



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ
ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ



Οικοσύστημα Κυκλικής Οικονομίας βασισμένο στην
ΤΝ: Ανάλυση ενδιαφερόμενων μερών

Παπακωνσταντίνου Μαρία
3262024012, icsdm624012@icsd.aegean.gr

Επιβλέπων καθηγητής: Αλεξόπουλος Χαράλαμπος

ΜΑΡΤΙΟΣ 2026
www.aegean.icsd.gr/is-lab

Η Διπλωματική Εργασία παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του Πανεπιστημίου Αιγαίου
Σε Μερική Εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του μεταπτυχιακού
διπλώματος ειδίκευσης «Ηλεκτρονική Διακυβέρνηση»

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ
ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ
ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΑΡΙΑΣ

ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, Επιβλέπων

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΛΟΥΚΗΣ ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

Δρ. ΣΑΡΑΝΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών
και Επικοινωνιακών Συστημάτων

© 2026

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Πρόλογος

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί για εμένα μια ιδιαίτερα σημαντική ακαδημαϊκή και προσωπική διαδρομή. Η ενασχόληση με ένα τόσο σύνθετο και δυναμικό πεδίο, όπως η διασύνδεση της Τεχνητής Νοημοσύνης με την Κυκλική Οικονομία και τη διακυβέρνηση των ενδιαφερομένων μερών, υπήρξε πρόκληση που απαίτησε συστηματική μελέτη, κριτική σκέψη και διαρκή αναστοχασμό. Η πορεία αυτή δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς τη συμβολή και τη στήριξη σημαντικών ανθρώπων, τους οποίους επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά.

Καταρχάς, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Καθηγητή μου για την καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη και τις εύστοχες παρατηρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής. Η διαθεσιμότητα, η εμπιστοσύνη και η ενθάρρυνση που μου παρείχε συνέβαλαν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της ερευνητικής σκέψης και στη βελτίωση της ποιότητας της εργασίας. Η κριτική του ματιά αποτέλεσε πολύτιμο εργαλείο εμβάθυνσης και αναστοχασμού.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής για τον χρόνο και την προσοχή που αφιέρωσαν στην αξιολόγηση της εργασίας μου, καθώς και για τα σχόλια και τις υποδείξεις τους, που συνέβαλαν στην περαιτέρω βελτίωσή της. Η ακαδημαϊκή τους εμπειρία και η επιστημονική τους γνώση αποτέλεσαν σημαντικό σημείο αναφοράς κατά την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στους συμφοιτητές και συνεργάτες μου, με τους οποίους ανταλλάξαμε ιδέες, προβληματισμούς και απόψεις κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Οι συζητήσεις μας, τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και σε προσωπικό επίπεδο, συνέβαλαν ουσιαστικά στη διεύρυνση της οπτικής μου και στην ενίσχυση της ερευνητικής μου αυτοπεποίθησης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον σύζυγό μου για την αδιάλειπτη στήριξη, την κατανόηση και την υπομονή που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών και της συγγραφής της εργασίας. Η ηθική και συναισθηματική του υποστήριξη αποτέλεσε σταθερό θεμέλιο σε κάθε στάδιο αυτής της προσπάθειας.

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν συλλογικής έμπνευσης και υποστήριξης, και σε όλους όσους συνέβαλαν, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωσή της εκφράζω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη διασύνδεση της Κυκλικής Οικονομίας με την Τεχνητή Νοημοσύνη υπό το πρίσμα της Θεωρίας Ενδιαφερομένων και της οικοσυστημικής προσέγγισης, με στόχο την ανάπτυξη ενός εννοιολογικού πλαισίου ανάλυσης ενδιαφερομένων (*stakeholder analysis*) για AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα. Ο βασικός σκοπός της έρευνας είναι η εις βάθος κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως επιταχυντής της κυκλικής μετάβασης και πώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ δημόσιων φορέων, επιχειρήσεων, τεχνολογικών παρόχων και κοινωνίας των πολιτών διαμορφώνουν τη δομή, τη λειτουργία και τη διακυβέρνηση των κυκλικών οικοσυστημάτων. Η εργασία επιδιώκει να γεφυρώσει τη θεωρητική συζήτηση περί Κυκλικής Οικονομίας και ψηφιακού μετασχηματισμού με πρακτικές εφαρμογές και πολιτικές προεκτάσεις, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση μιας ολιστικής και συστημικής κατανόησης του φαινομένου.

Μεθοδολογικά, η έρευνα στηρίζεται σε συνδυασμό συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης (*Systematic Literature Review – SLR*) και ανάλυσης επιλεγμένων μελετών περίπτωσης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση χαρτογραφεί την εξέλιξη των εννοιών της Κυκλικής Οικονομίας, των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, της Τεχνητής Νοημοσύνης για βιώσιμη ανάπτυξη και της *stakeholder theory*, αναδεικνύοντας τα σημεία σύγκλισης και τα ερευνητικά κενά. Παράλληλα, οι μελέτες περίπτωσης – όπως τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων, τα *material passports* στον κατασκευαστικό τομέα και οι ρομποτικές εφαρμογές διαλογής αποβλήτων – αναλύονται με στόχο την εμπειρική αποτύπωση των ροών αξίας και δεδομένων, των ρόλων των εμπλεκόμενων φορέων και των μηχανισμών διακυβέρνησης που αναπτύσσονται σε πραγματικά κυκλικά οικοσυστήματα. Η ανάλυση βασίζεται σε εννοιολογική χαρτογράφηση και συγκριτική αξιολόγηση, χωρίς στατιστική γενίκευση, εστιάζοντας στην εμβάθυνση και στην ανάπτυξη θεωρητικών συσχετίσεων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας καταδεικνύουν ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη δύναται να ενισχύσει ουσιαστικά την κυκλικότητα μέσω της βελτιστοποίησης ροών πόρων, της ενίσχυσης της ιχνηλασιμότητας, της υποστήριξης προγνωστικών μοντέλων και της διασύνδεσης ετερογενών δεδομένων σε επίπεδο οικοσυστήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των AI-backed κυκλικών πρακτικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διακυβέρνηση των ενδιαφερομένων και την ύπαρξη θεσμικών μηχανισμών συντονισμού. Διαπιστώνεται ότι όπου απουσιάζει συστηματική *stakeholder analysis* και σαφής κατανομή ρόλων, οι τεχνολογικές λύσεις παραμένουν αποσπασματικές ή περιορισμένης κλίμακας. Αντιθέτως, σε περιβάλλοντα με ενισχυμένη συνεργασία και κοινά πρότυπα δεδομένων, η κυκλικότητα αποκτά δυναμικό χαρακτήρα και δυνατότητα κλιμάκωσης. Επιπλέον, η έρευνα αναδεικνύει ότι η ενσωμάτωση της ΤΝ δημιουργεί νέα ζητήματα ισχύος, λογοδοσίας και ηθικής, τα οποία απαιτούν ανάπτυξη πλαισίων υπεύθυνης διακυβέρνησης.

Λέξεις - Κλειδιά: Κυκλική Οικονομία, Τεχνητή Νοημοσύνη, Ανάλυση Ενδιαφερομένων, Κυκλικά Οικοσυστήματα, Ψηφιακός Μετασχηματισμός, Διακυβέρνηση, Κυκλικά Επιχειρηματικά Μοντέλα

Abstract

This thesis investigates the interconnection between the Circular Economy and Artificial Intelligence through the lens of Stakeholder Theory and the ecosystem perspective, aiming to develop a conceptual stakeholder analysis framework for AI-backed circular ecosystems. The primary objective of the research is to provide an in-depth understanding of how Artificial Intelligence functions as an accelerator of the circular transition and how interactions among public authorities, businesses, technology providers, and civil society shape the structure, operation, and governance of circular ecosystems. The study seeks to bridge the theoretical discourse on the Circular Economy and digital transformation with practical applications and policy implications, contributing to a holistic and systemic understanding of the phenomenon.

Methodologically, the research combines a Systematic Literature Review (SLR) with the analysis of selected case studies. The literature review maps the evolution of key concepts related to the Circular Economy, circular business models, Artificial Intelligence for sustainable development, and stakeholder theory, identifying areas of convergence and research gaps. In parallel, case studies—such as digital product passports, material passports in the construction sector, and AI-enabled robotic waste sorting—are examined to empirically capture value and data flows, stakeholder roles, and governance mechanisms within real-world circular ecosystems. The analysis relies on conceptual mapping and comparative evaluation, focusing on theoretical deepening rather than statistical generalization.

The findings indicate that Artificial Intelligence can substantially enhance circularity by optimizing resource flows, improving traceability, supporting predictive models, and integrating heterogeneous data at the ecosystem level. However, the effectiveness of AI-backed circular practices largely depends on stakeholder governance and the presence of institutional coordination mechanisms. Where systematic stakeholder analysis and clear role allocation are absent, technological solutions remain fragmented or limited in scale. Conversely, in environments characterized by enhanced collaboration and shared data standards, circularity becomes dynamic and scalable. Furthermore, the study highlights that the integration of AI introduces new challenges related to power distribution, accountability, and ethics, requiring the development of responsible governance frameworks.

Keywords: Circular Economy, Artificial Intelligence, Stakeholder Analysis, Circular Ecosystems, Digital Transformation, Governance, Circular Business Models

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή	9
1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο της έρευνας.....	9
1.2 Κυκλική Οικονομία και σύγχρονες προκλήσεις βιωσιμότητας.....	9
1.3 Ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στον ψηφιακό και βιώσιμο μετασχηματισμό.....	10
1.4 Σκοπός και στόχοι της διπλωματικής εργασίας	11
1.5 Ερευνητικά ερωτήματα	12
1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	12
2. Θεωρητικό Πλαίσιο	13
2.1 Κυκλική Οικονομία: έννοιες, ορισμοί και εξελικτική πορεία.....	13
2.2 Κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα	15
2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη και εφαρμογές στη βιώσιμη ανάπτυξη.....	17
2.4 Τεχνητή Νοημοσύνη ως επιταχυντής της Κυκλικής Οικονομίας	19
2.5 Θεωρία Ενδιαφερομένων (Stakeholder Theory)	21
2.6 Stakeholder Analysis και περιβαλλοντική διακυβέρνηση	24
2.7 Οικοσυστήματα και προσέγγιση ecosystem mapping.....	26
3. Μεθοδολογία Έρευνας.....	30
3.1 Ερευνητική προσέγγιση και τύπος μελέτης.....	30
3.2 Συλλογή δεδομένων.....	31
3.3 Επιλογή και περιγραφή μελετών περίπτωσης.....	32
3.4 Μέθοδοι ανάλυσης	32
3.5 Περιορισμοί της μεθοδολογίας.....	33
4. Χαρτογράφηση και Ανάλυση Εμπλεκόμενων Μερών στο Πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας με Υποστήριξη TN	35
4.1 Τυπολογία stakeholders.....	35
4.2 Ρόλοι και διαστάσεις επιρροής.....	38
4.3 AI governance parameters	40
4.4 Conceptual stakeholder–ecosystem model	43
5. Χαρτογράφηση AI-Backed Κυκλικών Οικοσυστημάτων	46
5.1 Δομή οικοσυστήματος	46
5.2 Ροές αξίας και δεδομένων	49
5.3 Σχέσεις και δυναμική	51
6. Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	55
6.1 Εννοιολογική Θεμελίωση της Κυκλικής Οικονομίας.....	55
6.1.1 Arruda et al. (2021): Χαρτογράφηση της εξέλιξης της Κυκλικής Οικονομίας (2015–2020).....	55

6.1.2 Kirchherr et al. (2023): Αναστοχαστική επαναθεμελίωση μέσω ανάλυσης 221 ορισμών.....	56
6.2 Κυκλικά Επιχειρηματικά Μοντέλα (Circular Business Models – CBMs).....	58
6.2.1 Islam et al. (2024): Ανασκόπηση Πλαισίων Κυκλικών Επιχειρηματικών Μοντέλων	58
6.2.2 Islam et al. (2025): Συστηματική Ανασκόπηση και Μελλοντικές Κατευθύνσεις ...	59
6.3 Θεωρία Ενδιαφερομένων & Συμμετοχική Διακυβέρνηση.....	60
6.3.1 Mahajan et al. (2023): Ανασύνθεση της Θεωρίας των Ενδιαφερομένων	61
6.3.2 Newig et al. (2023): Μετα-Ανάλυση Συμμετοχικής Διακυβέρνησης	62
6.3.3 Teodoro & Prell (2023): Δικτυακή Ανάλυση και Μαθησιακά Αποτελέσματα	62
6.4 Οικοσυστημική Προσέγγιση & Χαρτογράφηση Δικτύων	63
6.4.1 Barraclough et al. (2022): Χαρτογράφηση Δικτύων και Συν-Παραγωγή Οικοσυστημικών Υπηρεσιών	64
6.4.2 Flaig et al. (2025): Σχεδιαστικά Προσανατολισμένη Εμπλοκή σε Οικοσυστήματα Υπηρεσιών	64
6.4.3 Xu & Peng (2024): Οικοσυστημικές Υπηρεσίες και Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης ..	65
6.5 Τεχνητή Νοημοσύνη και Κυκλική Μετάβαση	66
6.5.1 Vinuesa et al. (2020): Η Δυναμική Επίδραση της ΤΝ στους SDGs	66
6.5.2 Raut et al. (2025): Κριτική Ανάλυση Εφαρμογών ΤΝ στην Κυκλική Οικονομία.....	67
6.5.3 Toderas (2025): Συστηματική Ανασκόπηση AI for Sustainability.....	68
6.6 Συνολική Αποτίμηση και Κριτικός Σχολιασμός του Πίνακα Συστηματικής Ανασκόπησης	69
7. Μελέτες Περίπτωσης (Case Studies).....	72
7.1 Case Study I: EU Digital Product Passport & Battery Regulation	72
7.1.1 Δομή οικοσυστήματος και βασικοί stakeholders	72
7.1.2 Ροές δεδομένων και ιχνηλασιμότητα	73
7.1.3 Ροές αξίας και κανονιστική συμμόρφωση	73
7.1.4 Governance gaps και προκλήσεις διαλειτουργικότητας.....	74
7.2 Case Study II: AI-Powered Smart Waste Sorting Facilities	74
7.2.1 Τεχνολογική αρχιτεκτονική και AI pipeline	75
7.2.2 Οικοσύστημα δρώντων (δήμοι – operators – vendors).....	75
7.2.3 Δυναμική ισχύος και ιδιοκτησία δεδομένων	76
7.2.4 Αλγοριθμική διαφάνεια και ρυθμιστικά ζητήματα.....	76
7.3 Case Study III: Material Passports & Circular Construction Ecosystems	77
7.3.1 Ψηφιακή υποδομή και data layer (BIM – passports).....	77
7.3.2 Stakeholder network και residual value logic	78
7.3.3 Ροές αξίας σε δευτερογενείς αγορές υλικών.....	79

7.3.4 Θεσμικά κενά και πρότυπα διαλειτουργικότητας	79
8. Συζήτηση	82
8.1 Σύνθεση SLR και Case Studies	82
8.2 Θεωρητικές προεκτάσεις	84
8.3 Πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις.....	84
Διαδικασία διαμόρφωσης του πίνακα πολιτικών και στρατηγικών επιπτώσεων.....	85
Στάδιο 1: Εξαγωγή βασικών ευρημάτων (Findings Extraction)	85
Στάδιο 2: Θεματική ομαδοποίηση ευρημάτων (Thematic Clustering)	86
Στάδιο 3: Μετατροπή θεματικών σε πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις (Analytical Translation).....	86
9. Συμπεράσματα	89
10. Αναφορές	92
11. Άρθρα Ανασκόπησης.....	97
12. Case studies	99

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στο αντικείμενο της έρευνας

Οι σύγχρονες κοινωνίες βρίσκονται αντιμέτωπες με μια πολλαπλή κρίση που αφορά την εξάντληση φυσικών πόρων, την κλιματική αλλαγή, την απώλεια βιοποικιλότητας και τη διεύρυνση κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων. Τα προβλήματα αυτά δεν μπορούν πλέον να αντιμετωπιστούν μέσω αποσπασματικών πολιτικών ή γραμμικών οικονομικών προσεγγίσεων, καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, αλληλεξάρτησης και αβεβαιότητας. Στο πλαίσιο αυτό, η Κυκλική Οικονομία έχει αναδειχθεί ως ένα εναλλακτικό παράδειγμα βιώσιμης ανάπτυξης που επιχειρεί να επαναπροσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο παράγεται, καταναλώνεται και διαχειρίζεται η αξία στο οικονομικό σύστημα (Geissdoerfer et al., 2017).

Παράλληλα, η ραγδαία ανάπτυξη ψηφιακών τεχνολογιών και ειδικότερα της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) δημιουργεί νέες δυνατότητες αλλά και προκλήσεις για τη βιώσιμη μετάβαση. Η TN καθιστά εφικτή τη διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων, την ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων και τη δυναμική υποστήριξη λήψης αποφάσεων, στοιχεία κρίσιμα για τη λειτουργία κυκλικών οικοσυστημάτων. Ωστόσο, η τεχνολογική αυτή δυναμική δεν λειτουργεί σε κενό, αλλά εντάσσεται σε πλέγματα κοινωνικών, οικονομικών και θεσμικών σχέσεων. Για τον λόγο αυτό, η κατανόηση του ρόλου των ενδιαφερομένων μερών και της διακυβέρνησης καθίσταται κομβική για την επιτυχή υλοποίηση της Κυκλικής Οικονομίας (Freeman, 1984· Bendtsen et al., 2021). Η παρούσα έρευνα τοποθετείται ακριβώς σε αυτό το σημείο τομής, εξετάζοντας την Κυκλική Οικονομία ως κοινωνικοτεχνικό σύστημα, εντός του οποίου η TN λειτουργεί ως επιταχυντής και οι stakeholders ως φορείς διαμόρφωσης και εφαρμογής της αλλαγής.

1.2 Κυκλική Οικονομία και σύγχρονες προκλήσεις βιωσιμότητας

Η Κυκλική Οικονομία έχει καθιερωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία ως απάντηση στις εγγενείς αδυναμίες του γραμμικού μοντέλου παραγωγής και κατανάλωσης. Αντί της συνεχούς εξόρυξης και απόρριψης πόρων, προωθεί τη διατήρηση της αξίας υλικών και προϊόντων μέσω επαναχρησιμοποίησης, επισκευής, ανακατασκευής και ανακύκλωσης (Kirchherr, Reike & Hekkert, 2017). Παρά τη φαινομενική της απλότητα, η έννοια της Κυκλικής Οικονομίας παραμένει εννοιολογικά σύνθετη και, όπως επισημαίνουν οι Korhonen et al. (2018), συνιστά ένα «ουσιωδώς αμφισβητούμενο» πλαίσιο, στο οποίο συνυπάρχουν διαφορετικές προτεραιότητες και ερμηνείες.

Η σύγχρονη ερευνητική συζήτηση αναδεικνύει ότι η Κυκλική Οικονομία δεν αποτελεί απλώς περιβαλλοντική στρατηγική, αλλά ευρύτερο κοινωνικοοικονομικό μετασχηματισμό. Οι Lahane et al. (2021) δείχνουν ότι το πεδίο έχει εξελιχθεί από θεωρητικές προσεγγίσεις σε εφαρμοσμένες μελέτες που εστιάζουν σε επιχειρηματικά μοντέλα, εφοδιαστικές αλυσίδες και διακυβέρνηση. Αντίστοιχα, η ανάλυση των ορισμών της Κυκλικής Οικονομίας καταδεικνύει ότι οι περιβαλλοντικοί στόχοι συνδέονται όλο και περισσότερο με ζητήματα κοινωνικής αξίας, καινοτομίας και ανθεκτικότητας (Kirchherr et al., 2023· Sardonianou et al., 2024).

Σε πολιτικό επίπεδο, η Κυκλική Οικονομία έχει ενσωματωθεί σε στρατηγικά πλαίσια βιωσιμότητας, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το οποίο αναγνωρίζει ρητά την ανάγκη συστημικής προσέγγισης και συμμετοχής πολλαπλών ενδιαφερομένων (European Commission, 2020). Ωστόσο, η μετάβαση στην κυκλικότητα συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως η πολυπλοκότητα συντονισμού διαφορετικών δρώντων, οι αντικρουόμενες οικονομικές επιδιώξεις και τα κενά διακυβέρνησης. Οι Minoja και Romano (2024) επισημαίνουν ότι χωρίς αποτελεσματική stakeholder governance, οι κυκλικές στρατηγικές κινδυνεύουν να παραμείνουν αποσπασματικές ή να περιοριστούν σε επίπεδο ρητορικής.

1.3 Ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης στον ψηφιακό και βιώσιμο μετασχηματισμό

Η Τεχνητή Νοημοσύνη αναγνωρίζεται διεθνώς ως βασικός μοχλός του ψηφιακού μετασχηματισμού και ως τεχνολογία γενικού σκοπού με δυνητικά καθοριστική συμβολή στη βιώσιμη ανάπτυξη. Η ικανότητά της να επεξεργάζεται μεγάλους όγκους δεδομένων, να εντοπίζει πρότυπα και να υποστηρίζει προγνωστική ανάλυση καθιστά την ΤΝ ιδιαίτερα κατάλληλη για την αντιμετώπιση σύνθετων περιβαλλοντικών και οικονομικών προκλήσεων (Gohr et al., 2025). Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, η ΤΝ επιτρέπει τη βελτιστοποίηση ροών πόρων, τη διαχείριση κύκλων ζωής προϊόντων και τη στήριξη κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019).

Η βιβλιογραφία δείχνει ότι η ΤΝ δεν λειτουργεί απλώς ως τεχνολογικό εργαλείο, αλλά ως καταλύτης συστημικής αλλαγής. Οι Pathan et al. (2023) αναδεικνύουν ότι οι εφαρμογές ΤΝ σε κυκλικές δραστηριότητες ενισχύουν τη διαφάνεια, τη συνεργασία και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων, ιδίως όταν εντάσσονται σε ευρύτερα οικοσυστήματα καινοτομίας. Παράλληλα, η ενσωμάτωση της ΤΝ εγείρει κρίσιμα ζητήματα διακυβέρνησης,

δεοντολογίας και ισότητας, τα οποία απαιτούν συμμετοχικές προσεγγίσεις και συστηματική ανάλυση ενδιαφερομένων (Bendtsen et al., 2021· Hoare et al., 2023).

Συνεπώς, ο ρόλος της ΤΝ στον βιώσιμο μετασχηματισμό δεν μπορεί να αξιολογηθεί ανεξάρτητα από τα κοινωνικά και θεσμικά πλαίσια μέσα στα οποία εφαρμόζεται. Η σύνδεσή της με τη Θεωρία Ενδιαφερομένων (Freeman, 1984) επιτρέπει την κατανόηση της τεχνολογίας ως μέρους ενός δυναμικού οικοσυστήματος, όπου η αξία συν-δημιουργείται μέσω συνεργασίας, διαπραγμάτευσης και διακυβέρνησης. Η παρούσα εργασία υιοθετεί αυτή την οπτική, θέτοντας τα θεμέλια για τη συστηματική ανάλυση των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

1.4 Σκοπός και στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εις βάθος κατανόηση και ανάλυση του οικοσυστήματος της Κυκλικής Οικονομίας υπό το πρίσμα της Τεχνητής Νοημοσύνης, με έμφαση στον ρόλο, τις αλληλεπιδράσεις και τη διακυβέρνηση των ενδιαφερομένων μερών (stakeholders). Η εργασία επιδιώκει να γεφυρώσει το θεωρητικό υπόβαθρο της Κυκλικής Οικονομίας και της Θεωρίας Ενδιαφερομένων με εφαρμοσμένες πρακτικές που αξιοποιούν τεχνολογίες ΤΝ, αναδεικνύοντας πώς η τεχνολογία αυτή λειτουργεί ως επιταχυντής κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και οικοσυστημικών μετασχηματισμών.

Ειδικότερα, οι βασικοί στόχοι της διπλωματικής εργασίας είναι:

- α) η συστηματική χαρτογράφηση των βασικών κατηγοριών ενδιαφερομένων που εμπλέκονται σε AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα,
- β) η ανάλυση των ρόλων, των κινήτρων και των σχέσεων επιρροής μεταξύ των stakeholders,
- γ) η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η Τεχνητή Νοημοσύνη επηρεάζει τη δομή, τη λειτουργία και τη διακυβέρνηση των κυκλικών οικοσυστημάτων,
- δ) η διαμόρφωση ενός εννοιολογικού πλαισίου χαρτογράφησης και ανάλυσης των εμπλεκόμενων μερών στο περιβάλλον της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη ΤΝ, βάσει της υφιστάμενης θεωρίας και βιβλιογραφίας.
- ε) η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων που μπορούν να υποστηρίξουν τη χάραξη πολιτικών και τη στρατηγική λήψη αποφάσεων σε επιχειρησιακό και θεσμικό επίπεδο.

Η εργασία δεν αποσκοπεί στη στατιστική γενίκευση, αλλά στη θεωρητική και εννοιολογική εμβάθυνση ενός αναδυόμενου πεδίου, συμβάλλοντας στη συγκρότηση γνώσης γύρω από τη διακυβέρνηση, τη συνεργασία και τη συν-δημιουργία αξίας σε κυκλικά οικοσυστήματα.

1.5 Ερευνητικά ερωτήματα

Με βάση τον σκοπό και τους στόχους της εργασίας, διατυπώνονται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία καθοδηγούν τη θεωρητική και εμπειρική ανάλυση:

1. Ποιοι είναι οι βασικοί ενδιαφερόμενοι φορείς που συγκροτούν τα οικοσυστήματα της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης και ποιοι ρόλοι τους αποδίδονται;
2. Με ποιους τρόπους η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως επιταχυντής ή μετασχηματιστής κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και οικοσυστημικών δομών;
3. Ποιες προκλήσεις και ποιες ευκαιρίες προκύπτουν για τη χάραξη πολιτικής και τη στρατηγική διαχείριση ενδιαφερομένων στην Κυκλική Οικονομία με υποστήριξη ΤΝ;

1.6 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε επτά κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1 εισάγει το αντικείμενο της έρευνας, παρουσιάζει τον σκοπό, τους στόχους και τα ερευνητικά ερωτήματα. Το Κεφάλαιο 2 αναπτύσσει το θεωρητικό πλαίσιο, καλύπτοντας την Κυκλική Οικονομία, τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα, την Τεχνητή Νοημοσύνη, τη Θεωρία Ενδιαφερομένων και την οικοσυστημική προσέγγιση. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία της έρευνας. Το Κεφάλαιο 4 επικεντρώνεται στο πλαίσιο stakeholder analysis που προκύπτει από τη θεωρητική και εμπειρική ανάλυση. Το Κεφάλαιο 5 εξετάζει το οικοσύστημα της Κυκλικής Οικονομίας και τους βασικούς stakeholders. Το Κεφάλαιο 6 παρουσιάζει και αναλύει τα επιλεγμένα case studies. Τέλος, το Κεφάλαιο 7 συνοψίζει τα ευρήματα, συζητά τις επιστημονικές και πρακτικές συνεισφορές της εργασίας και προτείνει κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Θεωρητικό Πλαίσιο

2.1 Κυκλική Οικονομία: έννοιες, ορισμοί και εξελικτική πορεία

Η Κυκλική Οικονομία (Circular Economy – CE) έχει αναδειχθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε ένα από τα πλέον κεντρικά και ταυτόχρονα αμφισβητούμενα εννοιολογικά πλαίσια της σύγχρονης συζήτησης για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Σε αντίθεση με το κυρίαρχο γραμμικό οικονομικό πρότυπο «εξόρυξη–παραγωγή–κατανάλωση–απόρριψη», η Κυκλική Οικονομία προτείνει μια συστημική αναδιάρθρωση των οικονομικών και παραγωγικών διαδικασιών με στόχο τη διατήρηση της αξίας των πόρων, των υλικών και της ενέργειας εντός του οικονομικού συστήματος για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Geissdoerfer et al., 2017). Η μετάβαση αυτή δεν συνιστά απλώς τεχνολογική ή επιχειρησιακή προσαρμογή, αλλά βαθύ κοινωνικοοικονομικό μετασχηματισμό που επηρεάζει δομές διακυβέρνησης, επιχειρηματικά μοντέλα και σχέσεις μεταξύ ενδιαφερομένων.

Η εννοιολογική πολυπλοκότητα της Κυκλικής Οικονομίας αποτυπώνεται εύγλωττα στη μεγάλη ποικιλία ορισμών που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Η κλασική μελέτη των Kirchherr, Reike και Hekkert (2017) ανέλυσε 114 διαφορετικούς ορισμούς, καταδεικνύοντας ότι η CE λειτουργεί ως «ομπρέλα» που περιλαμβάνει περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς στόχους, με έμφαση στη μείωση αποβλήτων, την αποδοτικότητα πόρων και τη συστημική καινοτομία. Η πιο πρόσφατη επικαιροποιημένη ανάλυση των Kirchherr et al. (2023), η οποία εξέτασε 221 ορισμούς, επιβεβαιώνει ότι παρά τη θεωρητική ωρίμανση του πεδίου, εξακολουθούν να υφίστανται αποκλίσεις ως προς το εύρος, το βάθος και τον κανονιστικό χαρακτήρα της έννοιας. Οι διαφοροποιήσεις αυτές αντανakλούν όχι μόνο ακαδημαϊκές διαφωνίες, αλλά και συγκρουόμενες προτεραιότητες πολιτικής, βιομηχανίας και κοινωνίας.

Στο ίδιο πνεύμα, οι Korhonen et al. (2018) χαρακτηρίζουν την Κυκλική Οικονομία ως «ουσιωδώς αμφισβητούμενη έννοια» (essentially contested concept), υπογραμμίζοντας ότι η ασάφεια δεν αποτελεί απαραίτητα αδυναμία, αλλά εγγενές χαρακτηριστικό ενός πλαισίου που επιδιώκει να γεφυρώσει διαφορετικά επιστημονικά πεδία, ιδεολογίες και πρακτικές. Η αμφισβητούμενη φύση της CE επιτρέπει την ευελιξία προσαρμογής σε εθνικά, τομεακά και οργανωσιακά συμφραζόμενα, αλλά ταυτόχρονα δυσχεραίνει την ανάπτυξη κοινών δεικτών αξιολόγησης και συγκρίσιμων πολιτικών παρεμβάσεων (Sardianou et al., 2024).

Η εξελικτική πορεία της Κυκλικής Οικονομίας συνδέεται στενά με τη σταδιακή μετάβαση από περιβαλλοντικές πολιτικές εστιασμένες στη διαχείριση αποβλήτων προς ολιστικές στρατηγικές πρόληψης, οικολογικού σχεδιασμού και συστημικής καινοτομίας. Όπως αναδεικνύει η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση των Lahane, Prajapati και Kant (2021), το ερευνητικό ενδιαφέρον για την CE αυξήθηκε εκθετικά μετά το 2015, με σαφή μετατόπιση από θεωρητικές προσεγγίσεις σε εφαρμοσμένες μελέτες που εξετάζουν επιχειρηματικά μοντέλα, εφοδιαστικές αλυσίδες και διακυβέρνηση. Η εξέλιξη αυτή αποτυπώνει την ωρίμανση της Κυκλικής Οικονομίας ως πεδίου πρακτικής πολιτικής και επιχειρησιακής στρατηγικής, πέραν της ακαδημαϊκής θεωρητικοποίησης.

Καθοριστικό ρόλο στην εδραίωση της Κυκλικής Οικονομίας στο ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο διαδραμάτισαν οι πολιτικές πρωτοβουλίες υπερεθνικών οργανισμών. Το Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2020) ενσωματώνει την CE ως βασικό πυλώνα της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, μετατοπίζοντας το επίκεντρο από την ανακύκλωση προς τον σχεδιασμό προϊόντων, τη βιωσιμότητα των αλυσίδων αξίας και την ενίσχυση της καινοτομίας. Η θεσμική αυτή προσέγγιση αναγνωρίζει ρητά ότι η Κυκλική Οικονομία δεν μπορεί να υλοποιηθεί χωρίς τη συντονισμένη συμμετοχή πολλαπλών ενδιαφερομένων, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη διασύνδεσή της με θεωρίες διακυβέρνησης και stakeholder analysis.

Παράλληλα, η σύγχρονη βιβλιογραφία αναδεικνύει όλο και περισσότερο τη συστημική διάσταση της Κυκλικής Οικονομίας, η οποία υπερβαίνει το επίπεδο μεμονωμένων οργανισμών και επεκτείνεται σε δίκτυα, οικοσυστήματα και αλυσίδες αξίας. Οι Geissdoerfer et al. (2017) τονίζουν ότι η CE συνιστά νέο παράδειγμα βιωσιμότητας, καθώς επιδιώκει ταυτόχρονα περιβαλλοντική αποκατάσταση, οικονομική ανθεκτικότητα και κοινωνική αξία. Η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει αλλαγές όχι μόνο σε τεχνολογίες και διαδικασίες, αλλά και σε πρότυπα συνεργασίας, ρόλους και μηχανισμούς λήψης αποφάσεων, στοιχεία που συνδέονται άμεσα με τη θεωρία των ενδιαφερομένων και τη διακυβέρνηση οικοσυστημάτων (Minoja & Romano, 2024).

Τέλος, η σύγχρονη φάση εξέλιξης της Κυκλικής Οικονομίας χαρακτηρίζεται από τη σύγκλιση με τον ψηφιακό μετασχηματισμό και, ειδικότερα, με την Τεχνητή Νοημοσύνη, η οποία αναγνωρίζεται ως κρίσιμος καταλύτης για την υλοποίηση κυκλικών πρακτικών σε μεγάλη κλίμακα (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019· Pathan et al., 2023). Η εξέλιξη αυτή ενισχύει τη μετάβαση της CE από κανονιστικό ιδεώδες σε λειτουργικό σύστημα, εντός του οποίου η διαχείριση δεδομένων, η ανάλυση ροών πόρων και η υποστήριξη αποφάσεων αποκτούν

κομβική σημασία. Συνεπώς, η κατανόηση της εννοιολογικής και εξελικτικής πορείας της Κυκλικής Οικονομίας αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ερμηνεία των σύγχρονων εφαρμογών της και τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τεχνολογίας, επιχειρήσεων και ενδιαφερομένων μερών στα επόμενα κεφάλαια.

2.2 Κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα

Τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα (Circular Business Models – CBMs) αποτελούν τον επιχειρησιακό πυρήνα της Κυκλικής Οικονομίας, καθώς μεταφράζουν τις αφηρημένες αρχές της σε συγκεκριμένες πρακτικές δημιουργίας, παράδοσης και σύλληψης αξίας. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά γραμμικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στην πώληση προϊόντων και στη μεγιστοποίηση του όγκου παραγωγής, τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα επαναπροσδιορίζουν την έννοια της αξίας, ενσωματώνοντας περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις στον στρατηγικό σχεδιασμό των οργανισμών (Geissdoerfer et al., 2017). Η μετάβαση αυτή δεν αφορά απλώς τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης, αλλά συνεπάγεται θεμελιώδεις αλλαγές στη λογική λειτουργίας των επιχειρήσεων, στις σχέσεις με τους πελάτες και στους μηχανισμούς συνεργασίας με άλλους ενδιαφερόμενους.

