιχεία δεν παρουσιάζονται στη μελέτη των ερευνητών του μοντέλου ούτε κοινοποιούνται στους χρήστες.

SIMMI 4.0: Λογισμικό και τεχνολογικές επίπεδα ωριμότητας λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση την ωριμότητας της επιχείρησης. Οι οργανωτικές πτυχές (όπως το όραμα της εταιρείας και οι εργαζόμενοι) και οι περιβαλλοντικές πτυχές (όπως η δομή της αγοράς και οι ανταγωνιστές) δεν λαμβάνονται υπόψη.

Ένα ΜΩ για την αξιολόγηση της ετοιμότητας I4.0: Αυτό το ΜΩ προτείνει εννέα διαστάσεις για την αξιολόγηση· οι διαστάσεις είναι ηγεσία, πολιτισμός, τεχνολογία, στρατηγική, πελάτης, προϊόντα, άνθρωποι, λειτουργίες και διακυβέρνηση. Η μέθοδος αξιολόγησης βασίζεται στη μεθοδολογία αξιολόγησης της κλίμακας Likert. Το πλεονέκτημα αυτού του μοντέλου είναι ότι είναι εύκολο στη χρήση για την αξιολόγηση του επιπέδου ωριμότητας αλλά προτείνει μόνο μια μέση κατάταξη χωρίς πρόσθετες λεπτομέρειες.

Δείκτης ωριμότητας ACATECH I4.0: Παρουσιάζονται τα στάδια ανάπτυξης που βασίζονται στην αξία. Οι διαστάσεις προσδιορίζονται ως μηχανογράφηση, συνδεσιμότητα, ορατότητα, διαφάνεια, ικανότητα πρόβλεψης και προσαρμοστικότητα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν λεπτομέρειες σχετικά με στοιχεία ή επίπεδα.

SPICE-based: ΜΩ του I4.0 που βασίζεται στο σύστημα SPICE (Software Process Improvement Capability Determination) για την αξιολόγηση του συστήματος σε όρους I4.0. Αυτό το μοντέλο έχει έξι επίπεδα: ημιτελές, εκτελεσμένο, διαχειριζόμενο, καθιερωμένο, προβλέψιμο και βελτιστοποιημένο και έχει εννέα διαστάσεις: απόδοση διαδικασίας, διαχείριση απόδοσης, διαχείριση εργασίας-προϊόντος, ανάπτυξη διαδικασίας, ορισμός διαδικασίας, έλεγχος διαδικασίας, μέτρηση διαδικασίας, καινοτομία διαδικασίας, και συνεχής βελτιστοποίηση. Δεν υπάρχουν διαθέσιμες λεπτομέρειες για τα στοιχεία και το εύρος των διαστάσεων δεν περιλαμβάνει την προστασία δεδομένων ή τον πολιτισμό για την ενοποίηση του I4.0.

DREAMY: Το μοντέλο DREAMY χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τις μεταποιητικές επιχειρήσεις να δημιουργήσουν έναν οδικό χάρτη προς την ενοποίηση του I4.0. Το ΜΩ έχει πέντε επίπεδα: αρχικό, διαχειριζόμενο, καθορισμένο, ολοκληρωμένο και διαλειτουργικό, και ψηφιακό προσανατολισμό, και πέντε διαστάσεις: διαδικασία, παρακολούθηση, έλεγχος, τεχνολογία και οργάνωση. Στο μοντέλο τους ορίζονται και τα στοιχεία. Ωστόσο, ο ρόλος του χειριστή στο πλαίσιο του I4.0 δεν περιλαμβάνεται σε αυτό το μοντέλο, καθώς δεν βρέθηκαν σχετικά στοιχεία στη δομή του μοντέλου. Δεν παρέχει ένα σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση των αδυναμιών στην πλήρη ενσωμάτωση του I4.0.

WMG: Το μοντέλο WMG παρέχει μια πρακτική μέθοδο για την αξιολόγηση των εταιρειών στην υιοθέτηση του I4.0. Οι διαστάσεις του μοντέλου ορίζονται ως αλυσίδα εφοδιασμού, προϊόντα και υπηρεσίες, κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες, επιχειρηματικό μοντέλο, στρατηγική και οργάνωση και νομικά ζητήματα. Τα επίπεδα είναι αρχάριο, μεσαίο, έμπειρο και ειδικό. Σε αυτή τη μελέτη, αξιολογήθηκαν 53 απαντήσεις από 22 διαφορετικές χώρες.

Μοντέλο ωριμότητας και ετοιμότητας για το I4.0: Η αρχιτεκτονική του Mettler χρησιμοποιήθηκε για τη διαμόρφωση κατασκευή αυτού του ΜΩ. Στο πλαίσιο του βιομηχανικού Διαδικτύου, η ανάλυση καθιερώνει μια κατευθυντήρια γραμμή για τη μοντελοποίηση της ωριμότητας. Αυτό το μοντέλο δεν μπορεί να αξιολογηθεί ως πλήρης αξιολόγηση, καθώς η έρευνα δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί.

ΜΩ για την αξιολόγηση της εφαρμογής του I4.0: ένα μοντέλο ωριμότητας Industry 4.0, το οποίο είναι εμπειρικά θεμελιωμένο και εστιασμένο στην τεχνολογία για την αξιολόγηση του επιπέδου ωριμότητας των ινδικών κατασκευαστικών επιχειρήσεων. Το μοντέλο αποτελείται από 7 διαστάσεις και 38 στοιχεία ωριμότητας.

Σε αυτή την εργασία θα βασιστούμε στο μοντέλο WMG για την αξιολόγηση του επιπέδου ωριμότητας (maturity/readiness) στις Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων. Το εργαλείο αξιολόγησης WMG αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο Warwick σε συνεργασία με τους Crimson & Co και Pinsent Masons. Ο κύριος στόχος αυτής της ανάπτυξης εργαλείου είναι να παρέχει έναν απλό και διαισθητικό τρόπο στις εταιρείες να μετρούν την ετοιμότητά τους καθώς και τις μελλοντικές τους φιλοδοξίες. Υπάρχουν έξι διαστάσεις μέτρησης που περιλαμβάνουν: προϊόντα και υπηρεσίες, παραγωγή και λειτουργίες,

στρατηγική και οργάνωση, εφοδιαστική αλυσίδα, επιχειρηματικό μοντέλο και νομικά ζητήματα. Κάθε διάσταση του εργαλείου του Warwick μετρείται από 4 επίπεδα ωριμότητας, συγκεκριμένα το επίπεδο 1 αρχάριος, το επίπεδο 2 ενδιάμεσος, το επίπεδο 3 έμπειρος και το επίπεδο 4 ειδικός.

Επιλέχθηκε αυτό το μοντέλο αξιολόγησης της ωριμότητας, διότι στα πεδία της τεχνολογικής διάστασης παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με το μοντέλο του BCG για την I4.0, και η τεκμηρίωση του επιτρέπει την επαρκή κατανόηση και χρήση του. Στην παρούσα εργασία, λόγω των στενών χρονικών περιθωρίων θα μετρήσουμε τον βαθμό ωριμότητας I4.0 στις 2 από τις 6 διαστάσεις του μοντέλου. Επιπροσθέτως, οι υπόλοιπες 4 διαστάσεις του μοντέλου δεν είναι αντικείμενο μελέτης και βρίσκονται εκτός του συγκεκριμένου ερευνητικού πλαισίου αυτής της εργασίας. Οι 2 συγκεκριμένες διαστάσεις με τις οποίες θα ασχοληθεί η εργασία είναι:

- μεταποίηση/παραγωγή και λειτουργίες
- στρατηγική και οργάνωση

Τα επίπεδα ωριμότητας των 2 χρησιμοποιούμενων διαστάσεων του επιλεγμένου μοντέλου συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 6 & Πίνακας 7):

Στην τεχνολογική διάσταση του μοντέλου «κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες», οι εξεταζόμενες τεχνολογίες (στοιχεία) θα είναι αυτές που εξετάστηκαν στην παράγραφο 2.2 με βάση της πρότασης του BCG, έτσι κατά συνέπεια οι τεχνολογίες του αρχικού μοντέλου WMG θα αντικατασταθούν αντίστοιχα από τις τεχνολογίες BCG και οι περιγραφές των στοιχείων των επιπέδων θα είναι προσαρμοσμένα στις αντίστοιχες τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία και τα αντίστοιχα επίπεδα των «Συλλογή δεδομένων λειτουργιών» και «Χρήση δεδομένων λειτουργιών» ενσωματώθηκαν υπο τον όρο «Μεγάλα δεδομένα και αναλυτική». Ο όρος «digital modeling» αντικαταστάθηκε από τον όρο «Προσομοίωση» ενώ οι επιγραφές των επιπέδων αφέθηκαν ίδιες. Προστέθηκαν επίσης και τα στοιχεία «Επαυξημένη Πραγματικότητα» και «Προσθετική Κατασκευή», με περιγραφές επιπέδων παρόμοιες με τις περιγραφές για το στοιχείο «Προσομοίωση». Επιπλέον, το στοιχείο «Equipment Readiness for I4.0» αντικαταστάθηκε από τον όρο «Οριζόντια και Κατακόρυφη ολοκλήρωση», όπως και το «Αυτόνομα Ρομπότ» αντικατέστησαν το «Autonomous Guided Workpieces». Τέλος, το πεδίο «Machine and

operation system integration» αντικαταστάθηκε από το «IIoT» με ελαφρώς τροποποιημένες τις περιγραφές των επιπέδων ώστε να άπτονται στο πλαίσιο του πεδίου.

Readiness level	Level 1 Beginner	Level 2 Intermediate	Level 3 Experienced	Level 4 Expert
Automation	Few machines can be controlled through automation	Some machines and system infrastructures can be controlled through automation	Most machines and system infrastructures can be controlled through automation	Machines and systems can be controlled completely through automation
Machine and operation system integration (M2M)	Machines and systems have no M2M capability	Machines and systems are to some extent interoperable	Machines and systems are partially integrated	Machines and systems are fully integrated
Equipment readiness for Industry 4	Significant overhaul required to meet Industry 4 model	Some machines and systems can be upgraded	Machines already meet some of the requirements and can be upgraded where required	Machines and systems already meet all future requirements
Autonomously guided workpieces	Autonomously guided workpieces are not in use	Autonomously guided workpieces are not in use, but there are pilots underway	Autonomously guided workpieces used in selected areas	Autonomously guided workpieces are widely adopted
Self-optimising processes	Self-optimisation processes are not in use	Self-optimising processes are not in use, but there are pilots in more advanced areas of the business	Self-optimising processes are used in selected areas	Self-optimising processes are widely used
Digital modelling	No digital modelling	Some processes use digital modelling	Most processes use digital modelling	Complete digital modelling used for all relevant processes
Operations data collection	Data is collected manually when required, e.g. sampling for quality control	Required data is collected digitally in certain areas	Comprehensive digital data collection in multiple areas	Comprehensive automated digital data collection across the entire process
Operations data usage	Data is only used for quality and regulatory purposes	Some data is used to control processes	Some data is used to control and optimise processes, e.g. predictive maintenance	All data is used not only to optimise processes, but also for decision making
Cloud solution usage	Cloud solutions not in use	Initial solutions planned for cloud-based software, data storage and data analysis	Pilot solutions implemented in some areas of the business	Multiple solutions implemented across the business
IT and data security	IT security solutions are planned	IT security solutions have been partially implemented	Comprehensive IT security solutions have been implemented with plans developed to close any gaps	IT security solutions have been implemented for all relevant areas and are reviewed frequently to ensure compliance

Πίνακας 6. Διάσταση «κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες».

Πηγή:(The University of Warwick, 2017)

Η διάσταση της στρατηγικής και οργάνωσης αποτελείται από 7 στοιχεία: «**Βαθμός υλοποίησης της στρατηγικής**» για την υιοθέτηση του I4.0, «**Μέτρηση**» των επιδόσεων της επένδυσης του I4.0 μέσω δεικτών KPI, «**Επενδύσεις**» σε τεχνολογίες I4.0, «**Δυνατότητες ανθρώπων**» στις τεχνολογίες I4.0, «**Συνεργασία**» μεταξύ των τμημάτων» τα εταιρίας, η αναγνώριση των ωφελειών του I4.0 από την «**Ηγεσία**» και τέλος «**Χρηματοδότηση**» και η συστηματική ανάλυση κόστους/ωφέλειας των επενδύσεων του I4.0.

Readiness level	Επίπεδο 1 Αρχάριος / Beginner	Επίπεδο 2 Ενδιάμεσος / Intermediate	Επίπεδο 3 Εμπειρος / Experienced	Επίπεδο 4 Ειδικός / Expert
Degree of strategy implementation Βαθμός υλοποίησης στρατηγικής	Industry 4 is recognised at departmental level but is not integrated into the strategy Το Ι4.0 αναγνωρίζεται σε επίπεδο τμήματος αλλά δεν ενσωματώνεται στη στρατηγική	Industry 4 is included in the business strategy Το Ι4.0 περιλαμβάνεται στην επιχειρηματική στρατηγική	Industry 4 strategy has been communicated to the business and is widely understood Η στρατηγική του Ι4.0 έχει κοινοποιηθεί στην επιχείρηση και είναι ευρέως κατανοητή	Industry 4 strategy has been implemented across the business Η στρατηγική του κλάδου 4 έχει εφαρμοστεί σε όλη την επιχείρηση
Measurement Μέτρηση	KPIs are not focused around Industry 4 Οι ΚΡΙ δεν εστιάζονται γύρω από τον κλάδο 4	Structured set of business metrics exist, with some measurement of Industry 4 drivers Υπάρχει δομημένο σύνολο επιχειρηματικών μετρήσεων, με ορισμένες μετρήσεις οδηγών του κλάδου 4	Industry 4 metrics are widely understood in the business and used in monthly reporting Οι μετρήσεις του κλάδου 4 είναι ευρέως κατανοητές στην επιχείρηση και χρησιμοποιούνται στη μηνιαία αναφορά	Business metrics and personal development plans are focused around Industry 4 objectives Οι μετρήσεις και τα σχέδια προσωπικής ανάπτυξης επικεντρώνονται στους στόχους του Ι4.0
Investments Επενδύσεις	Initial Industry 4 investments in one business area Αρχικές επενδύσεις Ι4.0 σε έναν επιχειρησιακό τομέα	Industry 4 investments in more advanced business areas Επενδύσεις Ι4.0 σε πιο προηγμένους επιχειρησιακούς τομείς	Industry 4 investments in multiple business areas Επενδύσεις Industry 4 σε πολλαπλούς επιχειρησιακούς τομείς	Industry 4 investments across the entire business Επενδύσεις Industry 4 σε ολόκληρη την επιχείρηση
People capabilities Δυνατότητες ανθρώπων	Employees have little or no experience with digital technologies Οι εργαζόμενοι έχουν μικρή ή καθόλου εμπειρία με ψηφιακές τεχνολογίες	Technology focused areas of the business have employees with some digital skills Οι τομείς της επιχείρησης που εστιάζονται στην τεχνολογία έχουν υπαλλήλους με ορισμένες ψηφιακές δεξιότητες	Developed digital and data analysis skills across most areas of the business, e.g. production Αναπτυγμένες δεξιότητες ψηφιακής και ανάλυσης δεδομένων στους περισσότερους τομείς της επιχείρησης, π.χ. παραγωγή	Leading edge digital and analytics skills across the business Κορυφαίες ψηφιακές και αναλυτικές δεξιότητες σε όλη την επιχείρηση
Collaboration Συνεργασία	The business operates in functional silos Η επιχείρηση λειτουργεί σε «λειτουργικά σιλό» (στεγανά)	There is limited interaction between departments, e.g. S&OP process Υπάρχει περιορισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων, π.χ. διαδικασία S&OP	Departments are open to cross functional collaboration Τα τμήματα είναι ανοιχτά σε διαλειτουργική συνεργασία	Departments are open to cross company collaboration to drive improvements Τα τμήματα είναι ανοιχτά σε συνεργασία για να οδηγήσουν σε βελτιώσεις
Leadership Ηγεσία	Leadership team do not recognise the value of Industry 4 investments Η ηγετική ομάδα δεν αναγνωρίζει την αξία των επενδύσεων Industry 4	Leadership team are investigating potential Industry 4 benefits Η ηγετική ομάδα διερευνά πιθανά οφέλη του κλάδου 4	Leadership team recognise the financial benefits to be obtained through Industry 4 and are developing plans to invest Η ηγετική ομάδα αναγνωρίζει τα οικονομικά οφέλη που πρέπει να αποκτηθούν μέσω του κλάδου 4 και αναπτύσσει σχέδια για επενδύσεις	Widespread support for Industry 4 within both the leadership team and across the wider business Ευρεία υποστήριξη για το Industry 4 τόσο εντός της ηγετικής ομάδας όσο και σε ολόκληρη την ευρύτερη επιχείρηση
Finance Χρηματοδότηση	No sizeable Industry 4 investment Καμία σημαντική επένδυση στο Industry 4	No ongoing review of cost/benefit analysis for Industry 4 investment Χωρίς συνεχή επανεξέταση της ανάλυσης κόστους/οφέλους για την επένδυση Industry 4	Annual cost/benefit analysis of Industry 4 investment Ετήσια ανάλυση κόστους/οφέλους της επένδυσης Industry 4	Quarterly cost/benefit analysis of Industry 4 investment Τριμηνιαία ανάλυση κόστους/οφέλους της επένδυσης Industry 4

Πίνακας 7. Διάσταση «στρατηγική και οργάνωση».

Πηγή: (The University of Warwick, 2017)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το ΜΩ στην τεχνολογική διάσταση περιγράφεται από τον παρακάτω –τροποποιημένο πλέον – πίνακα (Πίνακας 8):

Επίπεδο ωριμότητας	Επίπεδο 1 Αρχάριος / Beginner	Επίπεδο 2 Ενδιάμεσος / Intermediate	Επίπεδο 3 Εμπειρος / Experienced	Επίπεδο 4 Ειδικός / Expert
Βιομηχανικό Ιντερνετ των Πραγμάτων Industrial Internet of Things	Machines and systems have no integration Οι μηχανές και τα συστήματα δεν έχουν εντοποίηση	Machines and systems are to some extent integrated Οι μηχανές και τα συστήματα είναι σε κάποιο βαθμό εντοπιωμένα	Machines and systems are partially integrated Τα μηχανήματα και τα συστήματα είναι εν μέρει εντοπιωμένα	Machines and systems are fully integrated Τα μηχανήματα και τα συστήματα είναι πλήρως εντοπιωμένα
Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση Horizontal and Vertical System Integration	No systems integration Τα συστήματα δεν έχουν εντοποίηση	Some systems integration Κάποια συστήματα είναι σε κάποιο βαθμό εντοπιωμένα	Systems are partially integrated Τα συστήματα είναι εν μέρει εντοπιωμένα	Systems are fully integrated Τα συστήματα είναι πλήρως εντοπιωμένα
Αυτόνομα Ρομπότ Autonomous Robots	Autonomous robots are not in use Τα αυτόνομα ρομπότ δεν χρησιμοποιούνται	Autonomous robots are not in use, but there are pilots underway Τα αυτόνομα ρομπότ δεν χρησιμοποιούνται αλλά υπάρχουν σχέδια σε εξέλιξη.	Autonomous robots used in selected areas Αυτόνομα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε επιλεγμένες περιοχές	Autonomously guided workpieces are widely adopted Αυτόνομα ρομπότ υιοθετούνται ευρέως
Επαυξημένη Πραγματικότητα Augmented Reality	No Augmented Reality Δεν χρησιμοποιείται Επαυξημένη Πραγματικότητα	Some processes use Augmented Reality Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν Επαυξημένη Πραγματικότητα	Most processes use Augmented Reality Οι περισσότερες διεργασίες χρησιμοποιούν Επαυξημένη Πραγματικότητα	Complete Augmented Reality used for all relevant processes Επαυξημένη Πραγματικότητα που χρησιμοποιείται για όλες τις σχετικές διεργασίες
Προσομοίωση Simulation	No digital modelling Χωρίς ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	Some processes use digital modelling Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	Most processes use digital modelling Οι περισσότερες διεργασίες χρησιμοποιούν ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	Complete digital modelling used for all relevant processes Πλήρης ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση που χρησιμοποιείται για όλες τις σχετικές διαδικασίες
Τρισδιάστατη Εκτύπωση Additive Manufacturing	No Additive Manufacturing Δεν χρησιμοποιείται Τρισδιάστατη Εκτύπωση	Some processes use Additive Manufacturing Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν Τρισδιάστατη Εκτύπωση	Most processes use Additive Manufacturing Οι περισσότερες διεργασίες χρησιμοποιούν Τρισδιάστατη Εκτύπωση	Complete Additive Manufacturing used for all relevant processes Τρισδιάστατη Εκτύπωση που χρησιμοποιείται για όλες τις σχετικές διεργασίες
Επεξεργασία και ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων Big Data and Analytics	Data is collected manually when required, e.g. sampling for quality control Data is only used for quality and regulatory purposes Τα δεδομένα συλλέγονται χειροκίνητα όταν απαιτείται, π.χ. δειγματοληψία για ποιοτικό έλεγχο. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται μόνο για ποιοτικούς και ρυθμιστικούς σκοπούς	Required data is collected digitally in certain areas Some data is used to control processes Τα απαιτούμενα δεδομένα συλλέγονται ψηφιακά σε ορισμένες περιοχές. Ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαδικασιών	Comprehensive digital data collection in multiple areas Some data is used to control and optimise processes, e.g. predictive maintenance Ολοκληρωμένη συλλογή ψηφιακών δεδομένων σε πολλαπλούς τομείς. Ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση διαδικασιών, π.χ. προγνωστική συντήρηση	Comprehensive automated digital data collection across the entire process All data is used not only to optimise processes, but also for decision making Ολοκληρωμένη αυτοματοποιημένη συλλογή ψηφιακών δεδομένων σε όλη τη διαδικασία Όλα τα δεδομένα χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών, αλλά και για τη λήψη αποφάσεων
Το νέφος The Cloud	Cloud solutions not in use Λύσεις cloud που δεν χρησιμοποιούνται	Initial solutions planned for cloud-based software, data storage and data analysis Αρχικές λύσεις προγραμματισμένες για λογισμικό που βασίζεται σε cloud, αποθήκευση δεδομένων και ανάλυση δεδομένων	Pilot solutions implemented in some areas of the business Πιλοτικές λύσεις που εφαρμόζονται σε ορισμένους τομείς της επιχείρησης	Multiple solutions implemented across the business Πολλαπλές λύσεις που εφαρμόζονται σε ολόκληρη την επιχείρηση
Κυβερνοασφάλεια Cybersecurity	IT security solutions are planned Σχεδιάζονται λύσεις ασφαλείας πληροφορικής	IT security solutions have been partially implemented Οι λύσεις ασφαλείας πληροφορικής έχουν εφαρμοστεί εν μέρει.	Comprehensive IT security solutions have been implemented with plans developed to close any gaps Έχουν εφαρμοστεί ολοκληρωμένες λύσεις ασφαλείας πληροφορικής με σχέδια που αναπτύχθηκαν για την κάλυψη τυχόν κενών	IT security solutions have been implemented for all relevant areas and are reviewed frequently to ensure compliance Λύσεις ασφαλείας πληροφορικής έχουν εφαρμοστεί για όλους τους σχετικούς τομείς και επανεξετάζονται συχνά για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση

Πίνακας 8. Διάσταση «κατασκευή/παραγωγή και λειτουργίες» τροποποιημένη.

2.5 Οι ωφέλειες του I4.0 και βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI)

Το I4.0 αντιμετωπίζει υπαρκτά ζητήματα στη σύγχρονη βιομηχανία, όπως η βελτίωση και η διατήρηση της ποιότητας, οι ασταθείς τιμές των πρώτων υλών, οι προβληματισμοί σχετικά με την ιχνηλασιμότητα, τη διαχείριση εξωτερικών/εσωτερικών μερών και η συμμόρφωση με τους κανονισμούς (Kpmg, 2021). Οι τεχνολογίες του I4.0 βοηθούν μεταξύ άλλων την μείωση του κόστους παραγωγής, την αύξηση της ποιότητας, την μείωση των ελαττωματικών προϊόντων με τελικό αποτέλεσμα την βελτίωση της θέσης της εταιρίας στην αγορά.

2.5.1 Οι ωφέλειες της υιοθέτησης του I4.0

Τα οφέλη από τη χρήση τεχνολογιών Industry 4.0 είναι μεγαλύτερα από ό,τι σε προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις και τα αποτελέσματα είναι πιο άμεσα και σε μεγαλύτερο εύρος. Ο ΣΕΒ σε σχετική αναφορά συγκεντρώνει 7 βασικά οφέλη της ψηφιοποίησης και του «έξυπνου» εργοστασίου (Ξηρογιάννης, Αθανασιάδη and Νικολαΐδης, 2019):

- I. Διαχείριση ποιότητας: Υποστηριζόμενος από αισθητήρες και οπτικά μέσα, είναι δυνατός ο ποιοτικός έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, ενώ η ανάπτυξη μιας ψηφιακής «αντιγραφής» της παραγωγικής διαδικασίας (ψηφιακό δίδυμο) μειώνει το κόστος ελέγχου (7-12%) και φύρας
- II. Ταχύτερες διαδικασίες ανάπτυξης πρωτοτύπων: Ο ψηφιακός σχεδιασμός προϊόντων, η δημιουργία πρωτοτύπων μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης και η αυτόματη μεταφορά σχετικών πληροφοριών στην παραγωγή μειώνουν τον χρόνο από το σχεδιασμό έως τη μαζική παραγωγή κατά 30%.
- III. Προληπτική συντήρηση: Οι αισθητήρες Internet of Things (IoT) για απομακρυσμένη παρακολούθηση μηχανών και συλλογή δεδομένων προβλέπουν και προειδοποιούν για επικείμενες βλάβες, παρατείνοντας τον χρόνο παραγωγής της μηχανής έως και 60%, μειώνοντας το κόστος συντήρησης κατά 5-10% και βελτιώνοντας την παραγωγή κατά 10-20% (παραγωγικότητα).

- IV. Αυτοματοποιημένη αναπλήρωση αποθεμάτων: Μέσω συστημάτων απεικόνισης, αισθητήρων, αλγορίθμων AI και ανάλυσης Big Data, προβλέπονται και αναπληρώνονται αυτόματα ελλείψεις υλικών, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαθεσιμότητας πρώτων υλών κατά 20-30%.
- V. Αυτοματοποίηση εφοδιασμού: Το κόστος πωληθέντων αγαθών (άμεση εργασία και γενικά έξοδα) μπορεί να μειωθεί μέσω της εισαγωγής ρομποτικών συστημάτων στην παραγωγή, της χρήσης συνεργατικών ρομπότ στις λειτουργίες προμήθειας (διαλογή, αποθήκευση, απογραφή) και καθοδήγηση των εργασιών συναρμολόγησης/συντήρησης μέσω επαυξημένης πραγματικότητας 10-20%, η απόδοση των περιουσιακών στοιχείων αυξήθηκε κατά 10-20%, η ποιότητα αυξήθηκε κατά 10-35%
- VI. Βελτιστοποίηση προγραμματισμού παραγωγής: Οι προσομοιώσεις παραγωγής και τα προηγμένα μοντέλα (αναλύσεις δεδομένων) για το σχεδιασμό της παραγωγής και αποθέματος με βάση τις πραγματικές προβλέψεις πωλήσεων, έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος αλλαγής γραμμής (setup time) κατά 10-20% και να μειώνεται το απόθεμα τελικών προϊόντων κατά 15-25%, με αποτέλεσμα να ωφελείται το κεφάλαιο κίνησης και εξορθολογίζεται το κόστος των αποθηκευτικών χώρων.
- VII. Βελτιωμένη παρακολούθηση συνθηκών ασφάλειας και περιβαλλοντικών όρων: Οι εργαζόμενοι είναι πλέον περισσότερο ασφαλείς από εξοπλισμό υψηλού κινδύνου χάρη στη χρήση αισθητήρων Geo-fencing ενώ πλέον δίνεται η δυνατότητα της παρακολούθησης των περιβαλλοντικών συνθηκών στο εσωτερικό του εργοστασίου στα σημεία που κυκλοφορούν άνθρωποι, μέσω φορητών συσκευών και αισθητήρων (wearables).