Η διεθνής βιβλιογραφία έχει επιχειρήσει να συστηματοποιήσει την ποικιλομορφία των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων μέσα από τυπολογίες και αναλυτικά πλαίσια. Η ανασκόπηση των Lüdeke-Freund et al. (2019) προτείνει μια από τις πλέον εδραιωμένες ταξινομήσεις, αναδεικνύοντας επαναλαμβανόμενα πρότυπα όπως η παράταση της διάρκειας ζωής προϊόντων, η επαναχρησιμοποίηση και ανακατασκευή, η ανακύκλωση κλειστού βρόχου και τα μοντέλα προϊόν-ως-υπηρεσία (product-as-a-service). Τα πρότυπα αυτά δεν λειτουργούν απομονωμένα, αλλά συχνά συνδυάζονται, δημιουργώντας υβριδικές μορφές επιχειρηματικών μοντέλων που αντανακλούν τις ιδιαιτερότητες κάθε κλάδου και οικοσυστήματος (Islam et al., 2025).

Κεντρικό στοιχείο των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων είναι η μετατόπιση της εστίασης από την ιδιοκτησία στη χρήση και την απόδοση. Τα μοντέλα προϊόν-ως-υπηρεσία, για παράδειγμα, επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να διατηρούν τον έλεγχο των προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, διευκολύνοντας την επισκευή, την αναβάθμιση και την ανακύκλωση (Bocken & Konietzko, 2022). Η προσέγγιση αυτή δημιουργεί κίνητρα για τον οικολογικό σχεδιασμό και την ανθεκτικότητα των προϊόντων, ενώ ταυτόχρονα μετασχηματίζει τη σχέση επιχείρησης-πελάτη από συναλλακτική σε μακροχρόνια συνεργατική. Ωστόσο, η υιοθέτηση τέτοιων μοντέλων προϋποθέτει αλλαγές σε

οργανωσιακές δομές, χρηματοοικονομικά συστήματα και κανονιστικά πλαίσια, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της διακυβέρνησης και της συμμετοχής των ενδιαφερομένων.

Η καινοτομία στα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα δεν περιορίζεται στο επίπεδο της επιχείρησης, αλλά εκτείνεται σε ολόκληρες αλυσίδες αξίας και οικοσυστήματα. Όπως επισημαίνουν οι Kanda, Geissdoerfer και Hjelm (2021), η μετάβαση από μεμονωμένα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα σε κυκλικά επιχειρηματικά οικοσυστήματα αποτελεί κρίσιμη συνθήκη για τη βιωσιμότητα και την κλιμάκωση των κυκλικών πρακτικών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι επιχειρήσεις καλούνται να συνεργαστούν με προμηθευτές, πελάτες, τεχνολογικούς παρόχους και δημόσιους φορείς, διαμορφώνοντας δίκτυα ανταλλαγής πόρων, δεδομένων και γνώσης. Η συνεργατική αυτή διάσταση ενισχύει τη συστημική αποδοτικότητα, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει την πολυπλοκότητα της διαχείρισης συμφερόντων και ρόλων.

Η πρόσφατη βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η επιτυχία των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συμμετοχή και την αποδοχή των ενδιαφερομένων μερών. Η αποτελεσματική διακυβέρνηση των stakeholders αναδεικνύεται ως κρίσιμος παράγοντας για την ευθυγράμμιση οικονομικών κινήτρων, περιβαλλοντικών στόχων και κοινωνικών προσδοκιών (Minoja & Romano, 2024). Η σύνδεση των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων με τη θεωρία των ενδιαφερομένων (Freeman, 1984) επιτρέπει την κατανόηση των επιχειρήσεων όχι ως αυτόνομων οντοτήτων, αλλά ως κόμβων εντός ευρύτερων κοινωνικοτεχνικών συστημάτων, στα οποία η αξία συν-δημιουργείται μέσα από αλληλεπιδράσεις και διαπραγματεύσεις.

Σημαντική εξέλιξη στη σύγχρονη συζήτηση αποτελεί η ενσωμάτωση της ψηφιακής τεχνολογίας και, ειδικότερα, της Τεχνητής Νοημοσύνης στα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα. Οι Lopes de Sousa Jabbour et al. (2019) υποστηρίζουν ότι η ΤΝ λειτουργεί ως καταλύτης για την υλοποίηση και την κλιμάκωση των CBMs, καθώς επιτρέπει τη βελτιστοποίηση ροών πόρων, την πρόβλεψη ζήτησης, τη συντήρηση βάσει δεδομένων και τη δυναμική λήψη αποφάσεων. Η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνολογιών μετασχηματίζει τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα από στατικές δομές σε δυναμικά, δεδομενοκεντρικά συστήματα, ικανά να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς και κανονιστικού περιβάλλοντος (Pathan et al., 2023).

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες, η εφαρμογή κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων συνοδεύεται από ουσιαστικές προκλήσεις. Η βιβλιογραφία επισημαίνει εμπόδια που

σχετίζονται με το κόστος μετάβασης, την αβεβαιότητα απόδοσης, την έλλειψη κατάλληλων δεξιοτήτων και την ανεπαρκή θεσμική υποστήριξη (Islam et al., 2025). Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των κυκλικών μοντέλων καθιστά αναγκαία τη χρήση εργαλείων ανάλυσης ενδιαφερομένων και χαρτογράφησης οικοσυστημάτων, ώστε να εντοπίζονται οι κρίσιμες σχέσεις ισχύος και οι πιθανές συγκρούσεις συμφερόντων (Bendtsen et al., 2021).

Τα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα συνιστούν τον βασικό μηχανισμό μέσω του οποίου η Κυκλική Οικονομία αποκτά επιχειρησιακή υπόσταση. Η εξέλιξή τους αντανακλά μια ευρύτερη μετάβαση από την αποσπασματική περιβαλλοντική καινοτομία σε συστημικές προσεγγίσεις που ενσωματώνουν τεχνολογία, διακυβέρνηση και συνεργασία ενδιαφερομένων. Η κατανόηση της λογικής, των δυνατοτήτων και των περιορισμών των CBMs αποτελεί κρίσιμη βάση για την ανάλυση του ρόλου της Τεχνητής Νοημοσύνης και της stakeholder analysis στα επόμενα υποκεφάλαια του θεωρητικού πλαισίου.

2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη και εφαρμογές στη βιώσιμη ανάπτυξη

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence – AI) έχει αναδειχθεί σε μία από τις πλέον μετασχηματιστικές τεχνολογίες της σύγχρονης εποχής, με αυξανόμενη επίδραση όχι μόνο στην οικονομική αποδοτικότητα και την καινοτομία, αλλά και στην επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Στο πλαίσιο της βιωσιμότητας, η ΤΝ δεν αντιμετωπίζεται απλώς ως εργαλείο αυτοματοποίησης ή βελτιστοποίησης, αλλά ως βασικός μοχλός συστημικής αλλαγής που επιτρέπει τη διαχείριση πολύπλοκων κοινωνικοτεχνικών συστημάτων, τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας σε περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις (Gohr et al., 2025). Η ενσωμάτωσή της στη βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται άμεσα με την ανάγκη υπέρβασης γραμμικών και αποσπασματικών προσεγγίσεων πολιτικής και επιχειρησιακής δράσης.

Η βιώσιμη ανάπτυξη, όπως έχει διαμορφωθεί μέσα από διεθνείς πολιτικές και ακαδημαϊκές προσεγγίσεις, χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, αβεβαιότητας και αλληλεξάρτησης μεταξύ περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων. Σε αυτό το περιβάλλον, η ΤΝ προσφέρει τη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων όγκων ετερογενών δεδομένων, εντοπισμού μη γραμμικών σχέσεων και πρόβλεψης μελλοντικών σεναρίων, λειτουργίες κρίσιμες για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση βιώσιμων παρεμβάσεων (Madanaguli et al., 2024). Η ικανότητα αυτή καθιστά την ΤΝ ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές που αφορούν την αποδοτική χρήση πόρων, τη διαχείριση ενέργειας, την

παρακολούθηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων.

Στο επίπεδο των περιβαλλοντικών εφαρμογών, η TN αξιοποιείται εκτενώς για τη βελτιστοποίηση συστημάτων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, τη μείωση εκπομπών και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στην κλιματική αλλαγή. Σύμφωνα με τους Gohr et al. (2025), η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε ενεργειακά δίκτυα επιτρέπει την πρόβλεψη ζήτησης, την καλύτερη ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών και τη μείωση απωλειών. Παράλληλα, εφαρμογές TN στη γεωργία ακριβείας και στη διαχείριση φυσικών πόρων συμβάλλουν στη μείωση εισροών και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας, ενισχύοντας τη σύνδεση μεταξύ τεχνολογικής και οικολογικής καινοτομίας.

Σε κοινωνικό επίπεδο, η TN παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες αλλά και προκλήσεις. Από τη μία πλευρά, μπορεί να υποστηρίξει τη βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσω έξυπνων συστημάτων υγείας, αστικής διαχείρισης και κοινωνικών υπηρεσιών. Από την άλλη, εγείρει κρίσιμα ζητήματα ισότητας, διαφάνειας και δεοντολογίας, τα οποία αποκτούν ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η άνιση πρόσβαση σε δεδομένα και τεχνολογίες TN ενδέχεται να ενισχύσει υφιστάμενες κοινωνικές ανισότητες, εάν δεν συνοδευτεί από κατάλληλα πλαίσια διακυβέρνησης και συμμετοχής ενδιαφερομένων (Bendtsen et al., 2021). Επομένως, η ενσωμάτωση της TN στη βιωσιμότητα δεν μπορεί να θεωρηθεί τεχνοκρατική διαδικασία, αλλά απαιτεί κοινωνική και θεσμική ενσωμάτωση.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η σύνδεση της TN με τη βιώσιμη ανάπτυξη στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, όπου η διαχείριση ροών υλικών, προϊόντων και δεδομένων αποτελεί κεντρική πρόκληση. Οι Lopes de Sousa Jabbour et al. (2019) υποστηρίζουν ότι η TN λειτουργεί ως κρίσιμος επιταχυντής για την υλοποίηση κυκλικών πρακτικών, επιτρέποντας την παρακολούθηση κύκλων ζωής προϊόντων, τη βελτιστοποίηση ανακυκλωτικών διαδικασιών και τη δυναμική υποστήριξη κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Σε αυτό το πλαίσιο, η TN συμβάλλει όχι μόνο στη λειτουργική αποδοτικότητα, αλλά και στη στρατηγική ευθυγράμμιση περιβαλλοντικών και οικονομικών στόχων.

Η εμπειρική έρευνα επιβεβαιώνει ότι οι εφαρμογές TN στη βιώσιμη ανάπτυξη αποκτούν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα όταν εντάσσονται σε ευρύτερα οικοσυστήματα συνεργασίας. Η μελέτη των Pathan et al. (2023) για την Ιρλανδία δείχνει ότι οι

πρωτοβουλίες TN που συνδέονται με κυκλικές δραστηριότητες αποδίδουν καλύτερα όταν υποστηρίζονται από δίκτυα επιχειρήσεων, δημόσιων φορέων και ερευνητικών οργανισμών. Η παρατήρηση αυτή αναδεικνύει τον ρόλο της TN ως τεχνολογίας-υποδομής που διευκολύνει τη διασύνδεση ενδιαφερομένων και την ανταλλαγή γνώσης, ενισχύοντας τη συλλογική δράση για τη βιωσιμότητα.

Ωστόσο, η αυξανόμενη χρήση της TN εγείρει και σημαντικά ζητήματα περιβαλλοντικού αποτυπώματος, καθώς τα συστήματα υπολογιστικής ισχύος και τα κέντρα δεδομένων καταναλώνουν σημαντικούς ενεργειακούς πόρους. Η σύγχρονη βιβλιογραφία τονίζει την ανάγκη για «υπεύθυνη TN» (responsible AI), η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο τα άμεσα οφέλη όσο και τις έμμεσες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις της τεχνολογίας (Gohr et al., 2025). Η ισορροπία μεταξύ τεχνολογικής προόδου και βιωσιμότητας καθίσταται, επομένως, κεντρικό ζήτημα στρατηγικού σχεδιασμού.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη της βιώσιμης ανάπτυξης από ένα κανονιστικό πλαίσιο στόχων σε ένα λειτουργικό, δεδομενοκεντρικό σύστημα λήψης αποφάσεων. Η συμβολή της δεν περιορίζεται σε μεμονωμένες εφαρμογές, αλλά επεκτείνεται στη διαμόρφωση νέων μορφών διακυβέρνησης, συνεργασίας και καινοτομίας. Η κατανόηση των δυνατοτήτων και των περιορισμών της TN στη βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί αναγκαία βάση για την ανάλυση του ρόλου της ως επιταχυντή της Κυκλικής Οικονομίας στο επόμενο υποκεφάλαιο.

2.4 Τεχνητή Νοημοσύνη ως επιταχυντής της Κυκλικής Οικονομίας

Η σύζευξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) με την Κυκλική Οικονομία συνιστά μία από τις πλέον κρίσιμες εξελίξεις στη σύγχρονη συζήτηση για τη βιώσιμη ανάπτυξη, καθώς μετατοπίζει την κυκλική μετάβαση από το επίπεδο των κανονιστικών προθέσεων στο πεδίο της επιχειρησιακής και συστημικής εφαρμογής. Η Κυκλική Οικονομία, ως πολυεπίπεδο κοινωνικοτεχνικό σύστημα, χαρακτηρίζεται από σύνθετες ροές υλικών, ενέργειας και πληροφορίας, οι οποίες δύσκολα μπορούν να ελεγχθούν και να βελτιστοποιηθούν με συμβατικά εργαλεία διαχείρισης. Σε αυτό το πλαίσιο, η TN αναδεικνύεται ως τεχνολογικός επιταχυντής, καθώς παρέχει τις υπολογιστικές και αναλυτικές δυνατότητες που απαιτούνται για τη λειτουργία κυκλικών συστημάτων σε μεγάλη κλίμακα (Lopes de Sousa Jabbour et al., 2019).

Κεντρική συμβολή της TN στην Κυκλική Οικονομία αποτελεί η ενίσχυση της διαφάνειας και της ιχνηλασιμότητας σε όλο τον κύκλο ζωής προϊόντων και υλικών. Μέσω τεχνικών μηχανικής μάθησης, ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και έξυπνων αισθητήρων, καθίσταται δυνατή η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων που αφορούν την προέλευση πρώτων υλών, τη χρήση προϊόντων και τις διαδικασίες ανάκτησης και ανακύκλωσης (Pathan et al., 2023). Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στις επιχειρήσεις και στους φορείς χάραξης πολιτικής να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε πραγματικά δεδομένα, μειώνοντας την αβεβαιότητα και ενισχύοντας την αποδοτικότητα των κυκλικών πρακτικών.

Σε επιχειρησιακό επίπεδο, η TN λειτουργεί ως καταλύτης για την καινοτομία στα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα. Όπως υποστηρίζουν οι Madanaguli et al. (2024), οι δυνατότητες της TN στην πρόβλεψη ζήτησης, στη βελτιστοποίηση συντήρησης και στη διαχείριση αποθεμάτων επιτρέπουν την παράταση της διάρκειας ζωής προϊόντων και τη μείωση απωλειών πόρων. Οι εφαρμογές αυτές ενισχύουν μοντέλα όπως το προϊόν-ως-υπηρεσία και η ανακατασκευή, καθώς διευκολύνουν τον συνεχή έλεγχο της κατάστασης των προϊόντων και τη δυναμική προσαρμογή των στρατηγικών χρήσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η TN μετατρέπει την κυκλικότητα από στατικό στόχο σε δυναμική διαδικασία συνεχούς βελτιστοποίησης.

Η συμβολή της TN στην Κυκλική Οικονομία επεκτείνεται πέρα από το επίπεδο της μεμονωμένης επιχείρησης, επηρεάζοντας τη λειτουργία ολόκληρων αλυσίδων αξίας και οικοσυστημάτων. Οι Kanda, Geissdoerfer και Hjelm (2021) επισημαίνουν ότι η μετάβαση σε κυκλικά επιχειρηματικά οικοσυστήματα απαιτεί συντονισμό μεταξύ πολλαπλών δρώντων, γεγονός που αυξάνει την πολυπλοκότητα της διακυβέρνησης. Σε αυτό το πλαίσιο, η TN μπορεί να υποστηρίξει τη χαρτογράφηση οικοσυστημάτων, την ανάλυση σχέσεων και τη διαχείριση αλληλεξαρτήσεων, λειτουργώντας ως υποδομή που διευκολύνει τη συνεργασία και τη συν-δημιουργία αξίας (Granstrand & Holgersson, 2020).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο ρόλος της TN στη διαμόρφωση και εφαρμογή δημόσιων πολιτικών για την Κυκλική Οικονομία. Η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει στους δημόσιους φορείς να αξιολογούν την αποτελεσματικότητα των πολιτικών παρεμβάσεων και να προσαρμόζουν ρυθμιστικά εργαλεία με βάση τεκμηριωμένες ενδείξεις (European Commission, 2020). Ωστόσο, η ενσωμάτωση της TN στη δημόσια διακυβέρνηση της Κυκλικής Οικονομίας εγείρει ζητήματα διαφάνειας, λογοδοσίας και συμμετοχής ενδιαφερομένων, τα οποία καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή πλαισίων stakeholder analysis (Bendtsen et al., 2021).

Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η αποτελεσματική αξιοποίηση της TN ως επιταχυντή της Κυκλικής Οικονομίας προϋποθέτει τη συμμετοχή και την ευθυγράμμιση των ενδιαφερομένων μερών. Οι μελέτες των Minoja και Romano (2024) καταδεικνύουν ότι οι επιχειρήσεις που ενσωματώνουν πρακτικές συμμετοχικής διακυβέρνησης επιτυγχάνουν υψηλότερα επίπεδα κυκλικής απόδοσης, ιδίως όταν υιοθετούν ψηφιακά εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, εργαλεία όπως το MARTkit συμβάλλουν στην κατανόηση των χαρακτηριστικών, των κινήτρων και της επιρροής των stakeholders, διευκολύνοντας τον σχεδιασμό παρεμβάσεων που αξιοποιούν τις δυνατότητες της TN χωρίς να εντείνουν κοινωνικές ανισότητες (Hoare et al., 2023).

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες, η χρήση της TN ως επιταχυντή της Κυκλικής Οικονομίας συνοδεύεται από κρίσιμους περιορισμούς και κινδύνους. Η εξάρτηση από μεγάλα σύνολα δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικές αποφάσεις, ενώ το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των υπολογιστικών υποδομών εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη συνολική βιωσιμότητα των λύσεων TN (Gohr et al., 2025). Επιπλέον, η άνιση κατανομή τεχνολογικών δυνατοτήτων μεταξύ οργανισμών και χωρών ενδέχεται να δημιουργήσει νέες μορφές ανισότητας εντός των κυκλικών οικοσυστημάτων, εάν δεν συνοδευτεί από κατάλληλα θεσμικά μέτρα.

Συνοψίζοντας, η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως κρίσιμος επιταχυντής της Κυκλικής Οικονομίας, καθώς καθιστά εφικτή τη διαχείριση της πολυπλοκότητας, την κλιμάκωση των κυκλικών πρακτικών και την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ ενδιαφερομένων. Η συνεισφορά της δεν περιορίζεται στη βελτιστοποίηση υφιστάμενων διαδικασιών, αλλά επεκτείνεται στη διαμόρφωση νέων μορφών επιχειρηματικών μοντέλων, οικοσυστημάτων και διακυβέρνησης. Η κατανόηση αυτής της δυναμικής αποτελεί θεμέλιο για την ανάλυση της stakeholder analysis και των οικοσυστημικών προσεγγίσεων που ακολουθούν στα επόμενα υποκεφάλαια.

2.5 Θεωρία Ενδιαφερομένων (Stakeholder Theory)

Η Θεωρία των Ενδιαφερομένων (Stakeholder Theory) αποτελεί ένα από τα πλέον επιδραστικά θεωρητικά πλαίσια στη μελέτη της στρατηγικής διοίκησης, της επιχειρηματικής ηθικής και, τα τελευταία χρόνια, της βιώσιμης ανάπτυξης και της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης. Η θεμελίωσή της αποδίδεται στο έργο του Freeman (1984), ο οποίος επαναπροσδιόρισε την επιχείρηση όχι ως έναν μηχανισμό μεγιστοποίησης της αξίας για τους μετόχους, αλλά ως ένα σύστημα σχέσεων μεταξύ ομάδων και ατόμων

που επηρεάζουν ή επηρεάζονται από τη λειτουργία της. Η μετατόπιση αυτή σηματοδότησε μια βαθιά αλλαγή στη στρατηγική σκέψη, αναγνωρίζοντας ότι η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των οργανισμών εξαρτάται από την ικανότητά τους να διαχειρίζονται πολλαπλά, συχνά αντικρουόμενα, συμφέροντα.

Στον πυρήνα της, η Θεωρία Ενδιαφερομένων εισάγει μια σχεσιακή και συστημική αντίληψη της οργανωσιακής δράσης. Οι οργανισμοί αντιμετωπίζονται ως κόμβοι μέσα σε ευρύτερα κοινωνικοοικονομικά συστήματα, όπου η αξία δεν παράγεται μονομερώς, αλλά συν-δημιουργείται μέσα από αλληλεπιδράσεις μεταξύ επιχειρήσεων, εργαζομένων, πελατών, προμηθευτών, δημόσιων φορέων και κοινωνίας των πολιτών (Freeman, 1984). Η προσέγγιση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, όπου η επιτυχία των παρεμβάσεων προϋποθέτει συνεργασία, εμπιστοσύνη και ευθυγράμμιση στόχων μεταξύ ετερογενών δρώντων (Minoja & Romano, 2024).

Η θεωρητική εξέλιξη της Stakeholder Theory έχει οδηγήσει στη διαμόρφωση διαφορετικών ερμηνευτικών ρευμάτων, τα οποία διακρίνονται συνήθως σε κανονιστικά, περιγραφικά και εργαλειακά. Η κανονιστική διάσταση εστιάζει στη ηθική υποχρέωση των οργανισμών να λαμβάνουν υπόψη τα συμφέροντα όλων των ενδιαφερομένων, ανεξαρτήτως της άμεσης οικονομικής τους συμβολής. Αντιθέτως, η εργαλειακή προσέγγιση εξετάζει τη διαχείριση των ενδιαφερομένων ως μέσο επίτευξης στρατηγικών στόχων και βελτίωσης της οργανωσιακής απόδοσης. Η περιγραφική διάσταση, τέλος, επιχειρεί να αναλύσει πώς οι οργανισμοί αλληλεπιδρούν στην πράξη με τους ενδιαφερομένους και πώς αυτές οι σχέσεις διαμορφώνουν αποφάσεις και αποτελέσματα. Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, οι τρεις αυτές διαστάσεις τείνουν να συγκλίνουν, καθώς η ηθική νομιμοποίηση, η στρατηγική αποτελεσματικότητα και η εμπειρική πραγματικότητα αλληλοτροφοδοτούνται (Bendtsen et al., 2021).

Η ενσωμάτωση της Θεωρίας Ενδιαφερομένων στην περιβαλλοντική διακυβέρνηση αντανάκλα την αναγνώριση ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα συνιστούν «wicked problems», δηλαδή σύνθετες προκλήσεις χωρίς σαφείς λύσεις, οι οποίες απαιτούν πολυεπίπεδη και συμμετοχική προσέγγιση. Οι Bendtsen, Clausen και Hansen (2021) υπογραμμίζουν ότι η stakeholder analysis αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό σχέσεων ισχύος, επιρροής και ευθύνης σε περιβαλλοντικά συστήματα, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση των δυναμικών που επηρεάζουν τη χάραξη και την εφαρμογή πολιτικών. Η συμβολή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στο πλαίσιο της Κυκλικής

Οικονομίας, όπου οι αποφάσεις ενός δρώντα μπορούν να έχουν αλυσιδωτές επιπτώσεις σε ολόκληρο το οικοσύστημα.

Σημαντική εξέλιξη στη σύγχρονη βιβλιογραφία αποτελεί η σύνδεση της Stakeholder Theory με ζητήματα διακυβέρνησης και συμμετοχής. Η αποτελεσματική διακυβέρνηση των ενδιαφερομένων δεν περιορίζεται στην απλή χαρτογράφηση ομάδων, αλλά απαιτεί μηχανισμούς διαλόγου, διαφάνειας και συν-λήψης αποφάσεων. Οι Minoja και Romano (2024) δείχνουν ότι οι επιχειρήσεις που υιοθετούν δομημένες πρακτικές stakeholder governance επιτυγχάνουν καλύτερη ενσωμάτωση των αρχών της Κυκλικής Οικονομίας, καθώς μειώνουν τις συγκρούσεις και ενισχύουν τη συλλογική δέσμευση. Η προσέγγιση αυτή μετατοπίζει το βάρος από τη διαχείριση αντιδράσεων προς τη συν-διαμόρφωση στρατηγικών.

Η ανάπτυξη μεθοδολογιών stakeholder analysis έχει ενισχύσει την εφαρμοσιμότητα της Θεωρίας Ενδιαφερομένων σε πρακτικά περιβάλλοντα. Εργαλεία όπως το Power–Interest Matrix και πιο πρόσφατες προσεγγίσεις, όπως το MAPTkit, επιτρέπουν τη συστηματική αποτύπωση χαρακτηριστικών, κινήτρων και βαθμού συμμετοχής των ενδιαφερομένων (Hoare et al., 2023). Η σημασία αυτών των εργαλείων αυξάνεται περαιτέρω όταν συνδυάζονται με ψηφιακές τεχνολογίες και αναλυτικά συστήματα, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν τη δυναμική παρακολούθηση των σχέσεων μεταξύ ενδιαφερομένων σε εξελισσόμενα οικοσυστήματα.

Η σύγχρονη συζήτηση γύρω από τη Stakeholder Theory διευρύνεται επίσης προς ζητήματα βιώσιμης χρηματοδότησης και δημόσιας πολιτικής. Πρόσφατες μελέτες επισημαίνουν ότι η ενσωμάτωση της οπτικής των ενδιαφερομένων στη λήψη αποφάσεων συμβάλλει στη διαμόρφωση πιο ανθεκτικών και κοινωνικά αποδεκτών πολιτικών, ιδίως σε τομείς που σχετίζονται με την περιβαλλοντική μετάβαση (Augustin-Behravesh et al., 2025· Talan et al., 2024). Η εξέλιξη αυτή καταδεικνύει ότι η Stakeholder Theory υπερβαίνει τα όρια της επιχειρησιακής στρατηγικής και λειτουργεί ως γενικό πλαίσιο κατανόησης και διακυβέρνησης πολύπλοκων συστημάτων.

Η Θεωρία Ενδιαφερομένων προσφέρει ένα ισχυρό εννοιολογικό υπόβαθρο για την ανάλυση της Κυκλικής Οικονομίας και της Τεχνητής Νοημοσύνης ως κοινωνικοτεχνικών φαινομένων. Η έμφαση στις σχέσεις, στη συμμετοχή και στη συν-δημιουργία αξίας καθιστά τη θεωρία ιδιαίτερα κατάλληλη για τη μελέτη συστημικών μεταβάσεων. Η κατανόηση της Stakeholder Theory αποτελεί, επομένως, αναγκαία βάση για την ανάπτυξη μεθοδολογιών

stakeholder analysis και ecosystem mapping, που εξετάζονται στα επόμενα υποκεφάλαια του θεωρητικού πλαισίου.

2.6 Stakeholder Analysis και περιβαλλοντική διακυβέρνηση

Η ανάλυση ενδιαφερομένων (stakeholder analysis) αποτελεί βασικό μεθοδολογικό και θεωρητικό εργαλείο της σύγχρονης περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, καθώς επιτρέπει τη συστηματική κατανόηση των σχέσεων, των συμφερόντων και των δυναμικών ισχύος που διαμορφώνουν τη λήψη αποφάσεων σε σύνθετα κοινωνικοτεχνικά συστήματα. Η περιβαλλοντική διακυβέρνηση, ως πεδίο πολιτικής και πρακτικής, χαρακτηρίζεται από πολυεπίπεδη αλληλεπίδραση δημόσιων, ιδιωτικών και κοινωνικών δρώντων, οι οποίοι συχνά διαθέτουν διαφορετικές αντιλήψεις, προτεραιότητες και βαθμούς επιρροής. Σε αυτό το πλαίσιο, η stakeholder analysis δεν λειτουργεί απλώς ως εργαλείο χαρτογράφησης, αλλά ως μηχανισμός ενίσχυσης της διαφάνειας, της συμμετοχής και της νομιμοποίησης των περιβαλλοντικών παρεμβάσεων (Bendtsen et al., 2021).

Η θεωρητική θεμελίωση της stakeholder analysis εδράζεται στη Θεωρία των Ενδιαφερομένων, όπως διαμορφώθηκε από τον Freeman (1984), και στη μετέπειτα εξέλιξη της προς συμμετοχικά και διακυβερνητικά μοντέλα λήψης αποφάσεων. Στο πεδίο της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, η προσέγγιση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς τα περιβαλλοντικά προβλήματα υπερβαίνουν τα όρια μεμονωμένων οργανισμών ή κρατικών δομών και απαιτούν συντονισμένη δράση σε πολλαπλά επίπεδα. Η stakeholder analysis επιτρέπει την αναγνώριση των κρίσιμων δρώντων, την κατανόηση των κινήτρων τους και την αξιολόγηση της δυνατότητάς τους να επηρεάσουν ή να υποστηρίξουν περιβαλλοντικές πολιτικές και στρατηγικές.

Η συστηματική ανασκόπηση των Bendtsen, Clausen και Hansen (2021) καταδεικνύει ότι η stakeholder analysis έχει εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, τόσο ως προς τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις όσο και ως προς τα πεδία εφαρμογής της. Από απλά εργαλεία κατηγοριοποίησης, όπως η διάκριση πρωτευόντων και δευτερευόντων ενδιαφερομένων, η ανάλυση έχει μετακινηθεί προς πιο σύνθετα πλαίσια που λαμβάνουν υπόψη την επιρροή, το ενδιαφέρον, τη νομιμοποίηση και τη δυναμική των σχέσεων. Η εξέλιξη αυτή αντανάκλα την αυξανόμενη αναγνώριση ότι οι περιβαλλοντικές αποφάσεις δεν είναι ουδέτερες, αλλά ενσωματώνουν αξίες, ισχύ και πολιτικές διαπραγματεύσεις.

Στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, η stakeholder analysis συμβάλλει καθοριστικά στη βελτίωση της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας των πολιτικών

παρεμβάσεων. Η συμμετοχή των ενδιαφερομένων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων έχει συσχετιστεί με υψηλότερα επίπεδα αποδοχής και συμμόρφωσης, καθώς και με τη μείωση συγκρούσεων κατά την εφαρμογή περιβαλλοντικών πολιτικών. Επιπλέον, η έγκαιρη αναγνώριση πιθανών αντιδράσεων ή συγκρουόμενων συμφερόντων επιτρέπει την προσαρμογή στρατηγικών και τη διαμόρφωση μηχανισμών διαλόγου, ενισχύοντας τη θεσμική ανθεκτικότητα (European Commission, 2020).

Η σημασία της stakeholder analysis καθίσταται ιδιαίτερα εμφανής στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, όπου η περιβαλλοντική διακυβέρνηση απαιτεί συντονισμό μεταξύ επιχειρήσεων, δημόσιων φορέων, τεχνολογικών παρόχων και κοινωνίας των πολιτών. Οι Minoja και Romano (2024) δείχνουν ότι η αποτελεσματική διακυβέρνηση ενδιαφερομένων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας για την υλοποίηση κυκλικών στρατηγικών, καθώς επιτρέπει την ευθυγράμμιση στόχων και τη διαχείριση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ δρώντων. Η stakeholder analysis λειτουργεί, σε αυτή την περίπτωση, ως εργαλείο γεφύρωσης μεταξύ κανονιστικών επιδιώξεων και επιχειρησιακής πραγματικότητας.

Η εξέλιξη των μεθοδολογιών stakeholder analysis έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο συμμετοχικών και συμπεριληπτικών εργαλείων, τα οποία ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της σύγχρονης περιβαλλοντικής διακυβέρνησης. Το MARTkit, όπως παρουσιάζεται από τους Hoare et al. (2023), αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας προσέγγισης που υπερβαίνει τις παραδοσιακές ιεραρχικές κατατάξεις και εστιάζει στη χαρτογράφηση χαρακτηριστικών, αξιών και κοινωνικών δυναμικών των ενδιαφερομένων. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει την ισότιμη εκπροσώπηση και επιτρέπει την ενσωμάτωση φωνών που συχνά παραμένουν περιθωριοποιημένες στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Παράλληλα, η ψηφιακή μετάβαση και η ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης δημιουργούν νέες δυνατότητες αλλά και προκλήσεις για τη stakeholder analysis και την περιβαλλοντική διακυβέρνηση. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να υποστηρίξουν τη δυναμική παρακολούθηση σχέσεων και αντιλήψεων ενδιαφερομένων, καθώς και την πρόβλεψη πιθανών συγκρούσεων ή σημείων συναίνεσης (Raum & Rawlings-Sanaei, 2022). Ωστόσο, η χρήση τέτοιων εργαλείων εγείρει ζητήματα διαφάνειας, λογοδοσίας και μεροληψίας, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη πλαισίων υπεύθυνης χρήσης της τεχνολογίας στο πεδίο της διακυβέρνησης.

Η stakeholder analysis δεν αποτελεί, ωστόσο, πανάκεια για τα προβλήματα της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης. Η βιβλιογραφία επισημαίνει κινδύνους όπως η

εργαλειοποίηση της συμμετοχής, η υπερεκπροσώπηση ισχυρών δρώντων και η κόπωση των ενδιαφερομένων από επαναλαμβανόμενες διαβουλεύσεις χωρίς ουσιαστικό αντίκρισμα (Bendtsen et al., 2021). Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί σαφή θεσμικά πλαίσια, διαρκή αξιολόγηση των διαδικασιών και δέσμευση για ουσιαστική ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων της stakeholder analysis στη λήψη αποφάσεων.

Η stakeholder analysis αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, προσφέροντας τα αναλυτικά και συμμετοχικά εργαλεία που απαιτούνται για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας των περιβαλλοντικών συστημάτων. Η σύνδεσή της με την Κυκλική Οικονομία και την Τεχνητή Νοημοσύνη αναδεικνύει νέες δυνατότητες για αποτελεσματικότερη, πιο συμπεριληπτική και προσαρμοστική διακυβέρνηση, θέτοντας τα θεμέλια για την ανάλυση οικοσυστημάτων που ακολουθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο.

2.7 Οικοσυστήματα και προσέγγιση ecosystem mapping

Η έννοια των οικοσυστημάτων (ecosystems) έχει αποκτήσει κεντρική θέση στη σύγχρονη θεωρία και πρακτική της καινοτομίας, της βιώσιμης ανάπτυξης και της Κυκλικής Οικονομίας, καθώς προσφέρει ένα εννοιολογικό πλαίσιο ικανό να αποτυπώσει την πολυπλοκότητα, τη δυναμική και τη διασυνδεσιμότητα των σύγχρονων κοινωνικοτεχνικών συστημάτων. Σε αντίθεση με τις γραμμικές ή οργανωσιοκεντρικές προσεγγίσεις, η οικοσυστημική οπτική αντιμετωπίζει την οικονομική και κοινωνική δραστηριότητα ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ ετερογενών δρώντων, οι οποίοι συν-δημιουργούν αξία μέσα από δίκτυα συνεργασίας, ανταγωνισμού και θεσμικής ρύθμισης (Granstrand & Holgersson, 2020). Η προσέγγιση αυτή καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, όπου η επίτευξη κυκλικότητας προϋποθέτει συντονισμό πέραν των ορίων μεμονωμένων οργανισμών.