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 9) συνοψίζει μερικά από τα πιο σημαντικά οφέλη (Mamad, 2018):

Ekaterina Uglovskaia (2017)	<p>Industry 4.0 benefits</p> <ul style="list-style-type: none"> - Advanced planning and controlling with relevant, real-time data - Rapid reaction to changes in demand, stock level, errors - Sustainable manufacturing/ resources efficiency (materials, energy, people) - Higher quality, flexible production - Increased productivity - Ad-hoc reaction to market changes - Personalization of products - New level of customer satisfaction - Increase in competitive advantage by the successful digital business model implementation and technology creation - Costs and wastes reduction - Safer work conditions - New work places - Work-life balance - Increase in revenue - Innovative company's image
-----------------------------	---

	Industry 4.0 benefits
M.W. Waibel et al. (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Reduction of overproduction and waste - Reduction of energy consumption as energy intensive tasks can be done when there is overproduction. Use of energy recovery for the whole system. - Reduction of waste especially in the product development phase - Reduction of transportation and travel effort - Saving of natural resources - Contribute to the environmental dimension of existing manufacturing plants
T. Pereira et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - Decentralized and digitalized production, where the production elements are able to autonomously control themselves - The products will become more modular and configurable, promoting mass customization in order to meet specific customer requirements - New innovative business models ;, value chains are becoming more responsive, increasing competitiveness through the elimination of barriers between information and physical structures - Digitization consists in convergence between physical and virtual worlds and will have a widespread impact in every economic sector. - The main driver for innovation, which will play a critical role in productivity and competitiveness. - Transforming jobs and required skills : avoid what is known as technological unemployment, redefining current jobs and taking measures to adapt the workforce for the new jobs that will be created - New competencies and it is necessary to create opportunities for the acquisition of the required skills through high quality training
Hugo Karre et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - Workers will have a much greater share of doing complex and indirect tasks such as collaborating with machines in their daily work; - Workers will have to (1) solve unstructured problems, (2) work with new information, and (3) carry out a number of non-routine manual tasks. - Reinforcing physical abilities such as strength or fine motor skills and lowering the physical work related strain by using exoskeletons, positioning devices, robots or automation of monotonous tasks ; Lowering the required short-term memory effort by visualizing detailed and on demand information (users obtain relevant information when he/she needs it and in a form that he/she can comprehend it) ; Reducing the number of errors made on the shop floor by real-time observation of the process and skill- /ability based work instructions
Yasanur Kayikci / (2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Logistics cost : Changes in logistics cost savings in terms of transport, warehousing, inventory carrying and administration costs - Delivery time : Changes in delivery improvements, cycle time, lead time - Transport delay Changes in amount of delayed shipment - Inventory reduction : Changes in inventory volume - Loss/damage : Changes in amount of lost and/or damaged goods from damage, theft and accidents - Frequency of service : Changes in utilization rate (load factor), frequent intervals - Forecast accuracy : Changes in demand uncertainties - Reliability : Changes in logistics quality in terms of transport, inventory and warehousing e.g. perfect order, scheduled time deliveries - Flexibility : Changes in planning conditions e.g. percentage of non-programmed shipments executed without undue delay - Transport volumes : Changes in total transported freight volume - Applications : Suitable applications for digitization in logistics processes
McKinsey and Company (2015)	<ul style="list-style-type: none"> - Large increase in all operational efficiencies with the use of data leveraging to improve processes - Industry 4.0 is seen as one of the major drivers for the growth of revenue levels, even as its implementation will also require significant investments by businesses. - logistics and statistics are generated and collected in an automated manner, so responses are faster - the growth it stimulates will lead to a 6% increase in employment over the next ten years
BCG study (2015)	<ul style="list-style-type: none"> - Increased productivity : The automotive industry alone, productivity is expected to increase by 10–20%, once Industry 4.0 is fully implemented - the growth it stimulates will lead to a 6% increase in employment over the next ten years
Koch et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> - Increased productivity: operational efficiencies will increase by an average of 3.3% annually for the following five years leading to an average annual reduction in costs of 2.6%. - Revenue will increase faster and higher than the costs incurred to automate or digitise the manufacturing process in terms of Industry 4.0. - with Industry 4.0 concepts and methods applied, logistics and statistics are generated and collected in an automated manner, so responses are faster

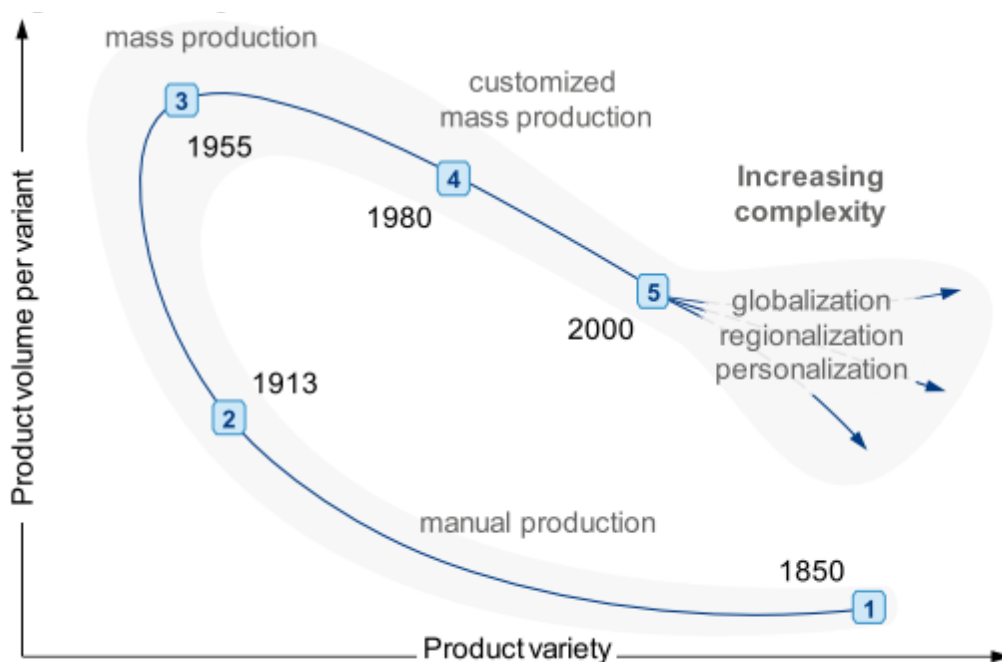
Πίνακας 9. Ωφέλειες την Βιομηχανίας 4.0.

Πηγή: (Mamad, 2018)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, το Industry 4.0 προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως χαμηλότερο κόστος εργασίας, απλοποιημένες εταιρικές διαδικασίες, μειωμένα πλεονάσματα αποθεμάτων και μεγαλύτερη διαφάνεια στις διαδικασίες εφοδιαστικής.

2.5.2 Οι ωφέλειες της υιοθέτησης του I4.0 στη βιομηχανία των τροφίμων

Οι πελάτες απαιτούν μεγαλύτερες ποικιλίες ολοένα και πιο προσαρμοσμένων προϊόντων σε σύντομο χρονικό διάστημα (Διάγραμμα 4). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για τις εταιρείες τροφίμων να παραμείνουν ανταγωνιστικές και ισχυρές, καθώς και να είναι ευέλικτες. Πρέπει να ανταποκρίνονται ταχύτερα, να παράγουν αποτελεσματικά και στην απαιτούμενη ποιότητα. Τέτοιες απαιτήσεις είναι εφικτές με την τεχνολογική πρόοδο στη Βιομηχανία 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν διασυνδέσεις δεδομένων, συγκεντρώσεις και αναλύσεις μεταξύ των οργανισμών στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, οι οποίες αλλάζουν το επιχειρηματικό μοντέλο, παρέχουν ένα νέο περιβάλλον για τις διαδικασίες παραγωγής και προωθούν καινοτομίες.



Διάγραμμα 4. Ανάπτυξη όγκου παραγωγής και ποικιλία παραλλαγών.

Πηγή: (Joppen et al., 2019)

Οι Noor Hasnan and Yusoff (2018) έχουν εντοπίσει αρκετά πεδία εφαρμογών των τεχνολογιών I4.0 οι οποίες βοηθούν τον κλάδο των τροφίμων να αντιμετωπίσει τις απαιτήσεις του αύριο:

- Έξυπνη παραγωγή. Οι γραμμές παραγωγής είναι αυτοματοποιημένες και οι μηχανές είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους, να αναλύουν και να κατανοούν ένα ορισμένο επίπεδο ζητημάτων παραγωγής και, με ελάχιστη ανθρώπινη συμμετοχή, είναι σε θέση να τα λύνουν. Η κάθετη ολοκλήρωση μέσω της ενοποίησης των λογισμικών ERP, MES, FQA και R&D και η οριζόντια ολοκλήρωση και χρήση ΠoT επιτρέπουν την αυτοματοποίηση της παρακολούθησης και του ελέγχου της διαδικασίας, έτσι ώστε τα μηχανήματα να είναι σε θέση να παρακολουθούν και να αναλύουν την τρέχουσα διαδικασία, να ανιχνεύουν την απόκλιση και να ενεργοποιούν τις απαραίτητες προσαρμογές ως διορθωτικές ενέργειες χωρίς τη συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα.
- Έλεγχος ποιότητας. Η χρήση έξυπνων συστημάτων οπτικού έλεγχου μπορεί να παρέχει διάφορα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το σχήμα, το χρώμα ή ακόμα και την παρουσία ξένων σωμάτων. Η αναλυτική παρακολούθηση ενεργοποιεί τις απαραίτητες αντιδράσεις με βάση την ανιχνευόμενη απόκλιση στη διαδικασία. Αυτό διασφαλίζει ότι πληρούνται τα απαιτούμενα πρότυπα ασφάλειας τροφίμων και επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση του ελαττώματος που στη συνέχεια μειώνει τη σπατάλη τροφίμων και τις δαπανηρές ανακλήσεις. Ουσιαστικά, η τεχνολογία έχει επιλύσει τον περιορισμό λόγω της ανθρώπινης ανακρίβειας, της κόπωσης και της διαφοροποίησης στην κρίση των χειριστών. Ταυτόχρονα, η τεχνολογία είναι σε θέση να αποθηκεύει δεδομένα αυτόματα για σκοπούς τεκμηρίωσης και αποδεικτικά στοιχεία σε περίπτωση καταγγελίας πελατών.
- Σύστημα Ιχνηλασιμότητας Τροφίμων. Κωδικός γρήγορης απόκρισης (QR) και η αναγνώριση με RFID έχει υιοθετηθεί στην αλυσίδα προμήθειας τροφίμων για την αυτοματοποίηση της αναγνώρισης και παρακολούθησης των τροφίμων. Τα δεδομένα ιχνηλασιμότητας συγκεντρώνονται και καταχωρούνται μέσω συσκευών ανάγνωσης RFID και αποστέλλονται στην κεντρική βάση δεδομένων. Σε συγκεκριμένα σημεία, υπάρχουν συσκευές όπου ο καταναλωτής μπορεί να διαβάσει

δεδομένα από την κεντρική βάση δεδομένων και να λάβει τις απαιτούμενες πληροφορίες.

- Αυτοματοποίηση σε επαναλαμβανόμενες εργασίες. Κλασικές εργασίες όπως φόρτωση/εκφόρτωση, συναρμολόγηση, παλετοποίηση, «pick and place», διαλογή, στοίβαξη και αραίωση σε πολύ υψηλές ταχύτητες, είναι αναμφίβολα η «εξειδίκευση» των ρομπότ και οι εργασίες αυτές βρίσκονται συνήθως σε τον τομέα των τροφίμων. Τα αυτόνομα ρομπότ και τα cobot μπορούν να εκτελούν αυτές τις εργασίες μαζί η και χωρίς τους ανθρώπους σε υψηλές ταχύτητες με ελάχιστε ποσοστά αστοχιών.
- Μάρκετινγκ. Χρησιμοποιώντας την επαυξημένη πραγματικότητα οι καταναλωτές μπορούν να παίξουν παιχνίδια, να κάνουν πειράματα και να ενημερωθούν για τις διαθέσιμες προσφορές όπως στη διαφημιστική καμπάνια από τα Starbucks. Αυτό το πλεονέκτημα όχι μόνο έχει μειώσει το κόστος όσον αφορά τα logistics, τους πόρους, το διαφημιστικό υλικό και το προσωπικό μάρκετινγκ, αλλά εξοικονομεί επίσης χρόνο και προσπάθεια για την προετοιμασία πολλαπλών συνεδριάσεων μάρκετινγκ.
- Εκπαίδευση. Η τεχνολογία AR μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και δημιουργικά για την εκπαίδευση οικιακών εργασιών όπως το ψήσιμο και το μαγείρεμα. Εκπαιδευτικά βίντεο εκμάθησης συνταγών μαγειρικής μπορούν να χρησιμοποιήσουν AR και η μάθηση γίνεται διαδραστική και διασκεδαστική. Μια τέτοια οπτικοποιημένη συνταγή είναι ένα σημάδι καινοτόμου μεθόδου εκπαίδευσης που μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο στους τομείς των υπηρεσιών εστίασης αλλά και σε άλλες παρόμοιες λειτουργίες.
- Προσαρμοσμένη παραγγελία. Με την αυξανόμενη εξατομίκευση στη διαχείριση δεδομένων και τις απαιτήσεις των πελατών, οι τεχνολογίες για τους τρισδιάστατους εκτυπωτές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους και στην κατασκευή τροφίμων.

Οι Kittiranya-ngam and Tan (2020) έχουν συγκεντρώσει στον παρακάτω πίνακα τις ωφέλειες που έχουν συγκεκριμένες τεχνολογίες του I4.0 στον κλάδο των τροφίμων.

Emerging technologies	Implementations of the technologies on FSC digitalization
Artificial intelligence (AI)	<ul style="list-style-type: none"> - Precision agricultural farming for optimized yield. - Subjective quality control assessment of food products. - Sale premium from sales and promotion prediction. - Food lab testing and simulation.
Internet of things (IoT)	<ul style="list-style-type: none"> - Sensors linking with mobile devices help monitoring weather, animal health and conditions, etc. - Self-learning shelf life prediction of food products and real-time supply chain re-planning of food processing. - Precision food production.
Robots	<ul style="list-style-type: none"> - Higher food production efficiency via automated food processing machines and plants. - Higher food safety due to less human touch in food processing.
Virtual reality (VR) & Augmented reality (AR)	<ul style="list-style-type: none"> - VR/AR can be used in human resource training in food processing plants and experiential marketing of food or cooking products, i.e. IKEA's products, Nestle's cereal boxes, Coca-Cola apps.
Block chains	<ul style="list-style-type: none"> - Verification of provided information i.e. sources of supplies, food authenticity, thus avoiding food fraud. - Digital tracking and storage of all product information at all stages of supply chain. - Fewer contamination incidents. - Faster detection of problems.
3D printing	<ul style="list-style-type: none"> - Home-printing foods by 3D printers.
Drones	<ul style="list-style-type: none"> - Last miles of food deliveries.

Πίνακας 10. Σύνοψη των υπάρχουσών εφαρμογών I4.0 στη ψηφιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.

Πηγή: (Kittipanya-ngam and Tan, 2020)

Επιπροσθέτως, οι Demartini *et al.*(2018) προσδίδουν στις διάφορες τεχνολογίες I4.0 δυνατότητες λύσεων και βελτιώσεων στις διαδικασίες και λειτουργίες μιας βιομηχανίας τροφίμων:

- Αυτοματοποίηση συλλογής δεδομένων και μείωση της γραφειοκρατίας με τη χρήση IIoT και αναλυτική των μεγάλων δεδομένων
- Ομαλή συνεργασία μεταξύ R&D, εργαστηρίου και παραγωγής με τη χρήση Cloud
- Αποτελεσματική καθοδήγηση χειριστή σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας με τη χρήση AR
- Ορατότητα δεδομένων σε επίπεδο επιχείρησης με τη χρήση Cloud
- Βελτιωμένη απόδοση παραγωγής και διαμοιρασμός βέλτιστων πρακτικών με τη χρήση αναλυτικής των μεγάλων δεδομένων

- Παρακολούθηση εργασιακής ασφάλειας και ευημερίας των εργαζομένων με τη χρήση AR και αναλυτικής των μεγάλων δεδομένων
- Ελαχιστοποίηση της παραγωγής σκουπιδιών με τη χρήση αναλυτικής των μεγάλων δεδομένων και 3D εκτύπωσης
- Ασφάλεια συσκευών και παρακολούθηση της διαδικασίας με τη χρήση IIoT
- Αποστολή συνταγών και ποιοτικών πληροφοριών για τα προϊόντα με τη χρήση CPPS (Cyberphysical Production Systems, Κυβερνοφυσικά Συστήματα Παραγωγής).

2.5.3 Βασικοί δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators, KPI)

Υπάρχει μόνιμη ανάγκη παρακολούθησης της αποτελεσματικότητας μίας διαδικασίας που να παρέχει γρήγορη και σαφή επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στις γραμμές παραγωγής. Ο Parmenter (2020) αναφέρει ότι οι βασικοί δείκτες απόδοσης θεωρούνται ο πυρήνας ενός συστήματος μέτρησης της απόδοσης: ορίζονται ως ένα σύνολο μετρήσεων που εστιάζουν στις κύριες κρίσιμες δραστηριότητες. Οι βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI) είναι κρίσιμοι για την κατανόηση της απόδοσης του οργανισμού και για τη λήψη αποφάσεων. Χρησιμοποιούνται σχεδόν από όλους τους τύπους επιχειρήσεων, για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας στην επίτευξη στρατηγικών και επιχειρησιακών στόχων (Žižek *et al.*, 2020).

Μπορούν να βρεθούν πολυάριθμα συστήματα KPI για την παραγωγή στη βιβλιογραφία. Μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ γενικών συστημάτων και ειδικών συστημάτων KPI για παραγωγή. Λόγω της λειτουργίας των KPI ως εργαλείου διαχείρισης, τα γενικά συστήματα KPI έχουν συνήθως οικονομική ή στρατηγική εστίαση. Μεταξύ των πιο γνωστών χρηματοοικονομικών συστημάτων KPI είναι το σύστημα χρηματοοικονομικού ελέγχου DuPont και το σύστημα KPI ZVEI ή το σύστημα KPI Κερδοφορίας-Πευστότητας (Jorpen *et al.*, 2019).

Το πρότυπο ISO 22400, παρέχει ένα πλαίσιο για τη δόμηση των KPI μόνο για την παραγωγή. Ο στόχος του προτύπου αυτού είναι να παρέχει μια επισκόπηση των σχετικών KPI, τον καθορισμό των πιο σημαντικών και γενικά χρησιμοποιούμενων δεικτών για τη

μεταποιητική βιομηχανία και την ταξινόμησή τους στο επίπεδο διαχείρισης λειτουργιών. Με βάση το ISO 22400, όλο και περισσότερες περαιτέρω έρευνες έχουν διεξαχθεί τόσο στη θεωρία όσο και στην πράξη. Οι Zhu et.al (2018) προτείνουν μια αρχιτεκτονική αξιολόγηση των KPI για το σύστημα εκτέλεσης παραγωγής και συζήτησαν τους αντίστοιχους και κανονικοποιημένους KPI από τις κύριες πτυχές λειτουργίας της παραγωγής, της ποιότητας, του αποθέματος, της συντήρησης και της ενέργειας στη βιομηχανία διεργασιών. Και στα δύο μέρη του προτύπου που έχουν δημοσιευθεί μέχρι στιγμής, αρχικά εξηγούνται οι βασικές αρχές των KPI, και ορίζονται με ακρίβεια διαφορετικοί KPI. Οι σχέσεις και οι εξαρτήσεις πρέπει να εξηγηθούν λεπτομερέστερα σε ένα άλλο μέρος του προτύπου που έχει προγραμματιστεί αλλά δεν έχει ακόμη δημοσιευθεί. Έτσι, το πρότυπο δεν παρέχει ακόμη ένα πλήρες σύστημα βασικών στοιχείων.

Η μέτρηση της απόδοσης στη βιομηχανία μεταποίησης είναι ένα δύσκολο έργο λόγω της ποικιλόμορφης και πολυδιάστατης φύσης αυτού του τομέα. Οι Ahmad and Dhafir (2002), στην έρευνα τους έχουν εντοπίσει 11 δείκτες οι οποίοι θεωρούνται περισσότερο σημαντικοί στις βιομηχανίες. Αυτοί παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11):

No.	Activity
1	Output
2	Uptime
3	Product delivery performance (OTIF)
4	Adherence to production plan
5	Customer complaints
6	Product rate
7	Quality rate
8	Availability
9	OEE
10	Absenteeism
11	Average training days/employee

Πίνακας 11. Βασικοί KPI για τις βιομηχανίες.

Πηγή:(Ahmad and Dhafir, 2002)

Το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων παραγωγής απαιτεί από πολλούς οργανισμούς να εξετάσουν την Ολική Αποτελεσματικότητα Εξοπλισμού (OAE, overall equipment effectiveness-OEE) ως έναν από τους κρίσιμους δείκτες στη μέτρηση της απόδοσης (Kamble *et al.*, 2020).

Οι Jena, Mishra and Moharana (2020) στην έρευνά τους για τις ωφέλειες του I4.0, έχουν βρει 11 δείκτες KPI να έχουν επηρεαστεί θετικά με την υιοθεσία της Βιομηχανίας 4.0. Στη μελέτη περίπτωσης της έρευνάς τους που αφορά ένα εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος, συνέκριναν τους δείκτες αυτούς πριν και μετά την υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0. Οι τεχνολογίες αυτές ήταν: Big data & analytics, IIoT, M2M, CPS, The Cloud. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δείκτες αυτοί και το ποσοστό που επηρεάστηκαν (Πίνακας 12).

No	KPI	Figure in 2017	Figure in 2018	Improvement (%)
1	Total production(ton)	1050000	1189020	13.24
2	Process wastage (%)	0.5	0.56395	12.79
3	OEE	45.6	51.5	12.94
4	Total Down time (%)	8.6	5.97	30.58
5	MTBF(hrs)	312	389.0016	24.68
6	MTTR(hrs)	12.5	9.3025	25.58
7	Customer complaint(No/M.ton)	10	7	30
8	Rejection (%)	0.00005	0.00001415	71.7
9	Sp. Energy consumption(Kwh/ton)	750	680	9.33
10	Specific Carbon foot print(ton of co2/ton)	1.578	1.431	9.33
11	Specific water consumption(Kl/ton)	0.64	0.62	3.12

Πίνακας 12. KPI του εργοστασίου πριν (2017) και μετά (2018) την εφαρμογή τεχνολογιών I4.0.

Πηγή: (Jena, Mishra and Moharana, 2020)

Παρατηρούμε ότι οι δείκτες που έχουν να κάνουν με την ποιότητα του προϊόντος επηρεάστηκαν θετικά περισσότερο από όλους: το ποσοστό απόρριψης προϊόντος με βελτίωση άνω του 70% και τα παράπονα από πελάτες τα οποία μειώθηκαν από 10 σε 7 συμβάντα ανά μετρικό τόνο, δείχνοντας βελτίωση κατά 30%. Επιπροσθέτως, έχουν ελαττωθεί οι χρόνοι σταματήματος εξαιτίας των μηχανημάτων είτε από βλάβες είτε για συντήρηση.

2.5.4 Οι βασικοί δείκτες απόδοσης στη βιομηχανία των τροφίμων

Όσο αφορά την βιομηχανία τροφίμων, υπάρχουν πολυάριθμοι δείκτες που εξετάζουν την ασφάλεια, την ποιότητα, την παραγωγικότητα και την απόδοση μίας μονάδας. Σύμφωνα με τον Michael Dudbridge (2011) προτείνονται μεταξύ των άλλων, 3 ομάδες δεικτών που αφορούν: Μηχανές, Προϊόν και Παραγωγική διαδικασία.

- Machine KPIs - Δείκτες KPI μηχανών
 - % Downtime due to breakdowns - % Χρόνος διακοπής λειτουργίας λόγω βλαβών
 - Average running speed - Μέση ταχύτητα παραγωγής
 - Average changeover time - Μέσος χρόνος αλλαγής είδους
 - % of downtime due to lack of materials - % του χρόνου διακοπής λόγω έλλειψης υλικών
 - % of downtime due to late back from break - % του χρόνου διακοπής λόγω καθυστερημένης επιστροφής από το διάλειμμα
 - Number of unplanned changeovers per shift - Αριθμός μη προγραμματισμένων αλλαγών ανά βάρδια
 - Labour efficiency % - Αποδοτικότητα εργασίας %
 - Machine efficiency % - Απόδοση μηχανών %

- Product KPIs - Δείκτες KPI προϊόντων
 - Average giveaway of packs produced - Μέσος όρος παραγόμενων συσκευασιών ως δώρων
 - % of packs with faulty seals - % των συσκευασιών με ελαττωματικό κλείσιμο/σφράγισμα
 - Number of packs reworked - Αριθμός πακέτων που επεξεργάστηκαν ξανά
 - Average quality score - Μέσος όρος ποιότητας
 - Number of technical non-conformances per shift - Αριθμός τεχνικών μη συμμορφώσεων ανά βάρδια
 - Number of packs rejected - Αριθμός συσκευασιών που απορρίφθηκαν
 - Total weight of waste during the shift - Συνολικό βάρος απορριμμάτων ανά βάρδια
 - Daily hygiene audit score - Ημερήσια βαθμολογία ελέγχου υγιεινής
 - Bacteria counts on finished product - Αριθμός βακτηριδίων στο τελικό προϊόν

- Process KPIs - Δείκτες KPI Επεξεργασίας
 - Percentage of process check failures - Ποσοστό αποτυχιών σε ελέγχους διαδικασίας
 - Average temperature of materials arriving on the line - Μέση θερμοκρασία των υλικών που φτάνουν στη γραμμή

Σχετικά με την πρακτική εφαρμογή των KPI στη βιομηχανία των τροφίμων, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στη μηχανή αναζήτησης «Google» και με κριτήριο αναζήτησης: «kpi» AND «food industry». Παρακάτω παρατίθεται μια συγκεντρωτική λίστα με τους βασικούς δείκτες που προτείνονται από κάποιες εταιρίες συμβούλων:

α/α	Δείκτης	Σχετική αναφορά
1	Αριθμός συμβάντων μη συμμόρφωσης (Number of Non-Compliance Events)	Ann Grace (2021), SAFETYCHAIN
2	Αναλογία χρόνου διακοπής λειτουργίας προς χρόνο λειτουργίας (Downtime to Operating Time Ratio)	
3	Παραγωγικότητα (Troughput)	
4	Απόδοση (Yield)	
5	Ποσοστό απορρίψεων (Rejection ratio)	
1	Ο αριθμός των καλών ή κακών προϊόντων (The count of Good or Bad Products)	Tokdemir (2022), AGROFOOD CONSULTING
2	Ποσοστό απορρίψεων (Rejection ratio)	
3	Παραγωγικότητα (Rate / Troughput)	
4	Στόχος απόδοσης (Performance Target)	
5	Διάρκεια κύκλου (Cycle time)	
6	Συνολική Αποτελεσματικότητα Εξοπλισμού (OEE)	
7	Χρόνος διακοπής λειτουργίας (Downtime)	
1	Απόδοση (Yield /Count of good products)	Ahsan (2017), AMEEN AHSAN
2	Ποσοστό απορρίψεων (Rejection ratio)	
3	Παραγωγικότητα (Rate / Troughput)	
4	Διάρκεια κύκλου (Cycle time)	
5	Συνολική Αποτελεσματικότητα Εξοπλισμού (OEE):	
6	Χρόνος διακοπής λειτουργίας (Downtime)	

Πίνακας 13. Προτεινόμενοι δείκτες κρι από εταιρίες συμβούλων.

Παρατηρείται ότι δείκτες όπως παραγωγικότητα, απόδοση, ποσοστό απορρίψεων χρόνος διακοπής λειτουργίας και ΟΕΕ θεωρούνται θεμελιώδεις για την αξιολόγηση μιας γραμμής παραγωγής. Βλέπουμε επίσης, ότι οι προαναφερόμενοι δείκτες αναφέρονται περισσότερο στο παραγωγικό κομμάτι παρά στην ποιότητα προϊόντος (αναφέρεται μόνο το ποσοστό απορρίψεων) ή στο κομμάτι της κατάστασης των μηχανημάτων (αναφέρεται μόνο ο χρόνος διακοπής λειτουργίας).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Στρατηγική έρευνας

Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι έρευνας στη διοίκηση επιχειρήσεων όπως και στις κοινωνικές επιστήμες. Οι πιο κοινές μέθοδοι είναι πέντε: πείραμα, ποσοτική έρευνα, μελέτη περίπτωσης, ανάλυση αρχείων, ιστορική μέθοδος (εθνογραφική) (Yin, 2018). Οι Saunders, Lewis και Thornhill (2016) αναφέρουν επιπλέον 3 μεθόδους: την έρευνα δράσης, την θεμελιωμένη θεωρία και την αφηγηματική διερεύνηση. Όπως αναφέρουν οι Saunders, Lewis και Thornhill (2016) και Yin (2018), η επιλογή της μεθόδου καθοδηγείται από τα ερευνητικά ερωτήματα και τους στόχους. Οι ερωτήσεις «Πώς» και «Γιατί» ευνοούν τη χρήση μελετών περίπτωσης, πειραμάτων ή ιστορικών μελετών Yin (2018). Τα δυνατά σημεία των μελετών περίπτωσης είναι πολλά και ευθυγραμμίζονται με τον στόχο και το σκοπό της μελέτης. Το φαινόμενο μπορεί να μελετηθεί στο φυσικό του περιβάλλον και να απαντηθούν τα ερωτήματα πώς και γιατί, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνεται υπόψη η πολυπλοκότητα του θέματος. Επίσης, η μελέτη περίπτωσης είναι προτιμότερη για πρώιμες διερευνητικές μελέτες όταν το φαινόμενο δεν είναι ακόμη κατανοητό και οι μεταβλητές είναι άγνωστες (Voss, Tsikriktsis and Frohlich, 2002; Yin, 2018). Ο Yin (2018) προτείνει έναν διπλό ορισμό της μελέτης περίπτωσης. Το πρώτο μέρος αφορά το εύρος της μελέτης που μπορεί να περιγραφεί ως μια εις βάθος μελέτη ενός φαινομένου σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Το δεύτερο μέρος αφορά τα χαρακτηριστικά των μελετών περίπτωσης που μπορούν να περιγραφούν εν συντομία ως τεχνικά διακριτές καταστάσεις, που βασίζονται σε πολλαπλές πηγές δεδομένων και επωφελούνται από προηγούμενες θεωρητικές προτάσεις. Η «περίπτωση» μπορεί να αποτελείται από ένα άτομο, μια ομάδα, έναν οργανισμό ή ακόμα και μια διαδικασία αλλαγής (Yin, 2018). Επιπλέον, ο ίδιος ερευνητής διακρίνει δύο διαστάσεις: μεμονωμένες μελέτες περίπτωσης και πολλαπλές μελέτες περιπτώσεων καθώς και ολιστικές περιπτωσιολογικές και ενσωματωμένες μελέτες περιπτώσεων. Τα δυνατά σημεία της μελέτης πολλαπλών περιπτώσεων μπορούν να εξαχθούν πλήρως λαμβάνοντας υπόψη τη φύση των επιλεγμένων θεμάτων και του ερευνητικού ερωτήματος. Επιπλέον, διεξαγωγή και η τεκμηρίωση άμεσων παρατηρήσεων των γεγονότων και των ενεργειών από τον ερευνητή όπως συμβαίνουν στην πραγματικότητα σε ένα τοπικό περιβάλλον είναι ένα κρίσιμο μέρος της συλλογής

δεδομένων και συμβάλλει σημαντικά στην εγκυρότητα (validity) μιας μελέτης περίπτωσης (Voss, Tsiriktsis and Frohlich, 2002; Yin, 2018).

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της πολλαπλής μελέτης περίπτωσης με ολιστική προσέγγιση (TYPE 3 σε Yin, 2018 σελ.84), σε συνδυασμό με την άμεση παρατήρηση, κυρίως επειδή θέλουμε να εξερευνήσουμε το φαινόμενο σε ένα φυσικό περιβάλλον για να αποκτήσουμε γνώση. Οι επιμέρους μελέτες περιπτώσεων αφορούν εταιρείες που θα μελετηθούν ολιστικά.

3.2 Επιλογή δείγματος

Όπως αναφέρθηκε από τους Saunders, Lewis και Thornhill (2016) είναι σημαντικό να καθοριστεί με σαφήνεια ο πληθυσμός της έρευνας. Λόγω του ερευνητικού ερωτήματος και των ερευνητικών στόχων μπορεί να ειπωθεί ότι ο πληθυσμός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελείται από όλες τις εταιρείες του μεταποιητικού τομέα. Στη συνέχεια λαμβάνονται δείγματα από αυτόν τον πληθυσμό-στόχο. Λόγω του περιορισμένου χρονικού πλαισίου και της ποικιλομορφίας του ερευνητικού θέματος, επιλέχθηκε η επικέντρωση σε τρεις συγκεκριμένες βιομηχανίες στον κλάδο της μεταποίησης των τροφίμων. Με αυτόν τον τρόπο, οι επιλεγμένες εταιρίες στις μελέτες περίπτωσης μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές του κλάδου της μεταποίησης των τροφίμων. Οι εταιρίες επιλέχθηκαν με κριτήριο το μέγεθος τους ώστε να διευκολυνθεί η συλλογή ευρημάτων με την **υπόθεση** ότι οι μεγάλες εταιρίες γνωρίζουν αλλά και έχουν υιοθετήσει ως κάποιο βαθμό τις τεχνολογίες του I4.0. Σύμφωνα με τη ευρωπαϊκή οδηγία 2003/361/EK, εταιρίες με τζίρο άνω των €50 εκατομμυρίων και αριθμό εργαζομένων άνω τους 250, θεωρούνται μεγάλες. Και οι τρεις εταιρίες ανήκουν στην κατηγορία των μεγάλων εταιριών (Πίνακας 14).

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	ΤΖΙΡΟΣ (εκατ. Ευρώ-2020)*	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ*	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
A	99,45	655	Έτος Ίδρυσης 1930. Εξάγει το 15%.
B	84,09	446	Έτος Ίδρυσης 1924. Εξάγει το 50%.
Γ	60,03	280	Έτος Ίδρυσης 1994. Εξάγει το 99,8%.

Πίνακας 14. Στοιχεία δείγματος της έρευνας.

*Πηγή: <https://www.dnb.com>

3.3 Συλλογή δεδομένων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι συλλογής δεδομένων, συνήθως χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις, ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις.

Οι *παρατηρήσεις* είναι πιο κατάλληλες για έρευνα που επιδιώκει να αναλύσει τι κάνουν οι άνθρωποι με συστηματική προβολή, καταγραφή, περιγραφή και ανάλυση καθώς και με ερμηνεία (Saunders, Lewis and Thornhill, 2016). Οι ίδιοι συγγραφείς διακρίνουν τέσσερις προσεγγίσεις παρατήρησης, δύο παραδοσιακές και δύο προσεγγίσεις διαμεσολάβησης. Η συμμετοχική παρατήρηση και η δομημένη παρατήρηση μπορούν να θεωρηθούν ως παραδοσιακές, ενώ η παρατήρηση και η βιντεοσκόπηση μέσω Διαδικτύου μπορούν να θεωρηθούν ως διαμεσολαβούμενες προσεγγίσεις.

Τα *ερωτηματολόγια* χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συλλογή δεδομένων όταν οι έρευνες χρησιμοποιούνται ως κύρια μέθοδος, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για πειράματα και μελέτες περιπτώσεων (Bryman and Bell, 2011). Σε αυτή τη διπλωματική ο όρος «ερωτηματολόγιο» χρησιμοποιείται με την έννοια των «ερωτηματολογίων αυτοσυμπλήρωσης» που σημαίνει ότι οι ερωτηθέντες συμπληρώνουν μόνοι τους το ερωτηματολόγιο (Bryman and Bell, 2011).

Οι *συνεντεύξεις* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή έγκυρων και αξιόπιστων δεδομένων που απαιτούνται για την απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα, αλλά και για τη βελτίωση των ιδεών όταν τα ερευνητικά ερωτήματα δεν έχουν διατυπωθεί τελικά. Η αντικειμενική προσέγγιση βλέπει τους ερωτηθέντες ως μάρτυρες της πραγματικότητας, ενώ η υποκειμενική προσέγγιση βλέπει τα δεδομένα που συλλέγονται από συνεντεύξεις ως κοινωνικά κατασκευασμένα (Bryman and Bell, 2011; Saunder, Lewis and Thornhill, 2019).

Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκε η τριγωνοποίηση δεδομένων για να μειωθεί η προκατάληψη (bias) στις πηγές δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και από διαφορετικές πηγές (Collis and Hussey, 2014). Η άντληση των δεδομένων έχει επιτευχθεί:

- ο Με συνεντεύξεις με τεχνικούς διευθυντές και υπεύθυνους τεχνικών τμημάτων.

- Με διανομή ερωτηματολογίων μέσω Google forms σε διευθυντές ή υπεύθυνους τμημάτων παραγωγής, πληροφορικής, συντήρησης κ.α, με ερωτήσεις βασισμένες στις ερωτήσεις των συνεντεύξεων.
- Με άμεση παρατήρηση στις εγκαταστάσεις παραγωγής των υπό της έρευνας εταιριών.

Η διαμόρφωση των ερωτήσεων των συνεντεύξεων στηρίχθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις ερευνητικές ερωτήσεις. Λόγω του γεγονότος ότι το υπο μελέτη φαινόμενο του Industry 4.0 δεν είναι καθιερωμένο διεθνώς, οι ερωτηθέντες είχαν διαφορετική αντίληψη γι' αυτό. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, επιλέχθηκε να μην συμπεριληφθεί η έννοια του Industry 4.0 στις ερωτήσεις, αλλά οι ερωτήσεις να επικεντρωθούν στις συγκεκριμένες τεχνολογίες και τάσεις που είναι καθιερωμένες και γνωστές μεταξύ των ερωτηθέντων. Παρόμοια λογική ακολουθήθηκε και για την εύρεση των εμποδίων υιοθέτησης. Σε αυτές τις συνεντεύξεις, που διήρκεσαν έως μία ώρα, οι ανοιχτές ερωτήσεις παρείχαν τη δυνατότητα στον ερευνητή να εμβαθύνει σε περισσότερες λεπτομέρειες κάθε φορά που ένας ερωτώμενος φέρνει ένα θέμα που ίσως αξίζει να μελετηθεί σε βάθος για την επίλυση του ερευνητικού προβλήματος. Οι ερωτήσεις των συνεντεύξεων ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες:

- Εισαγωγικές / γνωριμίας -ερωτήσεις σχετικά με την επαγγελματική δραστηριότητα, τον οργανισμό όπου δραστηριοποιείται ο ερωτώμενος και το βαθμό εξοικείωσης του/της με τις τεχνολογίες I4.0 (ερωτήσεις 1&2).
- Τεχνολογίες του I4.0 και βαθμός υιοθέτησης (ωριμότητας) - ερωτήσεις σχετικά με τις τεχνολογίες του I4.0 που έχουν υιοθετηθεί αλλά και το βαθμό υιοθέτησης τους. Για την εύρεση του βαθμού υιοθέτησης, σε κάποιες τεχνολογίες χρησιμοποιήθηκαν περισσότερες από μια ερωτήσεις ώστε να διευκολυνθεί η κατηγοριοποίηση του βαθμού υιοθέτησης της κάθε τεχνολογίας με βάση το χρησιμοποιούμενο μοντέλο (ερωτήσεις 3-19). Επειδή από την βιβλιογραφική ανασκόπηση βρέθηκε ότι εκτός από την τεχνολογική διάσταση ωριμότητας υπάρχει και η διάσταση του μανάτζμεντ με ανάλογα στοιχεία και επίπεδα, χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις που διερευνούν αυτή τη διάσταση (ερωτήσεις 20-27).

- Βασικοί Δείκτες Απόδοσης - ερωτήσεις σχετικά με την χρήση βασικών δεικτών απόδοσης και εάν υπάρχει κάποια σύνδεση μεταξύ των επενδύσεων σε I4.0 και την αύξηση συγκεκριμένων δεικτών απόδοσης (ερωτήσεις 28-30).
- Προκλήσεις υιοθέτησης - ερωτήσεις σχετικά με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι συνεντευξιζόμενοι αλλά και ευρύτερα οι ίδιοι οι οργανισμοί στην υιοθέτηση του I4.0 (ερωτήσεις 31-36).

Οι ερωτήσεις των συνεντεύξεων βρίσκονται επισυναπτόμενες στο προσάρτημα (Προσάρτημα 1).

Το ερωτηματολόγιο χρησιμοποιήθηκε ως μια διαφορετική πηγή άντλησης δεδομένων ώστε να επιτευχθεί η τριγωνοποίηση και η εγκυρότητα των δεδομένων των συνεντεύξεων (Patton, 2015; Yin, 2018). Βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση του κλίματος μέσα στην εταιρία και την ισχυροποίηση της αντικειμενικότητας των δεδομένων. Ο συγκεκριμένος τύπος του ερωτηματολογίου (κλειστές ερωτήσεις με σταθερές απαντήσεις επιλογής) μπορεί να θεωρηθεί και ως είδος συνέντευξης (Patton, 2015) : οι κατηγορίες των ερωτήσεων και των απαντήσεων είναι προδιαγεγραμμένες από πριν. Οι απαντήσεις είναι σταθερές και οι ερωτηθέντες επιλέγουν μέσα από προδιατυπωμένες απαντήσεις. Το ερωτηματολόγιο διαμοιράστηκε μετά από τις συνεντεύξεις, με παραλήπτες τα πρόσωπα που ο συνεντευξιζόμενος πρότεινε σαν κατάλληλα λόγω της σχετικότητάς τους με τεχνολογίες I4.0. Για λόγους ομοιομορφίας των απαντήσεων και την αποφυγή του bias (Collis and Hussey, 2014) από όλες τις εταιρίες της έρευνας, ζητήθηκε να προταθούν άτομα από συγκεκριμένους τομείς όπως: IT, παραγωγή και συντήρηση / λοιπούς τεχνικούς τομείς. Από το σχεδιασμό του ερωτηματολογίου απαιτήθηκε σαφήνεια και οργάνωση, ώστε να περιλαμβάνει όλες τις σημαντικές ερωτήσεις, να έχει σωστή δομή και συνοχή, να είναι πλήρως κατανοητό και συνοπτικό για τον συμμετέχοντα, με μικρή απαιτούμενη χρονική διάρκεια (10-15 λεπτά) ώστε να μην κουράζει. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις ερωτήσεις οι οποίες έπρεπε να αποδίδουν το νόημα των ερωτήσεων των συνεντεύξεων με την μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να απαντήσουν στο ερωτηματολόγιο με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με την ερώτηση: α) Με βάση 5-βαθμη κλίμακα Likert, από «Καθόλου» έως «Πάρα πολύ», προκειμένου να υπάρξει ευκολία στη συμπλήρωση και να επιτευχθεί αξιοπιστία και ευκολία στην εξαγωγή των μετρήσιμων αποτελεσμάτων. Ειδικά στην ερώτηση για τις τεχνολογίες που έχουν ήδη

υιοθετηθεί, η κλίμακα τροποποιήθηκε σε 4-βαθμη, ώστε να ταιριάζει με τα τέσσερα επίπεδα ωριμότητας του επιλεγμένου μοντέλου ωριμότητας, β) ελεύθερο κείμενο, γ) πολλαπλή επιλογή έτοιμων απαντήσεων (αφορά τις ερωτήσεις για την δυσκολία υιοθέτησης) οι οποίες προήλθαν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Το ερωτηματολόγιο βρίσκεται επισυναπτόμενο στο προσάρτημα (Προσάρτημα 2).

Μετά τη συλλογή και μελέτη του υλικού των συνεντεύξεων και των ερωτηματολογίων, ακολούθησε η συλλογή των δεδομένων με άμεση παρατήρηση με την επίσκεψη του ερευνητή στους χώρους της παραγωγής και των γραφείων των εταιριών της έρευνας. Ο ερευνητής έχοντας αποκτήσει οικειότητα με τα δεδομένα της κάθε περίπτωσης μέσω των συνεντεύξεων και των απαντήσεων των ερωτηματολογίων, χρησιμοποίησε την άμεση παρατήρηση για α) την αποσαφήνιση «γκρίζων σημείων», β) επιβεβαίωση των απαντήσεων και τάσεων, και γ) τη συλλογή φωτογραφικού υλικού τεκμηρίωσης της έρευνας. Επιπλέον, η άμεση παρατήρηση έδωσε την ευκαιρία στον ερευνητή για άτυπες μικροσυζητήσεις με τα πρόσωπα που είχαν ήδη απαντήσει στα ερωτηματολόγια. Οι μικροσυζητήσεις βοήθησαν επίσης στην εκτίμηση του επιπέδου ωριμότητας της διάστασης του μανάτζμεντ, η έρευνα του οποίου δεν είχε περιληφθεί στο ερωτηματολόγιο. Αυτό βοήθησε στη διασταύρωση των απαντήσεων των ερωτηθέντων αλλά και στην επιβεβαίωση ότι οι ερωτηθέντες κατανόησαν πλήρως τις ερωτήσεις (Patton, 2015). Το ερωτηματολόγιο δόθηκε επίσης προς συμπλήρωση και στον ίδιο συνεντευξιαζόμενο ώστε να επιτευχθεί αντιστοίχιση των απαντήσεων της συνέντευξης με τις απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο μια έγκυρη αξιολόγηση των απαντήσεων των αυτοσυμπληρούμενων ερωτηματολογίων των συμμετεχόντων στην έρευνα.

3.4 Εγκυρότητα και αξιοπιστία

Μέσω της τριγωνοποίησης δεδομένων, δηλαδή με την χρήση διαφορετικών πηγών πληροφοριών και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, αυξάνεται η **δομική εγκυρότητα** (construct validity) της μελέτης (Baškarada, 2014; Yin, 2018). Σε αυτήν έρευνα χρησιμοποιήθηκαν ως πηγές δεδομένων οι συνεντεύξεις σαν κύρια πηγή, ενώ τα ερωτηματολόγια και η άμεση παρατήρηση ως δευτερεύουσες πηγές (Saunder, Lewis and Thornhill, 2019). Η **εσωτερική εγκυρότητα** (internal validity) (Patton, 2015; Yin, 2018) επετεύχθη μέσω των εξηγήσεων και αποσαφηνίσεων προς τους συνεντευξιαζόμενους, αλλά και εξηγήσεων προς τους συμμετέχοντες στα ερωτηματολόγια. Η **εξωτερική εγκυρότητα**

(external validity) (Ritchie *et al.*, 2013; Yin, 2018; Saunder, Lewis and Thornhill, 2019) προσεγγίζεται με την χρήση πολλαπλών μελετών περίπτωσης. Βέβαια, ο αριθμός των περιπτώσεων δεν επιτρέπει μια ευρεία γενίκευση των αποτελεσμάτων αλλά μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για βαθύτερες και πιο ολοκληρωμένες μελέτες. Προκειμένου να δοθούν πλήρως γενικεύσιμα αποτελέσματα, πρέπει να μελετηθούν περισσότερες επιχειρήσεις εντός του κλάδου. Λόγω του χρονικού ορίου, ήταν δύσκολο να προσεγγιστεί ένα ευρύτερο σύνολο εταιρειών. Ο συγγραφέας θεωρεί ότι οι επιλεγμένες εταιρείες περιπτώσεων είναι επαρκείς, δεδομένου ότι είναι μεγάλες στον αντίστοιχο κλάδο τους, και ότι άλλες εταιρείες πιθανότατα θα ακολουθήσουν με την πάροδο του χρόνου. Η **αξιοπιστία** (reliability) (Bryman and Bell, 2011; Collis and Hussey, 2014; Patton, 2015; Yin, 2018) διασφαλίστηκε με την τήρηση αρχείων κατά την άμεση παρατήρηση ενώ οι συνεντεύξεις ηχογραφήθηκαν. Επιπλέον, σε όλες τις συνεντεύξεις κρατήθηκαν σημειώσεις. Ένα συγκεκριμένο *πρωτόκολλο* τηρήθηκε για όλες τις περιπτώσεις: Γνωριμία με το συνεντευξιζόμενο, συνέντευξη, παρουσία του ερωτηματολογίου που πρέπει να μοιραστεί, επιλογή των προσώπων που θα απαντήσουν το ερωτηματολόγιο με στόχο να είναι από όλες τις εταιρίες άτομα με ίδια η παραπλήσια καθήκοντα όπως υπεύθυνος IT, υπεύθυνος συντήρησης, υπεύθυνος παραγωγής και τέλος πραγματοποιήθηκε η άμεση παρατήρηση, αφού είχε μελετηθεί το συλλεχθέν υλικό των συνεντεύξεων και ερωτηματολογίων. Ο Πίνακας 15 συνοψίζει αυτά τα 4 κριτήρια ποιότητας των ερευνητικών σχεδιασμών που αναλύθηκαν πιο πάνω.

Tests	Case Study Tactic
Construct validity	<ul style="list-style-type: none"> • use multiple sources of evidence • have key informants review draft case study report
Internal validity	<ul style="list-style-type: none"> • do pattern matching • do explanation building • address rival explanations • use logic models
External validity	<ul style="list-style-type: none"> • use theory in single-case studies • use replication logic in multiple-case studies
Reliability	<ul style="list-style-type: none"> • use case study protocol • develop case study database • maintain a chain of evidence

Πίνακας 15. Κριτήρια ποιότητας των ερευνητικών σχεδιασμών.

Πηγή: (Yin, 2018)

Η εγκυρότητα της διπλωματικής διατηρείται με τη συνεχή ανασκόπηση των δεσμών μεταξύ προβληματισμού, σκοπού, μεθοδολογίας και ερευνητικού ερωτήματος. Αυτό περιλαμβάνει την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που θεωρείται σχετική για αυτή τη διπλωματική, καθώς το φως των νέων εμπειρικών ευρημάτων μπορεί να καταστήσει ορισμένες θεωρίες άσχετες. Ως εκ τούτου, έλαβε χώρα μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι οι ερωτήσεις των συνεντεύξεων θα κάλυπταν τις πιο σημαντικές έννοιες.

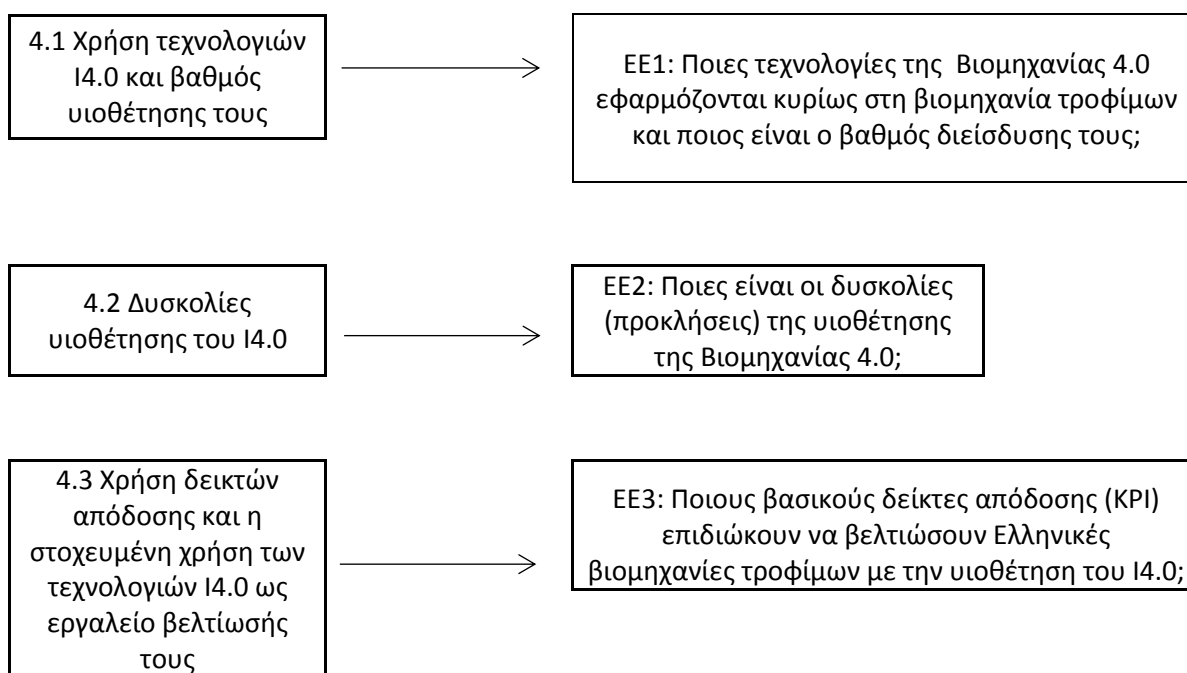
3.5 Ηθική

Σύμφωνα με τους Bryman and Bell, (2011), τα ηθικά ζητήματα μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κύριες πτυχές: βλάβη στους συμμετέχοντες, έλλειψη ενημέρωσης και συναίνεσης, παραβίαση της ιδιωτικής ζωής, εξαπάτηση. Οι ερευνητές όχι μόνο έχουν την ευθύνη να αξιολογήσουν την πιθανότητα βλάβης στους συμμετέχοντες των ερευνών τους, αλλά και να μειώσουν τη βλάβη στο ελάχιστο. Επιπλέον, η τήρηση του απορρήτου των αρχείων και η ανωνυμία των λογαριασμών θα πρέπει να διεκδικούνται στους ηθικούς κώδικες (Bryman and Bell, 2011). Από την άλλη πλευρά, όταν οι ερευνητές διεξάγουν έρευνα με μέλη ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος, η εμπιστευτικότητα ή η ανωνυμία

μπορεί να γίνει πρόβλημα. Αυτά τα προβλήματα περιλαμβάνουν δύο οπτικές γωνίες, το κοινό έξω και τους αναγνώστες αυτής της έκθεσης. Όταν ο ερευνητής διεξάγει συνεντεύξεις στην ίδια εταιρεία ή μεταξύ μελών μιας οικογένειας, δεν αρκεί να αντιμετωπίζεται η σχέση ως σίγουρη στις εσωτερικές σχέσεις, αλλά και ο αναγνώστης της εργασίας δεν θα πρέπει να μπορεί να αναγνωρίσει την εταιρεία και το πρόσωπο (Flick, 2014). Όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα της εργασίας αυτής ζήτησαν την ανωνυμία τους αλλά και την ανωνυμία της ίδιας της εταιρίας που εκπροσωπούν. Η διατήρηση της εμπιστευτικότητας των αρχείων και η ανωνυμία των δεδομένων θα πρέπει να διέπονται από τους δεοντολογικούς κώδικες (Bryman and Bell, 2011) και να προστατεύονται (Flick, 2014). Για την εξωτερική ανωνυμοποίηση π.χ. προς τους αναγνώστες, είναι απαραίτητο να κωδικοποιούνται οι λεπτομέρειες που περιλαμβάνουν ονόματα, διευθύνσεις, ονόματα εταιρειών κ.λπ (Flick, 2014). Επομένως, αυτή η διπλωματική θα ανωνυμοποιήσει τα προσωπικά στοιχεία του συνεντευξιαζόμενου, καθώς και τα ονόματα εταιρειών όπως επίσης θα γίνει κωδικοποίηση και απόκρυψη κάθε στοιχείου άμεσου ή έμμεσου που μπορεί να φανερώσει την ταυτότητα της εταιρίας ή του συνεντευξιαζόμενου.

4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα εμπειρικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αρχικά, θα παρουσιαστούν εν συντομία κάποια δημογραφικά στοιχεία της έρευνας και έπειτα θα αναλυθούν οι τεχνολογίες Industry 4.0 που χρησιμοποιούνται και ο βαθμός διείσδυσης (ωριμότητα) τους στις αντίστοιχες εταιρείες περίπτωσης για να απαντηθεί το πρώτο ερευνητικό ερώτημα. Δεύτερον, οι προκλήσεις της υιοθέτησης του Industry 4.0 θα αναλυθούν τόσο εντός των περιπτώσεων όσο και μεταξύ των περιπτώσεων για να απαντηθεί το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα. Τρίτον, θα αναλυθεί αν και ποιούς βασικούς δείκτες απόδοσης θέλουν οι συγκεκριμένες εταιρείες να βελτιώσουν χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες τεχνολογίες του Industry 4.0 για να απαντηθεί το τρίτο ερευνητικό ερώτημα. Το περίγραμμα της ανάλυσης φαίνεται παρακάτω (Πίνακας 16).