Η σύγκλιση των βασικών θεωρητικών αξόνων της παρούσας έρευνας αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.χ, το οποίο παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ Κυκλικής Οικονομίας, Τεχνητής Νοημοσύνης και Θεωρίας Ενδιαφερομένων ως ενιαίο εννοιολογικό υπόβαθρο.



Σχήμα 2.x – Εννοιολογική σύγκλιση Κυκλικής Οικονομίας, TN και Stakeholder Theory

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.x, η Κυκλική Οικονομία καθορίζει το πλαίσιο βιωσιμότητας, η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως τεχνολογικός επιταχυντής, ενώ οι stakeholders συγκροτούν τον μηχανισμό διακυβέρνησης και συν-δημιουργίας αξίας. Η αλληλεπίδραση των τριών αυτών διαστάσεων οδηγεί στη διαμόρφωση ενός δυναμικού κυκλικού οικοσυστήματος.

Τα οικοσυστήματα καινοτομίας και επιχειρηματικότητας ορίζονται ως σύνολα αλληλοεξαρτώμενων οργανισμών, θεσμών, τεχνολογιών και ροών πόρων, τα οποία εξελίσσονται δυναμικά και διαμορφώνουν το περιβάλλον εντός του οποίου αναπτύσσονται νέες πρακτικές και επιχειρηματικά μοντέλα. Οι Granstrand και Holgersson (2020) υπογραμμίζουν ότι τα οικοσυστήματα δεν διαθέτουν σταθερά όρια ή ιεραρχικές δομές, αλλά χαρακτηρίζονται από ρευστότητα ρόλων και μεταβαλλόμενες σχέσεις ισχύος. Η ιδιότητα αυτή τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για την ανάλυση της Κυκλικής Οικονομίας, όπου οι ρόλοι παραγωγού, καταναλωτή και διαχειριστή πόρων συχνά αλληλεπικαλύπτονται.

Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας, η έννοια του οικοσυστήματος επιτρέπει τη μετάβαση από την ανάλυση μεμονωμένων κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων προς τη μελέτη κυκλικών επιχειρηματικών οικοσυστημάτων. Όπως επισημαίνουν οι Kanda, Geissdoerfer και Hjelm (2021), η βιωσιμότητα και η κλιμάκωση των κυκλικών πρακτικών εξαρτώνται από την ύπαρξη συνεργατικών δομών που συνδέουν επιχειρήσεις, δημόσιους φορείς,

τεχνολογικούς παρόχους, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και κοινωνία των πολιτών. Η οικοσυστημική προσέγγιση αναδεικνύει ότι η αξία στην Κυκλική Οικονομία δεν παράγεται αποκλειστικά εντός της επιχείρησης, αλλά προκύπτει από τη συλλογική οργάνωση και διαχείριση ροών υλικών, δεδομένων και γνώσης.

Η ανάγκη κατανόησης και διαχείρισης αυτής της πολυπλοκότητας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη της προσέγγισης ecosystem mapping, δηλαδή της συστηματικής χαρτογράφησης των δρώντων, των σχέσεων και των ροών εντός ενός οικοσυστήματος. Το ecosystem mapping δεν αποτελεί απλώς απεικονιστικό εργαλείο, αλλά αναλυτική διαδικασία που αποσκοπεί στην αποκάλυψη δομών, εξαρτήσεων και σημείων παρέμβασης. Σε αντίθεση με παραδοσιακές μορφές stakeholder mapping, οι οποίες συχνά περιορίζονται σε στατικές κατατάξεις, το ecosystem mapping εστιάζει στη δυναμική των αλληλεπιδράσεων και στη συν-εξέλιξη των δρώντων (Bauwens et al., 2024).

Η προσέγγιση αυτή συνδέεται άμεσα με τη stakeholder analysis, καθώς αξιοποιεί τα ευρήματά της για την τοποθέτηση των ενδιαφερομένων εντός ενός ευρύτερου συστημικού πλαισίου. Όπως υποστηρίζουν οι Bendtsen et al. (2021), η κατανόηση της επιρροής και των κινήτρων των ενδιαφερομένων αποτελεί αναγκαία αλλά όχι επαρκή συνθήκη για την αποτελεσματική διακυβέρνηση περιβαλλοντικών συστημάτων. Το ecosystem mapping συμπληρώνει τη stakeholder analysis, αποτυπώνοντας όχι μόνο ποιοι είναι οι δρώντες, αλλά και πώς συνδέονται μεταξύ τους, ποιες ροές τους διασυνδέουν και πού εντοπίζονται οι κρίσιμοι κόμβοι του συστήματος.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά το ecosystem mapping στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας που υποστηρίζεται από ψηφιακές τεχνολογίες και Τεχνητή Νοημοσύνη. Η πολυπλοκότητα των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων καθιστά αναγκαία τη χρήση μεθοδολογιών που μπορούν να ενσωματώσουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές και να αποτυπώσουν δυναμικές μεταβολές σε πραγματικό χρόνο. Οι Raum και Rawlings-Sanaei (2022) επισημαίνουν ότι ψηφιακές μέθοδοι χαρτογράφησης, όπως η ανάλυση διαδικτυακού περιεχομένου, μπορούν να ενισχύσουν τη διαφάνεια και την επικαιρότητα της stakeholder και ecosystem analysis, ιδίως σε ταχέως εξελισσόμενα περιβάλλοντα.

Παράλληλα, η οικοσυστημική προσέγγιση συμβάλλει στη βελτίωση της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, καθώς επιτρέπει τον εντοπισμό σημείων όπου απαιτείται θεσμική παρέμβαση ή ενίσχυση συνεργασιών. Οι Bauwens et al. (2024) δείχνουν ότι η χαρτογράφηση οικοσυστημάτων καινοτομίας για την κυκλικότητα μπορεί να αποκαλύψει

δομικά κενά, όπως η απουσία χρηματοδοτικών μηχανισμών ή ενδιάμεσων οργανισμών, τα οποία περιορίζουν τη διάδοση κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Με αυτόν τον τρόπο, το ecosystem mapping λειτουργεί ως εργαλείο στρατηγικού σχεδιασμού και πολιτικής μάθησης.

Ωστόσο, η εφαρμογή της προσέγγισης ecosystem mapping δεν στερείται προκλήσεων. Η ανοιχτή και δυναμική φύση των οικοσυστημάτων καθιστά δύσκολη την οριοθέτησή τους, ενώ η επιλογή των δρώντων και των σχέσεων που θα συμπεριληφθούν στη χαρτογράφηση ενέχει στοιχεία υποκειμενικότητας. Επιπλέον, η υπερβολική εστίαση στη δομική απεικόνιση μπορεί να οδηγήσει σε υποεκτίμηση άυλων παραγόντων, όπως η εμπιστοσύνη, οι άτυποι κανόνες και οι πολιτισμικές διαστάσεις της συνεργασίας (Minoja & Romano, 2024). Η αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών απαιτεί συνδυασμό ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων, καθώς και συνεχή επικαιροποίηση των χαρτογραφήσεων.

Τα οικοσυστήματα και η προσέγγιση ecosystem mapping προσφέρουν ένα ισχυρό αναλυτικό πλαίσιο για την κατανόηση και τη διακυβέρνηση της Κυκλικής Οικονομίας και των εφαρμογών Τεχνητής Νοημοσύνης που τη στηρίζουν. Μέσα από τη συστημική αποτύπωση δρώντων, ροών και σχέσεων, καθίσταται δυνατή η μετάβαση από αποσπασματικές παρεμβάσεις σε ολιστικές στρατηγικές μετασχηματισμού. Η ενσωμάτωση της οικοσυστημικής λογικής ολοκληρώνει το θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας εργασίας και θέτει τις βάσεις για την εμπειρική ανάλυση που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

3. Μεθοδολογία Έρευνας

3.1 Ερευνητική προσέγγιση και τύπος μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία υιοθετεί μελετητική ερευνητική προσέγγιση βασισμένη σε δευτερογενή δεδομένα και βιβλιογραφική ανασκόπηση, χωρίς συλλογή πρωτογενών ποσοτικών δεδομένων. Το ερευνητικό design είναι διερευνητικό (exploratory) και εννοιολογικά προσανατολισμένο, καθώς εστιάζει στη χαρτογράφηση του οικοσυστήματος της Κυκλικής Οικονομίας και των ενδιαφερομένων μερών (stakeholders) που το συγκροτούν, με ειδική έμφαση στον ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης ως παράγοντα μετασχηματισμού, συντονισμού και επιτάχυνσης κυκλικών πρακτικών. Η επιλογή αυτής της προσέγγισης συνδέεται άμεσα με τον σκοπό και τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας, τα οποία δεν αποσκοπούν σε στατιστική επαλήθευση αιτιακών σχέσεων, αλλά σε συστηματική σύνθεση της γνώσης, ανάλυση σχέσεων ισχύος/ενδιαφέροντος και ανάπτυξη πλαισίου κατανόησης της διακυβέρνησης σε ένα αναδυόμενο κοινωνικοτεχνικό πεδίο.

Η μεθοδολογική αυτή επιλογή ευθυγραμμίζεται με τη διεθνή πρακτική στη μελέτη σύνθετων συστημάτων βιωσιμότητας και περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, όπου η ανάλυση ενδιαφερομένων λειτουργεί ως κεντρικό εργαλείο κατανόησης δομών, ρόλων και δυναμικών επιρροής (Bendtsen et al., 2021). Επιπλέον, η συνδυαστική αξιοποίηση συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης και μελετών περίπτωσης (case studies) κρίνεται κατάλληλη για πεδία που χαρακτηρίζονται από ταχεία εξέλιξη και ετερογενή τεκμηρίωση, όπως η AI-backed Circular Economy, καθώς επιτρέπει αφενός την εδραίωση εννοιολογικής βάσης και αφετέρου τη γείωση της ανάλυσης σε παραδείγματα εφαρμογής (Lahane et al., 2021; Pathan et al., 2023). Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία αξιοποιεί τη βιβλιογραφία για την αποτύπωση των κύριων κατηγοριών ενδιαφερομένων και των τυπικών αλληλεπιδράσεών τους, ενώ τα case studies λειτουργούν συμπληρωματικά ώστε να αναδειχθούν συγκεκριμένοι μηχανισμοί, πρακτικές και σχέσεις που δεν είναι πάντα ορατές σε καθαρά θεωρητικές προσεγγίσεις.

Τέλος, το επιλεγμένο design εξυπηρετεί τη διπλή συνεισφορά της εργασίας: αφενός την ανάπτυξη/διατύπωση ενός πλαισίου stakeholder analysis προσαρμοσμένου στο περιβάλλον της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη ΤΝ (Κεφάλαιο 4), και αφετέρου την εξαγωγή συμπερασμάτων διακυβέρνησης και οικοσυστημικής οργάνωσης μέσα από συγκριτική ανάγνωση των μελετών περίπτωσης (Κεφάλαια 5–6), σύμφωνα και με τη λογική της

συμμετοχικής και πολυ-δρών διαχείρισης που απαιτεί η μετάβαση σε κυκλικότητα (Minoja & Romano, 2024).

3.2 Συλλογή δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα είναι αποκλειστικά δευτερογενή και προέρχονται από αξιόπιστες και διεθνώς αναγνωρισμένες πηγές. Ειδικότερα, αξιοποιούνται επιστημονικά άρθρα από διεθνείς βάσεις δεδομένων, όπως οι Scopus, ScienceDirect και Google Scholar, καθώς και δευτερογενές υλικό που αφορά εταιρικές καινοτομίες, τεκμηριωμένες επιδείξεις τεχνολογικών εφαρμογών και δημόσια διαθέσιμα δεδομένα που σχετίζονται με πολιτικές Κυκλικής Οικονομίας και Τεχνητής Νοημοσύνης.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει σε δημοσιεύσεις από το 2017 και μετά, με στόχο τη διασφάλιση της επικαιρότητας και της επιστημονικής συνάφειας των δεδομένων. Η επιλογή συστηματικής προσέγγισης βιβλιογραφίας κρίνεται αναγκαία λόγω της ταχείας και δυναμικής εξέλιξης του πεδίου της Κυκλικής Οικονομίας, το οποίο έχει γνωρίσει σημαντική εννοιολογική και εφαρμοσμένη διεύρυνση τα τελευταία έτη (Lahane et al., 2021), καθώς και λόγω της αυξανόμενης ερευνητικής εστίασης στον ρόλο και τις εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στο πλαίσιο της κυκλικότητας (Pathan et al., 2023).

Επιπρόσθετα, η επιλογή των πηγών περιλαμβάνει μελέτες που εξετάζουν ρητά τη συμμετοχή, την επιρροή και τις σχέσεις διακυβέρνησης των ενδιαφερομένων μερών σε κυκλικά επιχειρηματικά και οργανωσιακά περιβάλλοντα. Η ενσωμάτωση της διάστασης αυτής επιτρέπει τη στοχευμένη ανάλυση των ρόλων και των σχέσεων ισχύος μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων της Κυκλικής Οικονομίας, στοιχείο που θεωρείται κρίσιμο για την κατανόηση της αποτελεσματικής μετάβασης προς κυκλικά μοντέλα (Minoja & Romano, 2024).

Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση (SLR) πραγματοποιήθηκε με στόχο τον εντοπισμό επιστημονικών μελετών που συνδέουν την Κυκλική Οικονομία, την Τεχνητή Νοημοσύνη και την ανάλυση ενδιαφερομένων. Η αναζήτηση διεξήχθη στις βάσεις δεδομένων Scopus, ScienceDirect και Google Scholar, με χρονικό φίλτρο δημοσιεύσεων από το 2017 και μετά.

Ως βασικές λέξεις-κλειδιά και συνδυασμοί όρων χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά οι εξής: “circular economy” AND “artificial intelligence”, “circular business model*” AND AI, “stakeholder analysis” AND “circular economy”, καθώς και “ecosystem mapping” AND

sustainability. Οι όροι επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτουν τους κύριους θεωρητικούς και εννοιολογικούς άξονες της έρευνας.

Η αρχική αναζήτηση απέδωσε [N1] αποτελέσματα. Μετά την αφαίρεση διπλοεγγραφών και τον έλεγχο τίτλου και περίληψης ως προς τη συνάφεια με το αντικείμενο της μελέτης, προέκυψε σύνολο [N2] άρθρων για πλήρη ανάγνωση. Το τελικό δείγμα που εντάχθηκε στην ανάλυση αποτελείται από [N3] επιστημονικές δημοσιεύσεις, οι οποίες συνδέονται άμεσα με την Κυκλική Οικονομία, τις εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης και/ή τη διακυβέρνηση και ανάλυση ενδιαφερομένων.

3.3 Επιλογή και περιγραφή μελετών περίπτωσης

Για την εμπλουτισμένη κατανόηση και την εμπειρική υποστήριξη του θεωρητικού πλαισίου, επιλέγονται 3–5 μελέτες περίπτωσης (case studies) από οργανισμούς που αξιοποιούν τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής προϊόντων ή υλικών. Τα case studies λειτουργούν ως βασικές μονάδες ανάλυσης, μέσω των οποίων εξετάζονται οι ρόλοι, οι αλληλεπιδράσεις και οι μηχανισμοί διακυβέρνησης των ενδιαφερομένων μερών στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη ΤΝ.

- i. Συσχέτιση με κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα (π.χ. ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, product-as-a-service).
- ii. Τεκμηριωμένη χρήση ΤΝ για λειτουργική, περιβαλλοντική ή κοινωνική αναβάθμιση.
- iii. Διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων που επιτρέπουν ανάλυση stakeholders.
- iv. Αντιπροσωπευτικότητα διαφορετικών κλάδων ώστε να αποτυπωθούν πολλαπλές οπτικές εντός του οικοσυστήματος.

Η επιλογή τέτοιων περιπτώσεων ενισχύει τη μεταφορά γνώσης από την πράξη στη θεωρία και επιτρέπει την εφαρμογή χαρτογράφησης οικοσυστήματος (ecosystem mapping), όπως προτείνεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Minoja & Romano, 2024).

3.4 Μέθοδοι ανάλυσης

Η ανάλυση των δεδομένων βασίζεται στη μεθοδολογική προσέγγιση που προτείνουν οι Bendtsen et al. (2021), σύμφωνα με την οποία η αξιολόγηση των ενδιαφερομένων μερών απαιτεί συστηματική εξέταση ιδιοτήτων, επιρροής, ενδιαφέροντος και βαθμού συμμετοχής. Στο πλαίσιο αυτό, για κάθε μελέτη περίπτωσης εφαρμόζονται συνδυαστικά ποιοτικές

τεχνικές ανάλυσης, με στόχο την αποτύπωση τόσο των επιμέρους stakeholders όσο και των μεταξύ τους σχέσεων.

Η ανάλυση της παρούσας έρευνας βασίζεται σε ποιοτικό πλαίσιο stakeholder analysis, εστιασμένο στη συστηματική αποτύπωση των ρόλων, των κινήτρων και των σχέσεων επιρροής των ενδιαφερομένων μερών στην Κυκλική Οικονομία με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης. Το πλαίσιο ανάλυσης αντλεί από τη Θεωρία Ενδιαφερομένων (Freeman, 1984) και σύγχρονες προσεγγίσεις περιβαλλοντικής διακυβέρνησης (Bendtsen et al., 2021), και εφαρμόζεται με ερμηνευτικό τρόπο, χωρίς τη χρήση υπολογιστικών ή εξειδικευμένων τεχνολογικών εργαλείων.

Για κάθε μελέτη περίπτωσης, η ανάλυση οργανώνεται αποκλειστικά μέσω δομημένων πινάκων, οι οποίοι επιτρέπουν τη διαφανή και συγκρίσιμη παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται:

(α) πίνακες κατηγοριοποίησης ενδιαφερομένων, όπου αποτυπώνονται ο ρόλος τους στο κυκλικό οικοσύστημα, τα κύρια κίνητρα/συμφέροντα και το επίπεδο εμπλοκής τους

(β) πίνακες ιεράρχησης επιρροής και ενδιαφέροντος, που λειτουργούν ως λεκτική και ποιοτική αποτύπωση της λογικής του Power–Interest Matrix

(γ) πίνακες χαρτογράφησης χαρακτηριστικών ενδιαφερομένων, βασισμένοι σε στοιχεία της προσέγγισης MARTkit, με έμφαση στη συμμετοχή, τη θεσμική νομιμοποίηση και τις κοινωνικές διαστάσεις της διακυβέρνησης

(δ) συγκριτικούς πίνακες μεταξύ των μελετών περίπτωσης, για την ανάδειξη κοινών μοτίβων και διαφοροποιήσεων.

Η επιλογή αποκλειστικής χρήσης πινάκων ως μέσου παρουσίασης των αποτελεσμάτων αποσκοπεί στη μεθοδολογική απλότητα, στη σαφήνεια της ανάλυσης και στη διευκόλυνση της αναγνωσιμότητας, χωρίς απώλεια αναλυτικού βάθους.

3.5 Περιορισμοί της μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που αφορούν κυρίως τη διαθεσιμότητα και την ετερογένεια των δευτερογενών δεδομένων. Η αξιολόγηση των stakeholders βασίζεται συχνά σε ποιοτικά δεδομένα, τα οποία δύναται να παρουσιάζουν στοιχεία υποκειμενικότητας, όπως επισημαίνουν οι Bendtsen et al. (2021).

Παράλληλα, η επιλογή case studies περιορίζει το εύρος γενίκευσης των συμπερασμάτων σε ευρύτερα πλαίσια της CE. Ωστόσο, η εστίαση αυτή επιτρέπει εις βάθος αναλυτική προσέγγιση, στοιχείο κρίσιμο για αναδυόμενα πεδία με περιορισμένη συστηματική τεκμηρίωση (Lahane et al., 2021).

Τέλος, η ταχεία εξέλιξη των τεχνολογιών TN ενδέχεται να δημιουργεί χρονική υστέρηση μεταξύ βιβλιογραφίας και τρέχουσας πρακτικής (Pathan et al., 2023), γεγονός που απαιτεί συνεχή επικαιροποίηση των ευρημάτων.

4. Χαρτογράφηση και Ανάλυση Εμπλεκόμενων Μερών στο Πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας με Υποστήριξη ΤΝ

4.1 Τυπολογία stakeholders

Η ανάπτυξη ενός εννοιολογικού πλαισίου stakeholder analysis για τα οικοσυστήματα της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης προϋποθέτει, κατ' αρχάς, τη συστηματική τυπολογία των ενδιαφερομένων μερών. Η τυπολογία δεν αποτελεί απλώς διαδικασία ταξινόμησης, αλλά θεμελιώδη γνωσιολογική πράξη μέσω της οποίας αποσαφηνίζονται οι δομές ισχύος, οι ροές επιρροής και οι δυναμικές αξίας εντός σύνθετων κοινωνικοτεχνικών συστημάτων. Όπως υπογραμμίζουν οι Bendtsen, Clausen και Hansen (2021), η σύγχρονη βιβλιογραφία της stakeholder analysis έχει μετακινηθεί από απλοϊκές διακρίσεις πρωτευόντων και δευτερευόντων δρώντων προς πολυδιάστατα μοντέλα που ενσωματώνουν μεταβλητές όπως το επίπεδο ενδιαφέροντος (interest), ο βαθμός επιρροής (influence), η θεσμική νομιμοποίηση και η ικανότητα άσκησης πίεσης. Η μετατόπιση αυτή αντανακλά την αυξανόμενη αναγνώριση ότι τα περιβαλλοντικά και τεχνολογικά συστήματα χαρακτηρίζονται από μη γραμμικές αλληλεξαρτήσεις, οι οποίες δεν μπορούν να αποτυπωθούν επαρκώς μέσω μονοδιάστατων κατηγοριοποιήσεων.

Στο πλαίσιο των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων, η ανάγκη για αναλυτική τυπολογία καθίσταται ακόμη πιο επιτακτική, καθώς η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών μεταβάλλει ριζικά τις σχέσεις μεταξύ δρώντων, αναδιαμορφώνει τα όρια οργανισμών και δημιουργεί νέες κατηγορίες συμμετεχόντων, όπως παρόχους δεδομένων, πλατφόρμες αλγοριθμικής διαμεσολάβησης και ρυθμιστικούς φορείς τεχνητής νοημοσύνης. Η stakeholder analysis, όπως εξελίσσεται στη βιβλιογραφία της περιβαλλοντικής διακυβέρνησης, προσφέρει ένα πλαίσιο κατανόησης αυτών των μετασχηματισμών, επιτρέποντας την ταυτόχρονη εξέταση ισχύος, ευθύνης και συμμετοχής (Bendtsen et al., 2021). Ωστόσο, για να καταστεί λειτουργική στο παρόν εννοιολογικό πλαίσιο, η τυπολογία οφείλει να υπερβεί την περιγραφική αποτύπωση και να ενσωματώσει κανονιστικές και στρατηγικές διαστάσεις, αναδεικνύοντας όχι μόνο ποιοι είναι οι stakeholders, αλλά και πώς συν-δημιουργούν ή παρεμποδίζουν την κυκλική αξία.

Η συμβολή της προσέγγισης των Freudenreich, Lüdeke-Freund και Schaltegger (2020) είναι καθοριστική σε αυτό το σημείο, καθώς επανατοποθετεί τους stakeholders όχι ως παθητικούς αποδέκτες οργανωσιακών αποφάσεων, αλλά ως ενεργούς συν-δημιουργούς αξίας εντός επιχειρηματικών μοντέλων βιωσιμότητας. Η οπτική αυτή μεταβάλλει το

αναλυτικό επίκεντρο της τυπολογίας από τη διαχείριση συμφερόντων στη χαρτογράφηση σχέσεων αξίας. Στα κυκλικά οικοσυστήματα, οι επιχειρήσεις, οι προμηθευτές, οι πελάτες, οι δημόσιοι φορείς και οι τεχνολογικοί πάροχοι δεν αλληλεπιδρούν απλώς ανταλλακτικά, αλλά συγκροτούν δίκτυα συν-παραγωγής, όπου η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική αξία αναδύεται μέσα από τη συνεργασία. Συνεπώς, η τυπολογία των stakeholders οφείλει να λαμβάνει υπόψη τη θέση κάθε δρώντα στη διαδικασία δημιουργίας και διανομής αξίας, καθώς και τον βαθμό στον οποίο η συμμετοχή του ενισχύει ή υπονομεύει τη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος.

Πέραν της σχέσης αξίας, η τυπολογία απαιτεί την ενσωμάτωση κριτηρίων που αφορούν την επιρροή και τη θεσμική ικανότητα. Οι Bendtsen et al. (2021) επισημαίνουν ότι η ανάλυση επιρροής δεν πρέπει να περιορίζεται σε οικονομικούς δείκτες ισχύος, αλλά να συμπεριλαμβάνει συμβολική, γνωσιακή και ρυθμιστική δύναμη. Σε ένα AI-enabled κυκλικό οικοσύστημα, για παράδειγμα, ένας ρυθμιστικός φορέας μπορεί να διαθέτει υψηλή θεσμική επιρροή παρά τη χαμηλή άμεση εμπλοκή σε ροές αξίας, ενώ ένας πάροχος τεχνολογίας μπορεί να επηρεάζει καθοριστικά τη διαφάνεια και τη λογοδοσία μέσω του σχεδιασμού αλγοριθμικών συστημάτων. Η πολυδιάστατη αυτή κατανόηση της ισχύος καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη τυπολογιών που αποτυπώνουν όχι μόνο την παρουσία, αλλά και τη λειτουργική θέση των stakeholders εντός του οικοσυστήματος.

Στο σημείο αυτό, η προσέγγιση του MARTkit που προτείνουν οι Hoare et al. (2023) παρέχει ένα κρίσιμο εργαλείο επιχειρησιακής ενσωμάτωσης της τυπολογίας. Μέσω της συστηματικής χαρτογράφησης χαρακτηριστικών, κινήτρων και κοινωνικών δυναμικών, το εργαλείο αυτό ενισχύει τη συμπεριληπτικότητα και την αντιπροσωπευτικότητα της stakeholder analysis, αναγνωρίζοντας ότι η παραδοσιακή ιεράρχηση βάσει ισχύος ενδέχεται να αποκλείει περιθωριοποιημένες ομάδες. Η σημασία αυτής της διάστασης είναι ιδιαίτερα έντονη σε κυκλικά οικοσυστήματα, όπου οι τοπικές κοινότητες, οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις ή οι ομάδες χρηστών δεδομένων μπορεί να διαθέτουν περιορισμένη θεσμική επιρροή, αλλά να επηρεάζονται δυσανάλογα από τεχνολογικές ή περιβαλλοντικές αποφάσεις. Επομένως, η τυπολογία δεν μπορεί να είναι ουδέτερη· οφείλει να ενσωματώνει κριτήρια δικαιοσύνης και ισότιμης εκπροσώπησης.

Η διάσταση της συμμετοχής και της εμπλοκής (engagement) συμπληρώνει περαιτέρω την τυπολογική ανάλυση. Οι Flaig, Guyader και Ottosson (2025) αναδεικνύουν ότι σε οικοσυστήματα υπηρεσιών, η εμπλοκή των stakeholders μπορεί να λάβει διαφορετικές μορφές, από αναπαραγωγική έως μετασχηματιστική, ανάλογα με το επίπεδο

αναστοχαστικότητας και συν-σχεδιασμού. Η κατηγοριοποίηση αυτή επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ δρώντων που συμμετέχουν παθητικά στη διατήρηση υφιστάμενων δομών και εκείνων που συμβάλλουν ενεργά στη διαμόρφωση νέων μοντέλων διακυβέρνησης ή επιχειρηματικής καινοτομίας. Στα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς η τεχνολογική μετάβαση απαιτεί όχι μόνο συμμόρφωση, αλλά δημιουργική συμμετοχή στη διαμόρφωση κανόνων και διαδικασιών.

Συνοψίζοντας, η τυπολογία των stakeholders στο παρόν εννοιολογικό πλαίσιο συγκροτείται γύρω από τέσσερις αλληλοσυνδεόμενες διαστάσεις: τη θέση στη δημιουργία αξίας, τον βαθμό επιρροής και ισχύος, τη θεσμική και κοινωνική νομιμοποίηση, και το επίπεδο εμπλοκής στον σχεδιασμό και τη διακυβέρνηση του οικοσυστήματος. Οι τέσσερις αυτές διαστάσεις συνοψίζονται σχηματικά στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 – Διαστάσεις τυπολογίας stakeholders

Η σύνθεση των προσεγγίσεων των Bendtsen et al. (2021), Freudenreich et al. (2020), Hoare et al. (2023) και Flaig et al. (2025) επιτρέπει την ανάπτυξη μιας πολυεπίπεδης και δυναμικής τυπολογίας, ικανής να αποτυπώσει τόσο τις δομικές σχέσεις ισχύος όσο και τις διαδικασίες συν-δημιουργίας αξίας. Η τυπολογία αυτή δεν λειτουργεί ως στατικό εργαλείο κατηγοριοποίησης, αλλά ως αναλυτικό υπόβαθρο για τη διαμόρφωση ενός ευρύτερου conceptual stakeholder–ecosystem model, στο οποίο οι ρόλοι, οι επιρροές και οι διακυβερνητικές παράμετροι εξετάζονται σε συνεχή αλληλεπίδραση.

4.2 Ρόλοι και διαστάσεις επιρροής

Η ανάλυση των ρόλων και των διαστάσεων επιρροής των ενδιαφερομένων μερών συνιστά κρίσιμο στάδιο στη διαμόρφωση ενός συνεκτικού εννοιολογικού πλαισίου stakeholder analysis για τα οικοσυστήματα της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης. Εάν η τυπολογία αποσκοπεί στην κατηγοριοποίηση των δρώντων, η ανάλυση ρόλων και επιρροής επιδιώκει να αποτυπώσει τη λειτουργική τους θέση εντός του συστήματος, τις σχέσεις αλληλεξάρτησης που αναπτύσσονται και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων ασκείται ισχύς. Όπως επισημαίνουν οι Bendtsen, Clausen και Hansen (2021), η σύγχρονη stakeholder analysis οφείλει να υπερβαίνει την απλή χαρτογράφηση παρουσίας και να εξετάζει συστηματικά τις δυναμικές ισχύος, τα κίνητρα και τη θεσμική ικανότητα κάθε δρώντα να επηρεάζει τις περιβαλλοντικές και ρυθμιστικές διαδικασίες. Στο πλαίσιο των AI-enabled κυκλικών οικοσυστημάτων, η επιρροή δεν περιορίζεται σε οικονομική δύναμη ή ιδιοκτησιακά δικαιώματα, αλλά εκτείνεται σε τεχνολογική εξειδίκευση, έλεγχο δεδομένων, ρυθμιστική αρμοδιότητα και κοινωνική νομιμοποίηση.

Οι ρόλοι των stakeholders μπορούν να κατανοηθούν ως λειτουργικές θέσεις εντός του οικοσυστήματος, οι οποίες σχετίζονται με τη δημιουργία, τη διανομή και τη ρύθμιση της αξίας. Σύμφωνα με την προσέγγιση των Freudenreich, Lüdeke-Freund και Schaltegger (2020), οι stakeholders δεν είναι απλώς εξωτερικοί περιορισμοί στη δράση της επιχείρησης, αλλά ενεργοί συν-δημιουργοί αξίας εντός βιώσιμων επιχειρηματικών μοντέλων. Στα κυκλικά οικοσυστήματα, οι επιχειρήσεις, οι προμηθευτές, οι τεχνολογικοί πάροχοι, οι ρυθμιστικές αρχές και οι χρήστες συγκροτούν ένα δίκτυο συν-παραγωγής, όπου η περιβαλλοντική και κοινωνική αξία προκύπτει μέσα από αλληλεπιδράσεις. Οι ρόλοι αυτοί μπορούν να διακριθούν σε παρόχους πόρων, διαμεσολαβητές τεχνολογίας, ρυθμιστές, χρήστες και συν-σχεδιαστές πολιτικών, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η ταυτόχρονη κατοχή πολλαπλών ρόλων από τον ίδιο δρώντα. Η πολλαπλότητα αυτή αντανακλά τη ρευστότητα των σύγχρονων οικοσυστημάτων και υποδηλώνει ότι η επιρροή είναι συχνά διανεμημένη και όχι συγκεντρωτική.

Η διάσταση της επιρροής συνδέεται άμεσα με το επίπεδο ισχύος που κατέχει κάθε stakeholder και με την ικανότητά του να διαμορφώνει αποφάσεις, κανόνες και τεχνολογικές επιλογές. Οι Bendtsen et al. (2021) υπογραμμίζουν ότι η ισχύς δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά μπορεί να λάβει οικονομική, θεσμική, γνωσιακή ή συμβολική μορφή. Στα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, η γνωσιακή ισχύς –δηλαδή η ικανότητα ελέγχου της πληροφορίας και των δεδομένων– αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Οι τεχνολογικοί πάροχοι ή οι πλατφόρμες που

αναπτύσσουν αλγοριθμικά συστήματα δύνανται να επηρεάζουν τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και τη διανομή ωφελειών, ακόμη και χωρίς άμεση θεσμική εξουσία. Αντίστοιχα, οι δημόσιες αρχές διατηρούν ρυθμιστική ισχύ, η οποία μπορεί να επαναπροσδιορίσει τις ισορροπίες επιρροής μέσω κανονιστικών παρεμβάσεων. Η ανάλυση των διαστάσεων αυτών επιτρέπει την κατανόηση των μηχανισμών μέσω των οποίων η επιρροή μεταφράζεται σε πράξη, επηρεάζοντας τη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος.

Πέραν της ισχύος, κρίσιμη παράμετρος αποτελεί το επίπεδο εμπλοκής και συμμετοχής των stakeholders. Οι Flaig, Guyader και Ottosson (2025) αναδεικνύουν ότι η εμπλοκή σε οικοσυστήματα υπηρεσιών μπορεί να είναι αναπαραγωγική, μεταρρυθμιστική ή μετασχηματιστική, ανάλογα με το κατά πόσο οι δρώντες συμμετέχουν ενεργά στον συν-σχεδιασμό και στην αναδιαμόρφωση των θεσμικών δομών. Η διάκριση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιβάλλοντα όπου η Τεχνητή Νοημοσύνη εισάγει νέες μορφές αυτοματοποίησης και λήψης αποφάσεων. Ένας stakeholder μπορεί να διαθέτει υψηλή επιρροή αλλά χαμηλή εμπλοκή στον σχεδιασμό συστημάτων, περιοριζόμενος σε ρόλο παρατηρητή ή αποδέκτη αποφάσεων. Αντιθέτως, η μετασχηματιστική εμπλοκή συνεπάγεται ενεργό συμμετοχή στη διαμόρφωση κανόνων, προτύπων και τεχνολογικών προδιαγραφών, ενισχύοντας τη δημοκρατική διάσταση της διακυβέρνησης.

Η ανάλυση ρόλων και επιρροής πρέπει επίσης να ενσωματώνει κριτήρια δικαιοσύνης και ισότιμης εκπροσώπησης. Η προσέγγιση του MARTkit, όπως προτείνεται από τους Hoare et al. (2023), υποδεικνύει ότι η παραδοσιακή ιεράρχηση βάσει ισχύος ενδέχεται να υποεκπροσωπεί ομάδες με χαμηλή θεσμική επιρροή αλλά υψηλή κοινωνική έκθεση σε κινδύνους. Σε κυκλικά οικοσυστήματα όπου η συλλογή και ανάλυση δεδομένων επηρεάζει άμεσα κοινότητες ή χρήστες, η απουσία ισότιμης συμμετοχής μπορεί να οδηγήσει σε ανισορροπίες και κοινωνική απονομιμοποίηση. Συνεπώς, η διάσταση της επιρροής δεν πρέπει να εξετάζεται αποκομμένα από τη διάσταση της ευθύνης και της έκθεσης σε συνέπειες. Ένας ολοκληρωμένος εννοιολογικός σχεδιασμός απαιτεί την ταυτόχρονη αξιολόγηση της ισχύος, της εμπλοκής και του βαθμού επηρεασμού κάθε stakeholder.

Η συνδυαστική θεώρηση ρόλων και διαστάσεων επιρροής οδηγεί στη διαμόρφωση ενός πολυεπίπεδου αναλυτικού πλαισίου, στο οποίο οι stakeholders τοποθετούνται όχι μόνο βάσει κατηγορίας, αλλά και βάσει της δυναμικής τους σχέσης με το οικοσύστημα. Οι ρόλοι μεταβάλλονται ανάλογα με τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις ρυθμιστικές παρεμβάσεις και τις κοινωνικές προσδοκίες, γεγονός που καθιστά απαραίτητη μια δυναμική προσέγγιση. Η συμβολή των Freudenreich et al. (2020) στη συν-δημιουργία αξίας, η ανάλυση ισχύος των

Bendtsen et al. (2021), η έμφαση στη συμπεριληπτικότητα των Hoare et al. (2023) και η κατηγοριοποίηση μορφών εμπλοκής των Flaig et al. (2025) συνθέτουν ένα συνεκτικό θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση των ρόλων και της επιρροής σε AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα.

Εν τέλει, η εννοιολογική αποτύπωση των ρόλων και διαστάσεων επιρροής δεν αποτελεί στατική απεικόνιση ισορροπιών ισχύος, αλλά εργαλείο κατανόησης των μηχανισμών μέσω των οποίων διαμορφώνεται η βιωσιμότητα. Η ικανότητα ενός οικοσυστήματος να επιτύχει κυκλικότητα και υπεύθυνη αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης εξαρτάται από την ευθυγράμμιση ρόλων, τη διαφάνεια επιρροής και τη δίκαιη κατανομή ευθυνών. Η ανάλυση αυτή θεμελιώνει το επόμενο στάδιο του εννοιολογικού μοντέλου, στο οποίο οι ρόλοι και οι επιρροές εντάσσονται σε ένα ευρύτερο stakeholder–ecosystem framework διακυβέρνησης.

4.3 AI governance parameters

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στα οικοσυστήματα της Κυκλικής Οικονομίας καθιστά αναγκαία τη διαμόρφωση σαφών και πολυεπίπεδων παραμέτρων διακυβέρνησης, οι οποίες υπερβαίνουν τη στενή τεχνολογική ρύθμιση και εκτείνονται σε θεσμικές, οργανωσιακές και ηθικές διαστάσεις. Η διακυβέρνηση της TN δεν μπορεί να περιοριστεί σε ζητήματα κανονιστικής συμμόρφωσης ή τεχνικής ασφάλειας· αντιθέτως, οφείλει να αναγνωρίζει την TN ως κοινωνικοτεχνικό φαινόμενο, ενταγμένο σε δυναμικά οικοσυστήματα καινοτομίας, όπου η αξία, η ισχύς και η ευθύνη διαχέονται μεταξύ πολλαπλών δρώντων. Υπό αυτό το πρίσμα, οι παράμετροι AI governance συγκροτούνται ως σύνολο αρχών, μηχανισμών και θεσμικών ρυθμίσεων που διασφαλίζουν ότι η ανάπτυξη και χρήση αλγοριθμικών συστημάτων ευθυγραμμίζεται με στόχους βιωσιμότητας, διαφάνειας και κοινωνικής λογοδοσίας.

Η συμβολή των Papagiannidis, Mikalef και Conboy (2025) είναι καθοριστική για τη συστηματοποίηση αυτών των παραμέτρων, καθώς προτείνουν ένα εννοιολογικό πλαίσιο υπεύθυνης διακυβέρνησης της TN που διακρίνει μεταξύ δομικών, σχεσιακών και διαδικαστικών πρακτικών. Οι δομικές πρακτικές αφορούν την ύπαρξη σαφών ρόλων, επιτροπών εποπτείας και θεσμικών μηχανισμών ελέγχου εντός οργανισμών και οικοσυστημάτων. Στα AI-enabled κυκλικά οικοσυστήματα, οι δομικές αυτές διατάξεις πρέπει να διασφαλίζουν τη διασύνδεση μεταξύ τεχνολογικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικών στόχων, αποτρέποντας την αποσπασματική υιοθέτηση αλγορίθμων χωρίς στρατηγική ευθυγράμμιση. Οι σχεσιακές πρακτικές, αντιστοίχως, εστιάζουν στην

καλλιέργεια εμπιστοσύνης και διαλόγου μεταξύ stakeholders, αναγνωρίζοντας ότι η διακυβέρνηση της TN είναι συλλογική διαδικασία και όχι μονομερής απόφαση τεχνολογικών παρόχων. Οι διαδικαστικές πρακτικές, τέλος, περιλαμβάνουν μηχανισμούς αξιολόγησης επιπτώσεων, ελέγχους μεροληψίας και διαφανείς διαδικασίες λήψης αποφάσεων, οι οποίες ενισχύουν τη λογοδοσία και μειώνουν τον κίνδυνο συστημικών στρεβλώσεων.

Η αναγκαιότητα αυτών των παραμέτρων καθίσταται ακόμη πιο εμφανής όταν ληφθούν υπόψη οι δυνητικές θετικές και αρνητικές επιπτώσεις της TN στη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι Vinuesa et al. (2020) επισημαίνουν ότι η TN μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως επιταχυντής επίτευξης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης όσο και ως παράγοντας ενίσχυσης ανισοτήτων, περιβαλλοντικής επιβάρυνσης ή συγκέντρωσης ισχύος. Η διττή αυτή δυναμική καθιστά την εποπτεία και τον θεσμικό έλεγχο απαραίτητους όρους για τη βιώσιμη ενσωμάτωση της TN στα κυκλικά οικοσυστήματα. Οι παράμετροι διακυβέρνησης, συνεπώς, οφείλουν να ενσωματώνουν μηχανισμούς πρόληψης κινδύνων, όπως η ενεργειακή κατανάλωση υπολογιστικών υποδομών, η αλγοριθμική μεροληψία και η άνιση πρόσβαση σε τεχνολογικούς πόρους.

Σε θεσμικό επίπεδο, η παγκόσμια ρυθμιστική σκηνή της TN χαρακτηρίζεται από ταχεία μεταβολή και αυξανόμενη πολυπλοκότητα. Οι Zaidan και Ibrahim (2024) αναδεικνύουν ότι τα ρυθμιστικά πλαίσια αναπτύσσονται με διαφορετικούς ρυθμούς και προσεγγίσεις διεθνώς, δημιουργώντας ένα πολυεπίπεδο περιβάλλον διακυβέρνησης, στο οποίο συνυπάρχουν εθνικές νομοθεσίες, περιφερειακές οδηγίες και διεθνείς κατευθυντήριες γραμμές. Για τα κυκλικά οικοσυστήματα που λειτουργούν διασυνοριακά, η ανομοιογένεια αυτή δημιουργεί προκλήσεις συμμόρφωσης και συντονισμού. Οι AI governance parameters οφείλουν, επομένως, να περιλαμβάνουν μηχανισμούς προσαρμοστικότητας και ευθυγράμμισης με πολλαπλά ρυθμιστικά περιβάλλοντα, ενισχύοντας τη διαλειτουργικότητα και τη θεσμική συνοχή.

Παράλληλα, η ηθική διάσταση της διακυβέρνησης της TN αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο. Η ανάλυση των Jobin, Ienca και Vayena (2019) καταδεικνύει ότι παγκοσμίως διαμορφώνεται ένα σύνολο κοινών αρχών, όπως η διαφάνεια, η δικαιοσύνη, η λογοδοσία και η μη πρόκληση βλάβης. Οι αρχές αυτές λειτουργούν ως κανονιστικά σημεία αναφοράς για την ανάπτυξη και αξιολόγηση αλγοριθμικών συστημάτων. Στα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, η ηθική διακυβέρνηση πρέπει να διασφαλίζει ότι οι αλγόριθμοι που υποστηρίζουν τη διαχείριση πόρων, την πρόβλεψη ζήτησης ή τη βελτιστοποίηση

εφοδιαστικών αλυσίδων δεν παράγουν αδιαφανείς ή άνισες κατανομές ωφελειών. Η ενσωμάτωση ηθικών αρχών στις οργανωσιακές και διακρατικές πρακτικές ενισχύει τη νομιμοποίηση του οικοσυστήματος και περιορίζει τον κίνδυνο κοινωνικής αποδοκιμασίας.

Η διακυβέρνηση της ΤΝ δεν μπορεί, ωστόσο, να αποσυνδεθεί από το ευρύτερο πλαίσιο του οικοσυστήματος καινοτομίας εντός του οποίου λειτουργεί. Οι Granstrand και Holgersson (2020) ορίζουν τα οικοσυστήματα καινοτομίας ως δίκτυα αλληλοεξαρτώμενων οργανισμών και θεσμών που συν-δημιουργούν και αποκομίζουν αξία μέσω συμπληρωματικών ρόλων. Στο πλαίσιο αυτό, οι AI governance parameters πρέπει να εξετάζονται ως διανεμημένες και όχι αποκλειστικά κεντρικές λειτουργίες. Η εποπτεία, η λογοδοσία και η διαχείριση κινδύνων διαμοιράζονται μεταξύ επιχειρήσεων, δημόσιων φορέων, τεχνολογικών παρόχων και χρηστών, δημιουργώντας ένα πλέγμα συν-ευθύνης. Η κατανόηση της διακυβέρνησης ως οικοσυστημικής διαδικασίας ενισχύει την ανθεκτικότητα και προάγει τη συλλογική ικανότητα προσαρμογής σε τεχνολογικές και περιβαλλοντικές αλλαγές.

Οι AI governance parameters που αναπτύσσονται στο παρόν εννοιολογικό πλαίσιο συγκροτούνται γύρω από τέσσερις βασικούς άξονες: θεσμική και δομική εποπτεία, διαδικαστική διαφάνεια και αξιολόγηση κινδύνων, ηθική ευθυγράμμιση με αρχές δικαιοσύνης και βιωσιμότητας, και οικοσυστημική συν-ευθύνη μεταξύ stakeholders. Η σύνθεση των θεωρητικών συνεισφορών των Papagiannidis et al. (2025), Zaidan και Ibrahim (2024), Jobin et al. (2019), Vinuesa et al. (2020) και Granstrand και Holgersson (2020) επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός πολυδιάστατου πλαισίου διακυβέρνησης, το οποίο αναγνωρίζει τη σύνθετη φύση της ΤΝ ως τεχνολογίας και ως θεσμικού φαινομένου. Η ενσωμάτωση αυτών των παραμέτρων αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την υπεύθυνη και βιώσιμη λειτουργία των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων και θέτει τα θεμέλια για τη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου conceptual stakeholder–ecosystem model.

Τα επίπεδα διακυβέρνησης της Τεχνητής Νοημοσύνης που προκύπτουν από την ανάλυση αποτυπώνονται συνοπτικά στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 – Επίπεδα διακυβέρνησης Τεχνητής Νοημοσύνης σε κυκλικά οικοσυστήματα

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3, η διακυβέρνηση της Τεχνητής Νοημοσύνης αναπτύσσεται σε διαδοχικά επίπεδα, ξεκινώντας από την τεχνολογική υποδομή και τη διαχείριση δεδομένων και καταλήγοντας σε θεσμικές και ηθικές διαστάσεις που διασφαλίζουν υπεύθυνη και βιώσιμη εφαρμογή στα κυκλικά οικοσυστήματα.

4.4 Conceptual stakeholder–ecosystem model

Η διαμόρφωση ενός εννοιολογικού stakeholder–ecosystem model αποτελεί το συνθετικό στάδιο του παρόντος θεωρητικού πλαισίου, στο οποίο οι τυπολογίες, οι ρόλοι και οι παράμετροι διακυβέρνησης εντάσσονται σε μια ενιαία, δυναμική αρχιτεκτονική ανάλυσης. Το μοντέλο αυτό δεν αντιμετωπίζει τους stakeholders ως απομονωμένες μονάδες, αλλά ως αλληλοεξαρτώμενους δρώντες εντός ενός οικοσυστήματος καινοτομίας, όπου η αξία, η γνώση και η ισχύς παράγονται και αναδιανέμονται μέσω σχέσεων συμπληρωματικότητας και θεσμικής αλληλεπίδρασης. Η θεωρητική θεμελίωση του οικοσυστήματος αντλείται από την προσέγγιση των Granstrand και Holgersson (2020), οι οποίοι ορίζουν τα οικοσυστήματα καινοτομίας ως σύνολα οργανισμών, θεσμών και πόρων που συνδέονται μέσω αλληλοσυμπληρούμενων δραστηριοτήτων και κοινών αξιακών προτάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, το stakeholder–ecosystem model προτείνει μια πολυεπίπεδη αποτύπωση της συν-δημιουργίας κυκλικής αξίας με τη διαμεσολάβηση της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Το πρώτο επίπεδο του μοντέλου αφορά τη δομική διάσταση του οικοσυστήματος, δηλαδή τη χαρτογράφηση των βασικών κατηγοριών stakeholders και των θεσμικών τους σχέσεων. Οι επιχειρήσεις, οι τεχνολογικοί πάροχοι, οι ρυθμιστικές αρχές, οι ερευνητικοί οργανισμοί και οι χρήστες συγκροτούν έναν πυρήνα αλληλεπιδράσεων, εντός του οποίου η ΤΝ λειτουργεί ως τεχνολογικός καταλύτης. Σύμφωνα με τους Granstrand και Holgersson (2020), η συμπληρωματικότητα αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα των οικοσυστημάτων· κανένας δρών δεν μπορεί να παραγάγει ολοκληρωμένη αξία χωρίς τη συνεργασία άλλων. Επομένως, το μοντέλο αναγνωρίζει ότι η κυκλική μετάβαση με υποστήριξη ΤΝ προϋποθέτει τη συνάρθρωση διαφορετικών ικανοτήτων, από την ανάπτυξη αλγορίθμων και τη διαχείριση δεδομένων έως τη ρυθμιστική εποπτεία και την κοινωνική αποδοχή.

Το δεύτερο επίπεδο αφορά τη σχεσιακή διάσταση, δηλαδή τις μορφές αλληλεπίδρασης και εμπλοκής μεταξύ stakeholders. Οι Papagiannidis, Mikalef και Conboy (2025) τονίζουν ότι η υπεύθυνη διακυβέρνηση της ΤΝ βασίζεται σε σχεσιακές πρακτικές εμπιστοσύνης, συνεργασίας και διαφάνειας. Εντός του stakeholder–ecosystem model, οι σχέσεις αυτές αποτυπώνονται ως δίκτυα αμοιβαίας επιρροής, όπου οι αποφάσεις ενός δρώντα επηρεάζουν τη λειτουργία και τη νομιμοποίηση των υπολοίπων. Η εμπλοκή μπορεί να είναι συμμετρική ή ασύμμετρη, ανάλογα με την κατανομή ισχύος, ωστόσο το μοντέλο υποστηρίζει ότι η βιωσιμότητα επιτυγχάνεται όταν οι σχέσεις μεταβαίνουν από ιεραρχικές σε συνεργατικές μορφές διακυβέρνησης. Η ΤΝ, ως υποδομή δεδομένων και λήψης αποφάσεων, ενισχύει αυτή τη σχεσιακή διάσταση, καθιστώντας τις αλληλεξαρτήσεις περισσότερο ορατές αλλά και πιο σύνθετες.

Το τρίτο επίπεδο αφορά τη διαδικαστική και κανονιστική διάσταση της διακυβέρνησης. Η ύπαρξη πολυεπίπεδων ρυθμιστικών πλαισίων, όπως αναλύεται από τους Zaidan και Ibrahim (2024), δημιουργεί ένα πλέγμα θεσμικών περιορισμών και δυνατοτήτων που επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία του οικοσυστήματος. Το stakeholder–ecosystem model ενσωματώνει την κανονιστική αυτή πολυπλοκότητα ως μεταβλητή που διαμορφώνει τις σχέσεις ισχύος και τις στρατηγικές επιλογές των δρώντων. Η συμμόρφωση με διεθνείς αρχές και κατευθυντήριες γραμμές δεν αποτελεί απλώς νομική υποχρέωση, αλλά στρατηγικό στοιχείο νομιμοποίησης. Η διακυβέρνηση της ΤΝ, συνεπώς, δεν εξετάζεται απομονωμένα, αλλά ως μέρος ενός θεσμικού περιβάλλοντος που συν-καθορίζει την καινοτομία και την κυκλική αξία.

Η ηθική διάσταση διατρέχει οριζόντια όλα τα επίπεδα του μοντέλου. Οι Jobin, Ienca και Vayena (2019) επισημαίνουν ότι οι παγκόσμιες κατευθυντήριες γραμμές για την ΤΝ

συγκλίνουν σε αρχές όπως η διαφάνεια, η δικαιοσύνη και η λογοδοσία. Το stakeholder–ecosystem model ενσωματώνει αυτές τις αρχές ως θεμελιώδεις κανονιστικούς άξονες, οι οποίοι λειτουργούν ως φίλτρα αξιολόγησης των σχέσεων και των πρακτικών. Η ηθική διακυβέρνηση δεν περιορίζεται στη συμμόρφωση, αλλά προϋποθέτει ενεργή αναστοχαστικότητα και συνεχή αξιολόγηση επιπτώσεων. Η ενσωμάτωση ηθικών αρχών ενισχύει την ανθεκτικότητα του οικοσυστήματος και περιορίζει τον κίνδυνο τεχνολογικού ντετερμινισμού.

Παράλληλα, το μοντέλο αναγνωρίζει τη δυναμική σχέση μεταξύ ΤΝ και βιωσιμότητας. Οι Vinuesa et al. (2020) υπογραμμίζουν ότι η ΤΝ μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως καταλύτης επίτευξης βιώσιμων στόχων όσο και ως παράγοντας ενίσχυσης περιβαλλοντικών ή κοινωνικών ανισοτήτων. Στο stakeholder–ecosystem model, η δυαδική αυτή δυνατότητα ενσωματώνεται ως μεταβλητή αβεβαιότητας, η οποία απαιτεί μηχανισμούς εποπτείας και προσαρμοστικότητας. Η ικανότητα του οικοσυστήματος να μαθαίνει από τις επιπτώσεις της ΤΝ και να αναπροσαρμόζει τις στρατηγικές του αποτελεί κεντρικό στοιχείο βιώσιμης διακυβέρνησης.

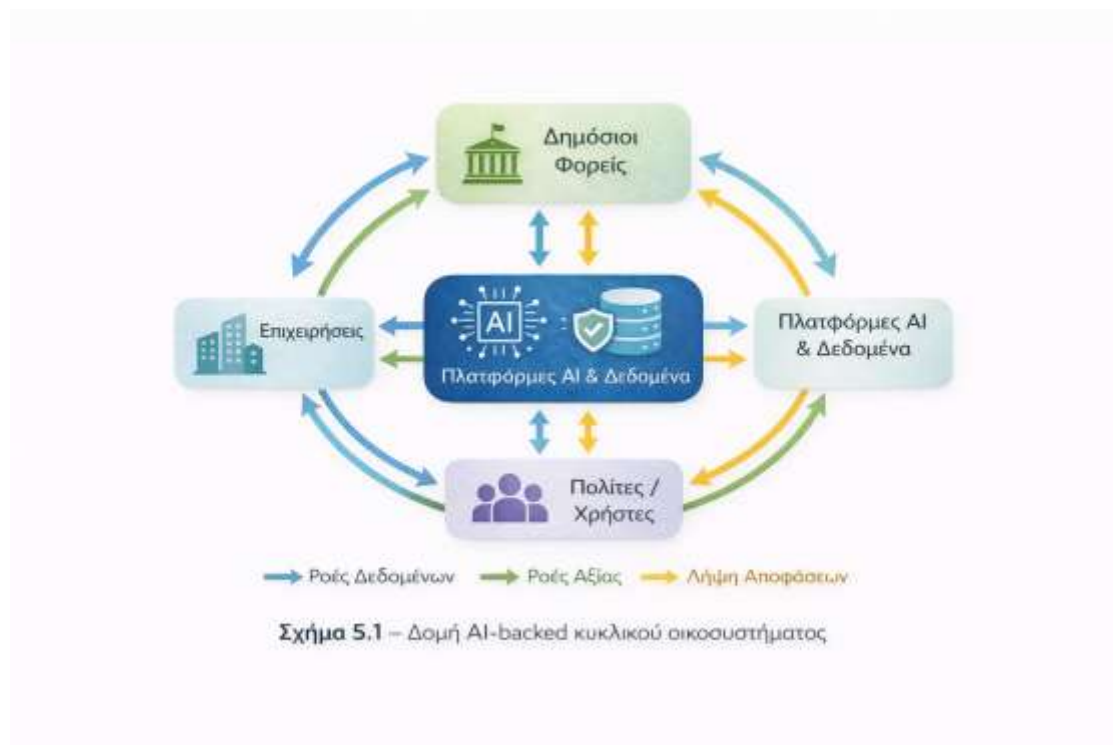
5. Χαρτογράφηση AI-Backed Κυκλικών Οικοσυστημάτων

5.1 Δομή οικοσυστήματος

Η χαρτογράφηση ενός AI-backed κυκλικού οικοσυστήματος προϋποθέτει την εννοιολογική αποσαφήνιση της δομής του ως συστήματος αλληλεξαρτώμενων οργανισμών, τεχνολογιών, θεσμών και ροών αξίας, οι οποίοι συνδιαμορφώνουν και συν-παράγουν κυκλική και ψηφιακή καινοτομία. Σύμφωνα με τον ορισμό των οικοσυστημάτων καινοτομίας που προτείνουν οι Granstrand και Holgersson (2020), ένα οικοσύστημα συγκροτείται από σύνολα δρώντων με συμπληρωματικούς ρόλους, οι οποίοι συνδέονται μέσω σχέσεων αμοιβαίας εξάρτησης γύρω από μια κοινή αξιακή πρόταση. Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης, η κοινή αυτή αξιακή πρόταση αφορά τη μετάβαση από γραμμικά μοντέλα παραγωγής και κατανάλωσης προς ανακυκλούμενα, επαναχρησιμοποιήσιμα και δεδομενο-κεντρικά συστήματα, όπου η τεχνολογική διαμεσολάβηση αποτελεί καταλύτη βελτιστοποίησης πόρων και μείωσης αποβλήτων.

Η δομή του οικοσυστήματος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως στατικό σύνολο οργανισμών, αλλά ως δυναμικό πλέγμα σχέσεων που εξελίσσεται υπό την επίδραση ψηφιακών τεχνολογιών. Οι Chauhan, Parida και Dhir (2022) υπογραμμίζουν ότι η σύζευξη Κυκλικής Οικονομίας και ψηφιοποίησης οδηγεί σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα, ενισχύοντας τη διασύνδεση μεταξύ φυσικών ροών υλικών και ψηφιακών ροών δεδομένων. Η Τεχνητή Νοημοσύνη, ως τεχνολογία ανάλυσης και πρόβλεψης, επιτρέπει τη βελτιστοποίηση εφοδιαστικών αλυσίδων, την πρόβλεψη ζήτησης και τη διαχείριση κύκλων ζωής προϊόντων, μεταβάλλοντας τις δομικές σχέσεις μεταξύ παραγωγών, παρόχων υπηρεσιών και τελικών χρηστών. Κατά συνέπεια, η δομή ενός AI-backed κυκλικού οικοσυστήματος περιλαμβάνει όχι μόνο παραδοσιακούς οικονομικούς δρώντες, αλλά και παρόχους δεδομένων, αναλυτές αλγορίθμων, πλατφόρμες διαμοιρασμού και ρυθμιστικούς φορείς ψηφιακής διακυβέρνησης.

Η δομή και οι βασικές αλληλεπιδράσεις ενός AI-backed κυκλικού οικοσυστήματος παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 5.1.



Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1, οι πλατφόρμες Τεχνητής Νοημοσύνης και δεδομένων λειτουργούν ως κεντρικός κόμβος διασύνδεσης μεταξύ δημόσιων φορέων, επιχειρήσεων και πολιτών, επιτρέποντας συνεχείς ροές δεδομένων, αξίας και διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Η έννοια του «κυκλικού οικοσυστήματος» έχει αναλυθεί συστηματικά από τον Pietrulla (2022), ο οποίος επισημαίνει ότι τα οικοσυστήματα αυτά συγκροτούνται γύρω από δίκτυα συνεργασίας που διευκολύνουν την κυκλικότητα μέσω ανταλλαγής γνώσης, τεχνολογίας και πόρων. Στην περίπτωση της ενσωμάτωσης ΤΝ, η δομή αποκτά πρόσθετη πολυπλοκότητα, καθώς η ανταλλαγή δεδομένων καθίσταται ισοδύναμη σε σημασία με τη ροή υλικών. Η χαρτογράφηση, επομένως, οφείλει να αποτυπώνει τόσο τις υλικές όσο και τις ψηφιακές διαστάσεις του οικοσυστήματος, αναδεικνύοντας τους κόμβους στους οποίους συγκεντρώνεται η τεχνολογική και πληροφοριακή ισχύς.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η διάσταση των δεδομένων ως δομικού στοιχείου του οικοσυστήματος. Οι Bellini et al. (2024) επισημαίνουν ότι η επιτυχής υλοποίηση κυκλικών στρατηγικών εξαρτάται από την ποιότητα, τη διαθεσιμότητα και τη διαλειτουργικότητα των δεδομένων που αφορούν τον κύκλο ζωής προϊόντων και υλικών. Στα AI-backed οικοσυστήματα, τα δεδομένα δεν αποτελούν απλώς υποστηρικτικό πόρο, αλλά κεντρικό στοιχείο διακυβέρνησης και συντονισμού. Η ύπαρξη κοινών προτύπων, ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων και διαφανών μηχανισμών ανταλλαγής πληροφοριών ενισχύει τη

συνοχή του οικοσυστήματος και επιτρέπει τη διασύνδεση διαφορετικών τομέων παραγωγής και κατανάλωσης.

Η δομή του οικοσυστήματος επηρεάζεται επίσης από τα επιχειρηματικά μοντέλα που υιοθετούνται. Οι Schwanholz και Leirold (2020) αναλύουν τις ψηφιακές πλατφόρμες διαμοιρασμού ως κεντρικούς κόμβους σε κυκλικά οικοσυστήματα, όπου η αξία παράγεται μέσω πρόσβασης και χρήσης αντί ιδιοκτησίας. Στο πλαίσιο της TN, οι πλατφόρμες αυτές αξιοποιούν αλγοριθμικά συστήματα για τη βελτιστοποίηση προσφοράς και ζήτησης, ενισχύοντας τη λειτουργική αποδοτικότητα και τη μείωση αποβλήτων. Η δομική θέση των πλατφορμών στο οικοσύστημα είναι συχνά κομβική, καθώς λειτουργούν ως διαμεσολαβητές μεταξύ παραγωγών, χρηστών και ρυθμιστικών αρχών, συγκεντρώνοντας δεδομένα και ασκώντας σημαντική επιρροή στις ροές αξίας.

Η έννοια της ορχήστρωσης (orchestration) αποτελεί επιπλέον κρίσιμο δομικό στοιχείο. Οι Langley et al. (2023) αναδεικνύουν τον ρόλο των ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων ως μηχανισμών συντονισμού ενός «έξυπνου» κυκλικού οικοσυστήματος, επιτρέποντας την ιχνηλασιμότητα και τη διαφάνεια σε όλο τον κύκλο ζωής. Η TN ενισχύει αυτή τη λειτουργία, καθιστώντας εφικτή την ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η δομή του οικοσυστήματος, συνεπώς, δεν περιορίζεται στη φυσική διασύνδεση δρώντων, αλλά περιλαμβάνει και τεχνολογικές υποδομές που επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση.

Η διακυβερνητική διάσταση επηρεάζει επίσης τη δομή του οικοσυστήματος. Οι Minoja και Romano (2024) υπογραμμίζουν ότι η αποτελεσματική διακυβέρνηση ενδιαφερομένων μερών αποτελεί προϋπόθεση για τη σταθερότητα και βιωσιμότητα των κυκλικών συστημάτων. Στα AI-backed οικοσυστήματα, η διακυβέρνηση επεκτείνεται στη ρύθμιση χρήσης δεδομένων, στην αλγοριθμική διαφάνεια και στην κατανομή ευθυνών. Οι Munonye et al. (2025) επισημαίνουν ότι τα εργαλεία πολιτικής με υποστήριξη TN μπορούν να επιταχύνουν τη μετάβαση στην κυκλική οικονομία, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης σαφών θεσμικών δομών και μηχανισμών λογοδοσίας. Η δομή, επομένως, διαμορφώνεται όχι μόνο από αγοραίες σχέσεις, αλλά και από κανονιστικά πλαίσια και πολιτικές παρεμβάσεις.

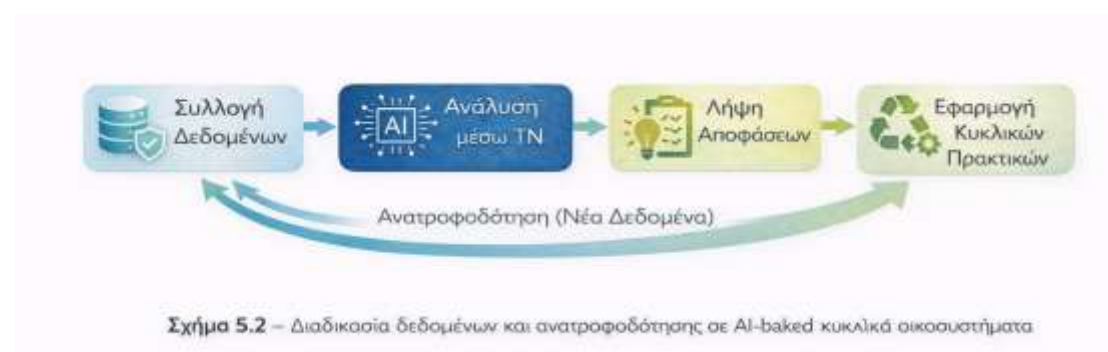
Τέλος, η στρατηγική ευθυγράμμιση σκοπού, στρατηγικής και διακυβέρνησης αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας στα AI οικοσυστήματα κυκλικότητας. Οι Khanagha, Ansari και Ahmadi (2026) υποστηρίζουν ότι η πλαισίωση της κυκλικότητας σε περιβάλλον TN απαιτεί σαφή στρατηγική κατεύθυνση και συνεκτική διακυβέρνηση, ώστε να αποφεύγονται

συγκρούσεις στόχων και κατακερματισμός. Η δομή ενός AI-backed κυκλικού οικοσυστήματος, συνεπώς, οφείλει να ενσωματώνει μηχανισμούς στρατηγικού συντονισμού, οι οποίοι διασφαλίζουν ότι οι τεχνολογικές επενδύσεις και οι περιβαλλοντικές φιλοδοξίες συγκλίνουν προς κοινό βιώσιμο αποτέλεσμα.

5.2 Ροές αξίας και δεδομένων

Η χαρτογράφηση των ροών αξίας και δεδομένων συνιστά κεντρικό αναλυτικό βήμα για την κατανόηση της λειτουργικής δυναμικής των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά γραμμικά μοντέλα παραγωγής και κατανάλωσης, όπου η αξία παράγεται κατά μήκος μίας μονοκατευθυντικής αλυσίδας, τα κυκλικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από επαναλαμβανόμενες, διακλαδωμένες και διαλειτουργικές ροές, στις οποίες υλικά, πληροφορίες και οικονομικά οφέλη ανακυκλώνονται και επανασυντίθενται. Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης μεταβάλλει ριζικά τη μορφή και την ένταση αυτών των ροών, καθώς εισάγει μηχανισμούς πρόβλεψης, αυτοματοποίησης και βελτιστοποίησης, οι οποίοι επηρεάζουν τόσο τη δημιουργία όσο και τη διανομή αξίας εντός του οικοσυστήματος (Chauhan, Parida, & Dhir, 2022).

Οι ροές δεδομένων και αξίας που διαμορφώνουν τη λειτουργία των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων αποτυπώνονται σχηματικά στο Σχήμα 5.2.



Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2, η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων συνδέεται με διαδικασίες λήψης αποφάσεων και εφαρμογής κυκλικών πρακτικών, δημιουργώντας συνεχείς ροές αξίας και ανατροφοδότησης μεταξύ των συμμετεχόντων του οικοσυστήματος.

Η έννοια της αξίας σε κυκλικά οικοσυστήματα υπερβαίνει την οικονομική διάσταση και περιλαμβάνει περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Όπως επισημαίνει ο Pietrulla (2022), τα κυκλικά οικοσυστήματα συγκροτούνται γύρω από συνεργατικές δομές που επιτρέπουν την

ταυτόχρονη επίτευξη πολλαπλών στόχων βιωσιμότητας. Στο πλαίσιο αυτό, οι ροές αξίας δεν περιορίζονται στη μεταβίβαση προϊόντων ή υπηρεσιών, αλλά περιλαμβάνουν τη μεταφορά γνώσης, τεχνογνωσίας και περιβαλλοντικών επιδόσεων. Η ΤΝ ενισχύει αυτές τις ροές, καθιστώντας εφικτή την ανάλυση δεδομένων κύκλου ζωής και τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Κατά συνέπεια, η αξία καθίσταται δυναμικό μέγεθος, το οποίο διαμορφώνεται σε πραγματικό χρόνο μέσω της αλληλεπίδρασης υλικών και ψηφιακών ροών.

Οι ροές δεδομένων αποτελούν τον θεμελιώδη άξονα πάνω στον οποίο οικοδομούνται οι AI-enabled κυκλικές στρατηγικές. Οι Bellini et al. (2024) υπογραμμίζουν ότι η υλοποίηση κυκλικών μοντέλων απαιτεί υψηλής ποιότητας, διαλειτουργικά και αξιόπιστα δεδομένα σχετικά με τη σύνθεση, τη χρήση και την κατάσταση προϊόντων και υλικών. Στα AI-backed οικοσυστήματα, τα δεδομένα αυτά δεν λειτουργούν μόνο ως μέσο πληροφόρησης, αλλά ως μηχανισμός συντονισμού και λήψης αποφάσεων. Η ΤΝ αξιοποιεί δεδομένα από αισθητήρες, ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων και πλατφόρμες διαμοιρασμού, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση ροών υλικών και τη μείωση αποβλήτων. Η ποιότητα και η διαθεσιμότητα των δεδομένων επηρεάζουν άμεσα την αποτελεσματικότητα των αλγοριθμικών συστημάτων, αναδεικνύοντας τη σημασία της διακυβέρνησης δεδομένων ως δομικής παραμέτρου του οικοσυστήματος.