Πίνακας 16. Περίγραμμα ανάλυσης

Για να βρεθεί πόσο έχουν διεισδύσει οι τεχνολογίες του Industry 4.0 στις βιομηχανίες προτάθηκε το μοντέλο ωριμότητας WMG για την υιοθέτηση του Industry 4.0. Αυτό το μοντέλο αξιολογεί την ωριμότητα υιοθέτησης του I4.0 σε πέντε διαφορετικές διαστάσεις. Στην εργασία αυτή εκτός από την τεχνολογική έχει χρησιμοποιηθεί και η οργανωτική διάσταση για την ανάλυση της ωριμότητας των μεμονωμένων εταιρειών περίπτωσης ως

βάση για περαιτέρω ανάλυση, με το σκεπτικό ότι η διοίκηση μιας εταιρίας παίζει καθοριστικό ρόλο στην υιοθέτηση νέων τεχνολογιών. Κατά συνέπεια η αξιολόγηση του βαθμού ωριμότητας σε στρατηγικό/οργανωτικό επίπεδο είναι καθοριστική και μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση της υιοθέτησης των τεχνολογιών του I4.0. Το αρχικό μοντέλο της τεχνολογικής διάστασης διαμορφώθηκε ώστε να περιέχει τους 9 βασικούς τεχνολογικούς πυλώνες του Industry 4.0 που προέκυψαν από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σύμφωνα με την ανάλυση του Boston Consulting Group. Η στρατηγική – οργανωτική διάσταση αποτελείται από επτά στοιχεία τα οποία κρατήθηκαν αυτούσια χωρίς τροποποίηση. Το συγκεκριμένο μοντέλο του WMG χρησιμοποιείται και για την αυτοαξιολόγηση των εταιριών (<https://i4ready.co.uk/>). Η φόρμα είναι απλή, και ο χρήστης απλά επιλέγει μέσα από τον πίνακα της κάθε διάστασης, την φράση που πιστεύει οι περιγράφει καλύτερα το επίπεδο ωριμότητας του οργανισμού για κάθε στοιχείο του. Παρόμοια φόρμα αυτοαξιολόγησης χρησιμοποιεί και το Γερμανικό μοντέλο IMPULS 4.0 (<https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>).

Το κριτήριο αξιολόγησης για την κατηγοριοποίηση στα τέσσερα επίπεδα ωριμότητας είναι ποιοτικό και έχει να κάνει με το πόσο κοντά ήταν οι απαντήσεις των ερωτηθέντων στις περιγραφές των επιπέδων. Για παράδειγμα, για το στοιχείο «ΠοΤ» της τεχνολογικής διάστασης, μια εταιρία βρίσκεται στο επίπεδο 1 όταν **«Οι μηχανές και τα συστήματα δεν έχουν ενοποίηση»**, ενώ η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο 4 όταν **«Τα μηχανήματα και τα συστήματα είναι πλήρως ενοποιημένα»** και τα όρια των επιπέδων φαίνονται καθαρά. Τα δύο ενδιάμεσα επίπεδα όμως είναι πιο δύσκολο να ξεχωρίσουν, έτσι η αξιολόγηση έγινε κατά προσέγγιση. Οι βαθμολογίες βασίστηκαν σε αυτές τις ποιοτικές περιγραφές των πινάκων οι οποίοι προσαρτήθηκαν προηγουμένως, και έγινε προσπάθεια να είναι το δυνατό πιο κοντά στο νόημα τους. Προς διευκόλυνση αυτού του διαχωρισμού, για το στοιχείο «ΠοΤ» όπως και για κάποια άλλα, χρησιμοποιήθηκαν στις συνεντεύξεις περισσότερες ερωτήσεις: για το ΠοΤ δύο ερωτήσεις (10&11) ενώ για τα μεγάλα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν πέντε ερωτήσεις (3~7). Η ίδια προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση και της στρατηγικής-οργανωτικής διάστασης.

Ο ικανός αριθμός περιπτώσεων και ο ικανός αριθμός ερωτηθέντων από διαφορετικά τμήματα και σε διαφορετικά επίπεδα ιεραρχίας παρείχαν μια σταθερή βάση για ανάλυση

και βοήθησαν να διασφαλιστεί ότι η επιρροή των πιθανών σφαλμάτων και της μεροληψίας των συμμετεχόντων είναι μάλλον χαμηλή.

4.1 Δημογραφικά στοιχεία της έρευνας

Κατά τη διεξαγωγή της έρευνας διεξήχθησαν τρεις συνεντεύξεις στο σύνολο και διανεμήθηκαν 12 ερωτηματολόγια. Παρακάτω παρουσιάζονται τα δημογραφικά χαρακτηριστικά της έρευνας.

Σχετικά με το φύλο, όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα είναι άντρες. Οι πτυχιούχοι ΑΕΙ αποτελούν το 75% των ερωτηθέντων (9 στους 12), από τους οποίους οι επτά έχουν Μεταπτυχιακό Δίπλωμα και ένας Διδακτορικό. Το υπόλοιπο 25% είναι κάτοχοι ΑΤΕΙ διπλωμάτων. Σχετικά με την παλαιότητα στην εταιρία των συμμετεχόντων στις συνεντεύξεις, βλέπουμε ότι οι συμμετέχοντες έχουν αρκετά χρόνια εργασίας στην εταιρεία από 7 έως πάνω από 20 χρόνια.

4.2 Χρήση τεχνολογιών I4.0 και βαθμός υιοθέτησης τους

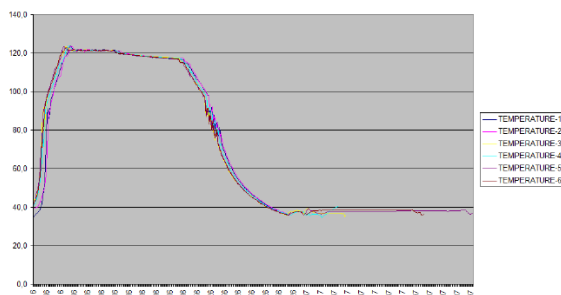
Αυτό το υποκεφάλαιο ασχολείται με το ποιες τεχνολογίες I4.0 χρησιμοποιούνται από τις εταιρίες της έρευνας και του βαθμού διείσδυσης τους, με βάση το προτεινόμενο μοντέλο ωριμότητας από την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Ως εκ τούτου, θα αναλυθεί πόσο έχουν διεισδύσει οι υιοθετημένες τεχνολογίες Industry 4.0 στις περιπτώσεις των εταιρειών. Επιπλέον, θα αναλυθεί η ωριμότητα του I4.0 σε επίπεδο στρατηγικής του οργανισμού, χρησιμοποιώντας το προτεινόμενο μοντέλο ωριμότητας της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που αφορά την διάσταση του management.

4.2.1 Περίπτωση Α

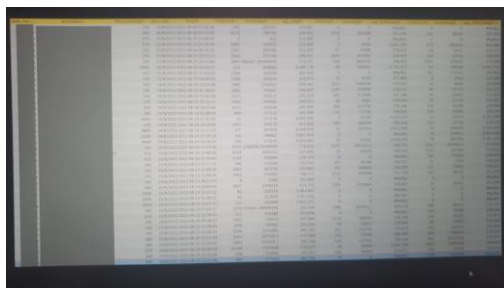
4.2.1.1 Τεχνολογική διάσταση

Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση

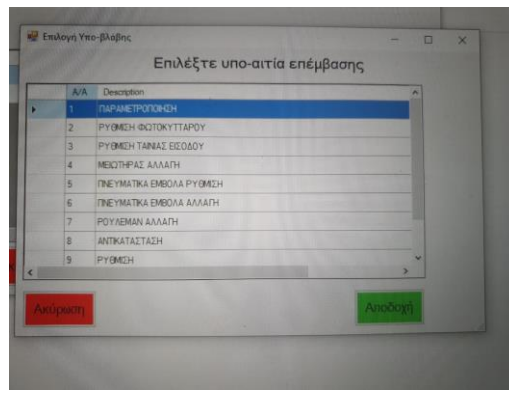
Τα τελευταία 10 χρόνια η εταιρεία έχει εγκαταστήσει πλήθος συστημάτων ψηφιακής συλλογής δεδομένων στις υπάρχουσες γραμμές παραγωγής και στις περιφερειακές εγκαταστάσεις της για συλλογή ποιοτικών και παραγωγικών δεδομένων. Οι αισθητήρες δίνουν σημαντικά παραγωγικά δεδομένα αλλά και ποιοτικά στοιχεία όπως θερμοκρασίες (Εικόνα 15), απορρίψεις, ζυγίσεις. Η μεταφορά αυτών των δεδομένων γίνεται online αλλά και χειροκίνητα μέσω usb stick ή sd card. Η συλλογή δεδομένων που γίνεται με χειροκίνητο τρόπο όπως για παράδειγμα τα στοιχεία για συντήρηση (είδος βλαβών και διάρκεια) πραγματοποιείται μέσω συμπλήρωσης εντύπων. Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται σε ειδικές βάσεις δεδομένων (Εικόνα 16), ενώ ανάλυση αυτών γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα και όχι τόσο σε πραγματικό χρόνο. Η συλλογή και ανάλυση δεδομένων έχει να κάνει περισσότερο με την παραγωγή, συντήρηση και ποιότητα και όχι με την παραγγελιοληψία και πρώτες ύλες. Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με σκοπό όχι μόνο τον έλεγχο των διαδικασιών, αλλά και την βελτιστοποίηση της παραγωγής και της απόδοσης τμήματος συντήρησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 3.



Εικόνα 15. Ψηφιακή συλλογή δεδομένων θερμικής επεξεργασίας προϊόντος



Εικόνα 16. Συλλογή δεδομένων σε βάση δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση



Εικόνα 17. Εισαγωγή δεδομένων συντήρησης/επισκευής μηχανήματος σε βάση δεδομένων από έντυπο

Αυτόνομα Ρομπότ

Η εταιρία χρησιμοποιεί ρομποτικά συστήματα καρτεσιανού τύπου και τύπου Δέλτα με αρπάγη σε σημεία της τελικής συσκευασίας κάποιων γραμμών της παραγωγής (παλετοποίηση) για την εργασία pick and place. Ένα από αυτά είναι πιο εξελιγμένο και χρησιμοποιεί ειδικούς αισθητήρες εγγύτητας για να δει πού βρίσκεται το προϊόν κατά την κίνησή του επάνω στη μεταφορική ταινία και να το μεταφέρει το αντίστοιχο κουτί που έρχεται από την άλλη μεταφορική ταινία. Υπάρχουν σχέδια για εκσυγχρονισμό όλων των σημείων της παραγωγής στα pick and place και στην παλετοποίηση με αυτόνομα ρομπότ. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Προσομοίωση

Η εταιρία χρησιμοποιεί λογισμικό προσομοίωσης στη φάση της επεξεργασίας. Για παράδειγμα, σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της επεξεργασίας ενός προϊόντος υπάρχουν προγράμματα προσομοίωσης αναφορικά με ροές αέρα. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

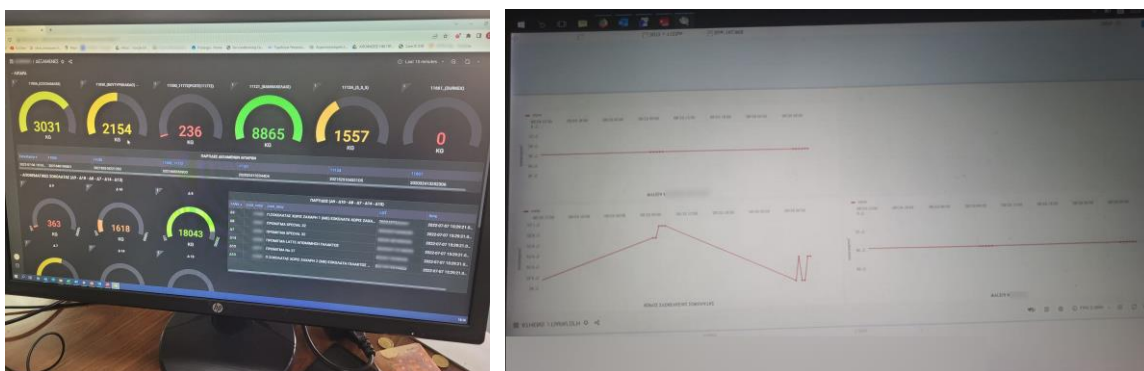
Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων

Η εταιρία παρότι χρησιμοποιεί εδώ και πολλά χρόνια λογισμικό ERP, δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των τμημάτων εντός του οργανισμού από το επίπεδο παραγωγής μέχρι την E&A, τη διασφάλιση ποιότητας, τη διαχείριση προϊόντων, την πληροφορική, τις πωλήσεις και το μάρκετινγκ. Το ίδιο συμβαίνει και με την οριζόντια ενσωμάτωση, όπου τα μηχανήματα παραγωγής ακολουθούν ένα πρόγραμμα παραγωγής πού είναι αποτέλεσμα ανθρώπινου παράγοντα μετά από επεξεργασία των εισερχόμενων παραγγελιών.

Προμηθευτές και πάροχοι υπηρεσιών δεν είναι ενσωματωμένοι στα συστήματα ελέγχου παραγωγής και εφοδιαστικής της επιχείρησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

IIoT

Οι επενδύσεις για την δημιουργία και διεύρυνση των υποδομών του IIoT σε όλα τα τμήματα της εταιρίας υπάρχουν εδώ και 10 χρόνια. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στη διασύνδεση μεταξύ μηχανών, αισθητήρων και λογισμικών παρακολούθησης και συλλογής δεδομένων. Σύμφωνα με τον συνεντευξιζόμενο, άνω του 60% των μηχανημάτων και συστημάτων είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους, ενώ τα τελευταία χρόνια η αγορά κάθε καινούργιου μηχανήματος ή συστήματος έχει σαν προϋπόθεση της συμβατότητα με τεχνολογίες I4.0. Σε μεγάλο βαθμό ελέγχεται το σύνολο των κρίσιμων σημείων ελέγχου των γραμμών παραγωγής όπως διαγράμματα θερμοκρασίας και αποθέματα πρώτης ύλης, των συνθηκών σε χώρους αποθήκευσης της ψυκτικής αλυσίδας. Παρόλα αυτά ενώ υπάρχει εκτενής χρήση των υποδομών του δικτύου για απομακρυσμένη on line παρακολούθηση συγκεκριμένων δεδομένων όπως είναι θερμοκρασίες, πρώτες ύλες (Εικόνα 18) και άλλων δεδομένων παραγωγής και ποιότητας, εντούτοις ολόκληρες γραμμές παραγωγής δεν εποπτεύονται απομακρυσμένα από τον υπεύθυνο της γραμμής. Ο υπεύθυνος πρέπει να βρίσκεται μέσα στη γραμμή παραγωγής και να ελέγχει μηχανήμα προς μηχανήμα την κατάσταση τους μέσω της τοπικής οθόνης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 3.



Εικόνα 18. Απομακρυσμένη παρακολούθηση του αποθέματος της πρώτης ύλης που βρίσκεται σε δεξαμενές αποθήκευσης (αριστερά) και θερμοκρασιών ψυγείων (δεξιά).

Κυβερνοασφάλεια

Υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα firewall σε όλους τους διαύλους εισόδου και εξόδου δεδομένων της εταιρίας, το οποίο εκτελεί τις βασικές λειτουργίες. Τμήμα IT φροντίζει να ενημερώνει τακτικά μέσω e-mail και οδηγιών τους εργαζομένους για νέες απειλές και τρόπους προστασίας από αυτές. Έχουν εφαρμοστεί ολοκληρωμένες λύσεις ασφάλειας πληροφορικής με σχέδια που αναπτύχθηκαν για την κάλυψη τυχόν κενών. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 3.

Το νέφος

Το νέφος χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαχείριση πληροφοριών που έχουν να κάνουν με Projects στα οποία εμπλέκονται πολλά τμήματα και η πληροφορία πρέπει να είναι διαμοιραζόμενη. Κατάλληλα συστήματα που έχουν επιλεγεί από την εταιρία είναι τα ONE DRIVE και TEAMS. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Χρησιμοποιείται τρισδιάστατος εκτυπωτής σποραδικά και μόνο όταν έχει να κάνει με νέα project που αφορούν τη δημιουργία δειγμάτων για περιέκτες νέων προϊόντων. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Επαυξημένη Πραγματικότητα

Σε κανένα τμήμα της δεν χρησιμοποιεί η εταιρία επαυξημένη πραγματικότητα. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

4.2.1.2 Στρατηγική και οργάνωση

Σχετικά με την διάσταση της Στρατηγικής και Οργάνωσης της εταιρείας, η έρευνα έδειξε ότι η εταιρεία αναγνωρίζει τις ωφέλειες του Industry 4.0 ενώ συμμετέχει και σε αντίστοιχες επιτροπές του ΣΕΒ, ΣΕΒΤ. Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως εδώ και 10 χρόνια όλα τα καινούργια μηχανήματα που αγοράζονται πρέπει να είναι προδιατεθειμένα με δυνατότητες I4.0, ωστόσο η στρατηγική είναι ακόμα υπό διαμόρφωση. Χρησιμοποιούνται βασικοί δείκτες απόδοσης όπως Παραγωγικότητες, Μέσος Χρόνος Αποκατάστασης Βλαβών, Παράπονα ανοιγμένα σε ποσότητες πώλησης και άλλα, ωστόσο αυτοί δεν εστιάζονται στις επιδόσεις του I4.0. Όσο αφορά τον τομέα των επενδύσεων, η εταιρεία έχει ήδη κάνει επενδύσεις τεχνολογιών I4.0 και πιο συγκεκριμένα για την

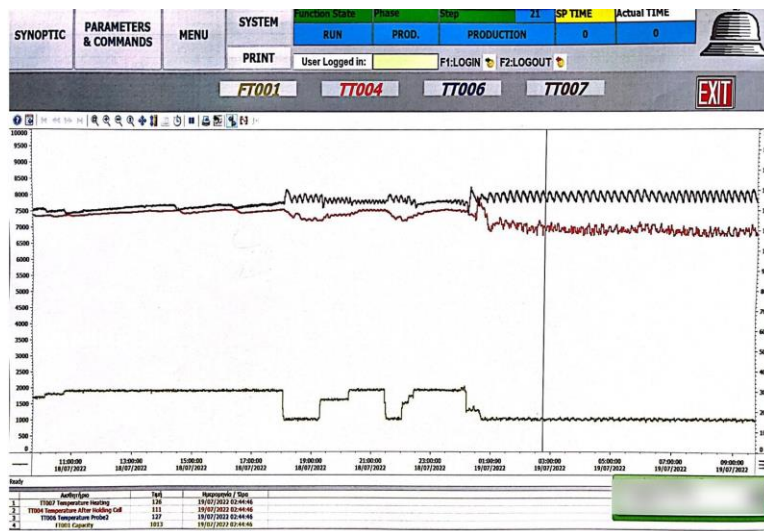
Συλλογή δεδομένων από μηχανήματα σε Γραμμές Παραγωγής και αξιοποίηση τους για Προληπτική Συντήρηση και Βελτιώσεις. Σχετικά με το ανθρώπινο δυναμικό, η έρευνα έδειξε ότι η εταιρεία είναι στελεχωμένη από ανθρώπους εξειδικευμένους στις τεχνολογίες I4.0. Στο Τμήμα IT, στο Τμήμα Καινοτομίας και Διεργασιών και στο Τμήμα Αυτοματισμού / Ηλεκτρολόγων υπάρχουν άτομα που ασχολούνται με τη συλλογή δεδομένων και το χτίσιμο customized βάσεων δεδομένων και δημιουργίας αναφορών. Σχετικά με τη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων της επιχείρησης, τα τμήματα είναι ανοιχτά σε διαλειτουργική συνεργασία. Η διοίκηση αναγνωρίζει την αξία των επενδύσεων σε τεχνολογίες I4.0 χωρίς όμως συνεχή επανεξέταση της ανάλυσης κόστους/οφέλους για την επένδυση Industry 4. Οι βαθμολογίες βρίσκονται στον Πίνακα 19, σελ.119.

4.2.2 Περίπτωση Β

4.2.2.1 Τεχνολογική διάσταση

Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση

Τα δεδομένα της παραγωγής και της ποιότητας συλλέγονται χειροκίνητα μέσω εντύπων. Μερικά από τα δεδομένα που συλλέγονται είναι: είδη και χρόνοι καθυστερήσεων, αριθμός απορριφθέντων προϊόντων ανά παρτίδα παραγωγής, και άλλα. Μόνο κάποια δεδομένα που αφορούν καίρια σημεία επεξεργασίας του προϊόντος συλλέγονται ψηφιακά (Εικόνα 19) για λόγους παρακολούθησης της ποιότητας αλλά όχι ανάλυσης τους. Η εταιρία σχεδιάζει να γίνει ψηφιακή και αυτόματη η λήψη δεδομένων στο μέλλον με ιδιαίτερη βαρύτητα τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με τη συντήρηση των μηχανημάτων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.



Εικόνα 19. Συλλογή δεδομένων θερμοκρασίας κατά την επεξεργασία προϊόντος.

Αυτόνομα Ρομπότ

Η εταιρία χρησιμοποιεί ρομποτοειδή συστήματα με αρπάγη σε σημεία της τελικής συσκευασίας κάποιων γραμμών της παραγωγής για την εργασία pick and place αλλά δεν χρησιμοποιεί αυτόνομα ρομπότ. Υπάρχουν σχέδια για εκσυγχρονισμό των σημείων της παραγωγής στα pick and place και στην παλετοποίηση με αυτόνομα ρομπότ. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Προσομοίωση

Σε κανένα τμήμα της δεν χρησιμοποιεί η εταιρία προγράμματα προσομοίωσης. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

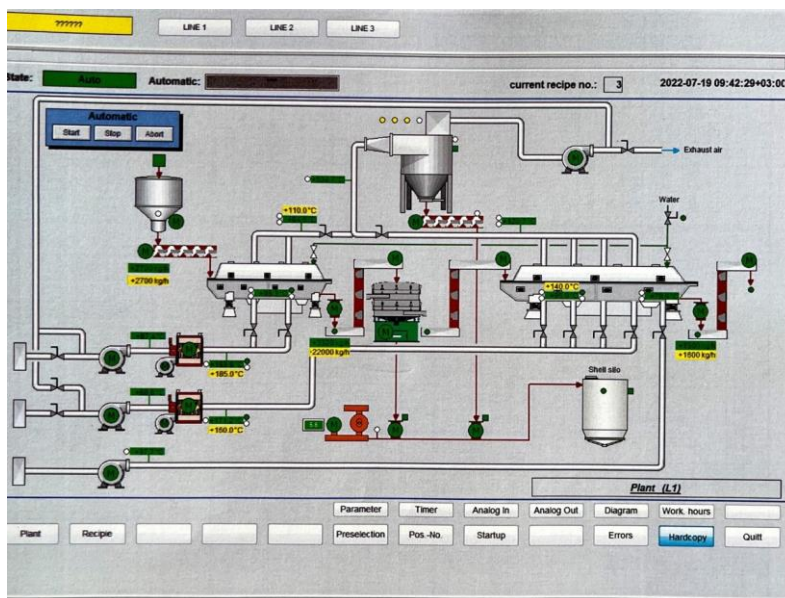
Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων

Η εταιρία χρησιμοποιεί εδώ και πολλά χρόνια λογισμικό ERP αλλά δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ των τμημάτων εντός του οργανισμού από το επίπεδο παραγωγής μέχρι την E&A, τη διασφάλιση ποιότητας, τη διαχείριση προϊόντων, την πληροφορική, τις πωλήσεις και το μάρκετινγκ. Το ίδιο συμβαίνει και με την οριζόντια ενσωμάτωση, όπου τα μηχανήματα θα έπρεπε να επικοινωνούν συνεχώς την κατάσταση της απόδοσής τους και μαζί να ανταποκρίνονται αυτόνομα στις δυναμικές απαιτήσεις παραγωγής ενώ αυτό δεν συμβαίνει. Επιπλέον, τα δεδομένα της παραγωγής (επίπεδα αποθέματος, απροσδόκητες καθυστερήσεις κ.λπ.) ενώ θα έπρεπε να διαμοιράζονται απρόσκοπτα σε ολόκληρη την

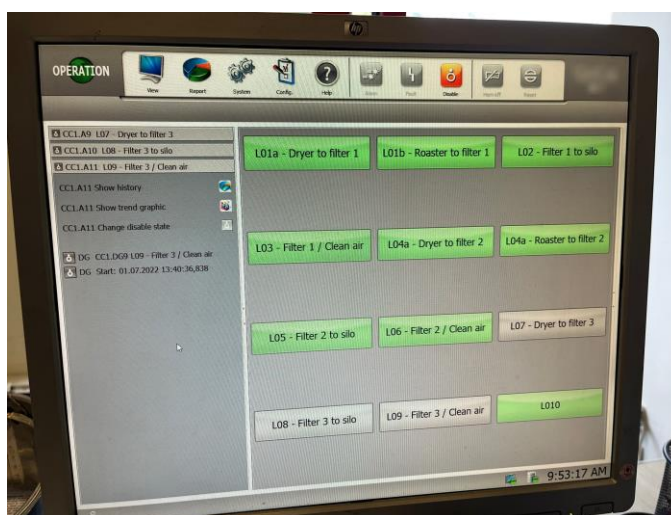
επιχείρηση και, όπου είναι δυνατόν, οι εργασίες παραγωγής να μετατοπίζονται αυτόματα μεταξύ των εγκαταστάσεων προκειμένου να ανταποκρίνονται γρήγορα και αποτελεσματικά στις μεταβλητές παραγωγής, αυτό δεν συμβαίνει. Προμηθευτές και πάροχοι υπηρεσιών δεν είναι ενσωματωμένοι στα συστήματα ελέγχου παραγωγής και εφοδιαστικής της επιχείρησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1. Η εταιρία πρόκειται να προχωρήσει σε επενδύσεις που αφορούν την ενίσχυση της οριζόντιας και κάθετης ενσωμάτωσης συστημάτων στα επόμενα επενδυτικά της σχέδια.

ΠοΤ

Η διασύνδεση των μηχανών μέσω της υποδομής του ΠοΤ είναι ένας από τους βασικούς στόχους που έχει θέσει η εταιρία προς την υιοθέτηση του I4.0. Ολόκληρες γραμμές παραγωγής εποπτεύονται απομακρυσμένα από τον υπεύθυνο της γραμμής (Εικόνα 20). Αυτά τα συστήματα παρακολούθησης μεταφέρουν δεδομένα όπως θερμοκρασίες, παροχές, στάθμες, κατάσταση κινητήρων και άλλα, επιτρέποντας τον υπεύθυνο να έχει απόλυτο έλεγχο της γραμμής και της σωστής επεξεργασίας του προϊόντος. Επιπλέον η εταιρία χρησιμοποιεί σε ένα συγκεκριμένο μηχάνημα, ένα σύστημα ελέγχου σπινθήρων (Εικόνα 21) το οποίο αναλαμβάνει να ειδοποιήσει τον υπεύθυνο για ύπαρξη σπινθήρα. Εάν δεν υπάρξει άμεση αντίδραση από τον υπεύθυνο τότε το σύστημα αναλαμβάνει από μόνο του να κλείσει το μηχάνημα προς αποφυγή πυρκαγιάς. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 3.



Εικόνα 20. Απομακρυσμένη παρακολούθηση γραμμής παραγωγής.