Η μετάβαση από υλικές σε υβριδικές ροές αξίας αναδεικνύεται ιδιαίτερα έντονα στα ψηφιακά μοντέλα διαμοιρασμού. Οι Schwanholz και Leirpold (2020) επισημαίνουν ότι οι ψηφιακές πλατφόρμες λειτουργούν ως κόμβοι συγκέντρωσης και αναδιανομής αξίας, διευκολύνοντας τη χρήση αντί της ιδιοκτησίας και ενισχύοντας την αποδοτικότητα πόρων. Η ΤΝ επιτρέπει στις πλατφόρμες αυτές να προσαρμόζουν δυναμικά την προσφορά και τη ζήτηση, να προβλέπουν μοτίβα κατανάλωσης και να μειώνουν περιττές μετακινήσεις ή αποθέματα. Έτσι, οι ροές αξίας μετασχηματίζονται από στατικές συναλλαγές σε συνεχείς αλγοριθμικά ρυθμιζόμενες διαδικασίες, όπου τα δεδομένα αποτελούν το βασικό ανταλλάξιμο αγαθό.

Η έννοια της «ορχήστρωσης» αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη διαχείριση ροών αξίας και δεδομένων. Οι Langley et al. (2023) υποστηρίζουν ότι τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων λειτουργούν ως εργαλεία συντονισμού, διασφαλίζοντας την ιχνηλασιμότητα και τη διαφάνεια κατά μήκος του κύκλου ζωής. Σε ένα AI-backed οικοσύστημα, τα διαβατήρια αυτά τροφοδοτούν αλγοριθμικά μοντέλα με δεδομένα πραγματικού χρόνου, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων βασισμένων σε ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση και την

κατάσταση προϊόντων. Οι ροές δεδομένων, επομένως, δεν είναι απλώς παράλληλες προς τις ροές υλικών, αλλά τις διαμορφώνουν ενεργά, καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο η αξία διατηρείται, ανακτάται ή ανακατανέμεται.

Οι ροές αξίας και δεδομένων επηρεάζονται επίσης από θεσμικούς και πολιτικούς μηχανισμούς. Οι Minoja και Romano (2024) επισημαίνουν ότι η αποτελεσματική διακυβέρνηση ενδιαφερομένων μερών συμβάλλει στη διαφάνεια και στη δίκαιη κατανομή ωφελειών εντός κυκλικών οικοσυστημάτων. Στα AI-enabled περιβάλλοντα, η άνιση πρόσβαση σε δεδομένα ή η συγκέντρωση αλγοριθμικής ισχύος σε λίγους δρώντες μπορεί να δημιουργήσει ασυμμετρίες αξίας. Η χαρτογράφηση των ροών οφείλει, συνεπώς, να εξετάζει όχι μόνο την κατεύθυνση και την ένταση των ανταλλαγών, αλλά και τις σχέσεις ισχύος που τις συνοδεύουν.

Η χρήση εργαλείων πολιτικής με υποστήριξη ΤΝ προσθέτει μία επιπλέον διάσταση στις ροές αξίας. Οι Munonye et al. (2025) υποστηρίζουν ότι τα AI-driven policy tools μπορούν να επιταχύνουν τη μετάβαση προς την κυκλική οικονομία μέσω καλύτερης στόχευσης κινήτρων και αποτελεσματικότερης παρακολούθησης επιδόσεων. Οι ροές δεδομένων που συλλέγονται από τέτοια εργαλεία επιτρέπουν τη διαμόρφωση πολιτικών βασισμένων σε τεκμηριωμένη γνώση, ενισχύοντας τη συνοχή του οικοσυστήματος. Η αξία, σε αυτή την περίπτωση, δεν περιορίζεται σε επιχειρηματικά οφέλη, αλλά επεκτείνεται στη βελτίωση δημόσιων πολιτικών και συλλογικών αποτελεσμάτων.

Τέλος, η στρατηγική πλαισίωση των ροών αξίας και δεδομένων είναι καθοριστική για τη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος. Οι Khanagha, Ansari και Ahmadi (2026) επισημαίνουν ότι η ευθυγράμμιση σκοπού, στρατηγικής και διακυβέρνησης αποτελεί προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία ενός AI οικοσυστήματος κυκλικότητας. Η χαρτογράφηση των ροών πρέπει, επομένως, να ενσωματώνει στρατηγική προοπτική, αναγνωρίζοντας ότι η αξία και τα δεδομένα δεν ρέουν ουδέτερα, αλλά καθοδηγούνται από θεσμικές και επιχειρησιακές επιλογές.

5.3 Σχέσεις και δυναμική

Η ανάλυση των σχέσεων και της δυναμικής εντός των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων συνιστά κρίσιμο στάδιο κατανόησης της συστημικής λειτουργίας τους, καθώς τα οικοσυστήματα αυτά δεν αποτελούν απλώς σύνολα δρώντων και ροών, αλλά ζωντανά, εξελισσόμενα πλέγματα αλληλεπιδράσεων. Σε αντίθεση με γραμμικά μοντέλα οργάνωσης, όπου οι σχέσεις είναι προκαθορισμένες και σταθερές, τα κυκλικά οικοσυστήματα

χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενες συμμαχίες, επαναδιαπραγμάτευση ρόλων και συνεχή ανακατανομή ισχύος. Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης επιτείνει αυτή τη δυναμική, καθώς εισάγει μηχανισμούς αλγοριθμικής λήψης αποφάσεων και προσαρμοστικότητας που μεταβάλλουν τον τρόπο με τον οποίο οι δρώντες συντονίζονται και συνεργάζονται (Chauhan, Parida, & Dhir, 2022).

Η θεωρητική βάση για την κατανόηση της δυναμικής αυτής εντοπίζεται στην έννοια των οικοσυστημάτων καινοτομίας, όπως αναπτύσσεται από τους Granstrand και Holgersson (2020). Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι τα οικοσυστήματα συγκροτούνται γύρω από συμπληρωματικές δραστηριότητες και κοινές αξιακές προτάσεις, αλλά παραμένουν ανοιχτά και ευάλωτα σε εξωτερικές επιδράσεις και εσωτερικές ανακατατάξεις. Στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη ΤΝ, η δυναμική αυτή εκδηλώνεται μέσω της συνεχούς επαναπλαισίωσης των επιχειρηματικών μοντέλων, της τεχνολογικής εξέλιξης και των ρυθμιστικών μεταβολών. Οι σχέσεις μεταξύ επιχειρήσεων, τεχνολογικών παρόχων, ρυθμιστικών αρχών και χρηστών δεν είναι στατικές· μεταβάλλονται ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων, τις επενδύσεις σε ψηφιακές υποδομές και τις κοινωνικές προσδοκίες για βιωσιμότητα.

Οι σχέσεις εντός του οικοσυστήματος μπορούν να αναλυθούν ως σχέσεις συνεργασίας, ανταγωνισμού και συν-εξάρτησης. Ο Pietrulla (2022) επισημαίνει ότι τα κυκλικά οικοσυστήματα βασίζονται σε συνεργατικά δίκτυα, όπου η επιτυχία ενός δρώντα εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των υπολοίπων. Ωστόσο, η συνεργασία αυτή δεν αναιρεί την ύπαρξη ανταγωνιστικών κινήτρων, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα όπου τα δεδομένα αποτελούν στρατηγικό πόρο. Η ΤΝ ενισχύει τη σημασία των δεδομένων, δημιουργώντας νέες μορφές εξάρτησης μεταξύ παρόχων τεχνολογίας και επιχειρήσεων που υιοθετούν αλγοριθμικά συστήματα. Η δυναμική αυτή οδηγεί σε επανακαθορισμό ρόλων και συχνά σε συγκέντρωση ισχύος σε κόμβους που ελέγχουν κρίσιμες πληροφοριακές υποδομές.

Η έννοια της πλατφορμοποίησης αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της δυναμικής. Οι Schwanholz και Leirøld (2020) αναλύουν τις ψηφιακές πλατφόρμες ως δομές που διαμεσολαβούν σχέσεις μεταξύ παραγωγών και χρηστών, επαναπροσδιορίζοντας τα όρια του οργανισμού. Στα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, οι πλατφόρμες λειτουργούν ως μηχανισμοί ενοποίησης δεδομένων και συντονισμού ροών αξίας, αλλά ταυτόχρονα ενδέχεται να ενισχύουν ασυμμετρίες ισχύος. Η δυναμική μεταξύ πλατφορμών και υπολοίπων δρώντων εξαρτάται από το βαθμό διαφάνειας, τη διακυβέρνηση δεδομένων και

τη ρυθμιστική εποπτεία, παράγοντες που καθορίζουν εάν οι σχέσεις θα παραμείνουν συνεργατικές ή θα μετατραπούν σε εξαρτησιακές.

Η τεχνολογική καινοτομία επιταχύνει τη μεταβλητότητα των σχέσεων. Οι Chauhan et al. (2022) επισημαίνουν ότι η ψηφιοποίηση και η ΤΝ λειτουργούν ως καταλύτες μετασχηματισμού, επηρεάζοντας όχι μόνο τις επιχειρησιακές διαδικασίες αλλά και τις μορφές συνεργασίας. Η ικανότητα ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και πρόβλεψης μοτίβων κατανάλωσης μεταβάλλει τη δυναμική εφοδιαστικών αλυσίδων και δημιουργεί νέες δυνατότητες συν-παραγωγής. Η δυναμική αυτή, ωστόσο, δεν είναι ουδέτερη· εξαρτάται από την πρόσβαση σε τεχνολογία και την ικανότητα αξιοποίησής της, γεγονός που ενδέχεται να δημιουργήσει διαφοροποιήσεις μεταξύ κεντρικών και περιφερειακών δρώντων του οικοσυστήματος.

Η διακυβέρνηση των σχέσεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα σταθεροποίησης της δυναμικής. Οι Minoja και Romano (2024) τονίζουν ότι η αποτελεσματική διακυβέρνηση ενδιαφερομένων μερών συμβάλλει στην εξισορρόπηση συμφερόντων και στην αποφυγή συγκρούσεων. Σε AI-enabled περιβάλλοντα, η διακυβέρνηση πρέπει να αντιμετωπίζει ζητήματα διαφάνειας, πρόσβασης σε δεδομένα και κατανομής ευθυνών. Η δυναμική των σχέσεων διαμορφώνεται, επομένως, όχι μόνο από οικονομικές αλληλεπιδράσεις αλλά και από θεσμικά πλαίσια που ρυθμίζουν την τεχνολογική χρήση.

Η διάσταση της ορχήστρωσης αναδεικνύεται επίσης ως στοιχείο δυναμικής. Οι Langley et al. (2023) επισημαίνουν ότι η ύπαρξη ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων επιτρέπει τον συντονισμό πολλαπλών δρώντων γύρω από κοινές πληροφοριακές υποδομές. Η ΤΝ, αξιοποιώντας τα δεδομένα αυτά, διευκολύνει την ταχεία προσαρμογή σε αλλαγές ζήτησης ή κανονιστικών απαιτήσεων. Η δυναμική του οικοσυστήματος, συνεπώς, συνδέεται με την ικανότητά του να μαθαίνει και να προσαρμόζεται, ενσωματώνοντας ανατροφοδότηση από τις ροές δεδομένων και αξίας.

Η πολιτική και ρυθμιστική διάσταση επηρεάζει καθοριστικά τη σταθερότητα των σχέσεων. Οι Munonye et al. (2025) υπογραμμίζουν ότι τα AI-driven policy tools μπορούν να ενισχύσουν τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα πολιτικών παρεμβάσεων, επιταχύνοντας τη μετάβαση στην κυκλική οικονομία. Η δυναμική, ωστόσο, παραμένει ευάλωτη σε ρυθμιστικές ασυνέχειες ή σε έλλειψη θεσμικής ευθυγράμμισης. Η σταθερότητα των σχέσεων απαιτεί συνεκτικό στρατηγικό προσανατολισμό, όπως επισημαίνουν οι

Khanagha, Ansari και Ahmadi (2026), οι οποίοι αναδεικνύουν τη σημασία της ευθυγράμμισης σκοπού και διακυβέρνησης σε AI οικοσυστήματα.

Οι σχέσεις και η δυναμική στα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα συγκροτούν ένα πολύπλοκο και εξελισσόμενο δίκτυο συνεργασίας, ανταγωνισμού και θεσμικής διαπραγμάτευσης. Η κατανόηση αυτής της δυναμικής, στηριζόμενη στις θεωρητικές συνεισφορές των Granstrand και Holgersson (2020), Chauhan et al. (2022), Pietrulla (2022), Schwanholz και Leipold (2020), Langley et al. (2023), Minoja και Romano (2024), Munonye et al. (2025) και Khanagha et al. (2026), επιτρέπει τη συστημική ερμηνεία της μετάβασης προς κυκλικά και ψηφιακά διαμεσολαβημένα μοντέλα. Η δυναμική αυτή δεν αποτελεί παροδικό φαινόμενο, αλλά δομικό χαρακτηριστικό των οικοσυστημάτων, καθορίζοντας την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητά τους στο χρόνο.

6. Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

6.1 Εννοιολογική Θεμελίωση της Κυκλικής Οικονομίας

6.1.1 Arruda et al. (2021): Χαρτογράφηση της εξέλιξης της Κυκλικής Οικονομίας (2015–2020)

Το άρθρο των Arruda, Melatto, Levy και Conti (2021) επιχειρεί μια συνοπτική αλλά δομημένη βιβλιογραφική επισκόπηση της περιόδου 2015–2020, με στόχο την αποτύπωση της ερευνητικής τροχιάς της Κυκλικής Οικονομίας (CE) σε μια φάση έντονης θεωρητικής και πολιτικής εδραίωσης. Η χρονική επιλογή δεν είναι τυχαία: η περίοδος αυτή σηματοδοτεί τη μετάβαση της CE από ένα περιβαλλοντικά προσανατολισμένο αφήγημα διαχείρισης αποβλήτων προς ένα ευρύτερο παράδειγμα συστημικού μετασχηματισμού παραγωγής και κατανάλωσης. Η συμβολή του άρθρου εντοπίζεται κυρίως στην κατηγοριοποίηση των κυρίαρχων ερευνητικών θεματικών, όπως οι στρατηγικές κυκλικού σχεδιασμού, η ανάκτηση αξίας, οι πολιτικές εφαρμογές και η ενσωμάτωση επιχειρηματικών μοντέλων.

Οι Arruda et al. (2021) αναδεικνύουν ότι η CE δεν περιορίζεται σε πρακτικές ανακύκλωσης, αλλά περιλαμβάνει ένα φάσμα παρεμβάσεων που αφορούν την πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων, τον επανασχεδιασμό προϊόντων, την επιμήκυνση κύκλου ζωής και την επαναχρησιμοποίηση πόρων. Η βιβλιογραφική τους χαρτογράφηση δείχνει ότι η CE λειτουργεί ως εννοιολογική «ομπρέλα» που φιλοξενεί πολλαπλές σχολές σκέψης, από τεχνικές βελτιστοποίησης έως ολιστικά μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης. Μεθοδολογικά, το άρθρο διακρίνεται για τη συστηματική ομαδοποίηση θεμάτων και την αναγνώριση ερευνητικών κενών, ιδίως ως προς τη διασύνδεση της CE με καινοτόμες τεχνολογίες και ψηφιακές υποδομές.

Ωστόσο, παρά τη χαρτογραφική του χρησιμότητα, το άρθρο παραμένει περιγραφικό ως προς την εννοιολογική του εμβάθυνση. Δεν επιχειρεί εκτενή συγκριτική ανάλυση ορισμών ούτε αποδομεί τις διαφορετικές κανονιστικές παραδοχές που συνοδεύουν την CE. Παρά ταύτα, παρέχει κρίσιμη βάση για την παρούσα έρευνα, καθώς καταδεικνύει τη μετατόπιση του πεδίου προς συστημικές και οργανωσιακές διαστάσεις, στοιχείο που καθιστά εφικτή την ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης ως τεχνολογικού καταλύτη. Με άλλα λόγια, το άρθρο λειτουργεί ως «ιστορικό στιγμιότυπο» της ωρίμανσης της CE λίγο πριν από την έντονη σύζευξή της με ψηφιακές τεχνολογίες και data-driven πρακτικές.

6.1.2 Kirchherr et al. (2023): Αναστοχαστική επαναθεμελίωση μέσω ανάλυσης 221 ορισμών

Σε αντίθεση με τη θεματική χαρτογράφηση των Arruda et al. (2021), το άρθρο των Kirchherr, Yang, Schulze-Spüntrup, Heerink και Hartley (2023) επιχειρεί μια εννοιολογική αποδόμηση της CE, εξετάζοντας 221 ορισμούς και αναλύοντας τα δομικά τους συστατικά. Η προσέγγιση αυτή συνιστά μία από τις πιο συστηματικές προσπάθειες κανονιστικής και θεωρητικής αποσαφήνισης του πεδίου. Οι συγγραφείς δεν περιορίζονται στη συλλογή ορισμών, αλλά προβαίνουν σε συγκριτική ανάλυση, εντοπίζοντας επαναλαμβανόμενα μοτίβα, αποκλίσεις και ιδεολογικές παραδοχές.

Το βασικό εύρημα της μελέτης είναι ότι η CE χαρακτηρίζεται από σημαντική εννοιολογική πολυμορφία, η οποία αντανακλά διαφορετικές ερευνητικές παραδόσεις και πολιτικές στοχεύσεις. Ορισμένοι ορισμοί επικεντρώνονται στην τεχνική διατήρηση υλικών και ενέργειας σε κλειστούς κύκλους, ενώ άλλοι διευρύνουν την έννοια ώστε να συμπεριλάβουν κοινωνικές, οικονομικές και θεσμικές διαστάσεις. Η ανάλυση αναδεικνύει επίσης ότι μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας παραμένει προσανατολισμένο στην αποδοτικότητα πόρων, χωρίς να ενσωματώνει επαρκώς ζητήματα κοινωνικής δικαιοσύνης ή συμμετοχικής διακυβέρνησης.

Η σημασία της μελέτης για την παρούσα έρευνα είναι διττή. Πρώτον, προσφέρει ένα κριτικό πλαίσιο κατανόησης της CE ως «κινούμενου στόχου», δηλαδή ως έννοιας που διαμορφώνεται διαρκώς μέσα από πολιτικές και επιστημονικές διαπραγματεύσεις. Δεύτερον, υποδεικνύει ότι οποιαδήποτε ερευνητική εργασία οφείλει να δηλώνει ρητά ποια εκδοχή της CE υιοθετεί. Για ένα AI-backed κυκλικό οικοσύστημα, η επιλογή ορισμού δεν είναι ουδέτερη: εάν η CE οριστεί στενά, η TN θα αντιμετωπιστεί ως εργαλείο βελτιστοποίησης· εάν οριστεί συστημικά, η TN καθίσταται μέρος ενός ευρύτερου μετασχηματισμού που περιλαμβάνει θεσμούς, stakeholders και δίκτυα αξίας.

Το άρθρο των Kirchherr et al. (2023) συμβάλλει επίσης στη θεωρητική ωρίμανση του πεδίου, διότι αναδεικνύει την ανάγκη ενοποίησης των διάσπαρτων ορισμών σε ένα συνεκτικό πλαίσιο. Η επανεξέταση της CE δεν αποτελεί απλώς ακαδημαϊκή άσκηση, αλλά συνδέεται με την ικανότητα χάραξης πολιτικής και στρατηγικού σχεδιασμού. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η ανάλυση αυτή υποστηρίζει την επιλογή μιας συστημικής και πολυ-δρώντικης θεώρησης της CE, ικανής να ενσωματώσει ροές δεδομένων, ψηφιακές υποδομές και μηχανισμούς διακυβέρνησης.

Η σύγκριση των δύο άρθρων καταδεικνύει ότι η εννοιολογική θεμελίωση της CE απαιτεί τόσο ιστορική χαρτογράφηση όσο και κριτική αποδόμηση. Η διπλή αυτή θεωρητική θεμελίωση αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχήμα 6.1.



Το Arruda et al. (2021) προσφέρει την εικόνα της εξέλιξης και της θεματικής διεύρυνσης του πεδίου, ενώ το Kirchherr et al. (2023) παρέχει την αναλυτική εμβάθυνση που αποκαλύπτει τις ενδογενείς αντιφάσεις και παραλλαγές της έννοιας. Μαζί, συγκροτούν ένα διπλό θεωρητικό υπόβαθρο: από τη μία πλευρά, την κατανόηση της CE ως αναδυόμενου παραδείγματος βιώσιμης μετάβασης, και από την άλλη, την αναγνώριση της ανάγκης ρητής εννοιολογικής πλαισίωσης πριν από την ενσωμάτωση τεχνολογικών και οικοσυστημικών διαστάσεων.

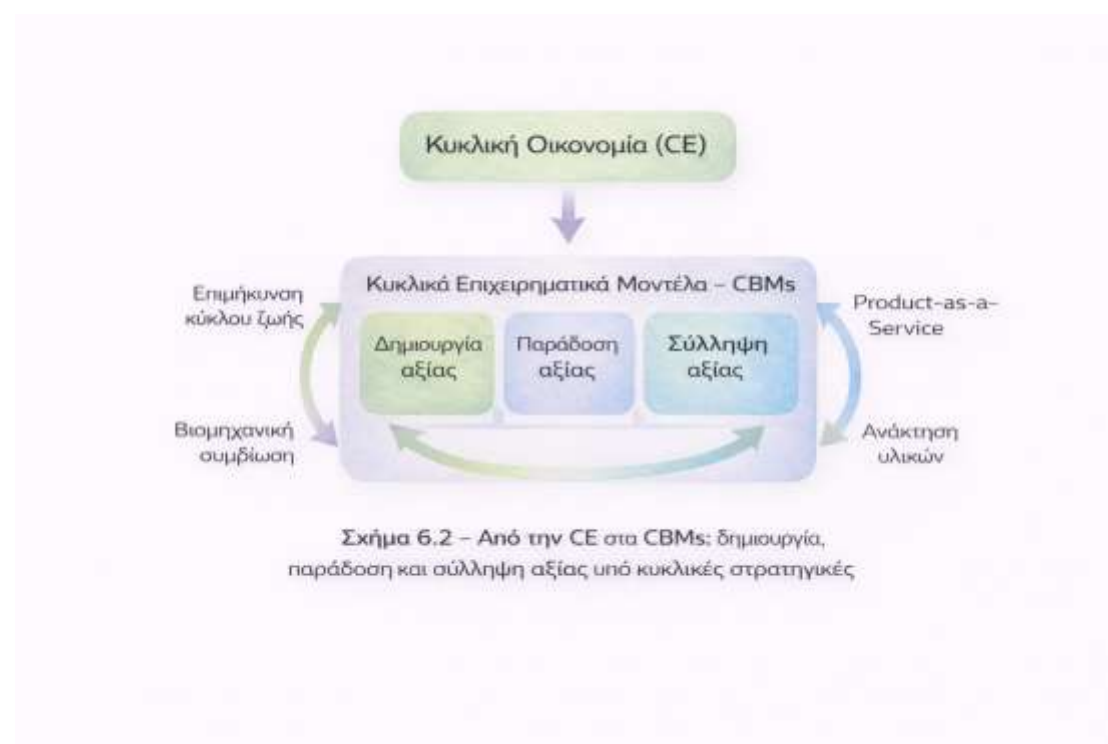
Η ενότητα αυτή, συνεπώς, θέτει το θεωρητικό θεμέλιο για την επόμενη θεματική ανάλυση, καθιστώντας σαφές ότι η AI-backed κυκλικότητα δεν μπορεί να οικοδομηθεί πάνω σε ασαφή ή αδιαφοροποίητη χρήση του όρου «Κυκλική Οικονομία», αλλά απαιτεί συστηματική, θεσμικά ενσυνείδητη και τεχνολογικά ευαίσθητη ερμηνεία της έννοιας.

6.2 Κυκλικά Επιχειρηματικά Μοντέλα (Circular Business Models – CBMs)

6.2.1 Islam et al. (2024): Ανασκόπηση Πλαισίων Κυκλικών Επιχειρηματικών Μοντέλων

Το άρθρο των Islam, Iyer-Raniga και Ali (2024) επικεντρώνεται στη συστηματική αποτύπωση των υφιστάμενων πλαισίων (frameworks) κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, επιδιώκοντας να οργανώσει ένα πεδίο που χαρακτηρίζεται από ταχεία εννοιολογική και εφαρμοστική διεύρυνση. Η βασική συμβολή της μελέτης έγκειται στην ταξινόμηση και συγκριτική αξιολόγηση των διαφορετικών προσεγγίσεων CBMs, αναδεικνύοντας τις θεμελιώδεις αρχές που επαναλαμβάνονται, καθώς και τις αποκλίσεις ως προς τη δομή, τη στρατηγική εστίαση και το επίπεδο ανάλυσης.

Οι συγγραφείς υπογραμμίζουν ότι τα CBMs συνιστούν τη λειτουργική μετάφραση της Κυκλικής Οικονομίας σε επίπεδο οργανισμού. Ενώ η CE λειτουργεί ως μακρο-εννοιολογικό πλαίσιο, τα CBMs αποτυπώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις επανασχεδιάζουν τη δημιουργία, παράδοση και σύλληψη αξίας υπό κυκλικές αρχές. Η λογική αυτή αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχήμα 6.2.



Στην ανάλυσή τους, αναδεικνύονται επαναλαμβανόμενες στρατηγικές όπως η επιμήκυνση κύκλου ζωής προϊόντων, η μετάβαση από ιδιοκτησία σε πρόσβαση (product-as-a-service), η ανάκτηση υλικών και η βιομηχανική συμβίωση. Η χαρτογράφηση των frameworks επιτρέπει να διακριθούν διαφορετικά επίπεδα ωρίμανσης: από περιγραφικά μοντέλα που

προσδιορίζουν γενικές αρχές, έως πιο δομημένα εργαλεία που συνδέουν κυκλικές στρατηγικές με λειτουργικές διαδικασίες.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρατήρηση των Islam et al. (2024) ότι τα περισσότερα CBM frameworks παραμένουν επιχειρησιοκεντρικά και δεν ενσωματώνουν επαρκώς τη διάσταση οικοσυστήματος. Παρότι αναγνωρίζεται η ανάγκη συνεργασίας με προμηθευτές, πελάτες και ρυθμιστικούς φορείς, η ανάλυση σπάνια προχωρά σε πλήρη χαρτογράφηση διασυνδέσεων και δυναμικών σχέσεων. Η παρατήρηση αυτή είναι κρίσιμη για την παρούσα έρευνα, καθώς αναδεικνύει ότι τα CBMs, αν και απαραίτητα για τη λειτουργική υλοποίηση της CE, δεν επαρκούν από μόνα τους για να περιγράψουν AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, όπου οι ροές δεδομένων, οι αλγοριθμικές υποδομές και η διακυβέρνηση παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Επιπλέον, η μελέτη εντοπίζει περιορισμένη ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στα περισσότερα frameworks. Παρά τη συχνή αναφορά στην «ψηφιακή μετάβαση», τα CBM μοντέλα δεν αναλύουν συστηματικά τον ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης, της ανάλυσης δεδομένων ή των ψηφιακών πλατφορμών ως δομικών στοιχείων επιχειρηματικής καινοτομίας. Το κενό αυτό προετοιμάζει το έδαφος για τη διεύρυνση της ανάλυσης προς ένα AI-enabled επιχειρηματικό οικοσύστημα.

6.2.2 Islam et al. (2025): Συστηματική Ανασκόπηση και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η μεταγενέστερη μελέτη των Islam, Khan και Ali (2025) προχωρά πέρα από τη χαρτογράφηση frameworks, επιχειρώντας μία πλήρη συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τα CBMs και εντοπίζοντας κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Σε αντίθεση με την προηγούμενη εργασία, η παρούσα ανάλυση εμβαθύνει στις εννοιολογικές τάσεις, στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις και στα ερευνητικά κενά του πεδίου.

Ένα από τα βασικά ευρήματα της μελέτης είναι ότι τα CBMs συχνά παρουσιάζονται ως τεχνικές λύσεις βιωσιμότητας, χωρίς να εξετάζονται επαρκώς οι θεσμικές, κοινωνικές και διακυβερνητικές διαστάσεις τους. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η επιτυχία ενός CBM εξαρτάται όχι μόνο από τον εσωτερικό σχεδιασμό του επιχειρηματικού μοντέλου, αλλά και από τη διαθεσιμότητα συνεργατικών δικτύων, την υποστήριξη πολιτικών και την ύπαρξη υποδομών. Αυτή η παρατήρηση ενισχύει την ανάγκη μετατόπισης από το επίπεδο μεμονωμένης επιχείρησης προς το επίπεδο οικοσυστήματος.

Παράλληλα, η μελέτη εντοπίζει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ψηφιοποίηση ως καταλύτη CBMs, χωρίς ωστόσο να υπάρχει συνεκτική θεωρητική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η τεχνολογία συχνά αντιμετωπίζεται ως «εργαλείο υποστήριξης» και όχι ως παράγοντας αναδιαμόρφωσης δομών αξίας και σχέσεων ισχύος. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι αποκαλύπτει μια ερευνητική ασυνέχεια: ενώ η CE και τα CBMs συζητούνται εκτενώς, και ενώ η TN αναγνωρίζεται ως σημαντική τεχνολογία βιωσιμότητας, η συστηματική σύνδεση μεταξύ τους παραμένει αποσπασματική.

Οι Islam et al. (2025) τονίζουν επίσης την ανάγκη για πολυεπίπεδη ανάλυση που να ενσωματώνει μικρο- (επιχειρησιακό), μεσο- (δίκτυα και συνεργασίες) και μακρο- (πολιτικές και κανονιστικά πλαίσια) επίπεδα. Αυτή η πολυεπίπεδη οπτική συνάδει με τη συστημική θεώρηση της Κυκλικής Οικονομίας που αναδείχθηκε στην προηγούμενη ενότητα και δημιουργεί γέφυρα προς την έννοια των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων.

Η συγκριτική ανάγνωση των δύο μελετών καταδεικνύει ότι τα CBMs αποτελούν κρίσιμο ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ μακρο-εννοιολογικής CE και μικρο-εφαρμογών τεχνολογίας. Το άρθρο του 2024 προσφέρει χαρτογραφική σαφήνεια ως προς τα υπάρχοντα πλαίσια, ενώ το άρθρο του 2025 προσθέτει κριτική βάθος και ερευνητικές κατευθύνσεις. Από κοινού, αναδεικνύουν τρία κεντρικά συμπεράσματα:

Πρώτον, τα CBMs είναι απαραίτητα για την υλοποίηση της κυκλικότητας, αλλά δεν επαρκούν χωρίς δικτυακή και θεσμική υποστήριξη. Δεύτερον, η ψηφιοποίηση αναγνωρίζεται ως σημαντική, αλλά δεν έχει ακόμη ενσωματωθεί θεωρητικά με συστηματικό τρόπο. Τρίτον, η βιβλιογραφία παραμένει σε μεγάλο βαθμό οργανωσιακά προσανατολισμένη, αφήνοντας περιθώριο για οικοσυστημική και διακυβερνητική ανάλυση.

Η παρούσα έρευνα τοποθετείται ακριβώς σε αυτό το σημείο τομής: επιδιώκει να υπερβεί την επιχειρησιοκεντρική ανάλυση των CBMs και να τα εντάξει σε ένα ευρύτερο AI-backed stakeholder ecosystem, όπου οι επιχειρηματικές στρατηγικές, οι ροές δεδομένων, οι σχέσεις συνεργασίας και οι μηχανισμοί διακυβέρνησης συνδιαμορφώνουν τη βιώσιμη μετάβαση.

6.3 Θεωρία Ενδιαφερομένων & Συμμετοχική Διακυβέρνηση

Η ενσωμάτωση της Θεωρίας των Ενδιαφερομένων (Stakeholder Theory) και της συμμετοχικής διακυβέρνησης στο πλαίσιο της Κυκλικής Οικονομίας και των AI-backed οικοσυστημάτων αποτελεί κρίσιμο θεωρητικό άξονα της παρούσας ανασκόπησης. Ενώ οι

προηγούμενες ενότητες θεμελίωσαν την εννοιολογική και επιχειρηματική διάσταση της κυκλικότητας, η παρούσα ενότητα εστιάζει στη διακυβερνητική και σχεσιακή της διάσταση: ποιοι δρώντες εμπλέκονται, πώς κατανέμεται η ισχύς, ποια είναι τα αποτελέσματα της συμμετοχής και υπό ποιες προϋποθέσεις η πολυ-δρώντική συνεργασία οδηγεί σε βελτιωμένη περιβαλλοντική και κοινωνική απόδοση. Τα άρθρα των Mahajan et al. (2023), Newig et al. (2023) και Teodoro & Prell (2023) προσφέρουν συμπληρωματικές προσεγγίσεις σε αυτά τα ερωτήματα, συνδυάζοντας θεωρητική ανασύνθεση, μετα-ανάλυση και δικτυακή μεθοδολογία.

6.3.1 Mahajan et al. (2023): Ανασύνθεση της Θεωρίας των Ενδιαφερομένων

Το άρθρο των Mahajan, Lim, Sareen, Kumar και Panwar (2023) επιχειρεί μία εκτενή βιβλιομετρική και θεωρητική ανασκόπηση της Θεωρίας των Ενδιαφερομένων, αποτυπώνοντας την εξέλιξή της από την κλασική της διατύπωση έως τις σύγχρονες εφαρμογές σε ζητήματα βιωσιμότητας και στρατηγικής διοίκησης. Η μελέτη αναδεικνύει ότι η Stakeholder Theory έχει μετατοπιστεί από μια κανονιστική προσέγγιση ηθικής υποχρέωσης προς τους ενδιαφερόμενους σε ένα σύνθετο στρατηγικό πλαίσιο διαχείρισης αξίας και κινδύνου.

Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η θεωρία έχει εξελιχθεί σε τρεις βασικές κατευθύνσεις: κανονιστική (normative), οργανολογική/εργαλειακή (instrumental) και περιγραφική (descriptive). Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, η κανονιστική διάσταση αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς προϋποθέτει αναγνώριση ευθυνών πέραν των μετόχων, ενώ η εργαλειακή διάσταση συνδέει τη διαχείριση stakeholders με βελτιωμένη απόδοση και ανθεκτικότητα. Η συμβολή του άρθρου για την παρούσα εργασία έγκειται στην ανάδειξη της πολυπλοκότητας των σχέσεων ισχύος και συμφερόντων, καθώς και στη μετάβαση της θεωρίας προς δικτυακές και πολυ-επίπεδες εφαρμογές.

Στο πλαίσιο των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων, η Stakeholder Theory προσφέρει θεωρητική βάση για την κατανόηση της διανεμημένης ευθύνης και της πολυπλοκότητας των αλληλεξαρτήσεων. Ωστόσο, η μελέτη των Mahajan et al. (2023) παραμένει σε γενικό θεωρητικό επίπεδο και δεν εμβαθύνει σε ψηφιακά ή οικοσυστημικά περιβάλλοντα. Αυτό αφήνει περιθώριο για περαιτέρω εφαρμογή της θεωρίας σε σύνθετα τεχνολογικά συστήματα όπου η αλγοριθμική διακυβέρνηση επηρεάζει την κατανομή ισχύος.

6.3.2 Newig et al. (2023): Μετα-Ανάλυση Συμμετοχικής Διακυβέρνησης

Η μετα-ανάλυση των Newig, Jager, Challies και Kochskämper (2023) αποτελεί μία από τις πιο συστηματικές εμπειρικές διερευνήσεις της αποτελεσματικότητας της συμμετοχής stakeholders στην περιβαλλοντική διακυβέρνηση. Βασιζόμενοι σε 305 μελέτες περίπτωσης, οι συγγραφείς εξετάζουν εάν και υπό ποιες συνθήκες η συμμετοχή βελτιώνει τα αποτελέσματα πολιτικής.