Εικόνα 21. Σύστημα ελέγχου σπινθήρων

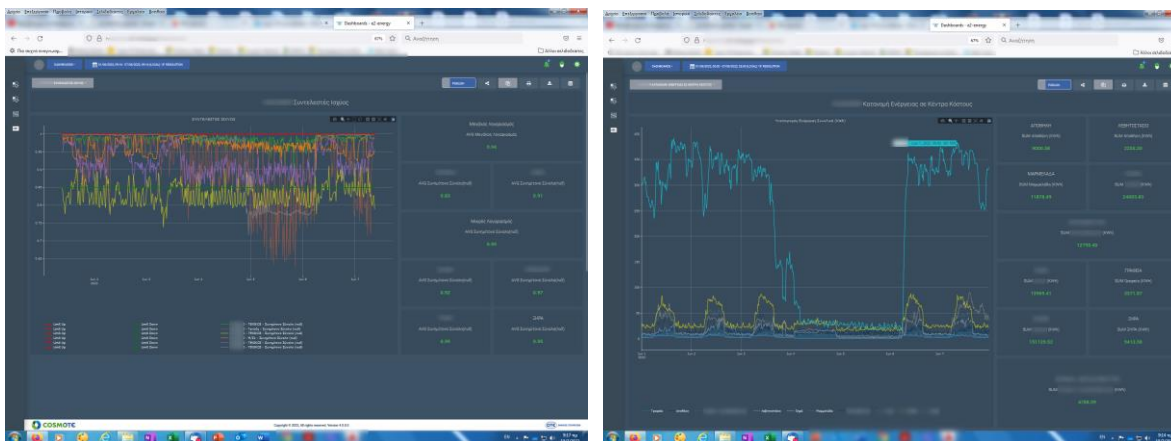
Κυβερνοασφάλεια

Υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα firewall σε όλους τους διαύλους εισόδου και εξόδου δεδομένων της εταιρίας, το οποίο εκτελεί τις βασικές λειτουργίες. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Το νέφος

Οι υπηρεσίες του νέφους δεν χρησιμοποιούνται συστηματικά από την εταιρία. Υπάρχει όμως μια εφαρμογή ενεργειακής παρακολούθησης η οποία γίνεται μέσω cloud.

Αισθητήρες εγκατεστημένοι σε όλο το εργοστάσιο μεταδίδουν δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των διάφορων τμημάτων και του συνημίτονου τους. Τα δεδομένα αυτά φιλοξενούνται σε server του εξωτερικού συνεργάτη και είναι προσβάσιμα από τον υπεύθυνο της εταιρίας στο cloud, μέσω internet browser (Εικόνα 22). Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.



Εικόνα 22. Παρακολούθηση ενεργειακής απόδοσης (συνημίτονου) και καταναλώσεων του εργοστασίου

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Η εταιρία έχει στην κατοχή της 3Δ εκτυπωτή, ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο όταν έχει να κάνει με project που αφορούν τη δημιουργία δειγμάτων για νέους περιέκτες προϊόντων. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

Επαυξημένη Πραγματικότητα

Σε κανένα τμήμα της δεν χρησιμοποιεί η εταιρία επαυξημένη πραγματικότητα. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

4.2.2.2 Στρατηγική και οργάνωση

Όσο αφορά την διάσταση της Στρατηγικής και Οργάνωσης της εταιρείας, τα δεδομένα έδειξαν ότι η εταιρεία παρότι αναγνωρίζει τις ωφέλειες του Industry 4.0 και εφαρμόζει κάποιες τεχνολογίες σε επίπεδο τμήματος, το I4.0 δεν ενσωματώνεται στη στρατηγική της εταιρείας. Επιπλέον, ενώ χρησιμοποιούνται κρι, αυτοί δεν εστιάζονται στις επιδόσεις του I4.0. Όσο αφορά τον τομέα των επενδύσεων, η εταιρεία έχει ήδη κάνει επενδύσεις τεχνολογιών I4.0 σε γραμμές παραγωγής ενώ στο μέλλον πρόκειται να επενδύσει στην οριζόντια και κάθετη ενσωμάτωση. Σχετικά με το ανθρώπινο δυναμικό, η

έρευνα έδειξε ότι μόνο ορισμένοι τομείς της επιχείρησης είναι μερικώς στελεχωμένοι με υπαλλήλους που έχουν δυνατότητες I4.0 όπως το τμήμα της συντήρησης και το τμήμα IT. Αναφορικά με τη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων της επιχείρησης, βλέπουμε ότι υπάρχει περιορισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων ενώ από την άλλη μεριά η διοίκηση δεν φαίνεται να αναγνωρίζει την αξία των επενδύσεων σε τεχνολογίες I4.0. Τέλος, ενώ υπάρχουν σχέδια για οριζόντια και κάθετη ενσωμάτωση προς το παρόν δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια στοχευμένη σημαντική επένδυση γύρω από τις τεχνολογίες I4.0. Οι βαθμολογίες βρίσκονται στον Πίνακα 19, σελ.119.

4.2.3 Περίπτωση Γ

4.2.3.1 Τεχνολογική διάσταση

Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση

Υπάρχει συλλογή δεδομένων παραγωγής και ποιότητας στα πλαίσια των απαιτήσεων του ISO 9000 και ISO 22000 με τα οποία είναι πιστοποιημένη η εταιρία. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται χειροκίνητα μέσω των εντύπων των συστημάτων ποιότητας αλλά δεν υπάρχει συστηματική ανάλυση τους. Επιπλέον, στο τμήμα θερμικής επεξεργασίας προϊόντος, η συλλογή των δεδομένων επεξεργασίας (θερμοκρασία, πίεση, κτλ) γίνεται ψηφιακά και είναι αδιάλειπτη για κάθε batch και αρχειοθετείται για το τμήμα ποιότητας, αλλά δεν αναλύεται (Εικόνα 23). Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για ποιοτικό έλεγχο και για έλεγχο των διαδικασιών. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.



Εικόνα 23. Ψηφιακή συλλογή δεδομένων θερμικής επεξεργασίας και μεταφορά τους μέσω SD card προς αποθήκευση σε ειδικό λογισμικό

Αυτόνομα Ρομπότ

Η εταιρία δεν χρησιμοποιεί αυτόνομα ρομπότ. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

Προσομοίωση

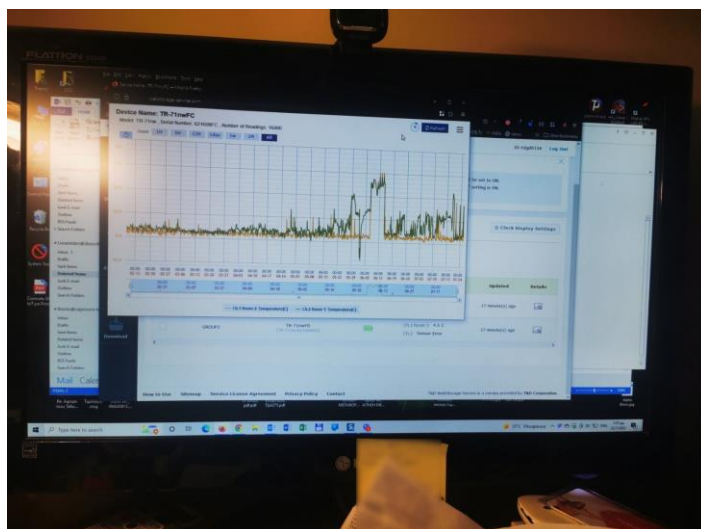
Σε κανένα τμήμα της δεν χρησιμοποιεί η εταιρία προγράμματα προσομοίωσης. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων

Η εταιρία εφαρμόζει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα παραγγελειοληψιών με τους μεγάλους πελάτες της. Μεγάλοι πελάτες όπως TESCO, LIDL, ALDI, COSTCO και άλλοι, μέσω ειδικών εφαρμογών οι πελάτες αυτοί αναρτούν τις παραγγελίες τους και την ίδια στιγμή η εταιρία είναι ενήμερη και προβαίνει στη δημιουργία της εντολής παραγωγής μέσω του ERP λογισμικού και την μεσολάβηση του ανθρώπινου παράγοντα. Επιπλέον η εταιρία σχεδιάζει να υλοποιήσει ένα σύστημα διαχείρισης υλικών (Material Management System) το οποίο θα βοηθήσει στην οριζόντια ενσωμάτωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.

ΠοT

Υπάρχει ένα μικρό ποσοστό από το σύνολο των μηχανημάτων τα οποία είναι συνδεδεμένα στο ΠοT και όχι ολόκληρες γραμμές παραγωγής. Σε κάποια από αυτά τα μηχανήματα η διασύνδεσή τους αποσκοπεί στον έλεγχο καλής λειτουργίας τους και ελέγχονται απομακρυσμένα από τον κατασκευαστή τους (X-Ray). Κάποια από τα ψυγεία στις αποθήκες Α' ύλης είναι συνδεδεμένα και παρακολουθείται η θερμοκρασία τους (Εικόνα 24). Υπάρχουν πολλά περισσότερα μηχανήματα που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης σε Ethernet και η υποδομή του δικτύου μεγαλώνει συνεχώς με σκοπό να τα καλύψει. Επιπλέον, η επιχείρηση υλοποιεί μια μεγάλη επένδυση σε ένα νέο εργοστάσιο τυποποίησης στο οποίο σχεδιάζεται να συνδεθεί η πλειοψηφία των μηχανημάτων παραγωγής με σκοπό αρχικά την επίβλεψη όλων των μηχανημάτων της γραμμής από ένα control room, και στη συνέχεια τη συλλογή και επεξεργασία των μεγάλων δεδομένων που προέρχονται από αυτά. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.



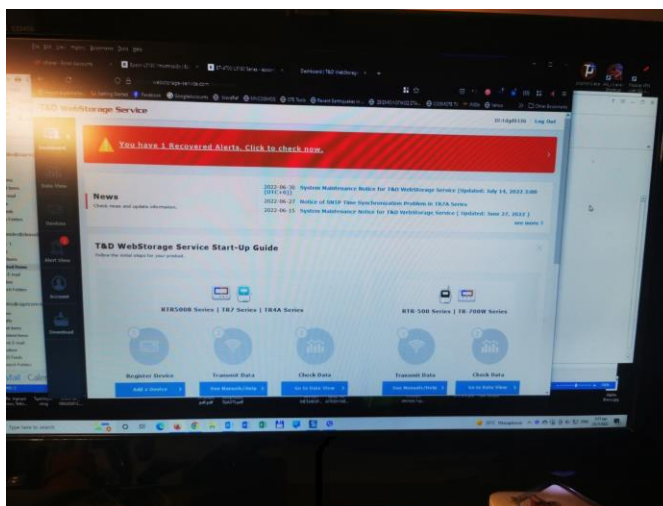
Εικόνα 24. Απομακρυσμένη παρακολούθηση θερμοκρασιών ψυγείων.

Κυβερνοασφάλεια

Η εταιρία είναι ευαισθητοποιημένη στο θέμα της ασφάλειας δεδομένων. Εδώ και πολλά χρόνια υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα firewall σε όλους τους διαύλους εισόδου και εξόδου δεδομένων της το οποίο είναι αρκετά εξελιγμένο και εποπτεύεται από εξωτερικό συνεργάτη, την εταιρία Watchguard στις ΗΠΑ. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 3.

Το νέφος

Οι υπηρεσίες cloud δεν χρησιμοποιούνται ευρέως από την εταιρία. Μόνο συγκεκριμένες εφαρμογές όπως virtual network drive για την αποθήκευση γενικών αλλά και ευαίσθητων δεδομένων χρησιμοποιούνται ως cloud backup συγκεκριμένων τύπων δεδομένων (Εικόνα 25). Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 2.



Εικόνα 25. Υπηρεσίες virtual network drive στο νέφος.

Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Η εταιρία δεν χρησιμοποιεί σε κανένα τμήμα της τρισδιάστατη εκτύπωση. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

Επαυξημένη Πραγματικότητα

Η εταιρία δεν χρησιμοποιεί σε κανένα τμήμα της επαυξημένη πραγματικότητα. Η εταιρία κατατάσσεται σε επίπεδο ωριμότητας 1.

4.2.3.2 Στρατηγική και οργάνωση

Σχετικά με την διάσταση της Στρατηγικής και Οργάνωσης της εταιρείας, η έρευνα έδειξε ότι αναγνωρίζονται ως ένα βαθμό οι ωφέλειες του Industry 4.0 το οποίο όμως δεν ενσωματώνεται στην επιχειρηματική στρατηγική. Η εταιρία χρησιμοποιεί βασικούς δείκτες απόδοσης που έχουν σχέση μόνο με την ποιότητα. Όσο αφορά τον τομέα των επενδύσεων, η εταιρεία έχει ήδη κάνει επενδύσεις τεχνολογιών I4.0 σε κάποια μηχανήματα παραγωγής, ενώ ήδη βρίσκεται υπό εξέλιξη η πραγματοποίηση επένδυσης αξίας περίπου €5 εκατομμυρίων σε νέο εργοστάσιο παραγωγής όπου έχει δοθεί ιδιαίτερο βάρος ώστε όλα τα μηχανήματα να δίνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και τη δυνατότητα παρακολούθησης τους από μία αίθουσα ελέγχου. Σε ότι έχει να κάνει με το ανθρώπινο δυναμικό, η έρευνα έδειξε ότι η εταιρεία είναι υποστελεχωμένη από ανθρώπους εξειδικευμένους στις τεχνολογίες I4.0. Σχετικά με τη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων της επιχείρησης, υπάρχει περιορισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων. Η διοίκηση

αναγνωρίζει την αξία των επενδύσεων σε τεχνολογίες I4.0 όπως αποδεικνύεται από τη σημαντική νέα επένδυση στο νέο εργοστάσιο υπό κατασκευή, όπου έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις τεχνολογίες I4.0. Οι βαθμολογίες βρίσκονται στον Πίνακα 19, σελ.119.

4.3 Προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0

Αυτό το υποκεφάλαιο εστιάζει στις προκλήσεις της υιοθέτησης του Industry 4.0. Η ανάλυση βασίζεται στις προκλήσεις που εντοπίστηκαν από προηγούμενες έρευνες που έχουν παρουσιαστεί στο θεωρητικό μέρος και έχουν λειτουργήσει ως πλαίσιο αναφοράς. Η σειρά με την οποία αναφέρονται οι προκλήσεις της κάθε περίπτωσης, όπως ζητήθηκε από τους ερωτηθέντες στις συνεντεύξεις, υποδηλώνουν και το βαθμό σημαντικότητας τους κατά την άποψη των ερωτηθέντων στις συνεντεύξεις.

4.3.1 Περίπτωση Α

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας IIoT και η δικτύωση όλων των μηχανημάτων, αισθητήρων και συστημάτων για τη συλλογή των μεγάλων δεδομένων στις υφιστάμενες βάσεις δεδομένων της εταιρείας, αντιμετωπίζει ιδιαίτερες δυσκολίες επειδή απαιτεί τη σύνδεση ετερογενών συσκευών όπως διαφορετικές διεπιφάνειες των συστημάτων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας ανάμεσα στα μηχανήματα και τις βάσεις δεδομένων της εταιρείας, διαφορετικά πρωτόκολλα ασφαλείας, διαφορετικά λογισμικά και στρατηγικές επεξεργασίας. Συνεπώς η **πολυπλοκότητα** και η **ασυμβατότητα** συστημάτων είναι η πρόκληση που αντιμετωπίζει η συγκεκριμένη περίπτωση.

Επιπρόσθετα, ενώ υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό για την υποστήριξη των του I4.0 εντούτοις η έρευνα έδειξε ότι υπάρχει **ανάγκη για επιπλέον εξειδικευμένο προσωπικό** σε αυτές τις τεχνολογίες. Η ικανότητα διαχείρισης του αυξανόμενου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών, χρηστών και λογισμικού σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση, απαιτεί περισσότερο προσωπικό.

4.3.2 Περίπτωση Β

Το **κόστος** είναι η κύρια πρόκληση για την υιοθέτηση του Industry 4.0, καθώς τεχνολογίες όπως το IIoT, τα ρομπότ και ο εξοπλισμός AR θεωρούνται ίσως δαπανηρές από τη συγκεκριμένη εταιρία. Επιπλέον, η διαδικασία παραγωγής απαιτεί πολλές τεχνικές προσαρμογές για την ενσωμάτωση τεχνολογιών του Industry 4.0, το οποίο απαιτεί επίσης πολλούς πόρους. Επομένως, μια προσεκτική αξιολόγηση του αν και πόσο αξίζει αυτή η επένδυση είναι ζωτικής σημασίας.

Η **διοικητική υποστήριξη** μπορεί να παρέχει οικονομικούς και ανθρώπινους πόρους. Επομένως, η υποστήριξη της διοίκησης είναι σημαντική επειδή το Industry 4.0 δεν μπορεί να υιοθετηθεί χωρίς αυτούς τους πόρους. Η επίτευξη διοικητικής υποστήριξης μπορεί επιπλέον να θεωρηθεί ως πρόκληση από μόνη της.

Όπως και στην περίπτωση Α, η **πολυπλοκότητα** και η **ασυμβατότητα** είναι επίσης μια σημαντική πρόκληση και σε αυτήν την περίπτωση. Ο οργανισμός αντιμετωπίζει την πρόκληση της πολυπλοκότητας σε σχέση με το IIoT, όπως για παράδειγμα πώς να οργανώσει την υποδομή και να διασφαλίσει ότι όλοι οι απαιτούμενοι αισθητήρες είναι στη θέση τους, όπως επίσης πώς και με ποιον τρόπο θα αρθούν οι ετερογένειες και ασυμβατότητες στη διασύνδεση συσκευών, αισθητήρων και λογισμικού.

Η **έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού** περιπλέκει ακόμα περισσότερο την υιοθέτηση των τεχνολογιών I4.0, Από τη στιγμή που υπάρχει ανάγκη γνώσης του αντικειμένου και από την πλευρά του χειριστή του μηχανήματος και σαν τεχνική υποστήριξη της τεχνολογίας.

4.3.3 Περίπτωση Γ

Η κύρια πρόκληση για την υιοθέτηση του Industry 4.0 είναι το **κόστος**, η αγορά τεχνολογίας Industry 4.0 είναι σχετικά ακριβή, όπως η υποδομή του IIoT και τα ρομπότ. Επιπλέον, η απαιτούμενη υποδομή πληροφορικής σε λογισμικό και υλικό, και η αποθήκευση και ασφάλεια των δεδομένων έχουν επίσης σημαντικό κόστος.

Η **υποστήριξη της διοίκησης** περιλαμβάνει παράγοντες όπως το κόστος και την υποστήριξη διαφορετικών τμημάτων. Όταν μια εταιρεία θέλει να υιοθετήσει μια

καινοτομία, απαιτείται από όλα τα μέρη της η οργάνωση, ο συντονισμός και η ενσωμάτωση της νέας τεχνολογίας στα τμήματα. Αυτό είναι μάλλον δύσκολο να επιτευχθεί για καινοτομίες νέων τεχνολογιών όπως το Industry 4.0.

Όπως και στην περίπτωση Α και Β, η **πολυπλοκότητα**, η **ασυμβατότητα** και η **έλλειψη Standards** της κωδικοποίησης των δεδομένων είναι μια σημαντική πρόκληση και σε αυτήν την περίπτωση. Ο οργανισμός αντιμετωπίζει την πρόκληση της πολυπλοκότητας σε σχέση με τα πρωτοκόλλα επικοινωνίας μεταξύ συστημάτων και μηχανών και με το πώς θα ενοποιηθούν διαφορετικές τεχνολογίες διασύνδεσης. Η έρευνα έδειξε ότι **ασυμβατότητα** δημιουργεί ακόμα και η ίδια πλατφόρμα ενός λογισμικού, όταν είναι ασύμβατη με τις παλαιότερες εκδόσεις της.

Ένα κρίσιμο ζήτημα που αντιμετωπίζει ο συγκεκριμένος οργανισμός είναι να βρεθούν **εργαζόμενοι** που να είναι και **εξειδικευμένοι** στην παραγωγή όσο και ειδικευμένοι σε σχέση με το I4.0. Επιπλέον, Η συνέντευξη με τον συνεντευξιζόμενο της συγκεκριμένης εταιρείας έδειξε ότι δεν υπάρχουν πάρα πολλοί άνθρωποι που κατανοούν ξεκάθαρα τι είναι το Industry 4.0 και σε ποιο βαθμό αυτή η δουλειά συνδέεται με την πληροφορική. Ως εκ τούτου, η κύρια πρόκληση στην περίπτωση Γ από οργανωτικής σκοπιάς είναι η εύρεση ειδικευμένων υπαλλήλων και η δημιουργία μιας κοινής κατανόησης του Industry 4.0. Επιπλέον, η έρευνα έδειξε ότι οι εργαζόμενοι φοβούνται τις τεχνολογίες Industry 4.0. Όπως εξηγήθηκε κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, οι υπάλληλοι του οργανισμού ανησυχούν ότι οι δουλειές τους μπορεί να εξαφανιστούν λόγω της αυξανόμενης αυτοματοποίησης.

4.4 Χρήση δεικτών απόδοσης και η στοχευμένη χρήση των τεχνολογιών I4.0 ως εργαλείο βελτίωσής τους

Αυτό το υποκεφάλαιο ασχολείται με την χρήση ή μη συγκεκριμένων δεικτών απόδοσης που χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες της έρευνας και με το αν γίνεται χρήση των τεχνολογιών I4.0 με σκοπό την βελτίωση τους.

4.4.1 Περίπτωση Α

Η εταιρεία χρησιμοποιεί πολλούς δείκτες απόδοσης στα διάφορα τμήματα της και κυρίως στα τμήματα παραγωγής, συντήρησης και ποιότητας. Κάποιοι από αυτούς τους δείκτες που χρησιμοποιούνται είναι:

- Παραγωγικότητα (τμχ/ωρα)
- Μέσος Χρόνος Αποκατάστασης Βλάβης (Mean Time To Recovery, MTTR)
- Μέσος Χρόνος Μεταξύ Βλαβών (Mean Time Between Failure, MTBF)
- Παράπονα πελατών ανά ποσότητες πώλησης
- Ενεργειακή απόδοση μηχανών

Η εταιρεία έχει προχωρήσει στη συστηματική χρήση των τεχνολογιών IoT και Μεγάλων δεδομένων για την ψηφιακή συλλογή δεδομένων από μηχανές και αισθητήρες με σκοπό τη δημιουργία μεγάλων δεδομένων και την επεξεργασία τους. Τα μεγάλα δεδομένα συλλέγονται στις custom made βάσεις δεδομένων της εταιρείας και αναλύονται με σκοπό την βελτίωση δεικτών που αφορούν το τμήμα συντήρησης και έχουν να κάνουν με την μείωση του χρόνου αποκατάστασης βλάβης (MTTR) και την μεγιστοποίηση του χρόνου μεταξύ βλαβών στις μηχανές (MTBF). Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων επιτρέπει στον οργανισμό να βρει τρόπους ώστε να αυξήσει την ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται τόσο στις γραμμές παραγωγής όσο και στα περιφερικά τμήματα υποστήριξης της.

4.4.2 Περίπτωση Β

Η δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιεί και αυτή βασικούς δείκτες απόδοσης. κάποιοι από τους κύριους δείκτες που χρησιμοποιεί είναι:

- Παραγωγή παρτίδας σε τεμάχια και παραγωγή σε τμχ/ωρα
- Αποδοτικότητα εργασίας (κιλά/εργατοώρα)
- Μέσος Χρόνος Αποκατάστασης Βλάβης (Mean Time To Recovery, MTTR)

- Ενεργειακή απόδοση μηχανών

Η συλλογή των δεδομένων έως σήμερα γίνεται χειροκίνητα. Για παράδειγμα οι υπεύθυνοι συμπλήρωσης των εντύπων σημειώνουν το χρονικό διάστημα που ένα μηχάνημα βρίσκεται εκτός παραγωγής λόγω βλάβης, ή καταγράφουν τα συνολικά κιλά παραγωγής στο τέλος μιας παρτίδας. Σύμφωνα με τον ερωτηθέντα της συγκεκριμένης περίπτωσης η εταιρία ψάχνει τρόπους να αυτοματοποιήσει τη συλλογή δεδομένων με ψηφιακό τρόπο επενδύοντας στο IIoT και την ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, όλα τα δεδομένα της παραγωγής και συντήρησης θα συλλέγονται αυτόματα, χωρίς καθυστερήσεις, με ακρίβεια και χωρίς πιθανά ανθρώπινα λάθη λόγω των χειροκίνητων εγγραφών. Οι υπολογισμοί των δεικτών απόδοσης θα είναι πιο ακριβείς, θα υπολογίζονται αυτοματοποιημένα και γρήγορα, ενώ η ανάλυση δεδομένων θα επιτρέπει και την ελαχιστοποίηση των χρόνων καθυστερήσεων λόγω βλαβών (MTTR). Τέλος, η ανάλυση των παραγωγικών στοιχείων θα επιτρέψει την βαθύτερη μελέτη των παραμέτρων της παραγωγής που θα οδηγήσει σε ανάληψη δράσεων με σκοπό την βελτίωση των δεικτών απόδοσης που αφορούν την παραγωγή εν γένει.

4.4.3 Περίπτωση Γ

Η εταιρία της τρίτης περίπτωσης παρακολουθεί έναν δείκτη απόδοσης και αυτός είναι ο ρυθμός παραγωγής σε τεμάχια (τμχ/ώρα). Βέβαια στη νέα εγκατάσταση που τώρα κατασκευάζεται η εταιρεία έχει σκοπό να χρησιμοποιήσει κρι όπως OEE, MTTR, παραγωγικότητες, ποσοστά απορρίψεων και αποδοτικότητα εργασίας και θα χρησιμοποιήσει σε μεγάλο βαθμό τεχνολογίες όπως IIoT και Big Data. ήδη κατασκευάζεται δίκτυο Ethernet που θα ενώνει όλα τα μηχανήματα παραγωγής σε έναν κεντρικό κόμβο μέσω του οποίου θα μεταφέρονται δεδομένα παραγωγής σε πραγματικό χρόνο ενώ αυτά τα δεδομένα θα αποθηκεύονται για ανάλυση.

4.5 Ανάλυση διασταύρωσης των περιπτώσεων

Αυτό το υποκεφάλαιο επιδιώκει να βρει ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των τριών περιπτώσεων. Ως εκ τούτου, οι ερευνητικές ερωτήσεις θα ομαδοποιηθούν σε θέματα για να γίνει η ανάλυση πιο κατανοητή και θα συνοψιστούν οι απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα.

4.5.1 Χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και βαθμός υιοθέτησης του I4.0 σε τεχνολογικό και στρατηγικό-οργανωτικό επίπεδο

Όσο αφορά την τεχνολογική διάσταση, η ανάλυση στα προηγούμενα υποκεφάλαια φανερώνει ότι υπάρχουν τεχνολογίες του Industry 4.0 οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται καθόλου ή σχεδόν καθόλου και από τις τρεις περιπτώσεις. Η πρώτη είναι τεχνολογία της επαυξημένης πραγματικότητας, η οποία προς το παρόν δεν φαίνεται να βρίσκει πουθενά εφαρμογή σε αυτές τις εταιρίες, ενώ η δεύτερη τεχνολογία είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση στην οποία ενώ δύο από τις τρεις εταιρίες της έρευνας έχουν στην κατοχή τους 3D εκτυπωτή, εν τούτοις τον χρησιμοποιούν σπάνια και μόνο σε ειδικά project και όχι συστηματικά. Προγράμματα προσομοίωσης χρησιμοποιεί μόνο μία από τις τρεις περιπτώσεις και αυτό σε περιορισμένο βαθμό. Χαμηλό βαθμό διείσδυσης έχουν επίσης τα αυτόνομα ρομπότ, το νέφος και η ενσωμάτωση συστημάτων (οριζόντια και κάθετη) τα οποία δεν φαίνεται να ξεπερνούν το επίπεδο ωριμότητας 2. Σε υψηλότερο βαθμό ωριμότητας βρίσκονται οι τεχνολογίες των μεγάλων δεδομένων και επεξεργασίας τους, το ΠoT και η κυβερνοασφάλεια με επίπεδο ωριμότητας ανάμεσα στο δύο και τρία μεταξύ των εταιριών. Ο Πίνακας 17 δείχνει ποιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται και ποιες όχι στον κλάδο των τροφίμων στις τρεις εταιρίες της έρευνας ενώ ο Πίνακας 18 περιέχει συγκεντρωτικά το βαθμό υιοθέτησης της κάθε τεχνολογίας ανά περίπτωση.