Το βασικό εύρημα της μελέτης είναι ότι η συμμετοχή δεν οδηγεί αυτομάτως σε βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση· τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το θεσμικό πλαίσιο, τη δομή λήψης αποφάσεων και το επίπεδο εξουσιοδότησης των συμμετεχόντων. Η μελέτη διακρίνει μεταξύ τυπικής συμμετοχής (consultative) και ουσιαστικής συμμετοχής (empowered participation), αναδεικνύοντας ότι μόνο η δεύτερη έχει σημαντική θετική επίδραση. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ανάλυση AI-enabled οικοσυστημάτων, όπου η συμμετοχή μπορεί να περιοριστεί σε επιφανειακή διαβούλευση χωρίς πραγματική επιρροή επί των τεχνολογικών επιλογών.

Η μετα-ανάλυση των Newig et al. (2023) προσφέρει εμπειρική τεκμηρίωση της πολυπλοκότητας της συμμετοχικής διακυβέρνησης, αλλά δεν εξετάζει ειδικά ψηφιακά ή αλγοριθμικά περιβάλλοντα. Παρόλα αυτά, τα συμπεράσματά της υποδεικνύουν ότι σε AI-backed συστήματα η συμμετοχή πρέπει να σχεδιάζεται με σαφείς μηχανισμούς επιρροής και λογοδοσίας, διαφορετικά κινδυνεύει να λειτουργήσει ως εργαλείο νομιμοποίησης χωρίς ουσιαστική δημοκρατική ενδυνάμωση.

6.3.3 Teodoro & Prell (2023): Δικτυακή Ανάλυση και Μαθησιακά Αποτελέσματα

Οι Teodoro και Prell (2023) προσεγγίζουν τη συμμετοχική διακυβέρνηση από δικτυακή σκοπιά, διερευνώντας πώς οι σχέσεις μεταξύ stakeholders επηρεάζουν τα μαθησιακά αποτελέσματα σε περιβάλλοντα κλιματικής διακυβέρνησης. Μέσω ανάλυσης κοινωνικών δικτύων, οι συγγραφείς δείχνουν ότι η θέση ενός δρώντα στο δίκτυο (κεντρικότητα, διαμεσολάβηση, πυκνότητα σχέσεων) επηρεάζει την ικανότητά του να αποκτά και να διαχέει γνώση.

Η συμβολή της μελέτης είναι μεθοδολογική και εννοιολογική. Αναδεικνύει ότι η συμμετοχή δεν μπορεί να αξιολογηθεί μόνο ποσοτικά (πόσοι συμμετέχουν), αλλά και ποιοτικά, με βάση τη δομή του δικτύου και τις ροές πληροφορίας. Σε AI-backed οικοσυστήματα, όπου τα δεδομένα και οι πληροφορίες διακινούνται μέσω ψηφιακών πλατφορμών, η δικτυακή

ανάλυση προσφέρει ισχυρό εργαλείο κατανόησης της κατανομής επιρροής και της μάθησης.

Ωστόσο, όπως και τα προηγούμενα άρθρα, η μελέτη δεν εστιάζει σε τεχνολογικά διαμεσολαβημένα περιβάλλοντα. Η εφαρμογή της σε AI-enabled κυκλικά οικοσυστήματα προϋποθέτει επέκταση της ανάλυσης ώστε να συμπεριλάβει αλγοριθμικούς κόμβους, πλατφόρμες και δεδομενικές υποδομές ως ενεργούς δρώντες.

Συνθετική Αποτίμηση

Η συνδυαστική ανάλυση των τριών άρθρων αποκαλύπτει μια πολυεπίπεδη εικόνα της συμμετοχικής διακυβέρνησης. Το Mahajan et al. (2023) προσφέρει θεωρητική βάση για την κατανόηση της διαχείρισης συμφερόντων και αξίας· το Newig et al. (2023) παρέχει εμπειρική τεκμηρίωση των όρων αποτελεσματικής συμμετοχής· και το Teodoro & Prell (2023) εισάγει δικτυακή μεθοδολογία που επιτρέπει ανάλυση δυναμικών σχέσεων.

Κοινό στοιχείο και των τριών είναι η αναγνώριση ότι η συμμετοχή δεν είναι ουδέτερη διαδικασία, αλλά δομικά εξαρτημένη από σχέσεις ισχύος, θεσμικά πλαίσια και δομές δικτύου. Παράλληλα, καμία από τις μελέτες δεν ενσωματώνει ρητά την Τεχνητή Νοημοσύνη ως μεταβλητή που επηρεάζει τη συμμετοχική διακυβέρνηση. Το κενό αυτό καθιστά αναγκαία την επέκταση της θεωρίας και των εμπειρικών εργαλείων προς ένα AI-backed stakeholder ecosystem, όπου η αλγοριθμική λήψη αποφάσεων, οι ροές δεδομένων και οι ψηφιακές πλατφόρμες διαμορφώνουν νέες μορφές επιρροής και συντονισμού.

Η ενότητα αυτή, συνεπώς, θεμελιώνει τη μετάβαση από την παραδοσιακή stakeholder governance σε ένα ψηφιακά διαμεσολαβημένο μοντέλο, το οποίο θα αναλυθεί περαιτέρω στις επόμενες θεματικές ενότητες της ανασκόπησης.

6.4 Οικοσυστημική Προσέγγιση & Χαρτογράφηση Δικτύων

Η οικοσυστημική προσέγγιση συνιστά κρίσιμο εννοιολογικό και μεθοδολογικό άξονα για την κατανόηση της Κυκλικής Οικονομίας ως συστημικού μετασχηματισμού και όχι ως αθροίσματος μεμονωμένων οργανωσιακών πρακτικών. Η μετάβαση από γραμμικές αλυσίδες αξίας σε πολυκεντρικά δίκτυα συνεργασίας απαιτεί εργαλεία που αποτυπώνουν τις σχέσεις μεταξύ δρώντων, τις ροές πληροφορίας και πόρων, καθώς και τη θεσμική ενσωμάτωση περιβαλλοντικών στόχων. Τα άρθρα των Barraclough et al. (2022), Flaig et al. (2025) και Xu & Peng (2024) προσφέρουν τρεις συμπληρωματικές οπτικές: μεθοδολογική χαρτογράφηση δικτύων, σχεδιαστικά προσανατολισμένη εμπλοκή stakeholders και

σύνδεση οικοσυστημικών υπηρεσιών με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs). Η ανάλυσή τους επιτρέπει την εδραίωση ενός πλαισίου που υπερβαίνει την επιχειρησιοκεντρική προσέγγιση των CBMs και μετατοπίζει το ενδιαφέρον προς τα δίκτυα και τις σχέσεις που συγκροτούν τα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα.

6.4.1 Barraclough et al. (2022): Χαρτογράφηση Δικτύων και Συν-Παραγωγή Οικοσυστημικών Υπηρεσιών

Το άρθρο των Barraclough, Cusens και Måren (2022) εισάγει μια καινοτόμα μεικτή μεθοδολογία (mixed-methods approach) για τη χαρτογράφηση δικτύων stakeholders που συν-παράγουν πολλαπλές οικοσυστημικές υπηρεσίες. Η μελέτη συνδυάζει ποιοτικές και ποσοτικές τεχνικές, αξιοποιώντας ανάλυση κοινωνικών δικτύων (Social Network Analysis – SNA) για να αποτυπώσει τη δομή των σχέσεων, την κεντρικότητα δρώντων και τα μοτίβα συνεργασίας. Η βασική συμβολή του άρθρου έγκειται στο ότι μετατρέπει την έννοια της «συμμετοχής» από αφηρημένη κατηγορία σε μετρήσιμη δικτυακή δομή.

Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την παρούσα έρευνα, καθώς τα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα σχέσεων και διαμοιρασμένη παραγωγή αξίας. Η χαρτογράφηση των Barraclough et al. (2022) δείχνει ότι η θέση ενός δρώντα στο δίκτυο επηρεάζει την ικανότητά του να επηρεάζει αποφάσεις και να συμβάλλει στη συν-παραγωγή αποτελεσμάτων. Η έννοια της κεντρικότητας αποκτά έτσι στρατηγική σημασία: σε ψηφιακά διαμεσολαβημένα περιβάλλοντα, κόμβοι που ελέγχουν ροές δεδομένων ή πλατφόρμες ενδέχεται να αποκτούν δυσανάλογη επιρροή.

Παράλληλα, η μελέτη αναδεικνύει ότι η αποτελεσματικότητα της συνεργασίας εξαρτάται από τη διασύνδεση και την εμπιστοσύνη μεταξύ δρώντων. Η συν-παραγωγή οικοσυστημικών υπηρεσιών προϋποθέτει όχι μόνο τεχνικό συντονισμό αλλά και θεσμική συνοχή. Αν και το άρθρο δεν εστιάζει σε ψηφιακές τεχνολογίες, η μεθοδολογική του συμβολή μπορεί να μεταφερθεί στο πλαίσιο AI-enabled οικοσυστημάτων, όπου η ανάλυση δικτύου μπορεί να συμπεριλάβει αλγοριθμικούς κόμβους και δεδομενικές υποδομές ως ενεργά στοιχεία της δομής.

6.4.2 Flaig et al. (2025): Σχεδιαστικά Προσανατολισμένη Εμπλοκή σε Οικοσυστήματα Υπηρεσιών

Το άρθρο των Flaig, Guyader και Ottosson (2025) εστιάζει στη σχεδιαστικά προσανατολισμένη εμπλοκή stakeholders σε οικοσυστήματα υπηρεσιών (service ecosystems), προσφέροντας μια πιο δυναμική και πρακτική θεώρηση της οικοσυστημικής

διακυβέρνησης. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η εμπλοκή δεν είναι στατικό γεγονός, αλλά διαδικασία συν-σχεδιασμού (co-design) και επαναδιαμόρφωσης θεσμικών δομών.

Η βασική τους συμβολή είναι η ανάδειξη της «design-oriented stakeholder engagement» ως μηχανισμού μετασχηματισμού οικοσυστημάτων. Σε αντίθεση με παραδοσιακά μοντέλα διαβούλευσης, η προσέγγιση αυτή ενσωματώνει iterative learning και αναστοχαστικότητα, επιτρέποντας τη συνεχή προσαρμογή των σχέσεων και των ρόλων. Στο πλαίσιο AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων, η προσέγγιση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις απαιτούν διαρκή αναπροσαρμογή θεσμικών και επιχειρησιακών πρακτικών.

Το άρθρο συνδέει την έννοια του οικοσυστήματος με την παραγωγή υπηρεσιών και την εμπειρία χρήστη, επεκτείνοντας το πεδίο πέρα από τη στενή περιβαλλοντική διάσταση. Η έμφαση στον σχεδιασμό και στη διαδραστικότητα προσφέρει γέφυρα προς τα ψηφιακά περιβάλλοντα, όπου η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως ενδιάμεσος μηχανισμός συντονισμού. Παρότι το άρθρο δεν αναλύει ρητά AI συστήματα, η θεωρητική του συμβολή στη δυναμική εμπλοκή stakeholders είναι κρίσιμη για τη διαμόρφωση ευέλικτων και προσαρμοστικών κυκλικών οικοσυστημάτων.

6.4.3 Xu & Peng (2024): Οικοσυστημικές Υπηρεσίες και Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης

Οι Xu και Peng (2024) προσεγγίζουν την οικοσυστημική διάσταση από μακρο-περιβαλλοντική σκοπιά, αναλύοντας τη συμβολή των οικοσυστημικών υπηρεσιών στην επίτευξη των SDGs. Το άρθρο προσφέρει θεωρητική σύνδεση μεταξύ οικολογικών θεμελίων και βιώσιμης ανάπτυξης, υπογραμμίζοντας ότι η διατήρηση και ενίσχυση οικοσυστημικών υπηρεσιών αποτελεί προϋπόθεση για τη μακροχρόνια ανθεκτικότητα κοινωνικο-οικονομικών συστημάτων.

Η συμβολή της μελέτης για την παρούσα εργασία έγκειται στην ανάδειξη της οικολογικής διάστασης ως θεμελιώδους βάσης των οικοσυστημάτων. Ενώ τα προηγούμενα άρθρα εστιάζουν σε κοινωνικές και οργανωσιακές σχέσεις, το Xu & Peng (2024) υπενθυμίζει ότι τα οικοσυστήματα δεν είναι μόνο κοινωνικά δίκτυα, αλλά και οικολογικές δομές με βιοφυσικά όρια. Η σύνδεση με τους SDGs καθιστά σαφές ότι η χαρτογράφηση δικτύων πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τη διακυβέρνηση και την τεχνολογία, αλλά και τις περιβαλλοντικές συνέπειες.

Σε AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, η έννοια των οικοσυστημικών υπηρεσιών μπορεί να συνδεθεί με δεδομένα παρακολούθησης, πρόβλεψης και αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιδόσεων. Η μελέτη, αν και δεν εστιάζει σε ψηφιακές τεχνολογίες, προσφέρει το οικολογικό υπόβαθρο που καθιστά αναγκαία τη διακυβέρνηση και τη δικτυακή χαρτογράφηση.

Συνθετική Αποτίμηση

Τα τρία άρθρα συνθέτουν ένα πολυδιάστατο πλαίσιο οικοσυστημικής ανάλυσης. Το BarracloUGH et al. (2022) παρέχει μεθοδολογικό εργαλείο χαρτογράφησης δικτύων, το Flaig et al. (2025) προσφέρει δυναμική και σχεδιαστικά προσανατολισμένη θεώρηση εμπλοκής, και το Xu & Peng (2024) θεμελιώνει την οικολογική και βιωσιμική διάσταση. Κοινός παρονομαστής είναι η αναγνώριση ότι η βιωσιμότητα επιτυγχάνεται μέσω πολυδρώντικων, διασυνδεδεμένων συστημάτων.

Ωστόσο, καμία από τις μελέτες δεν ενσωματώνει πλήρως την Τεχνητή Νοημοσύνη ως ενεργό δομικό στοιχείο των δικτύων. Το κενό αυτό ενισχύει την ανάγκη για ένα AI-backed stakeholder–ecosystem model που θα συνδυάζει δικτυακή χαρτογράφηση, δυναμική εμπλοκή και περιβαλλοντική αποτίμηση σε ένα ενιαίο πλαίσιο ανάλυσης.

6.5 Τεχνητή Νοημοσύνη και Κυκλική Μετάβαση

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) αναδεικνύεται τα τελευταία χρόνια ως καταλύτης βιώσιμης μετάβασης, με αυξανόμενη παρουσία τόσο στη βιβλιογραφία της βιωσιμότητας όσο και στη συζήτηση περί Κυκλικής Οικονομίας (CE). Ωστόσο, η ενσωμάτωση της TN στην κυκλική μετάβαση δεν είναι ούτε μονοσήμαντη ούτε απαλλαγμένη από αντιφάσεις. Τα άρθρα των Vinuesa et al. (2020), Raut et al. (2025) και Toderas (2025) προσφέρουν τρεις διακριτές αλλά συμπληρωματικές οπτικές: μακρο-αποτίμηση της συμβολής της TN στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, κριτική χαρτογράφηση εφαρμογών TN στην CE, και συστηματική ανάλυση των προκλήσεων και ορίων της AI-for-sustainability. Η σύνθεσή τους επιτρέπει την κατανόηση της TN όχι απλώς ως τεχνολογικού εργαλείου, αλλά ως συστημικού παράγοντα που επηρεάζει δομές αξίας, ροές δεδομένων και σχέσεις διακυβέρνησης.

6.5.1 Vinuesa et al. (2020): Η Δυναμική Επίδραση της TN στους SDGs

Το άρθρο των Vinuesa, Azizpour, Leite, Balaam και Fuso Nerini (2020) αποτελεί μία από τις πιο επιδραστικές ποσοτικές αξιολογήσεις της σχέσης μεταξύ TN και Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs). Μέσω συστηματικής χαρτογράφησης 169 επιμέρους στόχων, οι

συγγραφείς αξιολογούν εάν και πώς η TN μπορεί να επιταχύνει ή να παρεμποδίσει την επίτευξή τους. Το κεντρικό εύρημα της μελέτης είναι η «δυαδική» φύση της TN: ενώ εντοπίζονται σημαντικές δυνατότητες θετικής συμβολής (π.χ. στη βελτιστοποίηση ενεργειακών συστημάτων, στη διαχείριση φυσικών πόρων, στην παρακολούθηση περιβαλλοντικών μεταβλητών), ταυτόχρονα καταγράφονται κίνδυνοι ενίσχυσης ανισοτήτων, συγκέντρωσης ισχύος και περιβαλλοντικής επιβάρυνσης μέσω ενεργοβόρων υπολογιστικών υποδομών.

Η σημασία της μελέτης για την κυκλική μετάβαση έγκειται στο ότι καθιστά σαφές πως η TN δεν είναι εγγενώς «πράσινη» ή «κυκλική». Η αξιοποίησή της σε συστήματα παραγωγής, εφοδιαστικές αλυσίδες και διαχείριση αποβλήτων μπορεί να ενισχύσει την αποδοτικότητα και να μειώσει τις απώλειες πόρων, αλλά απαιτεί ταυτόχρονα θεσμική εποπτεία και διακυβέρνηση. Για τα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα, το άρθρο προσφέρει ένα κανονιστικό πλαίσιο: η TN πρέπει να αξιολογείται όχι μόνο ως προς την τεχνική της απόδοση, αλλά και ως προς τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές της συνέπειες. Ωστόσο, η μελέτη δεν εστιάζει ειδικά στην Κυκλική Οικονομία, ούτε αναλύει επιχειρηματικά ή δικτυακά μοντέλα εφαρμογής, γεγονός που περιορίζει την εξειδίκευση των συμπερασμάτων της στο πεδίο της CE.

6.5.2 Raut et al. (2025): Κριτική Ανάλυση Εφαρμογών TN στην Κυκλική Οικονομία

Σε αντίθεση με τη μακρο-προσέγγιση των Vinuesa et al. (2020), το άρθρο των Raut, Hossain, Kouhizadeh και Fazio (2025) εστιάζει άμεσα στη διασταύρωση TN και Κυκλικής Οικονομίας. Πρόκειται για κριτική ανασκόπηση της τρέχουσας έρευνας, η οποία χαρτογραφεί εφαρμογές TN σε τομείς όπως η διαχείριση αποβλήτων, η πρόβλεψη ζήτησης, η βελτιστοποίηση logistics, η ταξινόμηση υλικών και η υποστήριξη λήψης αποφάσεων για κυκλικές στρατηγικές.

Η βασική συμβολή της μελέτης είναι η κατηγοριοποίηση των εφαρμογών TN σε στάδια του κύκλου ζωής προϊόντος και σε επίπεδα λήψης αποφάσεων. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η TN μπορεί να ενισχύσει την κυκλικότητα μέσω βελτιστοποίησης ροών υλικών και πρόβλεψης φθοράς, αλλά ταυτόχρονα εντοπίζουν ερευνητικά κενά ως προς τη διακυβέρνηση, τη διαφάνεια και την κοινωνική αποδοχή. Παρά τη λεπτομερή χαρτογράφηση εφαρμογών, η μελέτη παραμένει σε μεγάλο βαθμό τεχνοκεντρική, εστιάζοντας στις λειτουργικές δυνατότητες της TN χωρίς εκτενή ανάλυση των σχέσεων stakeholders και των οικοσυστημικών δυναμικών.

Η παρατήρηση αυτή είναι κρίσιμη για την παρούσα έρευνα, καθώς αναδεικνύει ότι η βιβλιογραφία περί AI-in-CE συχνά αντιμετωπίζει την TN ως εργαλείο αποδοτικότητας και όχι ως μετασχηματιστικό παράγοντα δομών ισχύος και διακυβέρνησης. Η ανάγκη μετατόπισης από τεχνολογική εφαρμογή σε συστημική ενσωμάτωση καθίσταται έτσι εμφανής.

6.5.3 Toderas (2025): Συστηματική Ανασκόπηση AI for Sustainability

Το άρθρο της Toderas (2025) επιχειρεί μία συστηματική ανασκόπηση των εφαρμογών TN στη βιωσιμότητα, υιοθετώντας κριτική οπτική ως προς τις προκλήσεις, τα όρια και τις μελλοντικές κατευθύνσεις. Η μελέτη υπερβαίνει την απλή χαρτογράφηση εφαρμογών και εξετάζει ζητήματα ενεργειακής κατανάλωσης υποδομών, ηθικών διλημμάτων, αλγοριθμικής μεροληψίας και έλλειψης θεσμικών πλαισίων.

Η συμβολή της Toderas (2025) έγκειται στην ανάδειξη της ανάγκης για ολοκληρωμένη διακυβέρνηση της TN στο πλαίσιο βιώσιμης μετάβασης. Η TN δεν παρουσιάζεται ως ουδέτερη τεχνολογία, αλλά ως κοινωνικοτεχνικό σύστημα που απαιτεί κανονιστικά φίλτρα, μηχανισμούς λογοδοσίας και διαφάνειας. Η ανάλυση αυτή ενισχύει τη θεώρηση ότι η κυκλική μετάβαση με υποστήριξη TN δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς ενσωμάτωση ηθικών και θεσμικών παραμέτρων.

Παρότι το άρθρο δεν εστιάζει αποκλειστικά στην Κυκλική Οικονομία, τα συμπεράσματά του έχουν άμεση εφαρμογή: η βιωσιμότητα δεν προκύπτει αυτόματα από την τεχνολογική καινοτομία, αλλά από τον τρόπο ενσωμάτωσής της σε δίκτυα αξίας και συστήματα διακυβέρνησης.

Η σύγκριση των τριών μελετών αποκαλύπτει τρία συμπληρωματικά επίπεδα ανάλυσης. Το Vinuesa et al. (2020) παρέχει μακρο-κανονιστικό πλαίσιο για τη διττή επίδραση της TN· το Raut et al. (2025) χαρτογραφεί συγκεκριμένες εφαρμογές TN στην CE· και το Toderas (2025) αναδεικνύει τις συστημικές προκλήσεις και τα όρια της AI-for-sustainability. Κοινό στοιχείο και των τριών είναι η αναγνώριση ότι η TN έχει μετασχηματιστικό δυναμικό, αλλά απαιτεί θεσμική και κοινωνική ενσωμάτωση.

Ωστόσο, καμία από τις μελέτες δεν αναπτύσσει πλήρες οικοσυστημικό μοντέλο που να ενσωματώνει ταυτόχρονα TN, κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα, stakeholder governance και δικτυακή δυναμική. Το κενό αυτό επιβεβαιώνει την ανάγκη για ένα AI-backed stakeholder–

ecosystem framework, ικανό να συνθέσει τεχνολογικές εφαρμογές, ροές δεδομένων και πολυ-δρώντική διακυβέρνηση σε ενιαίο αναλυτικό σχήμα.

6.6 Συνολική Αποτίμηση και Κριτικός Σχολιασμός του Πίνακα Συστηματικής Ανασκόπησης

Ο Πίνακας 6.6 αποτυπώνει συγκεντρωτικά το θεωρητικό και ερευνητικό τοπίο στο σημείο τομής μεταξύ Κυκλικής Οικονομίας, κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, θεωρίας ενδιαφερομένων, οικοσυστημικών προσεγγίσεων και Τεχνητής Νοημοσύνης. Η συστηματική του δομή επιτρέπει όχι μόνο την καταγραφή θεματικών αξόνων και τύπων μελέτης, αλλά κυρίως την ανάδειξη των σχέσεων σύγκλισης και των εντοπιζόμενων ασυνεχειών της βιβλιογραφίας. Η ανάλυση του πίνακα καταδεικνύει ότι, παρά την πλούσια και ώριμη έρευνα σε επιμέρους πεδία, η διατομεακή σύνθεση παραμένει περιορισμένη.

Πίνακας 1 Συστηματική Ανασκόπηση

Συγγραφείς (Έτος)	Θεματικός Άξονας	Τύπος Μελέτης	Βασική Συμβολή	Σχέση με AI-Backed Circular Ecosystems	Εντοπιζόμενος Περιορισμός
Arruda et al. (2021)	Εννοιολόγηση CE	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	Χαρτογράφηση εξέλιξης CE (2015–2020)	Θεμελιώνει το εννοιολογικό υπόβαθρο κυκλικότητας	Δεν ενσωματώνει AI ή governance
Kirchherr et al. (2023)	Ορισμοί CE	Εννοιολογική ανάλυση 221 ορισμών	Αναδεικνύει εννοιολογική πολυφωνία CE	Δείχνει ανάγκη σαφούς πλαισίωσης για AI integration	Απουσία τεχνολογικής διάστασης
Islam et al. (2024)	CBM frameworks	Review	Κατηγοριοποίηση CBM frameworks	Βάση για κατανόηση επιχειρηματικής μετάβασης	Περιορισμένη σύνδεση με digital tech
Islam et al. (2025)	CBMs	Systematic literature review	Εξέλιξη και κενά CBMs	Εντοπίζει ανάγκη ψηφιακής ενσωμάτωσης	Δεν αναλύει stakeholder ecosystems
Mahajan et al. (2023)	Stakeholder theory	Bibliometric/Review	Ανασύνθεση stakeholder theory	Θεωρητικό υπόβαθρο για governance	Δεν εφαρμόζεται σε CE/AI
Newig et al. (2023)	Participation & governance	Meta-analysis (305 cases)	Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας συμμετοχής	Τεκμηριώνει σημασία πολυεπίπεδης διακυβέρνησης	Δεν εξετάζει ψηφιακά οικοσυστήματα
Teodoro & Prell (2023)	Stakeholder networks	Network analysis	Κατανόηση μαθησιακών αποτελεσμάτων συμμετοχής	Μεθοδολογική βάση χαρτογράφησης σχέσεων	Όχι εφαρμογή σε CE ή AI
Barraclough et al. (2022)	Ecosystem services networks	Mixed-method network mapping	Καινοτόμα χαρτογράφηση stakeholder networks	Παρέχει εργαλείο ανάλυσης οικοσυστημάτων	Δεν ενσωματώνει AI
Flaig et al. (2025)	Service ecosystems	Conceptual/Empirical	Design-oriented stakeholder engagement	Ενισχύει ecosystem governance διάσταση	Περιορισμένη CE εστίαση
Xu & Peng (2024)	Ecosystem services & SDGs	Conceptual	Σύνδεση οικοσυστημικών υπηρεσιών με SDGs	Θεμελιώνει sustainability outcomes	Δεν εξετάζει τεχνολογική διαμεσολάβηση
Vinuesa et al. (2020)	AI & SDGs	Quantitative assessment	Χαρτογράφηση θετικών/αρνητικών επιπτώσεων AI	Δείχνει δυαδικό ρόλο AI	Όχι ειδικά CE
Raut et al. (2025)	AI in CE	Critical review	Ανάλυση εφαρμογών AI στην CE	Άμεση σύνδεση AI-CE	Περιορισμένη governance ανάλυση
Toderas (2025)	AI for sustainability	Systematic review	Προκλήσεις και κατευθύνσεις AI sustainability	Υπογραμμίζει ανάγκη θεσμικού πλαισίου	Δεν εξετάζει stakeholder ecosystems

Σε πρώτο επίπεδο, ο πίνακας αποκαλύπτει ότι η εννοιολογική θεμελίωση της Κυκλικής Οικονομίας είναι ισχυρή αλλά πολυφωνική. Τα Arruda et al. (2021) και Kirchherr et al. (2023) εδραιώνουν τη CE ως συστημική έννοια, αναδεικνύοντας την εξέλιξη και την ποικιλομορφία των ορισμών της. Ωστόσο, αμφότερα τα άρθρα απουσιάζουν από τη συζήτηση για την τεχνολογική διαμεσολάβηση και τη διακυβέρνηση σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Η CE εμφανίζεται ως πλαίσιο μετασχηματισμού παραγωγικών συστημάτων, χωρίς ρητή ενσωμάτωση της TN ως παράγοντα αναδιαμόρφωσης δομών ισχύος και ροών δεδομένων. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει ένα πρώτο θεμελιώδες κενό: η εννοιολογική σαφήνεια της CE δεν συνοδεύεται από αντίστοιχη ενσωμάτωση τεχνολογικών παραγόντων.

Στο δεύτερο θεματικό σύμπλεγμα, τα άρθρα για τα Κυκλικά Επιχειρηματικά Μοντέλα (Islam et al., 2024; 2025) προσφέρουν συστηματική κατηγοριοποίηση και εντοπισμό ερευνητικών κενών, αλλά παραμένουν κυρίως οργανωσιακά προσανατολισμένα. Η ανάλυση των frameworks και των στρατηγικών CBMs αναγνωρίζει τη σημασία της ψηφιοποίησης, χωρίς όμως να την τοποθετεί στο επίκεντρο της θεωρητικής συζήτησης. Η TN αντιμετωπίζεται περισσότερο ως εργαλείο υποστήριξης παρά ως συστημικός μετασχηματιστής. Παράλληλα, απουσιάζει ολοκληρωμένη προσέγγιση stakeholder ecosystems. Επομένως, η βιβλιογραφία των CBMs λειτουργεί ως αναγκαίο αλλά όχι επαρκές επίπεδο ανάλυσης για AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα.

Στο τρίτο σύμπλεγμα, η Θεωρία των Ενδιαφερομένων και η συμμετοχική διακυβέρνηση (Mahajan et al., 2023; Newig et al., 2023; Teodoro & Prell, 2023) προσφέρουν θεωρητικό και μεθοδολογικό βάθος ως προς τις σχέσεις ισχύος, τη δομή δικτύων και την αποτελεσματικότητα της συμμετοχής. Η μετα-ανάλυση των Newig et al. (2023) και η δικτυακή προσέγγιση των Teodoro & Prell (2023) τεκμηριώνουν ότι η συμμετοχή δεν είναι αυτομάτως αποτελεσματική, αλλά εξαρτάται από θεσμικούς και δομικούς παράγοντες. Ωστόσο, καμία από τις μελέτες δεν εξετάζει περιβάλλοντα όπου η λήψη αποφάσεων είναι αλγοριθμικά διαμεσολαβημένα ή όπου οι ψηφιακές πλατφόρμες διαμορφώνουν την κατανομή πληροφορίας. Η απουσία ψηφιακής διάστασης στην stakeholder governance αναδεικνύει ένα δεύτερο κρίσιμο κενό: η θεωρία και η εμπειρική τεκμηρίωση της συμμετοχικής διακυβέρνησης δεν έχουν ακόμη μεταφραστεί επαρκώς σε τεχνολογικά εντατικά οικοσυστήματα.

Το τέταρτο σύμπλεγμα, που αφορά την οικοσυστημική προσέγγιση και τη χαρτογράφηση δικτύων (Barracough et al., 2022; Flaig et al., 2025; Xu & Peng, 2024), προσφέρει τα αναλυτικά εργαλεία για τη μετάβαση από οργανωσιακή σε συστημική θεώρηση. Η μεικτή

μεθοδολογία χαρτογράφησης δικτύων των Barraclough et al. (2022) και η design-oriented εμπλοκή των Flaig et al. (2025) αναδεικνύουν τη σημασία των σχέσεων και της δυναμικής αλληλεπίδρασης. Το Xu & Peng (2024) προσθέτει τη διάσταση των οικοσυστημικών υπηρεσιών και της σύνδεσης με τους SDGs. Ωστόσο, και εδώ η TN παραμένει εκτός του βασικού αναλυτικού πλαισίου. Τα οικοσυστήματα περιγράφονται ως κοινωνικο-οικολογικά δίκτυα, χωρίς ρητή αναφορά σε ψηφιακές υποδομές και ροές δεδομένων ως δομικά στοιχεία.

Στο πέμπτο και τελευταίο σύμπλεγμα, τα άρθρα για την Τεχνητή Νοημοσύνη (Vinuesa et al., 2020; Raut et al., 2025; Toderas, 2025) μεταφέρουν τη συζήτηση στο επίπεδο τεχνολογικού μετασχηματισμού. Το Vinuesa et al. (2020) αναδεικνύει τη δυαδική φύση της TN σε σχέση με τους SDGs, το Raut et al. (2025) χαρτογραφεί εφαρμογές TN στην CE, και το Toderas (2025) υπογραμμίζει τις θεσμικές και ηθικές προκλήσεις. Ωστόσο, η βιβλιογραφία αυτή εμφανίζεται τεχνοκεντρική ή κανονιστική, χωρίς ολοκληρωμένη σύνδεση με stakeholder theory ή οικοσυστημική διακυβέρνηση. Η TN παρουσιάζεται είτε ως εργαλείο αποδοτικότητας είτε ως πηγή κινδύνου, αλλά όχι ως στοιχείο που αναδιαμορφώνει δικτυακές σχέσεις και επιχειρηματικά μοντέλα.

Η συνολική αποτίμηση του πίνακα οδηγεί σε τρία διατομεακά συμπεράσματα. Πρώτον, η βιβλιογραφία εμφανίζει υψηλή ωρίμανση σε επιμέρους άξονες (CE, CBMs, stakeholder governance, AI applications), αλλά χαμηλή ολοκλήρωση μεταξύ τους. Δεύτερον, η οικοσυστημική και δικτυακή προσέγγιση παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για σύνθεση, αλλά δεν έχει ακόμη ενσωματώσει επαρκώς την TN. Τρίτον, η TN εξετάζεται εκτενώς ως τεχνολογικός ή κανονιστικός παράγοντας, αλλά σπανίως εντάσσεται σε πολυ-δρώντικο οικοσυστημικό μοντέλο.

Επομένως, ο Πίνακας 6.6 δεν λειτουργεί απλώς ως καταγραφή της υπάρχουσας γνώσης, αλλά ως τεκμηριωμένη απόδειξη βιβλιογραφικού κατακερματισμού. Καμία από τις δεκατρείς μελέτες δεν συνδυάζει ταυτόχρονα: (α) εννοιολογική σαφήνεια CE, (β) επιχειρηματική υλοποίηση μέσω CBMs, (γ) πολυ-επίπεδη stakeholder governance, (δ) δικτυακή οικοσυστημική χαρτογράφηση, και (ε) ενσωμάτωση TN ως δομικού στοιχείου. Το κενό αυτό θεμελιώνει την αναγκαιότητα ενός AI-backed stakeholder–ecosystem framework, ικανού να υπερβεί τον θεματικό κατακερματισμό και να προσφέρει ολιστική ερμηνεία της κυκλικής μετάβασης στην ψηφιακή εποχή.

7. Μελέτες Περίπτωσης (Case Studies)

7.1 Case Study I: EU Digital Product Passport & Battery Regulation

Η εισαγωγή του Ψηφιακού Διαβατηρίου Προϊόντος (Digital Product Passport – DPP) στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για την Κυκλική Οικονομία και ειδικότερα μέσω του Κανονισμού για τις Μπαταρίες συνιστά μία από τις πιο φιλόδοξες προσπάθειες μετατροπής της κυκλικότητας σε υποχρεωτικό, δεδομενοκεντρικό μηχανισμό διακυβέρνησης. Το DPP δεν αποτελεί απλώς εργαλείο πληροφόρησης, αλλά θεσμική υποδομή που αναδιαμορφώνει ροές δεδομένων, αξίας και ευθύνης κατά μήκος ολόκληρου του κύκλου ζωής προϊόντος. Η παρούσα μελέτη περίπτωσης εξετάζει τη δομή του οικοσυστήματος, τις ροές ιχνηλασιμότητας, τις μεταβολές στη δημιουργία αξίας και τα αναδυόμενα governance gaps, με βάση τη σύγχρονη βιβλιογραφία για τα DPPs και τα battery passports.

7.1.1 Δομή οικοσυστήματος και βασικοί stakeholders

Το οικοσύστημα του DPP διαμορφώνεται ως πολυεπίπεδο δίκτυο δρώντων, όπου συνυπάρχουν παραγωγοί, προμηθευτές πρώτων υλών, κατασκευαστές, διανομείς, φορείς ανακύκλωσης, τελικοί χρήστες, ρυθμιστικές αρχές και πάροχοι ψηφιακών υποδομών. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά γραμμικά μοντέλα εφοδιαστικής αλυσίδας, το DPP λειτουργεί ως κόμβος διασύνδεσης μεταξύ αυτών των δρώντων, επιτρέποντας τη συγκέντρωση, επικαιροποίηση και διαμοίραση κρίσιμων πληροφοριών προϊόντος (Adisorn et al., 2021).

Η ανάλυση των Langley et al. (2023) υπογραμμίζει ότι η επιτυχία ενός DPP εξαρτάται από την ικανότητα ορχήστρωσης (orchestration) του οικοσυστήματος. Δεν πρόκειται απλώς για τεχνική υλοποίηση πλατφόρμας, αλλά για ευθυγράμμιση κινήτρων, ρόλων και θεσμικών υποχρεώσεων. Στην περίπτωση των μπαταριών, το battery passport εισάγει αυξημένες απαιτήσεις διαφάνειας ως προς την προέλευση υλικών, το ανθρακικό αποτύπωμα και τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης, γεγονός που μεταβάλλει την ισορροπία ισχύος μεταξύ upstream και downstream δρώντων (Rufino Júnior et al., 2024). Οι παραγωγοί καλούνται να παρέχουν λεπτομερή δεδομένα, ενώ οι φορείς ανακύκλωσης αποκτούν πρόσβαση σε πληροφορίες που διευκολύνουν τη δευτερογενή αξιοποίηση.

Η δομή του οικοσυστήματος, επομένως, μετασχηματίζεται από ιεραρχική αλυσίδα σε δικτυακή πλατφόρμα δεδομένων, όπου η ψηφιακή υποδομή λειτουργεί ως ενδιάμεσος θεσμικός μηχανισμός.

7.1.2 Ροές δεδομένων και ιχνηλασιμότητα

Η καρδιά του DPP είναι η διαχείριση ροών δεδομένων και η ιχνηλασιμότητα κατά μήκος του κύκλου ζωής. Το πλαίσιο που προτείνουν οι Voulgaridis et al. (2024) αναδεικνύει το DPP ως τεχνολογικό σύστημα που συνδυάζει αναγνωριστικά προϊόντος, βάσεις δεδομένων, πρότυπα διαλειτουργικότητας και μηχανισμούς ασφαλούς ανταλλαγής πληροφοριών. Η ιχνηλασιμότητα δεν αφορά μόνο την καταγραφή ιστορικού, αλλά και τη δυνατότητα επαλήθευσης, επικαιροποίησης και διαλειτουργικής αξιοποίησης των δεδομένων.

Στο battery passport, οι ροές δεδομένων περιλαμβάνουν πληροφορίες για χημική σύνθεση, προέλευση κρίσιμων πρώτων υλών, κύκλους φόρτισης, υπολειμματική χωρητικότητα και αποτύπωμα άνθρακα (Rufino Júnior et al., 2024). Τα δεδομένα αυτά διακινούνται μεταξύ κατασκευαστών, ρυθμιστικών αρχών και φορέων second-life εφαρμογών, δημιουργώντας ένα διαρκές “data layer” που συνοδεύει το φυσικό προϊόν.

Ωστόσο, όπως επισημαίνουν οι Adisorn et al. (2021), η αποτελεσματικότητα της ιχνηλασιμότητας εξαρτάται από την ποιότητα, τη διαθεσιμότητα και την τυποποίηση των δεδομένων. Η απουσία κοινών προτύπων μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμό, μειώνοντας την αξία της ψηφιακής πληροφορίας. Συνεπώς, η ιχνηλασιμότητα δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα, αλλά και ζήτημα θεσμικής εναρμόνισης.

7.1.3 Ροές αξίας και κανονιστική συμμόρφωση

Η εισαγωγή του DPP μεταβάλλει τις ροές αξίας στο οικοσύστημα. Η αξία δεν παράγεται αποκλειστικά μέσω της πώλησης προϊόντος, αλλά και μέσω της διαχείρισης και αξιοποίησης δεδομένων. Η διαφάνεια που επιβάλλεται από το battery passport δημιουργεί νέες αγορές για second-life μπαταρίες και υπηρεσίες ανακατασκευής, ενισχύοντας τη διατήρηση αξίας στο σύστημα (Rufino Júnior et al., 2024).

Παράλληλα, η συμμόρφωση με κανονιστικές απαιτήσεις μετατρέπεται σε στρατηγικό πλεονέκτημα. Οι Langley et al. (2023) υπογραμμίζουν ότι οι επιχειρήσεις που ενσωματώνουν έγκαιρα τις αρχές του DPP μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα μέσω βελτιωμένης διαφάνειας και αξιοπιστίας. Η κανονιστική συμμόρφωση δεν λειτουργεί πλέον ως κόστος, αλλά ως μηχανισμός αναδιαμόρφωσης επιχειρηματικών μοντέλων.

Ωστόσο, η μετάβαση αυτή δημιουργεί ανισότητες: μικρότεροι παραγωγοί ενδέχεται να δυσκολευτούν να επενδύσουν σε ψηφιακές υποδομές, οδηγώντας σε συγκέντρωση ισχύος σε τεχνολογικά προηγμένους δρώντες.

7.1.4 Governance gaps και προκλήσεις διαλειτουργικότητας

Παρά τις προοπτικές του DPP, η βιβλιογραφία αναδεικνύει σημαντικά governance gaps. Οι Voulgaridis et al. (2024) επισημαίνουν προκλήσεις ως προς τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών και προτύπων. Χωρίς κοινά τεχνικά και νομικά πρότυπα, το DPP κινδυνεύει να εξελιχθεί σε σύνολο αποσπασματικών συστημάτων.

Επιπλέον, ζητήματα ιδιοκτησίας δεδομένων, εμπορικής εμπιστευτικότητας και κυβερνοασφάλειας παραμένουν ανοιχτά (Adisorn et al., 2021). Η ισορροπία μεταξύ διαφάνειας και προστασίας επιχειρηματικών συμφερόντων απαιτεί σαφή κανονιστικά όρια. Στο battery passport, η ανάγκη κοινοποίησης πληροφοριών για κρίσιμες πρώτες ύλες μπορεί να συγκρουστεί με εμπορικά ευαίσθητα δεδομένα (Rufino Júnior et al., 2024).

Τέλος, το ζήτημα της διακυβέρνησης των πλατφορμών είναι κομβικό: ποιος ελέγχει την υποδομή, ποιος έχει δικαίωμα πρόσβασης και ποιος διασφαλίζει την ποιότητα των δεδομένων; Όπως επισημαίνουν οι Langley et al. (2023), η επιτυχία του DPP εξαρτάται από αποτελεσματική οργάνωση και θεσμική λογοδοσία.

Το EU Digital Product Passport και το Battery Regulation συνιστούν πρότυπο παράδειγμα AI-enabled κυκλικού οικοσυστήματος, όπου η κυκλικότητα μετασχηματίζεται σε δεδομενοκεντρική υποδομή. Ωστόσο, η πλήρης υλοποίηση της δυναμικής του απαιτεί επίλυση κρίσιμων θεσμικών και διαλειτουργικών προκλήσεων.

7.2 Case Study II: AI-Powered Smart Waste Sorting Facilities

Η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης και ρομποτικής τεχνολογίας στις εγκαταστάσεις διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (Material Recovery Facilities – MRFs) αποτελεί μία από τις πιο απτές εκφάνσεις της AI-enabled κυκλικότητας. Σε αντίθεση με πολιτικές παρεμβάσεις όπως το Digital Product Passport, τα «έξυπνα» συστήματα διαλογής λειτουργούν στο λειτουργικό επίπεδο της κυκλικής οικονομίας, επηρεάζοντας άμεσα τις ροές υλικών, την ποιότητα ανάκτησης και την οικονομική βιωσιμότητα της ανακύκλωσης. Η παρούσα μελέτη περίπτωσης εξετάζει την τεχνολογική αρχιτεκτονική των AI-powered sorting systems, το οικοσύστημα δρώντων που τα υποστηρίζει, τη δυναμική ισχύος γύρω από τα δεδομένα και τα αναδυόμενα ζητήματα αλγοριθμικής διαφάνειας και ρύθμισης.

7.2.1 Τεχνολογική αρχιτεκτονική και AI pipeline

Η λειτουργία ενός AI-powered smart MRF βασίζεται σε μία πολυστρωματική τεχνολογική αρχιτεκτονική που συνδυάζει αισθητήρες, συστήματα μηχανικής όρασης, αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και ρομποτικούς βραχίονες. Σύμφωνα με τους Dodamppegama et al. (2024), η επανάσταση στη διαλογή αποβλήτων προκύπτει από τη μετάβαση από μηχανικές και χειροκίνητες μεθόδους σε συστήματα που αξιοποιούν deep learning για την αναγνώριση υλικών με υψηλή ακρίβεια. Η τεχνολογική αλυσίδα ξεκινά με την ανίχνευση μέσω καμερών υψηλής ανάλυσης ή υπερφασματικών αισθητήρων, ακολουθεί η επεξεργασία εικόνας και η ταξινόμηση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, και ολοκληρώνεται με ρομποτικούς μηχανισμούς που εκτελούν τη φυσική διαλογή.

Οι Aschenbrenner et al. (2023) επισημαίνουν ότι η αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων εξαρτάται από την ποιότητα και την επάρκεια των δεδομένων εκπαίδευσης. Η εκπαίδευση των αλγορίθμων σε διαφορετικούς τύπους πλαστικών, σύνθετων υλικών και μολυσμένων ρευμάτων αποβλήτων απαιτεί μεγάλους όγκους ετικετοποιημένων δεδομένων. Η συνεχής μάθηση (continuous learning) επιτρέπει στα συστήματα να βελτιώνονται, αλλά ταυτόχρονα δημιουργεί εξάρτηση από δεδομενικές υποδομές και τεχνική υποστήριξη.

Η ανασκόπηση των Satav et al. (2023) καταδεικνύει ότι η ρομποτική διαλογή αυξάνει σημαντικά τα ποσοστά καθαρότητας (purity rates) των ανακυκλώσιμων υλικών και μειώνει τα σφάλματα ταξινόμησης, ενισχύοντας την οικονομική αξία των δευτερογενών πρώτων υλών. Ωστόσο, επισημαίνονται τεχνικές προκλήσεις όπως η ανθεκτικότητα των συστημάτων σε μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής και η ανάγκη συνδυασμού διαφορετικών αισθητήρων για ακριβή αναγνώριση.

Συνεπώς, το AI pipeline στα MRFs συνιστά ένα κλειστό βρόχο: συλλογή δεδομένων → επεξεργασία → απόφαση → φυσική δράση → ανατροφοδότηση. Αυτή η αρχιτεκτονική μετατρέπει τη διαλογή σε δεδομενοκεντρική διαδικασία, όπου η πληροφορία αποκτά στρατηγική σημασία.

7.2.2 Οικοσύστημα δρώντων (δήμοι – operators – vendors)

Η τεχνολογική υποδομή των smart MRFs εντάσσεται σε ένα σύνθετο οικοσύστημα δρώντων. Οι δήμοι ή περιφερειακές αρχές συχνά αποτελούν τους βασικούς αναθέτοντες της διαχείρισης αποβλήτων, ενώ οι operators διαχειρίζονται τις εγκαταστάσεις και

συνάπτουν συμβάσεις με τεχνολογικούς παρόχους (vendors) που παρέχουν AI και ρομποτικά συστήματα.

Οι Chertow et al. (2024) αναλύουν τη μελλοντική πορεία των ρομποτικών συστημάτων σε MRFs, επισημαίνοντας ότι η τεχνολογία μεταβάλλει όχι μόνο την επιχειρησιακή αποδοτικότητα, αλλά και τις εργασιακές δομές και τις σχέσεις μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η υιοθέτηση AI δημιουργεί εξαρτήσεις από εξειδικευμένους vendors που κατέχουν την τεχνογνωσία και τις αλγοριθμικές πλατφόρμες.

Το οικοσύστημα αυτό χαρακτηρίζεται από συμβατικές σχέσεις, αλλά και από ροές δεδομένων που συχνά δεν ρυθμίζονται επαρκώς. Οι δήμοι ενδιαφέρονται για τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση κόστους, οι operators για τη μεγιστοποίηση αποδοτικότητας και οι vendors για τη συνεχή παροχή και αναβάθμιση υπηρεσιών AI. Η αλληλεπίδραση αυτών των δρώντων συγκροτεί ένα AI-enabled κυκλικό οικοσύστημα στο λειτουργικό επίπεδο της ανακύκλωσης.

7.2.3 Δυναμική ισχύος και ιδιοκτησία δεδομένων

Η εισαγωγή AI μεταβάλλει τις ισορροπίες ισχύος στο οικοσύστημα. Οι Dodamppegama et al. (2024) επισημαίνουν ότι οι αλγοριθμικές πλατφόρμες συγκεντρώνουν κρίσιμη πληροφορία σχετικά με τις ροές αποβλήτων, τις αποδόσεις και τις αστοχίες. Το ερώτημα της ιδιοκτησίας των δεδομένων γίνεται κεντρικό: ανήκουν τα δεδομένα στον operator, στον vendor ή στον δημόσιο φορέα που χρηματοδοτεί τη λειτουργία;

Η συγκέντρωση δεδομένων σε ιδιωτικούς παρόχους μπορεί να οδηγήσει σε asymmetrical power relations. Οι Chertow et al. (2024) επισημαίνουν ότι η εξάρτηση από proprietary λογισμικό και κλειστά μοντέλα ενδέχεται να περιορίσει τη διαφάνεια και να ενισχύσει τη διαπραγματευτική ισχύ των vendors. Παράλληλα, η αξιοποίηση δεδομένων για τη βελτίωση αλγορίθμων δημιουργεί ζήτημα δικαιωμάτων χρήσης και πρόσβασης.

Η δυναμική αυτή συνδέεται άμεσα με τη βιωσιμότητα του κυκλικού συστήματος: εάν η γνώση παραμένει κλειστή και μη διαμοιραζόμενη, περιορίζεται η δυνατότητα συστημικής βελτίωσης.

7.2.4 Αλγοριθμική διαφάνεια και ρυθμιστικά ζητήματα

Η εφαρμογή AI σε κρίσιμες υποδομές διαχείρισης αποβλήτων εγείρει ζητήματα αλγοριθμικής διαφάνειας και λογοδοσίας. Οι Satav et al. (2023) επισημαίνουν ότι η

αξιολόγηση της απόδοσης των ρομποτικών συστημάτων απαιτεί σαφή metrics και διαδικασίες ελέγχου. Ωστόσο, τα εμπορικά συστήματα συχνά λειτουργούν ως «μαύρα κουτιά», περιορίζοντας την κατανόηση των κριτηρίων ταξινόμησης.

Η ανάγκη ρυθμιστικής εποπτείας καθίσταται εντονότερη όταν οι αποφάσεις των αλγορίθμων επηρεάζουν οικονομικές ροές και περιβαλλοντικές επιδόσεις. Οι Chertow et al. (2024) υπογραμμίζουν ότι η μετάβαση σε AI-driven MRFs απαιτεί νέες μορφές εποπτείας που θα διασφαλίζουν διαφάνεια, δίκαιη κατανομή ωφελειών και προστασία εργαζομένων.

Συνολικά, τα AI-powered smart waste sorting facilities αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα λειτουργικού AI-backed κυκλικού οικοσυστήματος. Ενώ η τεχνολογία αυξάνει την αποδοτικότητα και την καθαρότητα των ανακυκλώσιμων ρευμάτων, ταυτόχρονα αναδιαμορφώνει σχέσεις ισχύος, δημιουργεί νέα governance challenges και απαιτεί ρυθμιστική προσαρμογή.

7.3 Case Study III: Material Passports & Circular Construction Ecosystems

Ο τομέας των κατασκευών αποτελεί έναν από τους πλέον υλικοεντατικούς κλάδους της οικονομίας, ευθυνόμενος για σημαντικό ποσοστό κατανάλωσης πρώτων υλών και παραγωγής αποβλήτων. Η μετάβαση προς κυκλικά μοντέλα στον κατασκευαστικό τομέα απαιτεί όχι μόνο τεχνικές λύσεις επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης, αλλά και ψηφιακές υποδομές που καθιστούν ορατή τη «σύνθεση» και την αξία των δομικών στοιχείων. Σε αυτό το πλαίσιο, τα Material Passports (MPs) λειτουργούν ως δεδομενοκεντρικά εργαλεία που συνοδεύουν τα κτιριακά στοιχεία καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, επιτρέποντας την ιχνηλασιμότητα, την αποτίμηση υπολειμματικής αξίας και τη διευκόλυνση δευτερογενών αγορών. Η παρούσα μελέτη περίπτωσης εξετάζει την ψηφιακή υποδομή που υποστηρίζει τα MPs, το δίκτυο stakeholders που τα ενεργοποιεί, τις ροές αξίας που αναδύονται και τα θεσμικά κενά που περιορίζουν την κλιμάκωσή τους.

7.3.1 Ψηφιακή υποδομή και data layer (BIM – passports)

Η λειτουργία των material passports είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αξιοποίηση Building Information Modeling (BIM) ως βασικής ψηφιακής υποδομής. Οι Atta, Bakhoun και Marzouk (2021) αναλύουν πώς η ενσωμάτωση των MPs στο BIM επιτρέπει τη συστηματική καταγραφή ιδιοτήτων υλικών, περιβαλλοντικών δεικτών και τεχνικών χαρακτηριστικών σε επίπεδο δομικού στοιχείου. Το BIM λειτουργεί ως data backbone, όπου

κάθε αντικείμενο (π.χ. δοκός, πάνελ, μονωτικό υλικό) φέρει μεταδεδομένα που μπορούν να ανακτηθούν και να αξιοποιηθούν σε διαφορετικές φάσεις του κύκλου ζωής.

Η προσέγγιση αυτή μετατρέπει το κτίριο σε «αποθήκη δεδομένων» και ταυτόχρονα σε «αποθήκη υλικής αξίας». Όπως επισημαίνουν οι Honic et al. (2019), η υλοποίηση BIM-based MPs απαιτεί σαφές πλαίσιο διαχείρισης δεδομένων και stakeholders, καθώς οι πληροφορίες πρέπει να είναι αξιόπιστες, επικαιροποιήσιμες και διαλειτουργικές. Η πρόκληση δεν έγκειται μόνο στη δημιουργία ψηφιακού αρχείου, αλλά στη διασφάλιση ότι τα δεδομένα θα παραμείνουν προσβάσιμα και χρήσιμα σε βάθος δεκαετιών.

Οι Zetin et al. (2023) επεκτείνουν τη συζήτηση, εξετάζοντας τις απαιτήσεις και τη διαθεσιμότητα δεδομένων για την εφαρμογή MPs σε υφιστάμενα κτίρια. Διαπιστώνουν σημαντικά κενά πληροφόρησης, ιδίως σε παλαιότερα έργα όπου δεν υφίστανται πλήρη ψηφιακά αρχεία. Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα του data layer εξαρτάται από τη συστηματική συλλογή και τυποποίηση δεδομένων ήδη από το στάδιο σχεδιασμού.

7.3.2 Stakeholder network και residual value logic

Τα material passports ενεργοποιούνται εντός ενός σύνθετου δικτύου stakeholders, που περιλαμβάνει αρχιτέκτονες, μηχανικούς, εργολάβους, ιδιοκτήτες κτιρίων, επενδυτές, ασφαλιστικές εταιρείες, εταιρείες κατεδάφισης και φορείς ανακύκλωσης. Οι Honic et al. (2019) υπογραμμίζουν ότι η επιτυχία των MPs εξαρτάται από τη σαφή κατανομή ρόλων και ευθυνών μεταξύ αυτών των δρώντων, ιδίως ως προς την εισαγωγή, επικαιροποίηση και επικύρωση των δεδομένων.

Η έννοια της residual value logic αποτελεί κεντρικό στοιχείο του κυκλικού οικοσυστήματος. Τα MPs επιτρέπουν την εκτίμηση της υπολειμματικής αξίας υλικών πριν από την κατεδάφιση ή ανακαίνιση, μετατρέποντας το κτίριο από «απόβλητο» σε «τράπεζα υλικών». Οι Atta et al. (2021) επισημαίνουν ότι η ψηφιακή τεκμηρίωση διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση δομικών στοιχείων, μειώνοντας την ανάγκη για πρωτογενείς πρώτες ύλες.

Η λογική αυτή αναδιαμορφώνει τις σχέσεις στο οικοσύστημα. Οι επενδυτές και ιδιοκτήτες αποκτούν κίνητρο να διατηρούν ενημερωμένα MPs, καθώς η ύπαρξη τεκμηριωμένης υπολειμματικής αξίας μπορεί να αυξήσει τη χρηματοοικονομική ελκυστικότητα του ακινήτου. Παράλληλα, οι φορείς ανακύκλωσης και δευτερογενών αγορών αποκτούν

πρόσβαση σε αξιόπιστη πληροφόρηση, ενισχύοντας τη διαφάνεια και μειώνοντας το ρίσκο συναλλαγών.

7.3.3 Ροές αξίας σε δευτερογενείς αγορές υλικών

Η δημιουργία MPs επιτρέπει την ενεργοποίηση δευτερογενών αγορών δομικών υλικών, όπου τα στοιχεία ενός κτιρίου μπορούν να διακινηθούν ως προϊόντα με τεκμηριωμένη ποιότητα και ιστορικό. Οι Çetin et al. (2023) υπογραμμίζουν ότι η ύπαρξη δομημένων δεδομένων για τη σύνθεση, τη διάρκεια ζωής και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις ενός υλικού μειώνει την αβεβαιότητα και ενισχύει τη ζήτηση για επαναχρησιμοποιούμενα προϊόντα.

Οι Costa, Hoolahan και Charef (2025) προτείνουν οκτώ συστάσεις για την επιτάχυνση της υιοθέτησης MPs, επισημαίνοντας ότι η ενεργοποίηση δευτερογενών αγορών απαιτεί συντονισμένη δράση μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Η αξία δεν προκύπτει αυτόματα από την ύπαρξη δεδομένων· απαιτείται θεσμική στήριξη, πρότυπα ποιότητας και μηχανισμοί πιστοποίησης.

Η μετάβαση αυτή δημιουργεί νέες ροές αξίας: τα δεδομένα καθίστανται εμπορεύσιμο περιουσιακό στοιχείο, ενώ η πληροφορία για την υπολειμματική αξία μετατρέπεται σε χρηματοοικονομικό εργαλείο. Το οικοσύστημα αποκτά πολυκεντρικό χαρακτήρα, με τα MPs να λειτουργούν ως ενδιάμεσος μηχανισμός εμπιστοσύνης.

7.3.4 Θεσμικά κενά και πρότυπα διαλειτουργικότητας

Παρά τις προοπτικές, η βιβλιογραφία αναδεικνύει σημαντικά θεσμικά και τεχνικά εμπόδια. Οι Honic et al. (2019) επισημαίνουν την ανάγκη για τυποποιημένες διαδικασίες διαχείρισης δεδομένων, ενώ οι Çetin et al. (2023) αναφέρουν την έλλειψη εναρμονισμένων προτύπων ως βασικό εμπόδιο διαλειτουργικότητας. Η απουσία κοινών formats και πρωτοκόλλων ανταλλαγής δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμό ψηφιακών πλατφορμών.

Οι Costa et al. (2025) τονίζουν ότι η επιτυχής υιοθέτηση MPs απαιτεί σαφές ρυθμιστικό πλαίσιο που θα ορίζει ευθύνες, δικαιώματα πρόσβασης και κριτήρια ποιότητας δεδομένων. Ζητήματα ιδιοκτησίας πληροφορίας και μακροχρόνιας διατήρησης δεδομένων παραμένουν ανοιχτά.

Τα Material Passports συνιστούν χαρακτηριστικό παράδειγμα AI-enabled (ή ευρύτερα digital-enabled) κυκλικού οικοσυστήματος, όπου η αξία μετασχηματίζεται μέσω ψηφιακής τεκμηρίωσης. Ωστόσο, η πλήρης αξιοποίηση της δυναμικής τους εξαρτάται από τη θεσμική

εναρμόνιση, την τεχνική διαλειτουργικότητα και την ενεργή συμμετοχή όλων των stakeholders.

Συνολικά, οι τρεις μελέτες περίπτωσης αναδεικνύουν διαφορετικές εκφάνσεις των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων, καλύπτοντας διακριτά επίπεδα παρέμβασης — κανονιστικό, λειτουργικό και κλαδικό. Παρότι διαφοροποιούνται ως προς το τεχνολογικό υπόβαθρο, τους εμπλεκόμενους δρώντες και τις ροές αξίας, παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς τη δεδομενοκεντρική διακυβέρνηση, τη μεταβολή σχέσεων ισχύος και τις αναδυόμενες προκλήσεις διαλειτουργικότητας και διακυβέρνησης.

Για τη συνθετική αποτύπωση των βασικών συγκλίσεων και διαφοροποιήσεων, ο Πίνακας 7.1 παρουσιάζει συγκριτική ανάλυση των τριών case studies με βάση κοινές αναλυτικές διαστάσεις.

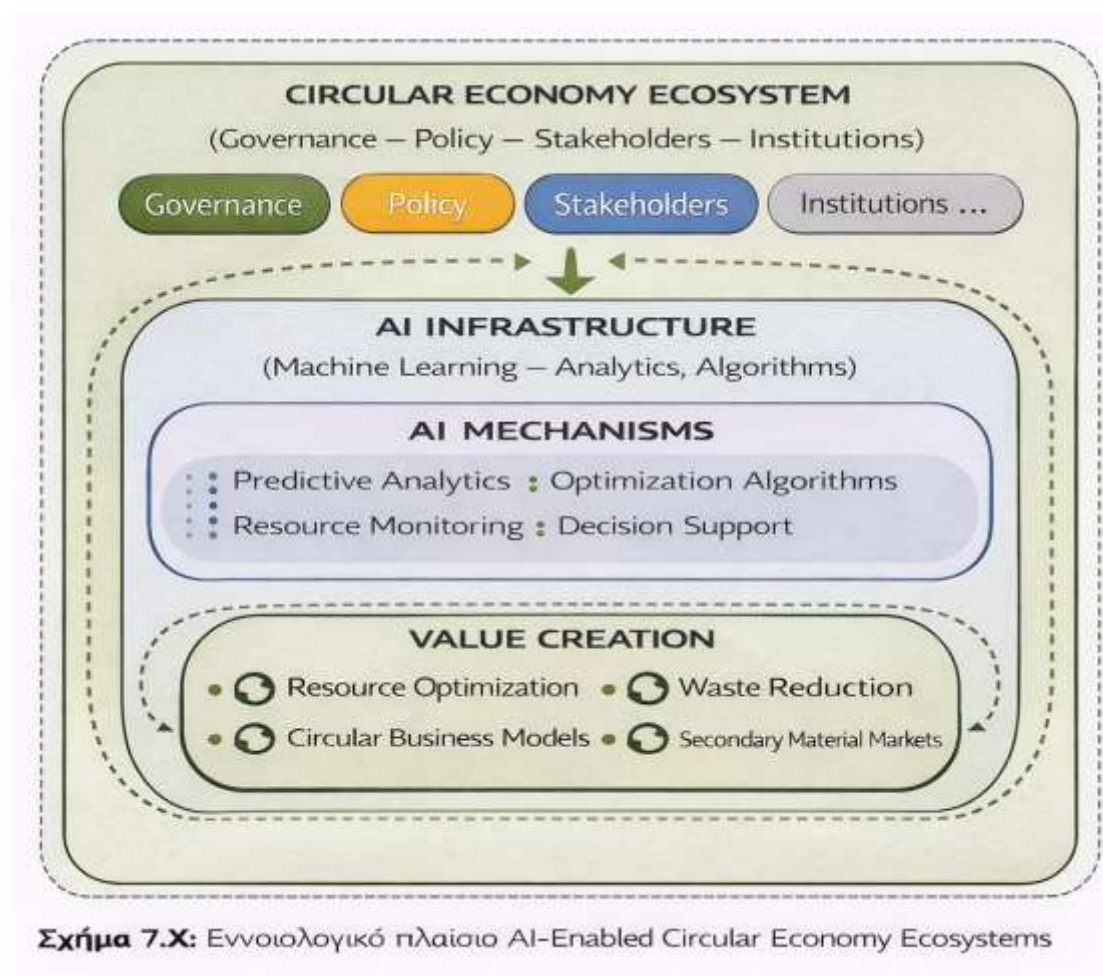
Πίνακας 7.1 – Συγκριτική Ανάλυση Μελετών Περίπτωσης AI-Backed Circular Ecosystems

Διάσταση Ανάλυσης	Case Study I: Digital Product Passport	Case Study II: Smart Waste Sorting	Material Passports
Επίπεδο Παρέμβασης	Κανονιστικό / Πολιτικής ΕΕ	Λειτουργικό / Διαχείριση αποβλήτων	Κλαδικό / Κατασκευαστικός τομέας
Κύριος Ρόλος Τεχνολογίας	Data governance & ιχνολογισμότητα	AI & robotics automation	
Βασικοί Stakeholders	Παραγωγοί, regulators, recyclers, platform providers	Δήμοι, operators, AI vendors	
Τύπος Οικοσυστήματος	Data platform ecosystem	Operational AI ecosystem	
Ροές Δεδομένων	Lifecycle product data	Real-time waste data	
Ροές Αξίας	Συμμόρφωση & second-life markets	Βελτίωση purity & recovery value	
Μεταβολή Ισχύος	Ενίσχυση data transparency	Ισχύς vendors λόγω αλγορίθμων	
Governance Challenges	Διαλειτουργικότητα & ownership δεδομένων	Algorithmic transparency	
Βοθμός AI Ενσωμάτωσης	Έμμεσος (data-driven)	Άμεσος (AI decision-making)	

Πίνακας 7.1 Συγκριτική	Case Study I: Digital Product Passport	Case Study II: Smart Waste Sorting	Case Study III: Material Passports
---------------------------	---	---------------------------------------	---------------------------------------

Η συγκριτική αυτή ανάλυση επιτρέπει επίσης τη διαμόρφωση ενός συνθετικού εννοιολογικού πλαισίου που αποτυπώνει τον τρόπο με τον οποίο οι υποδομές τεχνητής νοημοσύνης και οι μηχανισμοί ανάλυσης δεδομένων ενσωματώνονται στο ευρύτερο οικοσύστημα της Κυκλικής Οικονομίας και συμβάλλουν στη δημιουργία αξίας μέσα σε αυτό. Το πλαίσιο αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 7.X, το οποίο παρουσιάζει τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στη διαμόρφωση και λειτουργία των AI-enabled κυκλικών

οικοσυστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες διακυβέρνησης, πολιτικής και εμπλεκόμενων φορέων.



Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 7.1 και απεικονίζεται στο Σχήμα 7.X, τα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα δεν συγκροτούν ενιαίο μοντέλο εφαρμογής, αλλά εκδηλώνονται σε πολλαπλά επίπεδα της κυκλικής μετάβασης. Το Digital Product Passport λειτουργεί κυρίως ως κανονιστική και δεδομενοκεντρική υποδομή διακυβέρνησης, τα AI-powered sorting facilities ως λειτουργικό σύστημα βελτιστοποίησης ροών υλικών, ενώ τα Material Passports αναδεικνύουν την αξία της ψηφιακής τεκμηρίωσης στη δημιουργία δευτερογενών αγορών. Η συγκριτική αυτή θεώρηση επιβεβαιώνει ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη και οι ψηφιακές υποδομές λειτουργούν ως διασυνδεδετικός μηχανισμός μεταξύ τεχνολογίας, επιχειρηματικών μοντέλων και stakeholder governance στο πλαίσιο των κυκλικών οικοσυστημάτων.

8. Συζήτηση

8.1 Σύνθεση SLR και Case Studies

Η σύνθεση των ευρημάτων της συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης (SLR) με τα επιλεγμένα case studies αναδεικνύει μια συνεκτική αλλά πολυεπίπεδη εικόνα της σχέσης μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης, Κυκλικής Οικονομίας και διακυβέρνησης πολυ-δρών οικοσυστημάτων. Η SLR επιβεβαιώνει ότι η Κυκλική Οικονομία συνιστά ένα εννοιολογικά δυναμικό και «ουσιωδώς αμφισβητούμενο» πλαίσιο, το οποίο εξελίσσεται μέσα από διασταυρούμενες θεωρητικές και πρακτικές προσεγγίσεις (Korhonen et al., 2018• Kirchherr et al., 2023). Παράλληλα, η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η ψηφιοποίηση και ειδικότερα η ΤΝ λειτουργούν ως επιταχυντές κυκλικών πρακτικών, ιδίως όταν εντάσσονται σε ευρύτερα οικοσυστήματα καινοτομίας (Chauhan et al., 2022• Madanaguli et al., 2024).

Τα case studies για τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων, τα material passports και τις ρομποτικές εφαρμογές διαλογής αποβλήτων επιβεβαιώνουν εμπειρικά ότι η αξία της ΤΝ δεν έγκειται αποκλειστικά στην τεχνική βελτιστοποίηση, αλλά κυρίως στη δυνατότητα ενοποίησης δεδομένων, ιχνηλασιμότητας και διαλειτουργικότητας σε επίπεδο αλυσίδων αξίας (Adisorn et al., 2021• Langley et al., 2023• Dodampegama et al., 2024). Η τεχνολογική διάσταση, συνεπώς, συνδέεται άμεσα με τη θεσμική και οργανωσιακή διάσταση της κυκλικότητας.

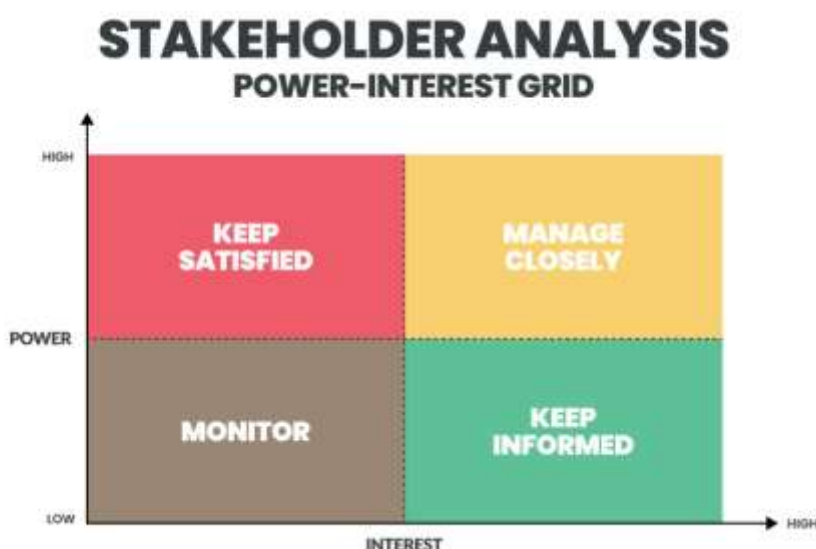
Ειδικότερα, η ανάλυση των περιπτώσεων BIM-based material passports και ψηφιακών διαβατηρίων μπαταριών καταδεικνύει ότι τα δεδομένα συνιστούν τον κρίσιμο πόρο για την υλοποίηση κυκλικών στρατηγικών, επιβεβαιώνοντας τα συμπεράσματα της βιβλιογραφίας σχετικά με τον κεντρικό ρόλο των πληροφοριακών υποδομών στην κυκλική μετάβαση (Bellini et al., 2024• Rufino Júnior et al., 2024). Παράλληλα, τα case studies αναδεικνύουν ότι η επιτυχία των ψηφιακών εργαλείων εξαρτάται από την ύπαρξη μηχανισμών οικοσυστημικού συντονισμού και σαφών ρυθμιστικών πλαισίων, όπως υπογραμμίζεται και στο Σχέδιο Δράσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2020).