	Μεγάλα Δεδομένα και ανάλυση	Αυτόνομα Ρομπότ	Προσομοίωση	Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων	Το Βιομηχανικό Ιντερνετ των Πραγμάτων	Κυβερνοασφάλεια	Το νέφος	Τρισδιάστατη Εκτύπωση	Επαυξημένη Πραγματικότητα
Περίπτωση Α	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Περίπτωση Β	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Περίπτωση Γ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ

Πίνακας 17. Χρήση τεχνολογιών I4.0 στις μελέτες περίπτωσης.

Τεχνολογία	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Μέσος όρος
Βιομηχανικό Ιντερνετ των Πραγμάτων	3 Τα μηχανήματα και τα συστήματα είναι εν μέρει ενοποιημένα	3 Τα μηχανήματα και τα συστήματα είναι εν μέρει ενοποιημένα	2 Οι μηχανές και τα συστήματα είναι σε κάποιο βαθμό ενοποιημένα	2,66
Οριζόντια και Κάθετη ενσωμάτωση	1 Τα συστήματα δεν έχουν ενοποίηση	1 Τα συστήματα δεν έχουν ενοποίηση	2 Κάποια συστήματα είναι σε κάποιο βαθμό ενοποιημένα	1,33
Αυτόνομα Ρομπότ	2 Τα αυτόνομα ρομπότ δεν χρησιμοποιούνται αλλά υπάρχουν σχέδια σε εξέλιξη.	2 Τα αυτόνομα ρομπότ δεν χρησιμοποιούνται αλλά υπάρχουν σχέδια σε εξέλιξη.	1 Τα αυτόνομα ρομπότ δεν χρησιμοποιούνται	1,66
Επαυξημένη Πραγματικότητα	1 Δεν χρησιμοποιείται Επαυξημένη Πραγματικότητα	1 Δεν χρησιμοποιείται Επαυξημένη Πραγματικότητα	1 Δεν χρησιμοποιείται Επαυξημένη Πραγματικότητα	1
Προσομοίωση	2 Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	1 Χωρίς ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	1 Χωρίς ψηφιακή μοντελοποίηση / προσομοίωση	1,33
Τρισδιάστατη Εκτύπωση	2 Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν Τρισδιάστατη Εκτύπωση	2 Ορισμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν Τρισδιάστατη Εκτύπωση	1 Δεν χρησιμοποιείται Τρισδιάστατη Εκτύπωση	1,66
Επεξεργασία και ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων	3 Ολοκληρωμένη συλλογή ψηφιακών δεδομένων σε πολλαπλούς τομείς. Ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση διαδικασιών, π.χ. προγνωστική συντήρηση	2 Τα απαιτούμενα δεδομένα συλλέγονται ψηφιακά σε ορισμένες περιοχές. Ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαδικασιών	2 Τα απαιτούμενα δεδομένα συλλέγονται ψηφιακά σε ορισμένες περιοχές. Ορισμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο διαδικασιών	2,33
Το νέφος	2 Αρχικές λύσεις προγραμματισμένες για λογισμικό που βασίζεται σε cloud, αποθήκευση δεδομένων και ανάλυση δεδομένων	2 Αρχικές λύσεις προγραμματισμένες για λογισμικό που βασίζεται σε cloud, αποθήκευση δεδομένων και ανάλυση δεδομένων	2 Αρχικές λύσεις προγραμματισμένες για λογισμικό που βασίζεται σε cloud, αποθήκευση δεδομένων και ανάλυση δεδομένων	2
Κυβερνοασφάλεια	3 Έχουν εφαρμοστεί ολοκληρωμένες λύσεις ασφάλειας πληροφορικής με σχέδια που αναπτύχθηκαν για την κάλυψη τυχόν κενών	2 Οι λύσεις ασφάλειας πληροφορικής έχουν εφαρμοστεί εν μέρει.	3 Έχουν εφαρμοστεί ολοκληρωμένες λύσεις ασφάλειας πληροφορικής με σχέδια που αναπτύχθηκαν για την κάλυψη τυχόν κενών	2,66

Πίνακας 18. Επίπεδο ωριμότητας μελετών Περίπτωσης στην τεχνολογική διάσταση

Σχετικά με την διάσταση του management, η έρευνα έδειξε ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη στρατηγική των εταιριών προς τις τεχνολογίες του I4.0 που να περιέχει σχέδια και στόχους, με εξαίρεση ίσως την πρώτη περίπτωση η οποία θέτει ως προαπαιτούμενο, για όλα τα μηχανήματα που θα προμηθεύεται, να υπάρχει η δυνατότητα ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων που τα ίδια συλλέγουν. Επίσης, άλλο κοινό σημείο είναι ότι καμία εταιρία δεν ασχολείται με την μέτρηση των επιδόσεων των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών I4.0. Όσο αφορά τις επενδύσεις, παρατηρούμε ότι οι εταιρίες επενδύουν μόνο σε ένα επιχειρησιακό τομέα ο οποίος είναι ο τομέας των λειτουργιών. Σχετικά με τις

επενδύσεις των εταιριών σε ανθρώπινο δυναμικό εξειδικευμένο της τεχνολογίας I4.0, παρατηρούμε ότι υπάρχει έλλειψη προσωπικού με εξελιγμένες δεξιότητες, με μικρή εξαίρεση την πρώτη περίπτωση για την οποία η έρευνα έδειξε ότι ενώ υπάρχουν άνθρωποι με αναπτυγμένες δεξιότητες ψηφιακής και ανάλυσης δεδομένων στο τμήμα των λειτουργιών, εντούτοις δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες της. κοινό στοιχείο και για τις τρεις εταιρείες είναι η περιορισμένη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων τους. Και στις τρεις εταιρίες, οι διοικητικές ομάδες τους φαίνεται να διερευνούν ακόμη τα πιθανά οφέλη της Βιομηχανίας 4.0 το οποίο αντανακλάται και στη χρηματοδότηση για επενδύσεις οι οποίες γίνονται σποραδικά και μερικές φορές αναγκαία και όχι συστηματικά, χωρίς τη συνεχή επανεξέταση και ανάλυση κόστους οφέλους της εκάστοτε επένδυσης. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 19) περιέχει συγκεντρωτικά το βαθμό ωριμότητας της στρατηγικής του I4.0 ανά περίπτωση.

Στρατηγική & οργάνωση	Περίπτωση 1	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Μέσος όρος
Βαθμός υλοποίησης στρατηγικής	2 Το I 4.0 περιλαμβάνεται στην επιχειρηματική στρατηγική	1 Το I4.0 αναγνωρίζεται σε επίπεδο τμήματος αλλά δεν ενσωματώνεται στη στρατηγική	1 Το I4.0 αναγνωρίζεται σε επίπεδο τμήματος αλλά δεν ενσωματώνεται στη στρατηγική	1,33
Μέτρηση	1 Οι KPI δεν εστιάζονται γύρω από τον κλάδο 4.0	1 Οι KPI δεν εστιάζονται γύρω από τον κλάδο 4.0	1 Οι KPI δεν εστιάζονται γύρω από τον κλάδο 4.0	1
Επενδύσεις	1 Αρχικές επενδύσεις I4.0 σε έναν επιχειρησιακό τομέα	1 Αρχικές επενδύσεις I4.0 σε έναν επιχειρησιακό τομέα	1 Αρχικές επενδύσεις I4.0 σε έναν επιχειρησιακό τομέα	1
Δυνατότητες ανθρώπων	3 Αναπτυγμένες δεξιότητες ψηφιακής και ανάλυσης δεδομένων στους περισσότερους τομείς της επιχείρησης, π.χ. παραγωγή	2 Οι τομείς της επιχείρησης που εστιάζονται στην τεχνολογία έχουν υπαλλήλους με ορισμένες ψηφιακές δεξιότητες	1 Οι εργαζόμενοι έχουν μικρή ή καθόλου εμπειρία με ψηφιακές τεχνολογίες	2
Συνεργασία	3 Τα τμήματα είναι ανοιχτά σε διαλειτουργική συνεργασία	2 Υπάρχει περιορισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων	2 Υπάρχει περιορισμένη αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων	2,33
Ηγεσία	3 Η ηγετική ομάδα αναγνωρίζει τα οικονομικά οφέλη που πρέπει να αποκτηθούν μέσω του κλάδου 4 και αναπτύσσει σχέδια για επενδύσεις	2 Η ηγετική ομάδα διερευνά πιθανά οφέλη του κλάδου 4.0	2 Η ηγετική ομάδα διερευνά πιθανά οφέλη του κλάδου 4.0	2,33
Χρηματοδότηση	2 Χωρίς συνεχή επανεξέταση της ανάλυσης κόστους/οφέλους για την επένδυση Industry 4.0	2 Χωρίς συνεχή επανεξέταση της ανάλυσης κόστους/οφέλους για την επένδυση Industry 4.0	2 Χωρίς συνεχή επανεξέταση της ανάλυσης κόστους/οφέλους για την επένδυση Industry 4.0	2

Πίνακας 19. Επίπεδο ωριμότητας των μελετών Περίπτωσης στη στρατηγική/Οργανωτική διάσταση

Απάντηση στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα :

«Ποιες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4 εφαρμόζονται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων και ποιος είναι ο βαθμός διείσδυσης τους;»

Σχετικά με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, η έρευνα έδειξε (στήλη Μ.Ο., Πίνακας 18, σελ.118) ότι οι τρεις οργανισμοί που μελετήθηκαν στον κλάδο των τροφίμων θεωρούν πολύ σημαντικές τις τεχνολογίες ΠoT για την διασύνδεση μηχανών και συστημάτων, τις τεχνολογίες καταγραφής και μετέπειτα επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων που προέρχονται κυρίως από την παραγωγή (επεξεργασία και τυποποίηση) και τα λοιπά τμήματα, την χρήση του νέφους ως εφεδρικό χώρο αποθήκευσης δεδομένων και επικοινωνίας των διαφόρων τμημάτων σε κοινά project ή η παραλαβή υπηρεσιών από εξωτερικούς συνεργάτες, και φυσικά την προστασία αυτών των συστημάτων από εξωτερικές επιθέσεις μέσω της κυβερνοασφάλειας. Η τεχνολογία των αυτόνομων ρομπότ και η οριζόντια και κάθετη ενσωμάτωση συστημάτων είναι δυο θέματα που εξετάζονται με σοβαρότητα, με σκοπό την μελλοντική υλοποίησή τους. Οι υπόλοιπες τεχνολογίες φαίνεται να έχουν μη συστηματική χρήση, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υποτιμάται η αξία τους αλλά περισσότερο να οφείλεται στο ότι οι οργανισμοί δεν έχουν καταλάβει ακόμη τις ωφέλειες αυτών των τεχνολογιών.

4.5.2 Οι προκλήσεις της υιοθέτησης του I4.0

Η έρευνα έδειξε ότι οι κυριότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τρεις εταιρείες της Μελέτης Περίπτωσης είναι :

1. Η **πολυπλοκότητα** και η **ασυμβατότητα** συστημάτων
2. Το **κόστος της επένδυσης**
3. Η **διοικητική υποστήριξη**
4. Η **έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού**

Η πολυπλοκότητα και ασυμβατότητα συστημάτων έχει αναφερθεί σαν εμπόδιο και από τις τρεις εταιρείες και μάλιστα είναι υψηλά σαν βαθμός σημαντικότητας. Το κόστος

της επένδυσης και η έλλειψη της διοικητικής υποστήριξης έχουν αναφερθεί σε δύο από τις τρεις εταιρείες ενώ και στις δύο το κόστος έχει την υψηλότερη σημαντικότητα και έπεται η έλλειψη διοικητικής υποστήριξης. Η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού είναι μία δυσκολία η οποία αναφέρθηκε από τους ερωτηθέντες και των τριών εταιρειών της έρευνας. Μάλιστα, τις δύο από αυτές ο βαθμός της σημαντικότητας τους ήταν χαμηλότερος από το κόστος και την έλλειψη της διοικητικής υποστήριξης. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις προκλήσεις που έχουν συναντήσει οι εταιρείες της μελέτης περίπτωσης (Πίνακας 20).

			
Πολυπλοκότητα & ασυμβατότητα συστημάτων (3 από 3)	Έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού (3 από 3)	Κόστος της επένδυσης (2 από 3)	Έλλειψη διοικητικής υποστήριξης (2 από 3)

Πίνακας 20. Σύνοψη των προκλήσεων από τη διασταυρούμενη ανάλυση.

Απάντηση στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα :

«Ποιες είναι οι προκλήσεις της υιοθέτησης της Βιομηχανίας 4.0;»

Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, αυτή η έρευνα έδειξε ότι και οι τρεις οργανισμοί του κλάδου των τροφίμων αντιμετωπίζουν τεχνολογικές και οργανωτικές προκλήσεις κατά την υιοθέτηση του Industry 4.0. Οι προκλήσεις και που αντιμετωπίζει η πλειονότητα των επιχειρήσεων (3 στις 3 εταιρείες) είναι δυσκολίες λόγω της πολυπλοκότητας και ασυμβατότητας των συστημάτων και οι έλλειψη δεξιοτήτων. Οι περισσότερες εταιρείες (2 στις 3 εταιρείες) αντιμετωπίζουν προκλήσεις κόστους και διοικητικής υποστήριξης. Εάν τα επίπεδα ωριμότητας και υιοθέτησης του Industry 4.0 ήταν υψηλότερα, θα ήταν λιγότερο πιθανό οι εταιρείες να αντιμετωπίσουν τις άνω προκλήσεις στην ίδια ένταση. Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι οι πιο κρίσιμες προκλήσεις είναι η ασυμβατότητα, το κόστος, η υποστήριξη της διοίκησης και οι δεξιότητες.

4.5.3 Δείκτες απόδοσης και η χρήση των τεχνολογιών I4.0 για τη βελτίωσή τους

Όπως διαπιστώθηκε από τα προηγούμενα, όλοι οι δείκτες απόδοσης που χρησιμοποιούνται και από τις τρεις εταιρείες αφορούν αποκλειστικά το τμήμα των λειτουργιών. Η παραγωγικότητα σε τεμάχια ανά ώρα είναι ο κύριος δείκτης που χρησιμοποιούν και οι τρεις εταιρείες για να ελέγξουν την απόδοση της παραγωγής και αυτό είναι φυσιολογικό από τη στιγμή που τα τελικά προϊόντα προς διάθεση και των τριών εταιρειών είναι μεμονωμένα τεμάχια. Επιπλέον, δείκτες σχετικοί με τη συντήρηση όπως μέσος χρόνος αποκατάστασης βλάβης και μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών είναι δύο κρίσιμοι δείκτες που ελέγχονται από τις δύο στις τρεις εταιρείες.

Μόνο μία εταιρεία (περίπτωση Α) έχει προχωρήσει σε στοχευμένη επένδυση ΙοΤ για τη συστηματική, ψηφιακή και αυτόματη συλλογή δεδομένων με σκοπό στην ανάλυσή τους και την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την βελτίωση των δεικτών (τμήμα συντήρησης) κάνοντας επιπλέον επενδύσεις που αφορούν την προμήθεια εξοπλισμού και λογισμικού για την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων. Οι άλλες δύο εταιρείες έχουν και αυτές σκοπό την αυτόματη και συστηματική συλλογή δεδομένων παραγωγής από τις μηχανές επενδύοντας σε ΙοΤ αλλά βρίσκονται ακόμα στο στάδιο Μελέτης (περίπτωση Β) και υλοποίησης (περίπτωση Γ).

Απάντηση στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα :

«Ποιους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPI) επιδιώκουν να βελτιώσουν Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων με την υιοθέτηση του I4.0;»

Σε ότι έχει να κάνει με το τρίτο ερώτημα, η έρευνα έδειξε ότι μία από τις τρεις εταιρείες χρησιμοποιεί στοχευόμενα τεχνολογίες I4.0 για να βελτιώσει συγκεκριμένους δείκτες απόδοσης οι οποίοι σχετίζονται με τη συντήρηση των μηχανών (MTBF & MTTR). Επίσης, μία εταιρεία χρησιμοποιεί δείκτες απόδοσης άλλα δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα κάποια επένδυση για τη βελτίωσή τους και είναι υπό μελέτη η επένδυση αυτή. Τέλος, μία εταιρεία έχει προβεί σε επενδύσεις γύρω από τις τεχνολογίες I4.0, αλλά καμία από αυτές τις επενδύσεις δεν είναι στοχευμένη άμεσα στη βελτίωση κάποιου δείκτη απόδοσης. Παρατηρούμε ότι Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων της έρευνας δεν γνωρίζουν αρκετά για τις ωφέλειες της Βιομηχανίας 4.0. Βλέπουμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη διείσδυση των τεχνολογιών διότι δεν συσχετίζονται με τις άμεσες ωφέλειες που μπορεί να έχει μία

εταιρεία και οι οποίες μετρούνται μέσω δεικτών απόδοσης. Δεν υπάρχει μεγάλη ωριμότητα σε διοικητικό επίπεδο ώστε διακρίνει τις άμεσες και έμμεσες ωφέλειες του I4.0 και να επιτρέψει να χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες I4.0 με στόχο τη βελτίωση συγκεκριμένων δεικτών απόδοσης.

4.6 Ερμηνεία Ευρημάτων

Αρχικά, θα συζητηθεί η επιλογή του μοντέλου ωριμότητας και στη συνέχεια το επίπεδο ωριμότητας των αντίστοιχων εταιρειών περίπτωσης. Δεύτερον, θα εξεταστούν οι προκλήσεις του Industry 4.0 σε σχέση με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα. Τρίτον, εξετάζονται κριτικά οι εφαρμογές των τεχνολογιών I4.0 για την βελτίωση των βασικών δεικτών απόδοσης που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες σε σχέση με το πρώτο και δεύτερο ερευνητικό ερώτημα.

4.6.1 Βαθμός υιοθέτησης του Industry 4.0 των μελετών περίπτωσης

Εάν υπολογίσουμε τον μέσο όρο των βαθμολογιών για κάθε εταιρεία στην κάθε της διάσταση τότε δημιουργείται παρακάτω πίνακας (Πίνακας 21):

	Τεχνολογική διάσταση	Στρατηγική/οργανωτική διάσταση
Περίπτωση Α	2,11	2,14
Περίπτωση Β	1,77	1,57
Περίπτωση Γ	1,66	1,43

Πίνακας 21. Συσχέτιση μεταξύ τεχνολογικής και στρατηγικής ωριμότητας I4.0 των περιπτώσεων.

Παρατηρείται στον πίνακα μία συσχέτιση μεταξύ του επιπέδου ωριμότητας της τεχνολογικής με τη στρατηγική διάσταση μέσα στην εταιρεία. Όταν ένας από τους

οργανισμούς που μελετήθηκε έχει υψηλό M.O στρατηγικής/οργανωτικής ωριμότητας έχει υψηλό M.O και στην τεχνολογική ωριμότητα του I4.0 και αντίστροφα. Το ίδιο συμβαίνει και με τον χαμηλό M.O. Επειδή οι διοικητικές αποφάσεις καθορίζουν τις επενδύσεις σε μία εταιρεία, μπορούμε να πούμε με σχετική ασφάλεια ότι ο βαθμός στρατηγικής και οργανωτικής ωριμότητας της Βιομηχανίας 4.0 καθορίζει και τον βαθμό υιοθέτησης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών στην εταιρεία.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να ειπωθεί ότι δεν σημειώθηκαν σημαντικές αποκλίσεις απαντήσεων στην ερώτηση σχετικά με το ποιες από τις τεχνολογίες κατά τη γνώμη των ερωτηθέντων θα έπρεπε να υιοθετηθούν από την εταιρεία σε σχέση με αυτές που έχει ήδη υιοθετηθεί ή πρόκειται να εφαρμοστούν.

4.6.2 Προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0

Όσον αφορά τις προκλήσεις υιοθέτησης του I4.0 βρέθηκε ότι το πιο σημαντικό εμπόδιο είναι η πολυπλοκότητα και ασυμβατότητες των συστημάτων. Με άλλα λόγια είναι εμπόδιο τεχνολογικής διάστασης. Αυτό μπορεί να εξηγείται εν μέρει από το χαμηλό μέσο όρο (κάτω του 2,1 /4) της τεχνολογικής διάστασης I4.0 και στις τρεις περιπτώσεις (Πίνακας 21). Βέβαια αυτό είναι μία ένδειξη και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για επιβεβαίωση.

Σχετικά με τις προκλήσεις στην οργανωτική διάσταση, η έρευνα στο συγκεκριμένο δείγμα έδειξε ότι η έλλειψη προσωπικού, το κόστος και η μη πλήρης υποστήριξη της διοίκησης αποτελούν τους τρεις κυριότερους παράγοντες που δυσκολεύουν την υιοθέτηση του I4.0. Αντίστοιχα, ίσως μπορούμε να πούμε ότι αυτές οι οργανωτικές δυσκολίες είναι αντανάκλαση της χαμηλής βαθμολογίας στη στρατηγική/οργανωτική διάσταση που οι μέσοι όροι των εταιρειών είναι κάτω του μισού για τις δύο από τις τρεις εταιρίες. Βέβαια αυτό είναι μία ένδειξη και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για επιβεβαίωση.

Όσον αφορά τον όρο κόστος, είναι αμφίβολο εάν το κόστος είναι πράγματι μια πρόκληση για τις περισσότερες εταιρείες ή εάν σημαίνει μάλλον απόδοση της επένδυσης και αντίστοιχα, κερδοφορία. Στη συνέχεια, οι ερωτηθέντες ρωτήθηκαν για το πως ξεπερνούν αυτές τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν και αυτοί απάντησαν είτε με εκπαίδευση είτε με outsourcing το οποίο σχετίζεται έμμεσα με την αύξηση του κόστους.

4.6.3 Δείκτες απόδοσης και η χρήση των τεχνολογιών I4.0 για τη βελτίωσή τους

Από τις τρεις περιπτώσεις, μόνο περίπτωση Α κάνει συστηματική χρήση των τεχνολογιών I4.0 με σκοπό βελτιώσεις συγκεκριμένων δεικτών απόδοσης. Στις άλλες περιπτώσεις υπάρχουν βαθμοί απόδοσης αλλά δεν υπάρχουν ακόμη στοχευόμενες τεχνολογίες I4.0 για την βελτίωσή τους (Περίπτωση Β) είτε πρόκειται να υλοποιηθούν γενικά τεχνολογίες I4.0 με θετική επίδραση στους δείκτες απόδοσης ως απόρροια της αναβάθμισης του τεχνολογικού εξοπλισμού (Περίπτωση Γ). Και εδώ ίσως να υπάρχει μία συσχέτιση βλέποντας ότι η περίπτωση Α η οποία χρησιμοποιεί συστηματικά τεχνολογίες για συγκεκριμένους σκοπούς έχει τους μεγαλύτερους μέσους όρους σε επίπεδο στρατηγικό και τεχνολογικό σε σχέση με τις άλλες δύο εταιρείες (Πίνακας 21).

4.7 Συμπεράσματα

Αυτό το τμήμα θα συγκρίνει τα ευρήματα με το αναμενόμενο αποτέλεσμα από την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Επιπλέον, θα επισημανθούν οι θεωρητικές συνεισφορές αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα εξεταστούν οι περιορισμοί της καθώς και η γενίκευση των ευρημάτων. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου θα γίνουν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

4.7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων της έρευνας με αντίστοιχα στη βιβλιογραφία

Όσον αφορά το πρώτο ερευνητικό ερώτημα για τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και το βαθμό ωριμότητας τους τις Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων, η έλλειψη μελετών που να εξετάζουν τις τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης στο πλαίσιο των 9 τεχνολογικών πυλώνων για τον κλάδο των τροφίμων και ποτών, δυσκολεύουν τη σύγκριση των ευρημάτων με τις υφιστάμενες μελέτες. Επιπλέον, η έλλειψη παρόμοιων μελετών για την υιοθέτηση του I4.0 στον Ελλαδικό χώρο και ειδικά στον κλάδο των τροφίμων καθιστούν την έρευνα πρωτοπόρο σε αυτό το τμήμα της, χωρίς προηγούμενες αναφορές για σύγκριση. Σε μία μεγάλη πανευρωπαϊκή έρευνα που έγινε από τους Agostini and Nosella, (2019) (Πίνακας 22) στους κλάδους των ηλεκτρονικών και υψηλής τεχνολογίας, ηλεκτρικών εξαρτημάτων και κατασκευής μηχανημάτων, έχει βρεθεί ότι το IIoT είναι η πιο ευρέως υιοθετημένη τεχνολογία (0,763) με δεύτερη σε σειρά τα μεγάλα δεδομένα και ανάλυση τους (0,672), αν εξαιρεθεί βέβαια η επαυξημένη πραγματικότητα.. Παρατηρείται ότι υπάρχει μία ταύτιση των προτιμήσεων για τις ίδιες

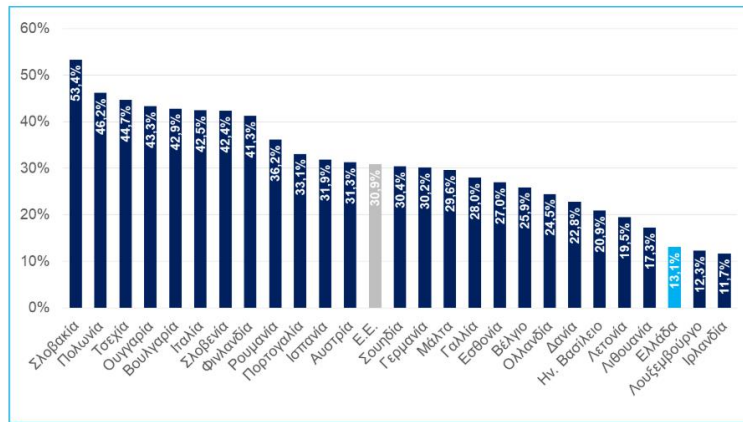
τεχνολογίες (IIoT και Big Data) και από τους οργανισμούς της έρευνας στον κλάδο των τροφίμων και ποτών στην Ελλάδα. Παρόλο που δεν μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει απόλυτη ταύτιση των αποτελεσμάτων της έρευνας με τις υφιστάμενες έρευνες, μπορεί όμως να ειπωθεί ότι υπάρχει μία συσχέτιση ευρημάτων και αναμενόμενου αποτελέσματος.

Items	Description	Standard loading	Cronbach's α
I4.0	Please, rate your present level of adoption of each of the following I4.0 technologies		
I4.0_IOT	Internet of Things	0.763	0.812
I4.0_CLOUD	Cloud computing	0.592	
I4.0_CYBER	Cybersecurity	0.616	
I4.0_BIGDATA	Big data and analytics	0.672	
I4.0_AMS	Advances manufacturing solutions	0.665	
I4.0_AUGM	Augmented reality	0.693	
I4.0_ADDIT	Additive manufacturing	0.624	
I4.0_SIMUL	Simulation tools	0.659	

Πίνακας 22. Υιοθέτηση τεχνολογιών I4.0, μετά από επιβεβαιωτική παραγοντική ανάλυση (CFA).

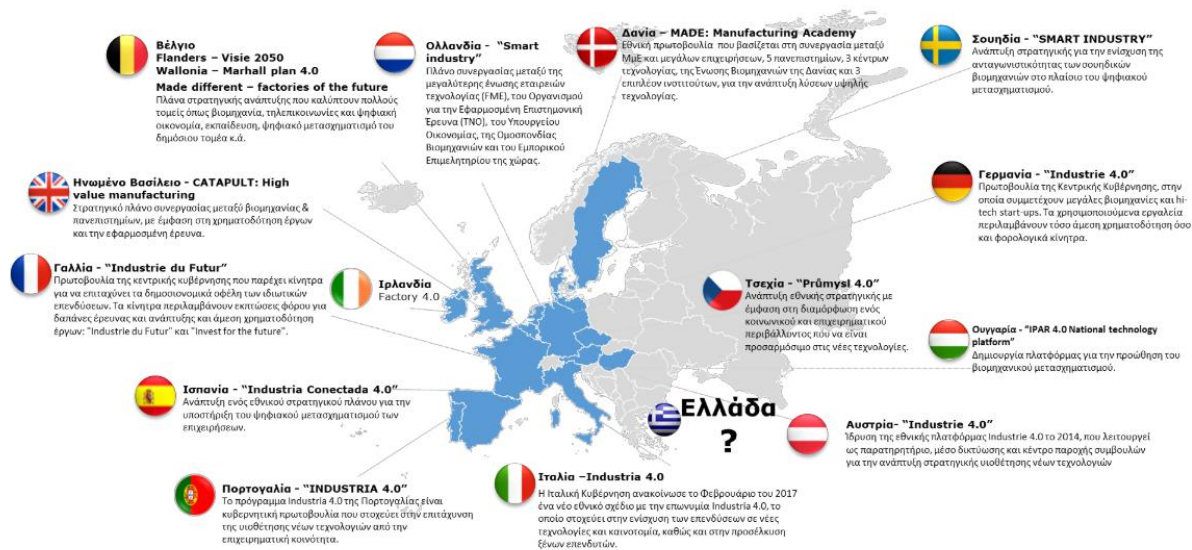
Πηγή : (Agostini and Nosella, 2019)

Σχετικά με το χαμηλό βαθμό υιοθέτησης των τεχνολογιών στις Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων, αυτό ήταν αναμενόμενο με βάση την αναφορά του ΣΕΒ (Ξηρογιάννης, Αθανασιάδη and Νικολαΐδης, 2019). Σε αυτή αναφέρεται ότι «Ελάχιστες από τις καλές ευρωπαϊκές πρακτικές συνεργασίας εφαρμόζονται στην Ελλάδα» (Ξηρογιάννης, Αθανασιάδη and Νικολαΐδης, 2019 σελ.4), ενώ χαμηλός βαθμός υιοθέτησης επιβεβαιώνεται έμμεσα από το χαμηλό ποσοστό του ακαθάριστου σχηματισμού πάγιου κεφαλαίου της βιομηχανίας σε μηχανήματα & εξοπλισμό στο σύνολο της οικονομίας όπου η Ελλάδα έρχεται Τρίτη από το τέλος στην ΕΕ (Διάγραμμα 5) και από την έλλειψη εθνικής στρατηγικής για τον μετασχηματισμού της βιομηχανίας (Εικόνα 26)



Διάγραμμα 5. Ποσοστό του ακαθάριστου σχηματισμού πάγιου κεφαλαίου της βιομηχανίας σε μηχανήματα & εξοπλισμό στο σύνολο της οικονομίας.

Πηγή: (Ξηρογιάννης, Αθανασιάδη and Νικολαΐδης, 2019)



Εικόνα 26. Εθνικά προγράμματα μετασχηματισμού της βιομηχανίας στην ΕΕ.

Πηγή: (Ξηρογιάννης, Αθανασιάδη and Νικολαΐδης, 2019)

Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, ήταν αναμενόμενος ο εντοπισμός των προκλήσεων της υιοθέτησης του Industry 4.0. Οι προκλήσεις που εντοπίστηκαν από προηγούμενες έρευνες θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε τεχνολογικές και οργανωτικές προκλήσεις. Ως εκ τούτου, μπορούμε να πούμε ότι τα ευρήματα σχετικά με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα πληρούν το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Συσχέτιση του αναμενόμενου αποτελέσματος και ευρημάτων έχουμε και στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα που αφορά την χρήση συγκεκριμένων δεικτών απόδοσης της βιομηχανίας τροφίμων. Οι συγκεκριμένοι δείκτες που χρησιμοποιούνται από τις

βιομηχανίες της έρευνας, αφορούν περισσότερο το τμήμα λειτουργιών στις περιοχές της παραγωγής, συντήρησης και ποιότητας και ταυτίζεται με τα ευρήματα της μηχανής αναζήτησης «Google». Η έλλειψη μελετών που αφορούν τη χρήση τεχνολογιών I4.0 για την βελτίωση των χρησιμοποιούμενων δεικτών απόδοσης καθιστά αδύνατη τη σύγκριση των ευρημάτων.

4.7.2 Θεωρητική Συμβολή

Η παρούσα εργασία περιέχει θεωρητικές συνεισφορές στο θεωρητικό πλαίσιο, καθώς και στην ανάλυση. Πρώτα απ' όλα, πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για να συνοψιστούν οι τεχνολογίες που αποτελούν τον πυρήνα του I4.0 και όλες οι τεχνολογίες οι οποίες βρίσκονται κάτω από την ομπρέλα του όρου I4.0 και να συγκεντρωθούν οι προκλήσεις της υιοθέτησης του. Επιπλέον, προτείνεται ένα τροποποιημένο μοντέλο ωριμότητας για το Industry 4.0 το οποίο απεικονίζει επίσης μια θεωρητική συμβολή. Όσον αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, οι προκλήσεις που προέκυψαν από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας εφαρμόστηκαν στη συνέχεια για να ρωτηθούν οι ερωτηθέντες σχετικά με το ποιες προκλήσεις αντιλαμβάνονταν ως πιο κρίσιμες για τους οργανισμούς τους. Η ανάλυση συμβάλλει στη θεωρία παρέχοντας μια επισκόπηση των πιο σημαντικών προκλήσεων της υιοθέτησης του Industry 4.0 με βάση τα εμπειρικά δεδομένα. Επιπλέον, η διασταυρούμενη ανάλυση έδωσε τη δυνατότητα να ομαδοποιηθούν οι προκλήσεις με βάση το πόσο κρίσιμες θεωρήθηκαν από τις μεμονωμένες εταιρείες περιπτώσεων. Αυτό το σύμπλεγμα απεικονίζει μια άλλη θεωρητική συμβολή αυτής της εργασίας. Επομένως, μπορεί να συνοψιστεί ότι αυτή η διπλωματική περιέχει θεωρητικές συνεισφορές στο θεωρητικό πλαίσιο του Industry 4.0. Όσον αφορά τις διοικητικές επιπτώσεις αυτής της εργασίας, μπορεί να ειπωθεί ότι τα ευρήματα βοηθούν τους διευθυντές τμημάτων να κατανοήσουν τις τεχνολογίες του I4.0 καθώς και τις ωφέλειες που μπορούν να έχουν οι εταιρείες από την υιοθέτησή τους. Τα ευρήματα από το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα βοηθούν τους διευθυντές τμημάτων να κατανοήσουν τις προκλήσεις της υιοθέτησης του Industry 4.0. Η επίγνωση αυτών των προκλήσεων επιτρέπει στη διοίκηση να αντιδράσει σε αυτές για να επιτρέψει την ομαλή υιοθέτηση του Industry 4.0 παρέχουν μια εικόνα για τις προϋποθέσεις για την υιοθέτηση του Industry 4.0 καθώς και τις επιπτώσεις της υιοθέτησης. Ως εκ τούτου, μπορεί να συνοψιστεί ότι τα ευρήματα αυτής της εργασίας υποστηρίζουν τους διευθυντές των εταιριών στο βήμα της

απόφασης της διαδικασίας υιοθέτησης της καινοτομίας. Συνολικά, μπορεί να ειπωθεί ότι αυτή η εργασία περιέχει θεωρητικές συνεισφορές καθώς και διοικητικές προεκτάσεις.

4.7.3 Περιορισμοί και γενίκευση της έρευνας

Οι οριοθετήσεις της έρευνας και οι περαιτέρω προκύπτοντες περιορισμοί πρέπει να ληφθούν υπόψη σε αυτήν την έρευνα. Ένας μεγαλύτερος αριθμός των περιπτώσεων και των ερωτηθέντων θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση της επιρροής των πιθανών σφαλμάτων και της μεροληψίας των συμμετεχόντων. Ωστόσο, η διαφορετική κατανόηση των όρων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των προκλήσεων του Industry 4.0 που προσδιορίστηκαν, απεικονίζουν έναν περιορισμό. Η ύπαρξη τόσων πολλών μοντέλων μέτρησης του βαθμού ωριμότητας του Industry 4 χωρίς κανένα από αυτά να είναι το επικρατέστερο, φανερώνει και τον περιορισμό της γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Η έρευνα επικεντρώθηκε και στις προκλήσεις της υιοθέτησης του Industry 4.0 με έμφαση στην τεχνολογική και στρατηγική-οργανωτική διάσταση. Προκλήσεις σε διαστάσεις όπως «προϊόν και υπηρεσίες», «εφοδιαστική αλυσίδα», «επιχειρηματικό μοντέλο» και «νομικές επιπλοκές» οι οποίες υποστηρίζονται από το επιλεγόμενο μοντέλο, δεν ελήφθησαν υπόψη σε αυτή τη μελέτη. Επίσης, οι διαδικασίες παραγωγής διαφέρουν μεταξύ των μεμονωμένων περιπτώσεων, αφού οι οργανισμοί και τα προϊόντα τους διέφεραν. Μπορεί να συνοψιστεί ότι τα ευρήματα σχετικά με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα ίσως να μπορούν να γενικευτούν εν μέρει λόγω της καλής ποιότητας των δεδομένων που συλλέχτηκαν. Τα ευρήματα σχετικά με το τρίτο ερευνητικό ερώτημα δεν θα μπορούσαν να γενικευθούν λόγω του μικρού αριθμού του δείγματος της έρευνας. Αποτελούν όμως αιτία για περαιτέρω έρευνα. Τα τρία θέματα που βρέθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις μπορούν να γενικευθούν εν μέρει, ενώ το εύρημα ότι η χαμηλή βαθμολογία στρατηγικής ωριμότητας σημαίνει και χαμηλή βαθμολογία τεχνολογικής ωριμότητας πρέπει να επικυρωθεί από περαιτέρω έρευνα. Επίσης, οι περιορισμοί της συγκεκριμένης έρευνας είναι αυτοί που ισχύουν για όλες τις ποιοτικές έρευνες γενικότερα. Τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευτούν στο συνολικό πληθυσμό (Hodkinson and Hodkinson, 2001). Η αξία της ποιοτικής έρευνας βρίσκεται στο να αποκαλύψει το εύρος και τη φύση των υπό μελέτη φαινομένων. Απαιτείται περαιτέρω ποσοτική έρευνα (Ritchie *et al.*, 2013), η οποία θα μπορούσε να βοηθήσει στην αξιολόγηση του κατά πόσο μπορούν να γενικευθούν τα ευρήματα της παρούσας μελέτης.

4.7.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα ευρήματα αυτής της έρευνας όσο και τους περιορισμούς της, μπορούν να γίνουν ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Πρώτον, αυτή η έρευνα επικεντρώθηκε σε δυο από τις πέντε διαστάσεις του μοντέλου ωριμότητας. Δεύτερον, η διεύρυνση του αριθμού των συμμετεχόντων στα ερωτηματολόγια και η συμμετοχή από όλες τις βαθμίδες του οργανογράμματος θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για να εξεταστούν λεπτομερέστερα με λιγότερη μεροληψία τα συλλεγόμενα δεδομένα. Επιπλέον, μπορεί να είναι χρήσιμο να γίνουν συνεντεύξεις από άτομα από διαφορετικά τμήματα όπως το IT, τα οικονομικά, το μάρκετινγκ ή R&D για να δημιουργηθεί μια πιο ολιστική άποψη για το θέμα. Τρίτον, θα μπορούσαν να διερευνηθούν διαφορετικά μεγέθη βιομηχανιών καθώς και διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές για να δημιουργηθούν πιο γενικεύσιμα ευρήματα.

Βιβλιογραφία

- 3dprinting.com (2022) *What is 3D Printing?*, 3dprinting.com. Available at: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> (Accessed: 11 June 2022).
- Abdulhameed, O. *et al.* (2019) 'Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications', *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), p. 168781401882288. doi: 10.1177/1687814018822880.
- Addo-Tenkorang, R. and Helo, P. T. (2016) 'Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review', *Computers and Industrial Engineering*, 101, pp. 528–543. doi: 10.1016/j.cie.2016.09.023.
- Agostini, L. and Nosella, A. (2019) 'The adoption of Industry 4.0 technologies in SMEs: results of an international study', *Management Decision*, 58(4), pp. 625–643. doi: 10.1108/MD-09-2018-0973.
- Ahmad, M. M. and Dhafr, N. (2002) 'Establishing and improving manufacturing performance measures', *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3–4), pp. 171–176. doi: 10.1016/S0736-5845(02)00007-8.
- Ahsan, A. (2017) *What KPIs are needed for a food manufacturing company ?* Available at: <http://www.ameenahsan.com/business-growth/what-kpis-are-needed-for-a-food-manufacturing-company> (Accessed: 14 May 2022).
- Akyazi, T. *et al.* (2020) 'A Guide for the Food Industry to Meet the Future Skills Requirements Emerging with Industry 4.0', *Foods*, 9(4), p. 492. doi: 10.3390/foods9040492.
- Alcácer, V. and Cruz-Machado, V. (2019) 'Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems', *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), pp. 899–919. doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- Alqaryouti, O. and Siyam, N. (2018) 'Serverless Computing and Scheduling Tasks on Cloud: A Review', *American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Sciences (ASRJETS)*, 40(1), pp. 235–247. Available at: <http://asrjetsjournal.org/>.
- Ani, U. P. D., He, H. (Mary) and Tiwari, A. (2017) 'Review of cybersecurity issues in industrial critical infrastructure: manufacturing in perspective', *Journal of Cyber Security Technology*, 1(1), pp. 32–74. doi: 10.1080/23742917.2016.1252211.
- Appandairajan, P., Zafar Ali Khan, N. and Madijagan, M. (2012) 'ERP on Cloud: Implementation strategies and challenges', in *2012 International Conference on Cloud Computing Technologies, Applications and Management (ICCCTAM)*. IEEE, pp. 56–59. doi: 10.1109/ICCCTAM.2012.6488071.
- Arnold, C. and Voigt, K.-I. (2019) 'Determinants of Industrial Internet of Things Adoption in German Manufacturing Companies', *International Journal of Innovation and Technology Management*, 16(06), p. 1950038. doi: 10.1142/S021987701950038X.

- Assante, D. *et al.* (2016) 'The Use of Cloud Computing in SMEs', *Procedia Computer Science*, 83, pp. 1207–1212. doi: 10.1016/j.procs.2016.04.250.
- Bagheri, B. *et al.* (2015) 'Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment', *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), pp. 1622–1627. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.318.
- Bahrin, M. K. A. *et al.* (2016) 'INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC', *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), pp. 137–143. doi: 10.11113/jt.v78.9285.
- Başkarada, S. (2014) 'Qualitative Case Study Guidelines', *The Qualitative Report*, 19, pp. 1–18. doi: 10.46743/2160-3715/2014.1008.
- Ben-Ari, M. and Mondada, F. (2018) *Elements of Robotics, Elements of Robotics*. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-62533-1.
- Ben-Daya, M., Hassini, E. and Bahroun, Z. (2019) 'Internet of things and supply chain management: a literature review', *International Journal of Production Research*, 57(15–16), pp. 4719–4742. doi: 10.1080/00207543.2017.1402140.
- Benias, N. and Markopoulos, A. P. (2017) 'A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0', *South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference, SEEDA-CECNSM 2017*. doi: 10.23919/SEEDA-CECNSM.2017.8088234.
- Bishop, D. A. (2018) 'Key Performance Indicators: Ideation to Creation', *IEEE Engineering Management Review*, 46(1), pp. 13–15. doi: 10.1109/EMR.2018.2810104.
- Bonte, D. *et al.* (2020) *Smart Manufacturing and How To Get Started the Implementation and Roi of*. Available at: https://www.ericsson.com/49e337/assets/local/internet-of-things/docs/coi-part-2-final-report.pdf?_ga=2.77975956.1678128536.1650741539-474901745.1650741539.
- Branco, T., de Sá-Soares, F. and Rivero, A. L. (2017) 'Key Issues for the Successful Adoption of Cloud Computing', *Procedia Computer Science*, 121, pp. 115–122. doi: 10.1016/j.procs.2017.11.016.
- Bryman, A. and Bell, E. (2011) *Business Research Methods*. 3rd edn. New York: Oxford University Press Inc.
- Büchi, G., Cugno, M. and Castagnoli, R. (2020) 'Smart factory performance and Industry 4.0', *Technological Forecasting and Social Change*, 150(October 2019), p. 119790. doi: 10.1016/j.techfore.2019.119790.
- Byres, E. and Hoffman, D. (2004) 'The Myths and Facts behind Cyber Security Risks for Industrial Control Systems', in *Proceedings of the VDE Kongress*, pp. 213–218.
- Chang, J. *et al.* (2018) 'Advanced Material Strategies for Next-Generation Additive Manufacturing', *Materials*, 11(1), p. 166. doi: 10.3390/ma11010166.

Çınar, Z. M., Zeeshan, Q. and Korhan, O. (2021) 'A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study', *Sustainability*, 13(12), p. 6659. doi: 10.3390/su13126659.

Collis, J. and Hussey, R. (2014) *Business Research 4th edition* : 4th edn. Palgrave Macmillan.

Deloitte (2018) *Deloitte : Αισιόδοξα μηνύματα ενόψει της 4 ης Βιομηχανικής Επανάστασης , παρά την αβεβαιότητα για τον βαθμό ετοιμότητας στελεχών και επιχειρήσεων*. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/strategy/gr_pr_industry_4.0_noexp.pdf.

Demartini, M. *et al.* (2018) 'Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions', *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 1371–1378. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.337.

Dorleon, G. and Sikadie FS, G. (2017) 'Industry 4.0 - What we need to know', *International Francophone Institute for Computer Science*, (June).

Drath, R. and Horch, A. (2014) 'Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]', *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), pp. 56–58. doi: 10.1109/MIE.2014.2312079.

Dudbridge, M. (2011) *Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry, Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. doi: 10.1002/9781444393125.

Eisenhardt, K. M. (1989) 'Building Theories from Case Study Research', *Academy of Management Review*, 14(4), pp. 532–550. doi: 10.5465/amr.1989.4308385.

Elia, V., Gnoni, M. G. and Lanzilotto, A. (2016) 'Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model', *Expert Systems with Applications*, 63, pp. 187–197. doi: 10.1016/j.eswa.2016.07.006.

Elkhodr, M., Shahrestani, S. and Cheung, H. (2016) 'The Internet of Things : New Interoperability, Management and Security Challenges', *International Journal of Network Security & Its Applications*, 8(2), pp. 85–102. doi: 10.5121/ijnsa.2016.8206.

Erboz, G. (2017) 'How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0', in *Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era*, pp. 761–767.

Feng, Y. and Huang, B. (2018) 'A hierarchical and configurable reputation evaluation model for cloud manufacturing services based on collaborative filtering', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9–12), pp. 3327–3343. doi: 10.1007/s00170-017-0662-x.

Flick, U. (2014) *An Introduction to Qualitative Research*. 5th edn. SAGE.

Frank, A. G., Dalenogare, L. S. and Ayala, N. F. (2019) 'Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies', *International Journal of Production Economics*, 210, pp. 15–26. doi: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

- Gandomi, A. and Haider, M. (2015) 'Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics', *International Journal of Information Management*, 35(2), pp. 137–144. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007.
- Gao, W. *et al.* (2015) 'The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering', *Computer-Aided Design*, 69, pp. 65–89. doi: 10.1016/j.cad.2015.04.001.
- General Electric (2022) *What is Additive Manufacturing | GE Additive.*, *Ge.com*. Available at: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing> (Accessed: 11 June 2022).
- Grace, A. (2021) *5 Key Performance Indicators for Food Industry 5 Key Performance Indicators for Food Industry Download the KPI Checklist Key Performance Indicators for Food Industry*, *Safetychain*. Available at: <https://blog.safetychain.com/5-kpis-measure-food-manufacturing-analytics> (Accessed: 14 May 2022).
- Guizani, M. (2019) *The Industrial Internet of Things*, *IEEE Network*. doi: 10.1109/MNET.2019.8863716.
- Haddud, A. *et al.* (2017) 'Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains', *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(8), pp. 1055–1085. doi: 10.1108/JMTM-05-2017-0094.
- Hassoun, A. *et al.* (2022) 'The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), pp. 1–17. doi: 10.1080/10408398.2022.2034735.
- Hayes, A. (2020) *What Is Augmented Reality?*, *Augmented Reality*. doi: 10.1016/b978-1-59-749733-6.00001-2.
- He, H. *et al.* (2016) 'The security challenges in the IoT enabled cyber-physical systems and opportunities for evolutionary computing & other computational intelligence', in *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. IEEE, pp. 1015–1021. doi: 10.1109/CEC.2016.7743900.
- Hellenic Blockchain Hub (no date) *Τι είναι η τεχνολογία blockchain – HBH*, *blockchain.org*. Available at: <https://www.blockchain.org.gr/home/mathe/> (Accessed: 11 June 2022).
- Hodkinson, P. and Hodkinson, H. (2001) 'The strengths and limitations of case study research', in *Proceedings of the 5th Annual Conference of the Learning and Skills Research Network*. University of Leeds, pp. 1–14.
- Hošovský, A. *et al.* (2021) 'Computational Intelligence in the Context of Industry 4.0', in *Implementing Industry 4.0 in SMEs*. Cham: Springer International Publishing, pp. 27–94. doi: 10.1007/978-3-030-70516-9_2.
- Hussain, M. I. (2017) 'Internet of Things: challenges and research opportunities', *CSI Transactions on ICT*, 5(1), pp. 87–95. doi: 10.1007/s40012-016-0136-6.
- IBM (2022) *What is a digital twin? | IBM*. Available at: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (Accessed: 15 June 2022).

Jansen, C. and Jeschke, S. (2018) 'Mitigating risks of digitalization through managed industrial security services', *AI & SOCIETY*, 33(2), pp. 163–173. doi: 10.1007/s00146-018-0812-1.

Jena, M. C., Mishra, S. K. and Moharana, H. S. (2020) 'Application of Industry 4.0 to enhance sustainable manufacturing', *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(1), p. 13360. doi: 10.1002/ep.13360.

Ji, W. and Wang, L. (2017) 'Big data analytics based fault prediction for shop floor scheduling', *Journal of Manufacturing Systems*, 43, pp. 187–194. doi: 10.1016/j.jmsy.2017.03.008.

Jiang, R., Kleer, R. and Piller, F. T. (2017) 'Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030', *Technological Forecasting and Social Change*, 117, pp. 84–97. doi: 10.1016/j.techfore.2017.01.006.

Joppen, R. *et al.* (2019) 'Key performance indicators in the production of the future', *Procedia CIRP*, 81, pp. 759–764. doi: 10.1016/j.procir.2019.03.190.

Kagermann, H., Lukas, W.-D. and Wahlster, W. (2011) 'Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution', *VDI Nachrichten*, (13), pp. 3–4. Available at: <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>.

Kamble, S. S. *et al.* (2020) 'A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation', *International Journal of Production Economics*, 229, p. 107853. doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107853.

Kenett, R. S. and Vicario, G. (2021) 'Challenges and Opportunities in Simulations and Computer Experiments in Industrial Statistics: An Industry 4.0 Perspective', *Advanced Theory and Simulations*, 4(2), p. 2000254. doi: 10.1002/adts.202000254.

Khalid, A. *et al.* (2018) 'Security framework for industrial collaborative robotic cyber-physical systems', *Computers in Industry*, 97, pp. 132–145. doi: 10.1016/j.compind.2018.02.009.

Kittipanya-ngam, P. and Tan, K. H. (2020) 'A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand', *Production Planning & Control*, 31(2–3), pp. 158–172. doi: 10.1080/09537287.2019.1631462.

Koetsier, T. (2019) 'The First Wave of Industrial Revolution: Cotton Textiles and Pig Iron', in *The Ascent of GIM, the Global Intelligent Machine: A History of Production and Information Machines*. Cham: Springer International Publishing, pp. 177–207. doi: 10.1007/978-3-319-96547-5_8.

Kpmg (2021) 'Gr-Industry-4-Key-Challenges'. KPMG, p. 11. Available at: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/gr/pdf/2021/03/gr-industry-4-key-challenges.pdf>.

Kumar, A. and Gupta, D. (2020) 'Challenges Within the Industry 4.0 Setup', in *Advances in*

Science, Technology and Innovation, pp. 187–205. doi: 10.1007/978-3-030-14544-6_11.

Kumar, A., Mangla, S. K. and Kumar, P. (2022) 'Barriers for adoption of Industry 4.0 in sustainable food supply chain: a circular economy perspective', *International Journal of Productivity and Performance Management*. doi: 10.1108/IJPPM-12-2020-0695.

Lasi, H. *et al.* (2014) 'Industry 4.0', *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), pp. 239–242. doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.

Lee, C. K. M., Zhang, S. Z. and Ng, K. K. H. (2017) 'Development of an industrial Internet of things suite for smart factory towards re-industrialization', *Advances in Manufacturing*, 5(4), pp. 335–343. doi: 10.1007/s40436-017-0197-2.

Lee, J. (2013) 'Industry 4.0 in big data environment', *German Harting Magazine*, 1(1), pp. 8–10.

Li, S., Xu, L. Da and Zhao, S. (2015) 'The internet of things: a survey', *Information Systems Frontiers*, 17(2), pp. 243–259. doi: 10.1007/s10796-014-9492-7.

Liu, Y. *et al.* (2017) 'Review on cyber-physical systems', *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 4(1), pp. 27–40. doi: 10.1109/JAS.2017.7510349.

Lu, Y. (2017) 'Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues', *Journal of Industrial Information Integration*, 6, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.

Madakam, S., Ramaswamy, R. and Tripathi, S. (2015) 'Internet of Things (IoT): A Literature Review', *Journal of Computer and Communications*, 03(05), pp. 164–173. doi: 10.4236/jcc.2015.35021.

Mamad, M. (2018) 'Challenges and benefits of industry 4.0: An overview', *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), pp. 256–265.

Masood, T. and Sonntag, P. (2020) *Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs*, *Computers in Industry*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.compind.2020.103261.

Matt, D. T., Modrák, V. and Zsifkovits, H. (2020) *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, Opportunities and Requirements*, *Palgrave Macmillan*. Edited by D. T. Matt, V. Modrák, and H. Zsifkovits. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-25425-4.

Matt, D. T., Modrák, V. and Zsifkovits, H. (2021) *Implementing Industry 4.0 in SMEs: Concepts, Examples and Applications*. Edited by D. T. Matt, V. Modrák, and H. Zsifkovits. Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-70516-9.

Modrak, V., Soltysova, Z. and Poklemba, R. (2019) 'Mapping Requirements and Roadmap Definition for Introducing I 4.0 in SME Environment', in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer International Publishing, pp. 183–194. doi: 10.1007/978-3-319-99353-9_20.

Moktadir, M. A. *et al.* (2018) 'Assessing challenges for implementing Industry 4.0:

- Implications for process safety and environmental protection', *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp. 730–741. doi: 10.1016/j.psep.2018.04.020.
- Monostori, L. *et al.* (2016) 'Cyber-physical systems in manufacturing', *CIRP Annals*, 65(2), pp. 621–641. doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.005.
- Morgan, S. (2020) *Cybercrime to cost the world USD 10.5 trillion annually by 2025*, *Cybercrime Magazine*. Available at: <https://cybersecurityventures.com/hackerpocalypse-cybercrime-report-2016/> (Accessed: 19 June 2022).
- Mourtzis, D., Doukas, M. and Bernidaki, D. (2014) 'Simulation in Manufacturing: Review and Challenges', *Procedia CIRP*, 25(C), pp. 213–229. doi: 10.1016/j.procir.2014.10.032.
- Mourtzis, D., Vlachou, E. and Milas, N. (2016) 'Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing', *Procedia CIRP*, 55, pp. 290–295. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.038.
- Mueller, E., Chen, X.-L. and Riedel, R. (2017) 'Challenges and Requirements for the Application of Industry 4.0: A Special Insight with the Usage of Cyber-Physical System', *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(5), pp. 1050–1057. doi: 10.1007/s10033-017-0164-7.
- Müller, J. M., Buliga, O. and Voigt, K.-I. (2018) 'Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0', *Technological Forecasting and Social Change*, 132(September 2017), pp. 2–17. doi: 10.1016/j.techfore.2017.12.019.
- Nee, A. Y. C. *et al.* (2012) 'Augmented reality applications in design and manufacturing', *CIRP Annals*, 61(2), pp. 657–679. doi: 10.1016/j.cirp.2012.05.010.
- Ngo, T. D. *et al.* (2018) 'Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges', *Composites Part B: Engineering*, 143(December 2017), pp. 172–196. doi: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
- Noor Hasnan, N. Z. and Yusoff, Y. M. (2018) 'Short review: Application Areas of Industry 4.0 Technologies in Food Processing Sector', in *2018 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*. IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/SCORED.2018.8711184.
- Oesterreich, T. D. and Teuteberg, F. (2016) 'Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry', *Computers in Industry*, 83, pp. 121–139. doi: 10.1016/j.compind.2016.09.006.
- Olsen, T. L. and Tomlin, B. (2020) 'Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management', *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), pp. 113–122. doi: 10.1287/msom.2019.0796.
- Oltra-Mestre, M. J. *et al.* (2021) 'Innovation in the Agri-Food sector: Exploiting opportunities for Industry 4.0', *Creativity and Innovation Management*, 30(1), pp. 198–210. doi: 10.1111/caim.12418.

- Open.edu (2016) *Additive manufacturing*. Available at: https://www.open.edu/openlearn/pluginfile.php/1393652/mod_resource/content/0/ol-786px-course-image.jpg (Accessed: 11 June 2022).
- Ortiz, J. H. (2020) *Industry 4.0 - Current Status and Future Trends, IntechOpen*. Edited by J. Hamilton Ortiz. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.86000.
- Parmenter, D. (2020) *key performance indicator developing, implementing and using winning KPIs*. 4th edn. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Patton, M. Q. (2015) *Qualitative research & evaluation methods : integrating theory and practice*. Edited by 4th. SAGE.
- Pedersen, M. R. *et al.* (2016) 'Robot skills for manufacturing: From concept to industrial deployment', *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, pp. 282–291. doi: 10.1016/j.rcim.2015.04.002.
- Pereira, A. C. and Romero, F. (2017) 'A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept', *Procedia Manufacturing*, 13, pp. 1206–1214. doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.032.
- Piedrahita, A. F. M. *et al.* (2018) 'Virtual incident response functions in control systems', *Computer Networks*, 135, pp. 147–159. doi: 10.1016/j.comnet.2018.01.040.
- Postscapes (2019) *Internet of Things (IoT) History, Postscapes*. Available at: <https://www.postscapes.com/iot-history/> (Accessed: 20 May 2022).
- Pritty, D. W. *et al.* (1995) 'A real-time upgrade for Ethernet based factory networking', in *Proceedings of IECON '95 - 21st Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*. IEEE, pp. 1631–1637. doi: 10.1109/IECON.1995.484195.
- Qi, Q. and Tao, F. (2018) 'Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison', *IEEE Access*, 6(c), pp. 3585–3593. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2793265.
- RGBSI (2020) *5 Types of Smart Sensors that Enable Industry 4.0, RGBSI*. Available at: <https://blog.rgbsi.com/5-smart-sensors-enable-industry-4.0>.
- Ritchie, J. *et al.* (2013) *Qualitative Research Practice: A Guide for Social Science Students and Researchers*. 2nd edn. SAGE.
- Rodič, B. (2017) 'Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm', *Organizacija*, 50(3), pp. 193–207. doi: 10.1515/orga-2017-0017.
- Rüßmann, M. *et al.* (2015) 'Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries', *Boston consulting group*, 9(1), pp. 54–89. Available at: https://web-assets.bcg.com/img-src/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm9-61694.pdf.
- Sadiku, M. *et al.* (2017) 'INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS', *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 2017-Novem(11), pp. 1–5. doi:

10.7324/IJASRE.2017.32538.

Salkin, C. *et al.* (2018) 'A Conceptual Framework for Industry 4.0', in *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Cham: Springer International Publishing, pp. 3–23. doi: 10.1007/978-3-319-57870-5_1.

Santos, B. P., Charrua-Santos, F. and Lima, T. M. (2018) 'Industry 4.0: an overview', in. Available at: https://www.researchgate.net/publication/326352993_Industry_40_an_overview/stats.

Saunders, M. N. K., Lewis, P. and Thornhill, A. (2019) *Research methods for business students*. 8th edn, Pearson Education Limited. 8th edn.

Saunders, M., Lewis, P. and Thornhill, A. (2016) *Research Methods for Business Students*. 7th edn, Pearson Education Limited. 7th edn.

Schneider, P. (2018) 'Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field', *Review of Managerial Science*, 12(3), pp. 803–848. doi: 10.1007/s11846-018-0283-2.

Schumacher, A., Erol, S. and Sihm, W. (2016) 'A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises', *Procedia CIRP*, 52, pp. 161–166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.

Seele, P. (2017) 'Predictive Sustainability Control: A review assessing the potential to transfer big data driven "predictive policing" to corporate sustainability management', *Journal of Cleaner Production*, 153, pp. 673–686. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.175.

Sen, D., Ozturk, M. and Vayvay, O. (2016) 'An Overview of Big Data for Growth in SMEs', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235(October), pp. 159–167. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.11.011.

Senyo, P. K., Addae, E. and Boateng, R. (2018) 'Cloud computing research: A review of research themes, frameworks, methods and future research directions', *International Journal of Information Management*, 38(1), pp. 128–139. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2017.07.007.

Sezer, O. B., Dogdu, E. and Ozbayoglu, A. M. (2018) 'Context-Aware Computing, Learning, and Big Data in Internet of Things: A Survey', *IEEE Internet of Things Journal*, 5(1), pp. 1–27. doi: 10.1109/JIOT.2017.2773600.

Sisinni, E. *et al.* (2018) 'Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions', *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(11), pp. 4724–4734. doi: 10.1109/TII.2018.2852491.

de Sousa Jabbour, A. B. L. *et al.* (2018) 'When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors', *Technological Forecasting and Social Change*, 132(January), pp. 18–25. doi: 10.1016/j.techfore.2018.01.017.

Strozzi, F. *et al.* (2017) 'Literature review on the "Smart Factory" concept using bibliometric

tools', *International Journal of Production Research*, 55(22), pp. 6572–6591. doi: 10.1080/00207543.2017.1326643.

Suri, K. *et al.* (2017) 'Model-based Development of Modular Complex Systems for Accomplishing System Integration for Industry 4.0', in *Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, pp. 487–495. doi: 10.5220/0006210504870495.

Susskind, D. and Vines, D. (2020) 'The economics of the COVID-19 pandemic: an assessment', *Oxford Review of Economic Policy*, 36(Supplement_1), pp. S1–S13. doi: 10.1093/oxrep/graa036.

Tao, F. *et al.* (2018) 'Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9), pp. 3563–3576. doi: 10.1007/s00170-017-0233-1.

Tao, F., Zhang, L. and Nee, A. Y. C. (2011) 'A review of the application of grid technology in manufacturing', *International Journal of Production Research*, 49(13), pp. 4119–4155. doi: 10.1080/00207541003801234.

The University of Warwick (2017) 'An Industry 4 readiness assessment tool', *WMG-University Warwick*. Coventry, UK, pp. 1–19. Available at: www.warwick.ac.uk/scip1.

Thoben, K.-D., Wiesner, S. and Wuest, T. (2017) "'Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples', *International Journal of Automation Technology*, 11(1), pp. 4–16. doi: 10.20965/ijat.2017.p0004.

Tofail, S. A. M. *et al.* (2018) 'Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities', *Materials Today*, 21(1), pp. 22–37. doi: 10.1016/j.mattod.2017.07.001.

Tokdemir, Y. (2022) *KPIs as a Strategic Change in the Food Industry , agri-food consulting , agro- food consulting*. Available at: <https://www.agrofoodconsulting.com/post/kpis-as-a-strategic-change-in-the-food-industry> (Accessed: 14 May 2022).

Tortorella, G. L. and Fettermann, D. (2018) 'Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies', *International Journal of Production Research*, 56(8), pp. 2975–2987. doi: 10.1080/00207543.2017.1391420.

Tsuchiya, A. *et al.* (2018) 'Software defined networking firewall for industry 4.0 manufacturing systems', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(2), p. 318. doi: 10.3926/jiem.2534.

Tupa, J., Simota, J. and Steiner, F. (2017) 'Aspects of Risk Management Implementation for Industry 4.0', *Procedia Manufacturing*, 11(June), pp. 1223–1230. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.248.

Vaidya, S., Ambad, P. and Bhosle, S. (2018) 'Industry 4.0 – A Glimpse', *Procedia Manufacturing*, 20, pp. 233–238. doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.

Villars, R. L., Olofson, C. W. and Eastwood, M. (2011) 'Big Data: What It is and Why You

- Should Care', *IDC White Paper*, pp. 7–8. Available at: http://www.tracemyflows.com/uploads/big_data/IDC_AMD_Big_Data_Whitepaper.pdf.
- Voss, C., Tsikriktsis, N. and Frohlich, M. (2002) 'Case research in operations management', *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2), pp. 195–219. doi: 10.1108/01443570210414329.
- Wagire, A. A. *et al.* (2021) 'Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice', *Production Planning & Control*, 32(8), pp. 603–622. doi: 10.1080/09537287.2020.1744763.
- Wagner, R. *et al.* (2019) 'Challenges and Potentials of Digital Twins and Industry 4.0 in Product Design and Production for High Performance Products', *Procedia CIRP*, 84, pp. 88–93. doi: 10.1016/j.procir.2019.04.219.
- Wan, J., Cai, H. and Zhou, K. (2015) 'Industrie 4.0: Enabling technologies', in *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things*. IEEE, pp. 135–140. doi: 10.1109/ICAOT.2015.7111555.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., *et al.* (2016) 'Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook', *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), p. 3159805. doi: 10.1155/2016/3159805.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., *et al.* (2016) 'Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination', *Computer Networks*, 101(2016), pp. 158–168. doi: 10.1016/j.comnet.2015.12.017.
- Weiss, A. and Huber, A. (2016) 'User Experience of a Smart Factory Robot: Assembly Line Workers Demand Adaptive Robots', *AISB Annual Convention 2016, AISB 2016*, pp. 1–3. Available at: <http://arxiv.org/abs/1606.03846>.
- Wikidpedia (2022a) *Autonomous robot - Wikipedia, Wikidpedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_robot (Accessed: 28 June 2022).
- Wikidpedia (2022b) *Industrial internet of things, Wikidpedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_internet_of_things (Accessed: 28 June 2022).
- Wikipedia (2022) *Augmented reality, Wikipedia*. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality (Accessed: 11 June 2022).
- Xu, M., David, J. M. and Kim, S. H. (2018) 'The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges', *International Journal of Financial Research*, 9(2), p. 90. doi: 10.5430/ijfr.v9n2p90.
- Xu, X. (2012) 'From cloud computing to cloud manufacturing', *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(1), pp. 75–86. doi: 10.1016/j.rcim.2011.07.002.
- Yin, R. K. (2018) *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. 6th edn, SAGE. 6th edn.
- Zhang, C. and Yang, J. (2020) 'Second Industrial Revolution', in *A History of Mechanical*

Engineering. Singapore: Springer Singapore, pp. 137–195. doi: 10.1007/978-981-15-0833-2_5.

Zhang, Y. *et al.* (2019) 'Cloud manufacturing based service encapsulation and optimal configuration method for injection molding machine', *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(7), pp. 2681–2699. doi: 10.1007/s10845-017-1322-6.

Zhou, K., Taigang Liu and Lifeng Zhou (2015) 'Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges', in *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*. IEEE, pp. 2147–2152. doi: 10.1109/FSKD.2015.7382284.

Zhou, L. *et al.* (2018) 'Diverse task scheduling for individualized requirements in cloud manufacturing', *Enterprise Information Systems*, 12(3), pp. 300–318. doi: 10.1080/17517575.2017.1364428.

Zhu, L. *et al.* (2018) 'Key performance indicators for manufacturing operations management – gap analysis between process industrial needs and ISO 22400 standard', *Procedia Manufacturing*, 25, pp. 82–88. doi: 10.1016/j.promfg.2018.06.060.

Žižek, S. Š. *et al.* (2020) 'Key Performance Indicators and Industry 4.0 – A Socially Responsible Perspective', *Naše gospodarstvo/Our economy*, 66(3), pp. 22–35. doi: 10.2478/ngoe-2020-0015.

Βέτπας, Ν. *et al.* (2017) *Ο Τομέας Μεταποίησης Στην Ελλάδα Τάσεις Και Προοπτικές*, IOBE. Available at: http://iobe.gr/docs/research/RES_05_F_06062017_REP_GR.pdf.

Βουμβάκη, Τ., Κουτούζου, Α. and Γιούρας, Θ. (2021) 'Ιούλιος 2021 Ελληνικά τρόφιμα : Μετά τη διείσδυση στις διεθνείς αγορές , επόμενο στοίχημα είναι η ενδυνάμωση της παραγωγής Η επιτυχημένη εξαγωγική στρατηγική ως Αδυναμίες στην παραγωγική διαδικασία –'. ΕΘΝΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ, ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, p. 24. Available at: https://www.agro24.gr/sites/default/files/media/report_agrifood_july_2021.pdf.

IOBE (2020) *Βιομηχανία Τροφίμων και Ποτών FACTS & FIGURES 2020*, IOBE. Available at: http://iobe.gr/docs/research/RES_05_B_26052021_REP_GR.pdf.

Μπαμπινιώτης, Γ. (2008) *Λεξικό τής Νέας Ελληνικής Γλώσσας*. Γ. ΚΕΝΤΡΟ ΛΕΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ.

Ξηρογιάννης, Γ., Αθανασιάδη, Μ. and Νικολαΐδης, Α. (2019) *Βιομηχανία 4.0: Οι Συμπράξεις Και Μια Ολοκληρωμένη Στρατηγική Είναι Τα Κλειδιά Της Επιτυχίας* . Available at: https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/52475/2SR2_Industry40_V18.pdf.

Προσάρτημα 1.

Ερωτήσεις συνεντεύξεων

1. Θα μπορούσατε, παρακαλώ, να παρουσιάσετε εν συντομία το εαυτό σας και τα καθήκοντα σας στην εταιρία που εργάζεστε. (ΘΕΣΗ,ΧΡΟΝΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΤΛ)

2. Τι γνωρίζετε για τις τεχνολογίες Ι4.0; Πόσο εξοικειωμένος/η είστε με τον όρο «Industry 4.0»;

BIG DATA

3. Χρησιμοποιείτε δεδομένα που λαμβάνονται από διάφορα μηχανήματα και αισθητήρες για την ανάλυση των διαδικασιών παραγωγής;

4. Χρησιμοποιείτε προγνωστική ανάλυση για να προβλέψετε τις βλάβες των μηχανημάτων στις γραμμές παραγωγής σας;

5. Χρησιμοποιείτε δεδομένα πωλήσεων για να αναλύσετε και να προβλέψετε το πρόγραμμα παραγωγής σας;

6. Λαμβάνετε τις απαιτήσεις και τις προβλέψεις των πελατών σε πραγματικό χρόνο;

7. Σε ποιο βαθμό συλλέγονται δεδομένα από μηχανήματα, εργαλεία αισθητήρες κ.λπ.; Πώς κρίνετε τη χρησιμότητα της διαχείρισης Big Data/Data στην εταιρεία σας;

ROBOTICS

8. Χρησιμοποιείτε ρομποτικά συστήματα; Ποιος είναι ο βαθμός αυτονομίας τους;

SIMULATION

9. Χρησιμοποιείτε προγράμματα Προσομοίωσης; Αν ναι σε ποιους τομείς;

IIoT

10. Μπορείτε να ελέγξετε την κατάσταση της γραμμής παραγωγής σας από απόσταση; Σε ποιο βαθμό;

11. Μπορεί ο επόπτης γραμμής να δει πληροφορίες από μηχανήματα, αισθητήρες και ελεγκτές στη γραμμή παραγωγής σας για να εξασφαλίσει απρόσκοπτη ροή και να αποτρέψει τις βλάβες;

CYBERSECURITY

12. Η εταιρεία είναι ενημερωμένη για το θέμα της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο;

13. Η εταιρεία έχει σχέδιο δράσης για την αντιμετώπιση της εμφάνισης του εγκλήματος στον κυβερνοχώρο;

CLOUD

14. Χρησιμοποιεί η εταιρία συστήματα που βασίζονται στο νέφος; Σε ποιους τομείς;

3D PRINTING

15. Χρησιμοποιείτε 3D εκτύπωση; Σε ποιους τομείς;

AUGMENTED REALITY

16. Εφαρμόζετε γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας ή οθόνες;

HORIZONTAL – VERTICAL INTEGRATION

17. Ποια είναι τα επίπεδα κάθετης και οριζόντιας ολοκλήρωσης; Πόσο συνεργάζονται τα τμήματα μεταξύ τους σε επίπεδο πληροφορικής ;

18. Οι μηχανές σας επικοινωνούν μεταξύ τους για να ανταλλάξουν πληροφορίες και για να εξασφαλίσουν την ομαλή ροή των αγαθών στη γραμμή παραγωγής σας;
19. Μπορείτε να παρακολουθείτε την κίνηση των αποθεμάτων μέσω της παραγωγής και των εσωτερικών logistics σας;

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

20. Η εταιρεία έχει κατανοήσει την αξία και τα οφέλη των τεχνολογιών βιομηχανίας 4.0;
21. Η εταιρεία έχει κατανοήσει την ανάγκη μιας συγκεκριμένης στρατηγικής για την εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0;
22. Η εταιρεία έχει δεσμευτεί να επενδύσει στην εφαρμογή του Industry 4.0;
23. Πόσο έμπειροι γνώστες των τεχνολογιών I4.0 οι άνθρωποι στην εταιρεία σας; σε ποια τμήματα;
24. Πόσο συνεργάζονται τα τμήματα μεταξύ τους ;
25. Ποιες από τις παραπάνω τεχνολογίες έχει δρομολογήσει η εταιρεία προς υλοποίηση;
26. Ποιες από τις παραπάνω τεχνολογίες πιστεύετε ότι πρέπει να δρομολογηθούν προς όφελος της εταιρείας ;
27. Η εταιρεία κάνει ανάλυση κόστους /ωφέλειας των επενδύσεων στο I4.0?

KPI

28. Χρησιμοποιείτε δείκτες απόδοσης ; Αν ναι , ποιους συγκεκριμένα;
29. Αν χρησιμοποιείτε, ποιους συγκεκριμένα δείκτες θα θελήσετε να βελτιωθείτε με την υιοθέτηση του I4.0;
30. Αν δεν χρησιμοποιείτε, Σε ποιους από τους παραπάνω τομείς μπορεί το Industry 4.0 να βελτιώσει τις δραστηριότητές σας;

ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ

31. Ποιες προκλήσεις και δυσκολίες βλέπετε μόνοι σας σχετικά με το Industry 4.0;
32. Παρακαλώ αναφέρετε τις τεχνολογικές προκλήσεις που πιστεύετε ότι είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπίσετε.
33. Όταν αντιμετωπίζετε τις προκλήσεις του (.....), τι μπορείτε να κάνετε για να ξεπεράσετε αυτές τις προκλήσεις;
34. Παρακαλώ αναφέρετε τις οργανωτικές προκλήσεις που πιστεύετε ότι είναι πιο δύσκολο να αντιμετωπίσετε.
35. Έχετε συναντήσει / πιστεύετε ότι θα συναντήσετε δυσκολίες κατά την εφαρμογή των τεχνολογιών του I4.0 εξαιτίας έλλειψης κατάλληλων δεξιοτήτων του προσωπικού; Πιστεύετε ότι με την κατάλληλη εκπαίδευση θα ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες;
36. Εάν η επιχείρησή σας δεν εφαρμόζει κάποιες από τις τεχνολογίες του Industry 4.0, ποιοι πιστεύετε ότι είναι οι κύριοι παράγοντες;

Προσάρτημα 2.

Ερωτηματολόγιο

Βιομηχανία 4.0: Διερεύνηση της υιοθέτησης της στις Ελληνικές βιομηχανίες τροφίμων

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της Διπλωματικής μου εργασίας, παρακαλώ για τη στήριξή σας μέσω της συμμετοχής σας στην έρευνα απαντώντας στο παρακάτω ερωτηματολόγιο. Η συμπλήρωσή του απαιτεί μόλις 10 λεπτά από τον χρόνο σας.
Τζιαμπόζης Κων/νος

* Απαιτείται

1. Σε ποιά εταιρία εργάζεστε: *

2. Ποιά είναι η θέση σας στην εταιρία και τα καθήκοντα σας (συνοπτικά): *

3. Ποιό είναι το μορφωτικό σας επίπεδο : *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη.

- Γυμνάσιο
- Λύκειο
- Α.Τ.Ε.Ι
- Α.Ε.Ι
- Μεταπτυχιακό
- Διδακτορικό

4. Πόσο ενημερωμένος/η είστε για τις παρακάτω τεχνολογίες: *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη ανά σειρά.

	Καθόλου	Λίγο	Μέτρια	Πολύ	Πάρα πολύ
Ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από παραγωγή/μηχανές /αισθητήρες /πωλήσεις (Big data and analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ρομποτικά συστήματα (Autonomous Robots)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Προσομοίωση -παραγωγής, πωλήσεων, παραγγελιών, συντήρησης (Simulation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Επικοινωνία συστημάτων, αισθητήρων και υπολογιστών μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένος έλεγχος και επίβλεψη (IIoT)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κυβερνοασφάλεια- προστασία των συστημάτων του εργοστασίου από κυβερνοεπιθέσεις (Cybersecurity)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cloud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3Δ εκτύπωση (Additive Manufacturing)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Επαυξημένη
πραγματικότητα
(Augmented Reality)

Οριζόντια
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
παραγωγής από την
πρώτη ύλη έως το
τελικό προϊόν
(Horizontal
integration)

Κάθετη
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
προβλεψής
πωλήσεων,
παραγωγειοληψίας,
παραγωγής,
αποθήκευσης
(Vertical integration)

5. Ποιες από τις παρακάτω τεχνολογίες γνωρίζετε ότι ήδη χρησιμοποιούνται * στην εταιρία που εργάζεστε;

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη ανά σειρά.

	Καθόλου	Λίγο	Μέτρια	Πολύ	Πάρα πολύ	Δεν γνωρίζω
Ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από παραγωγή/μηχανές /αισθητήρες /πωλήσεις (Big data and analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ρομποτικά συστήματα (Autonomous Robots)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Προσομοίωση -παραγωγής, πωλήσεων, παραγγελιών, συντήρησης (Simulation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Επικοινωνία συστημάτων, αισθητήρων και υπολογιστών μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένος έλεγχος και επίβλεψη (IIoT)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κυβερνοασφάλεια- προστασία των συστημάτων του εργοστασίου από κυβερνοεπιθέσεις (Cybersecurity)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Χρήση Cloud υπηρεσιών για επεξεργασία δεδομένων παραγωγειοληψίας,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

παραγωγής,
συντήρησης,
επιβλεψής,
αποθήκευσης

3Δ εκτύπωση
(Additive
Manufacturing)

Επαυξημένη
πραγματικότητα
(Augmented Reality)

Οριζόντια
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
παραγωγής από την
πρώτη ύλη έως το
τελικό προϊόν
(Horizontal
integration)

Κάθετη
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
προβλεψής
πωλήσεων,
παραγγελειοληψίας,
παραγωγής,
αποθήκευσης
(Vertical integration)

6. Ποιες από τις παρακάτω τεχνολογίες γνωρίζετε ότι πρόκειται να υλοποιηθούν στην εταιρία που εργάζεστε; *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη ανά σειρά.

	Καθόλου	Λίγο	Μέτρια	Πολύ	Πάρα πολύ	Δεν γνωρίζω
Ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από παραγωγή/μηχανές /αισθητήρες /πωλήσεις (Big data and analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ρομποτικά συστήματα (Autonomous Robots)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Προσομοίωση -παραγωγής, πωλήσεων, παραγγελιών, συντήρησης (Simulation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Επικοινωνία συστημάτων, αισθητήρων και υπολογιστών μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένος έλεγχος και επίβλεψη (IIoT)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κυβερνοασφάλεια - προστασία των συστημάτων του εργοστασίου από κυβερνοεπιθέσεις (Cybersecurity)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Χρήση Cloud υπηρεσιών για επεξεργασία δεδομένων παραγγελειοληψίας.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

παραγωγής,
συντήρησης,
επιβλεψής,
αποθήκευσης

3Δ εκτύπωση
(Additive
Manufacturing)

Επαυξημένη
πραγματικότητα
(Augmented Reality)

Οριζόντια
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
παραγωγής απο την
πρώτη ύλη έως το
τελικό προϊόν
(Horizontal
integration)

Κάθετη
ολοκλήρωση: Πόσο
συνδεδεμένα είναι
μεταξύ τους τα
συστήματα
προβλεψής
πωλήσεων,
παραγγελιοληψίας,
παραγωγής,
αποθήκευσης
(Vertical integration)

7. Ποιες από τις παρακάτω τεχνολογίες πιστεύετε ότι θα έπρεπε να δρομολογηθούν προς όφελος της εταιρείας; *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη ανά σειρά.

	Καθόλου	Λίγο	Μέτρια	Πολύ	Πάρα πολύ	Δεν γνωρίζω
Ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από παραγωγή/μηχανές /αισθητήρες /πωλήσεις (Big data and analytics)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ρομποτικά συστήματα (Autonomous Robots)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Προσομοίωση -παραγωγής, πωλήσεων, παραγγελιών, συντήρησης (Simulation)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Επικοινωνία συστημάτων, αισθητήρων και υπολογιστών μεταξύ τους σε πραγματικό χρόνο και απομακρυσμένος έλεγχος και επίβλεψη (IIoT)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Κυβερνοασφάλεια - προστασία των συστημάτων του εργοστασίου από κυβερνοεπιθέσεις (Cybersecurity)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Χρήση Cloud υπηρεσιών για επεξεργασία δεδομένων παραγγελειοληψίας,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

<p>παραγωγής, συντήρησης, επιβλεψής, αποθήκευσης</p>	<hr/>					
<p>3Δ εκτύπωση (Additive Manufacturing)</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<p>Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality)</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<p>Οριζόντια ολοκλήρωση: Πόσο συνδεδεμένα είναι μεταξύ τους τα συστήματα παραγωγής από την πρώτη ύλη έως το τελικό προϊόν (Horizontal integration)</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<p>Κάθετη ολοκλήρωση: Πόσο συνδεδεμένα είναι μεταξύ τους τα συστήματα προβλεψής πωλήσεων, παραγγελειοληψίας, παραγωγής, αποθήκευσης (Vertical integration)</p>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Χρησιμοποιείτε δείκτες απόδοσης : *

Να επισημαίνεται μόνο μία έλλειψη.

Ναι

Όχι

9. Αν χρησιμοποιείτε, ποιους συγκεκριμένα δείκτες θα θελήσετε να βελτιώσετε με την υιοθέτηση του I4.0 εφαρμόζοντας ποια τεχνολογία;

10. Αν δεν χρησιμοποιείτε, σε ποιους από τους παρακάτω τομείς μπορεί το Industry 4.0 να βελτιώσει τις δραστηριότητές σας;

11. Ποιες γενικές δυσκολίες βλέπετε μόνοι σας σχετικά με την υιοθέτηση του Industry 4.0; *

Επιλέξτε όλα όσα ισχύουν.

- Υψηλό κόστος επένδυσης
- Η εταιρεία δεν έχει κατανοήσει την αξία και τα οφέλη των τεχνολογιών βιομηχανίας 4.0
- Ασυμβατότητα συστημάτων. Ελλείψη βασικής τεχνικής υποδομής
- Ελλείψη προσωπικού με συγκεκριμένες δεξιότητες I4.0
- Απροθυμία του προσωπικού να συναινέσει στις αλλαγές. Ελλείψη συνεργασίας
- Άλλο: _____

12. Εάν η επιχείρησή σας δεν εφαρμόζει κάποιες τεχνολογίες του Industry 4.0, ποιοι πιστεύετε ότι είναι οι κύριοι παράγοντες; *

Επιλέξτε όλα όσα ισχύουν.

- Υψηλό κόστος επένδυσης
- Η εταιρεία δεν έχει κατανοήσει την αξία και τα οφέλη των τεχνολογιών βιομηχανίας 4.0
- Ασυμβατότητα συστημάτων. Ελλείψη βασικής τεχνικής υποδομής
- Ελλείψη προσωπικού με συγκεκριμένες δεξιότητες I4.0
- Απραθυμία του προσωπικού να συναινέσει στις αλλαγές. Ελλείψη συνεργασίας
- Άλλο: _____

Αυτό το περιεχόμενο δεν έχει δημιουργηθεί και δεν έχει εγκριθεί από την Google.

Google Φόρμες