Η σύγκλιση βιβλιογραφικών και εμπειρικών ευρημάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ΤΝ δύναται να μετασχηματίσει την Κυκλική Οικονομία από κανονιστικό ιδεώδες σε επιχειρησιακά υλοποιήσιμο σύστημα, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης συνεκτικών μηχανισμών διακυβέρνησης (Minoja & Romano, 2024).

Τέλος, η μετάβαση από μεμονωμένα κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα σε ολοκληρωμένα κυκλικά οικοσυστήματα φαίνεται να συνδέεται με την κατανόηση και αποτύπωση των

σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Η βιβλιογραφία περιβαλλοντικής διακυβέρνησης έχει ήδη αναδείξει τη σημασία της συστηματικής χαρτογράφησης ρόλων και επιρροής (Bendtsen et al., 2021 • Kanda et al., 2021), ενώ τα case studies καταδεικνύουν ότι η έλλειψη συντονισμού μεταξύ τεχνολογικών παρόχων, δημοσίων αρχών και τελικών χρηστών περιορίζει την κλιμάκωση. Αντιθέτως, όπου υφίσταται αποτελεσματική οικοσυστημική οργάνωση, η κυκλικότητα αποκτά δυναμικό και επεκτάσιμο χαρακτήρα (Granstrand & Holgersson, 2020).

Η παρούσα εργασία δεν εισάγει νέο εργαλείο stakeholder analysis, αλλά αξιοποιεί υφιστάμενα θεωρητικά και αναλυτικά πλαίσια προκειμένου να ερμηνεύσει τη δομή και τη διακυβέρνηση των AI-backed κυκλικών οικοσυστημάτων.



Το Σχήμα Χ απεικονίζει τη σχετική θέση ισχύος και ενδιαφέροντος των βασικών ενδιαφερομένων, όπως προέκυψαν από τη συγκριτική ανάλυση της βιβλιογραφίας και των μελετών περίπτωσης. Η χαρτογράφηση λειτουργεί ως συνθετική ερμηνευτική απεικόνιση των οικοσυστημικών δυναμικών και δεν συνιστά κανονιστική πρόταση διακυβέρνησης.

Τα ευρήματα της σύνθεσης δεν επιβεβαιώνουν απλώς την υπάρχουσα βιβλιογραφία, αλλά αναδεικνύουν μια μετατόπιση από την τεχνολογική προσέγγιση της Κυκλικής Οικονομίας προς μια οικοσυστημική και διακυβερνητική οπτική. Η Τεχνητή Νοημοσύνη εμφανίζεται όχι μόνο ως εργαλείο βελτιστοποίησης, αλλά ως παράγοντας αναδιάρθρωσης των σχέσεων μεταξύ ενδιαφερομένων, γεγονός που επεκτείνει τη θεωρία των ενδιαφερομένων στο πλαίσιο των δεδομενοκεντρικών οικοσυστημάτων.

8.2 Θεωρητικές προεκτάσεις

Σε θεωρητικό επίπεδο, τα ευρήματα ενισχύουν τη θέση ότι η Κυκλική Οικονομία πρέπει να προσεγγίζεται ως κοινωνικοτεχνικό οικοσύστημα και όχι ως σύνολο απομονωμένων επιχειρηματικών πρακτικών. Η Stakeholder Theory παρέχει το αναλυτικό υπόβαθρο για την κατανόηση της συν-δημιουργίας αξίας και της πολυεπίπεδης διακυβέρνησης (Freeman, 1984· Freudenreich et al., 2020). Η παρούσα σύνθεση προεκτείνει τη θεωρία, ενσωματώνοντας την ΤΝ ως δομικό στοιχείο των οικοσυστημάτων και όχι απλώς ως τεχνολογικό εργαλείο. Η βιβλιογραφία για την υπεύθυνη διακυβέρνηση της ΤΝ υπογραμμίζει ότι οι αλγοριθμικές αποφάσεις ενσωματώνουν αξιακές παραδοχές και επηρεάζουν κατανομές ισχύος (Jobin et al., 2019· Paragiannidis et al., 2025). Συνεπώς, η stakeholder analysis αποκτά διττό ρόλο: αφενός χαρτογραφεί κοινωνικές δυναμικές, αφετέρου συμβάλλει στη ρύθμιση τεχνολογικών συστημάτων.

Παράλληλα, η εννοιολογική σύνδεση μεταξύ circular business models και οικοσυστημάτων καινοτομίας αναδεικνύει την ανάγκη μετάβασης από οργανωσιοκεντρικά σε οικοσυστημικά θεωρητικά σχήματα (Lüdeke-Freund et al., 2019· Bauwens et al., 2024). Η παρούσα ανάλυση επιβεβαιώνει ότι τα AI-enabled κυκλικά μοντέλα ενσωματώνουν μηχανισμούς μάθησης και προσαρμοστικότητας, οι οποίοι μεταβάλλουν τη φύση της στρατηγικής και της διακυβέρνησης. Η θεωρητική προέκταση αφορά την ανάδυση της «circular intelligence», όπου δεδομένα, αλγόριθμοι και δρώντες συν-διαμορφώνουν τις ροές αξίας (Munonye et al., 2025). Σε αυτό το πλαίσιο, η Κυκλική Οικονομία μετατρέπεται σε πεδίο στρατηγικής ορχήστρωσης τεχνολογικών και θεσμικών μηχανισμών (Khanagha et al., 2026).

Επιπλέον, η ανάλυση επιβεβαιώνει τη μετα-αναλυτική βιβλιογραφία που δείχνει ότι η συμμετοχή ενδιαφερομένων βελτιώνει την περιβαλλοντική διακυβέρνηση, υπό την προϋπόθεση ουσιαστικής ενσωμάτωσης και όχι τυπικής διαβούλευσης (Newig et al., 2023· Teodoro & Prell, 2023). Η θεωρητική συμβολή έγκειται στην ενοποίηση της stakeholder participation με την ψηφιακή διακυβέρνηση, δημιουργώντας ένα υβριδικό μοντέλο όπου η ΤΝ λειτουργεί ως καταλύτης αλλά και ως αντικείμενο ρύθμισης.

8.3 Πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις

Οι πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις της παρούσας ανάλυσης είναι πολλαπλές και αλληλένδετες. Σε επίπεδο δημόσιας πολιτικής, τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η επιρροή των ενδιαφερομένων διαμορφώνει ουσιαστικά τις επιλογές περιβαλλοντικής πολιτικής, ιδιαίτερα στον δημόσιο τομέα (Augustin-Behravesh et al., 2025). Η ενσωμάτωση εργαλείων

ΤΗ στη χάραξη πολιτικής μπορεί να επιταχύνει την κυκλική μετάβαση, αλλά απαιτεί σαφή πλαίσια διακυβέρνησης και λογοδοσίας (Zaidan & Ibrahim, 2024). Η υιοθέτηση ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων και υποδομών δεδομένων πρέπει να συνοδεύεται από κανονιστικές ρυθμίσεις που διασφαλίζουν διαφάνεια, διαλειτουργικότητα και δίκαιη πρόσβαση (Langley et al., 2023).

Σε στρατηγικό επίπεδο, οι επιχειρήσεις καλούνται να επαναπροσδιορίσουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα μέσα από το πρίσμα της stakeholder value creation, υπερβαίνοντας τη στενή λογική ESG προς μια ολιστική προσέγγιση αξίας (Talan et al., 2024). Η καινοτομία σε κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα απαιτεί επένδυση σε AI capabilities, οργανωσιακή μάθηση και συνεργατικές δομές (Bocken & Konietzko, 2022· Madanaguli et al., 2024). Τα case studies καταδεικνύουν ότι η στρατηγική επιτυχία δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνολογική αρτιότητα, αλλά από την ικανότητα ορχήστρωσης οικοσυστήματος και εμπλοκής κρίσιμων δρώντων (Granstrand & Holgersson, 2020· Bauwens et al., 2024).

Διαδικασία διαμόρφωσης του πίνακα πολιτικών και στρατηγικών επιπτώσεων

Ο πίνακας πολιτικών και στρατηγικών επιπτώσεων που ακολουθεί δεν αποτελεί απλή περιγραφική σύνοψη των ευρημάτων, αλλά συνθετικό αποτέλεσμα αναλυτικής επεξεργασίας των δεδομένων που προέκυψαν από τη Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση και τις επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης. Η κατασκευή του πραγματοποιήθηκε μέσω διαδοχικής διαδικασίας εννοιολογικής σύνθεσης, με στόχο τη μετάβαση από τα επιμέρους ερευνητικά ευρήματα σε γενικεύσιμες πολιτικές και στρατηγικές προεκτάσεις.

Η διαδικασία αυτή ακολούθησε τρία αναλυτικά στάδια.

Στάδιο 1: Εξαγωγή βασικών ευρημάτων (Findings Extraction)

Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε συστηματική επανεξέταση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν:

- στη Συστηματική Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (Κεφάλαιο 6),
- στις τρεις μελέτες περίπτωσης (Κεφάλαιο 7),
- και στη συγκριτική συζήτηση των ευρημάτων (Κεφάλαιο 8.1).

Από την ανάλυση αυτή εντοπίστηκαν επαναλαμβανόμενα μοτίβα που σχετίζονται με:

- τον ρόλο και την επιρροή των ενδιαφερομένων μερών,
- ζητήματα διακυβέρνησης δεδομένων,
- τη λειτουργία της Τεχνητής Νοημοσύνης ως επιταχυντή της κυκλικής μετάβασης,
- θεσμικά και κανονιστικά κενά στα κυκλικά οικοσυστήματα.

Τα ευρήματα αυτά αποτέλεσαν τη βασική αναλυτική μονάδα για τα επόμενα στάδια σύνθεσης.

Στάδιο 2: Θεματική ομαδοποίηση ευρημάτων (Thematic Clustering)

Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόστηκε εννοιολογική ομαδοποίηση των ευρημάτων μέσω θεματικής σύνθεσης (thematic synthesis). Τα επιμέρους συμπεράσματα ταξινομήθηκαν σε ευρύτερες κατηγορίες πολιτικής σημασίας, οι οποίες εμφανίζονταν διαχρονικά τόσο στη βιβλιογραφία όσο και στα case studies.

Οι κύριες θεματικές κατηγορίες που προέκυψαν ήταν:

- διακυβέρνηση και ρύθμιση δεδομένων,
- διαφάνεια και λογοδοσία αλγοριθμικών συστημάτων,
- συντονισμός πολλαπλών stakeholders,
- διαλειτουργικότητα ψηφιακών υποδομών,
- ισορροπία ισχύος μεταξύ τεχνολογικών και θεσμικών δρώντων.

Η ομαδοποίηση αυτή επέτρεψε τη μετάβαση από μεμονωμένες παρατηρήσεις σε συστημική ερμηνεία των φαινομένων.

Στάδιο 3: Μετατροπή θεματικών σε πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις (Analytical Translation)

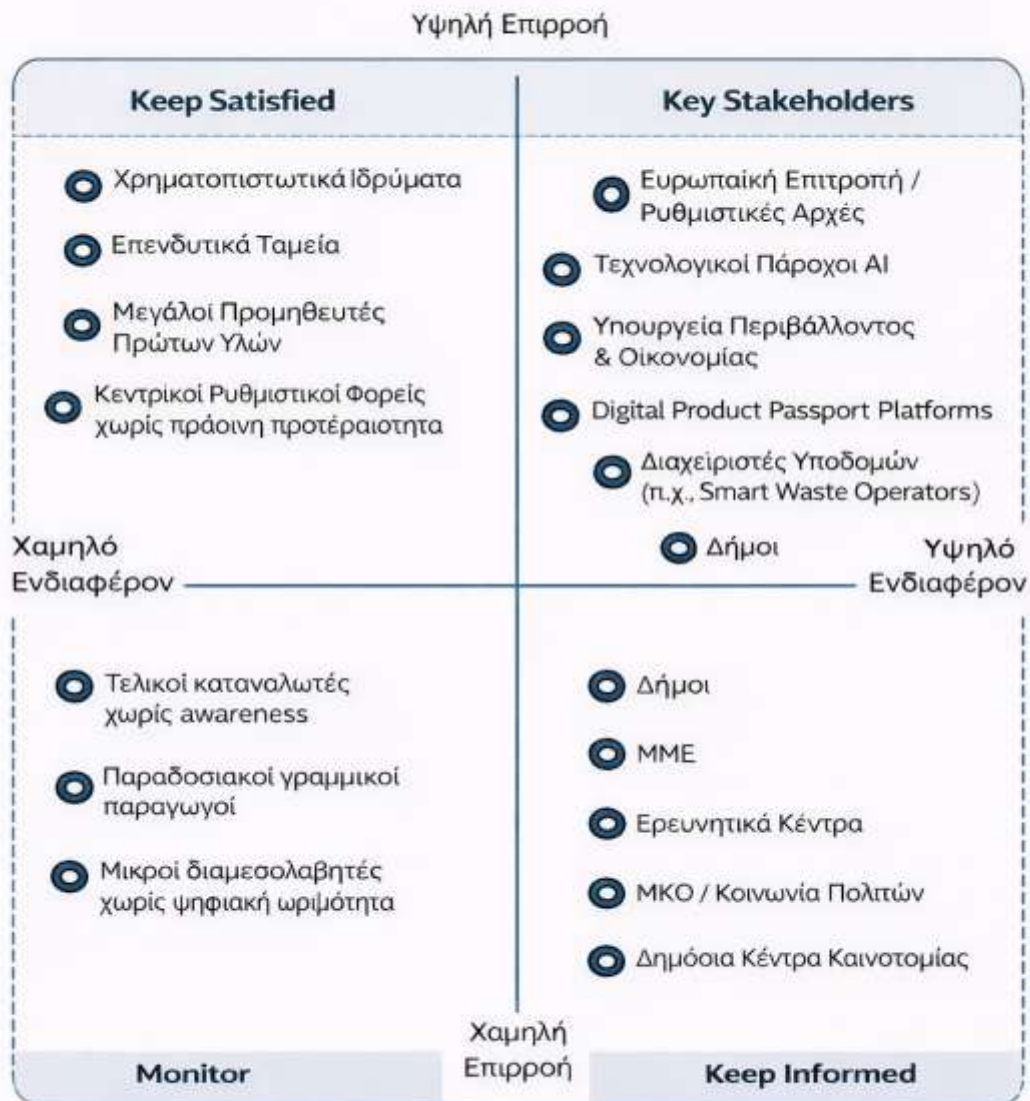
Στο τρίτο στάδιο πραγματοποιήθηκε αναλυτική μετάφραση των θεματικών κατηγοριών σε πολιτικές και στρατηγικές επιπτώσεις. Για κάθε θεματική εξετάστηκαν:

- οι βασικοί εμπλεκόμενοι stakeholders,
- οι επιπτώσεις στη διακυβέρνηση των κυκλικών οικοσυστημάτων,
- οι απαιτούμενες παρεμβάσεις πολιτικής ή στρατηγικής.

Η διαδικασία αυτή βασίστηκε στη σύνδεση των εμπειρικών ευρημάτων με τη θεωρία των ενδιαφερομένων και τη βιβλιογραφία περί AI governance, επιτρέποντας τη διατύπωση προτάσεων που υπερβαίνουν το επίπεδο της περιγραφής και αποκτούν ερμηνευτικό και κανονιστικό χαρακτήρα.

Το σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνει το τελικό αποτέλεσμα αυτής της συνθετικής διαδικασίας.

Stakeholder Mapping in the AI-Enabled Circular Economy Ecosystem



Σχήμα 8.3: Χαρτογράφηση Εμπλεκόμενων Φορέων με βάση το Επίπεδο Επιρροής και Ενδιαφέροντος

Το Σχήμα 8.3 παρουσιάζει τη χαρτογράφηση των βασικών ενδιαφερομένων μερών (stakeholders) στο οικοσύστημα Κυκλικής Οικονομίας με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης, με βάση το επίπεδο επιρροής και ενδιαφέροντος. Η απεικόνιση αυτή επιτρέπει την κατανόηση των σχέσεων ισχύος και των δυναμικών συνεργασίας μεταξύ θεσμικών, τεχνολογικών και κοινωνικών δρώντων που συμμετέχουν στα κυκλικά οικοσυστήματα.

Οι φορείς που τοποθετούνται στο τεταρτημόριο υψηλής επιρροής και υψηλού ενδιαφέροντος, όπως οι ρυθμιστικές αρχές, τα αρμόδια υπουργεία και οι τεχνολογικοί πάροχοι ΑΙ, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες διαμόρφωσης του οικοσυστήματος. Αντίστοιχα, οργανισμοί με υψηλή επιρροή αλλά χαμηλότερο άμεσο ενδιαφέρον, όπως τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και τα επενδυτικά ταμεία, επηρεάζουν τη χρηματοδότηση και τη στρατηγική κατεύθυνση των σχετικών επενδύσεων.

Στην κατηγορία υψηλού ενδιαφέροντος αλλά χαμηλότερης επιρροής εντάσσονται φορείς όπως οι δήμοι, οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις και τα ερευνητικά κέντρα, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή καινοτόμων πρακτικών σε τοπικό και επιχειρησιακό επίπεδο. Τέλος, ομάδες με χαμηλό επίπεδο επιρροής και ενδιαφέροντος, όπως ορισμένοι παραδοσιακοί παραγωγοί ή καταναλωτές με χαμηλή περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, παρακολουθούνται κυρίως ως μέρος του ευρύτερου οικοσυστήματος.

Συνολικά, η ανάλυση καταδεικνύει ότι η διαμόρφωση πολιτικών για την Κυκλική Οικονομία με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά σε τεχνολογικές λύσεις, αλλά απαιτεί συστημική κατανόηση των σχέσεων μεταξύ ενδιαφερομένων, δεδομένων και μηχανισμών διακυβέρνησης. Η χαρτογράφηση των stakeholders που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.3 λειτουργεί ως αναλυτικό εργαλείο κατανόησης των δυναμικών ισχύος στο οικοσύστημα και συμβάλλει στη διαμόρφωση στοχευμένων πολιτικών και στρατηγικών παρεμβάσεων.

9. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδίωξε να αναλύσει την Κυκλική Οικονομία με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης ως ένα σύνθετο κοινωνικοτεχνικό οικοσύστημα, εντός του οποίου οι τεχνολογικές υποδομές, τα επιχειρηματικά μοντέλα και οι θεσμικοί μηχανισμοί διακυβέρνησης αλληλεπιδρούν δυναμικά. Στο πλαίσιο αυτό, διατυπώθηκαν τρία ερευνητικά ερωτήματα που αφορούσαν (α) την ταυτοποίηση και τους ρόλους των βασικών ενδιαφερομένων μερών, (β) τον τρόπο με τον οποίο η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως επιταχυντής ή μετασχηματιστής κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων και οικοσυστημικών δομών, και (γ) τις προκλήσεις και ευκαιρίες που προκύπτουν για τη χάραξη πολιτικής και τη στρατηγική διαχείριση ενδιαφερομένων. Τα συμπεράσματα της έρευνας απαντούν συστηματικά στα παραπάνω ερωτήματα και συμβάλλουν στη θεωρητική και πρακτική κατανόηση της ψηφιακά υποστηριζόμενης κυκλικής μετάβασης.

Αναφορικά με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, η ανάλυση κατέδειξε ότι τα AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα συγκροτούνται από τέσσερις βασικές κατηγορίες ενδιαφερομένων: δημόσιους φορείς, επιχειρήσεις, τεχνολογικούς παρόχους και κοινωνία των πολιτών (συμπεριλαμβανομένων καταναλωτών και τοπικών κοινοτήτων). Οι δημόσιοι φορείς αναλαμβάνουν ρόλο ρυθμιστή και ορχηστρωτή, διαμορφώνοντας το θεσμικό πλαίσιο, τα πρότυπα δεδομένων και τα κίνητρα για την κυκλική μετάβαση. Οι επιχειρήσεις λειτουργούν ως υλοποιητές κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων, επενδύοντας σε καινοτόμες πρακτικές επαναχρησιμοποίησης, ανακατασκευής και υπηρεσιοποίησης. Οι τεχνολογικοί πάροχοι διαδραματίζουν κομβικό ρόλο ως διαχειριστές και αναλυτές δεδομένων, παρέχοντας υποδομές TN που επιτρέπουν ιχνηλασιμότητα, βελτιστοποίηση ροών και υποστήριξη λήψης αποφάσεων. Τέλος, η κοινωνία των πολιτών και οι τελικοί χρήστες συνεισφέρουν στη νομιμοποίηση και στη διαμόρφωση ζήτησης για βιώσιμες λύσεις, ενώ παράλληλα επηρεάζουν τη δημόσια πολιτική μέσω κοινωνικής πίεσης και συμμετοχής. Η έρευνα ανέδειξε ότι οι ρόλοι αυτοί δεν είναι στατικοί, αλλά διαμορφώνονται δυναμικά μέσα από διαπραγματεύσεις ισχύος, συνεργασίες και συγκρούσεις συμφερόντων. Η αποτελεσματική λειτουργία των οικοσυστημάτων εξαρτάται από τη σαφή κατανομή ρόλων, τη διαφάνεια και την ύπαρξη μηχανισμών συντονισμού.

Σε σχέση με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, τα ευρήματα επιβεβαιώνουν ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί τόσο ως επιταχυντής όσο και ως μετασχηματιστής κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Ως επιταχυντής, η TN ενισχύει την αποδοτικότητα των ροών πόρων μέσω προγνωστικών αναλύσεων, βελτιστοποίησης συντήρησης,

αυτοματοποιημένης διαλογής και δυναμικής διαχείρισης αποθεμάτων. Επιπλέον, επιτρέπει την ανάπτυξη ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων και συστημάτων ιχνηλασιμότητας, καθιστώντας εφικτή τη διαχείριση του κύκλου ζωής προϊόντων σε επίπεδο οικοσυστήματος. Ως μετασχηματιστής, όμως, η ΤΝ επιδρά βαθύτερα, αναδιαμορφώνοντας τη λογική των επιχειρηματικών μοντέλων και μετατρέποντάς τα από στατικές δομές σε δυναμικά, δεδομενοκεντρικά συστήματα. Η υπηρεσιοποίηση, η μετάβαση από ιδιοκτησία σε χρήση και η ανάπτυξη πλατφορμών συνεργασίας βασίζονται πλέον σε συνεχή ανάλυση δεδομένων και αλγοριθμική υποστήριξη. Παράλληλα, η ΤΝ μετασχηματίζει και τις ίδιες τις οικοσυστημικές δομές, επιτρέποντας τη διασύνδεση ετερογενών δρώντων και τη δημιουργία νέων μορφών συνεργασίας. Ωστόσο, η ανάλυση ανέδειξε ότι η τεχνολογική ικανότητα δεν επαρκεί από μόνη της· η επίδραση της ΤΝ εξαρτάται από το θεσμικό και οργανωσιακό πλαίσιο εντός του οποίου εντάσσεται.

Όσον αφορά το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, η εργασία εντόπισε ένα σύνολο κρίσιμων προκλήσεων και ευκαιριών για τη χάραξη πολιτικής και τη στρατηγική διαχείριση ενδιαφερομένων. Στις ευκαιρίες συγκαταλέγονται η δυνατότητα ανάπτυξης δεδομενοκεντρικών πολιτικών, η ενίσχυση της διαφάνειας μέσω ψηφιακών εργαλείων και η βελτίωση της αποδοτικότητας σε επίπεδο συστημάτων. Η ΤΝ παρέχει τη δυνατότητα τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων και δυναμικής παρακολούθησης της περιβαλλοντικής απόδοσης, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει τη στρατηγική ικανότητα δημόσιων και ιδιωτικών οργανισμών. Επιπλέον, η συστηματική stakeholder analysis μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο πρόληψης συγκρούσεων και ενίσχυσης της κοινωνικής νομιμοποίησης των παρεμβάσεων.

Παράλληλα, όμως, αναδείχθηκαν σημαντικές προκλήσεις. Η συγκέντρωση δεδομένων και τεχνολογικής ισχύος σε περιορισμένο αριθμό δρώντων ενδέχεται να δημιουργήσει νέες ασυμμετρίες ισχύος εντός των οικοσυστημάτων. Η αλγοριθμική μεροληψία, η έλλειψη διαφάνειας και το ενεργειακό αποτύπωμα των ψηφιακών υποδομών συνιστούν ζητήματα που απαιτούν ρυθμιστική παρέμβαση. Επιπλέον, η έλλειψη κοινών προτύπων δεδομένων και θεσμικού συντονισμού μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμό των πρωτοβουλιών και περιορισμένη κλιμάκωση. Συνεπώς, η στρατηγική διαχείριση ενδιαφερομένων στην Κυκλική Οικονομία με υποστήριξη ΤΝ προϋποθέτει ανάπτυξη πλαισίων υπεύθυνης διακυβέρνησης, επένδυση σε ψηφιακές δεξιότητες και ενίσχυση συμμετοχικών μηχανισμών.

Η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η Κυκλική Οικονομία στην ψηφιακή εποχή δεν αποτελεί απλώς τεχνολογικό έργο καινοτομίας, αλλά θεσμική και στρατηγική πρόκληση. Η

Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να επιταχύνει και να μετασχηματίσει την κυκλική μετάβαση μόνο όταν εντάσσεται σε συνεκτικά, ρυθμισμένα και συμμετοχικά οικοσυστήματα. Η ανάπτυξη ενός εννοιολογικού πλαισίου stakeholder analysis για AI-backed κυκλικά οικοσυστήματα συνιστά τη βασική συμβολή της παρούσας εργασίας, προσφέροντας ένα εργαλείο κατανόησης των δυναμικών που καθορίζουν την επιτυχία ή την αποτυχία της κυκλικής μετάβασης. Η μετάβαση προς βιώσιμα οικονομικά συστήματα προϋποθέτει σύζευξη τεχνολογικής και κοινωνικής καινοτομίας, καθώς και συνειδητή διαχείριση των σχέσεων ισχύος και ευθύνης που διαμορφώνουν το μέλλον της ψηφιακής κυκλικότητας.

10. Αναφορές

- Augustin-Behravesh, S.-A., Darnall, N., No, W., & Bretschneider, S. (2025). How stakeholder influence shapes public sector environmental policy choices. *Journal of Cleaner Production*, 523, 146312. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146312>
- Bauwens, T., Hartley, K., Hekkert, M., & Kirchherr, J. (2024). Building innovation ecosystems for circularity: Start-up business models in the food and construction sectors in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 481, 143970. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143970>
- Bellini, A., Tadayon, A., Andersen, B., & Klungseth, N. J. (2024). *The role of data when implementing circular strategies in the built environment: A literature review.* *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100183. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100183>
- Bendtsen, E. B., Clausen, L. P. W., & Hansen, S. F. (2021). A review of the state-of-the-art for stakeholder analysis with regard to environmental management and regulation. *Journal of Environmental Management*, 279, 111773. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111773>
- Bendtsen, E. B., Clausen, L. P. W., & Hansen, S. F. (2021). A review of the state-of-the-art for stakeholder analysis with regard to environmental management and regulation. *Journal of Environmental Management*, 279, 111773. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111773>
- Bocken, N., & Konietzko, J. (2022). Circular business model innovation in consumer-facing corporations. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122076. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122076>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). *Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises.* *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- European Commission (2020). *A new Circular Economy Action Plan.*

- Flaig, A., Guyader, H., & Ottosson, M. (2025). Design-oriented stakeholder engagement in service ecosystems. *Journal of Business Research*, 191, 115255. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115255>
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman.
- Freudenreich, B., Lüdeke-Freund, F., & Schaltegger, S. (2020). A stakeholder theory perspective on business models: Value creation for sustainability. *Journal of Business Ethics*, 166, 3–18. <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04112-z>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Gohr, C., Rodríguez, G., Belomestnykh, S., Berg-Möllenen, D., Chauhan, N., Engler, J.-O., Heydebreck, L. V., Hintz, M. J., Kretschmer, M., Krügermeier, C., Meinberg, J., Rau, A.-L., Schwenck, C., Aoukadi, I., Poll, S., Frank, E., Creutzig, F., Lemke, O., Maushart, M., ... von Wehrden, H. (2025). Artificial intelligence in sustainable development research. *Nature Sustainability*, 8, 970–978. <https://doi.org/10.1038/s41893-025-01598-6>
- Granstrand, O., & Holgersson, M. (2020). Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. *Technovation*, 90–91, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2019.102098>
- Hoare, V., et al. (2023). MAPTkit: An environmental management decision-tool for inclusive, equitable and representative stakeholder attribute mapping. *Ecological Solutions and Evidence*, 4, e12235. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12235>
- Hoare, V., Hinson, C. E., Reyniers, B. M., O'Shea, R., & Howe, C. (2023). MAPTkit: An environmental management decision-tool for inclusive, equitable and representative stakeholder attribute mapping. *Ecological Solutions and Evidence*, 4(2), 12235. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12235>
- Islam, M. T., Khan, M. I., & Ali, A. (2025). Circular business models: A state-of-the-art systematic literature review and future opportunities. *Sustainable Futures*, 10, 101097. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101097>

- Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1, 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 2814–2827. <https://doi.org/10.1002/bse.2895>
- Khanagha, S., Ansari, S., & Ahmadi, S. (2026). *Framing circularity in an AI ecosystem: Aligning purpose, strategy, and governance*. *Long Range Planning*, 59(1), 102601. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2025.102601>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- Kirchherr, J., Yang, N.-H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
- Lahane, S., Prajapati, H., & Kant, R. (2021). Emergence of circular economy research: A systematic literature review. *Management of Environmental Quality*, 32(3), 575–595. <https://doi.org/10.1108/MEQ-05-2020-0087>
- Langley, D. J., Rosca, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O., & Hooijer, C. (2023). *Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports*. *Journal of Business Research*, 169, 114259. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- Lopes de Sousa Jabbour, A. B., et al. (2019). Unlocking the circular economy through new business models powered by artificial intelligence. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 334–339.
- Lüdeke-Freund, F., Gold, S., Kuckartz, U., & Heymann, D. (2019). A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 36–61. <https://doi.org/10.1111/jiec.12763>

- Madanaguli, A., Sjödin, D., Parida, V., & Mikalef, P. (2024). Artificial intelligence capabilities for circular business models: Research synthesis and future agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123189. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123189>
- Minoja, M., & Romano, G. (2024). Effective stakeholder governance in circular economy: Insights from Italian companies. *Journal of Cleaner Production*, 474, 143584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143584>
- Minoja, M., & Romano, G. (2024). *Effective stakeholder governance in circular economy: Insights from Italian companies. Journal of Cleaner Production*, 474, 143584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143584>
- Munonye, W. C., Ajonye, G. O., Ahonsi, S. O., Munonye, D. I., Akinloye, O. A., & Chigozie, I. O. (2025). *Governing circular intelligence: How AI-driven policy tools can accelerate the circular economy transition. Cleaner and Responsible Consumption*, 19, 100324. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2025.100324>
- Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Conboy, K. (2025). Responsible artificial intelligence governance: A review and research framework. *The Journal of Strategic Information Systems*, 34(2), 101885. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101885>
- Pathan, M. S., Richardson, E., Galvan, E., & Mooney, P. (2023). The role of artificial intelligence within circular economy activities—A view from Ireland. *Sustainability*, 15(12), 9451. <https://doi.org/10.3390/su15129451>
- Pathan, M. S., Richardson, E., Galván, E., & Mooney, P. (2023). The role of artificial intelligence within circular economy activities—A view from Ireland. *Sustainability*, 15(12), 9451. <https://doi.org/10.3390/su15129451>
- Pietrulla, F. (2022). *Circular ecosystems: A review. Cleaner and Circular Bioeconomy*, 3, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100031>
- Raum, S., & Rawlings-Sanaei, F. (2022). WCM: A web content-based method of stakeholder analysis. *MethodsX*, 9, 101635. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101635>
- Sardianou, E., Nikou, V., Evangelinos, K., Nikolaou, I., & Koulouriotis, D. (2024). What are the key dimensions that CE emphasizes on? A systematic analysis of circular economy

- definitions. *Environment Systems and Decisions*, 44, 547–562.
<https://doi.org/10.1007/s10669-023-09956-5>
- Schwanholz, J., & Leipold, S. (2020). *Sharing for a circular economy? An analysis of digital sharing platforms' principles and business models*. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122327>
- Suškevičs, M., Swiers, J., Prakofjewa, J., Söukand, R., & Prüse, B. (2025). Stakeholder analysis for climate change adaptation: A case study from the Living Lab Schouwen-Duiveland, The Netherlands. *Land*, 14(11), 2209.
<https://doi.org/10.3390/land14112209>
- Talan, G., Sharma, G. D., Pereira, V., & Muschert, G. W. (2024). From ESG to holistic value addition: Rethinking sustainable investment from the lens of stakeholder theory. *International Review of Economics & Finance*, 96(Pt A), 103530.
<https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103530>
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11, 233.
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- Zaidan, E., & Ibrahim, I. A. (2024). AI governance in a complex and rapidly changing regulatory landscape: A global perspective. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 1121. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03560-x>

11. Άρθρα Ανασκόπησης

- Arruda, E. H., Melatto, R. A. P. B., Levy, W., & Conti, D. d. M. (2021). Circular economy: A brief literature review (2015–2020). *Sustainable Operations and Computers*, 2, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.05.001>
- Barraclough, A. D., Cusens, J., & Måren, I. E. (2022). Mapping stakeholder networks for the co-production of multiple ecosystem services: A novel mixed-methods approach. *Ecosystem Services*, 56, 101461. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101461>
- Flaig, A., Guyader, H., & Ottosson, M. (2025). Design-oriented stakeholder engagement in service ecosystems. *Journal of Business Research*, 191, 115255. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115255>
- Islam, M. T., Iyer-Raniga, U., & Ali, A. (2024). Circular business model frameworks: A review. *Highlights of Sustainability*, 3(2), 129–162. <https://doi.org/10.54175/hsustain3020010>
- Islam, M. T., Khan, M. I., & Ali, A. (2025). Circular business models: A state-of-the-art systematic literature review and future opportunities. *Sustainable Futures*, 10, 101097. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101097>
- Kirchherr, J., Yang, N.-H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 107001. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Mahajan, R., Lim, W. M., Sareen, M., Kumar, S., & Panwar, R. (2023). Stakeholder theory. *Journal of Business Research*, 166, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114104>
- Newig, J., Jager, N. W., Challies, E., & Kochskämper, E. (2023). Does stakeholder participation improve environmental governance? Evidence from a meta-analysis of 305 case studies. *Global Environmental Change*, 82, 102705. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102705>

- Raut, S., Hossain, N. U. I., Kouhizadeh, M., & Fazio, S. A. (2025). Application of artificial intelligence in circular economy: A critical analysis of the current research. *Sustainable Futures*, 9, 100784. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100784>
- Teodoro, J. D., & Prell, C. (2023). Learning to understand: Disentangling the outcomes of stakeholder participation in climate change governance. *Social Networks*, 75, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2022.02.006>
- Toderas, M. (2025). Artificial intelligence for sustainability: A systematic review and critical analysis of AI applications, challenges, and future directions. *Sustainability*, 17(17), 8049. <https://doi.org/10.3390/su17178049>
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11, 233. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- Xu, Z., & Peng, J. (2024). Recognizing ecosystem services' contribution to SDGs: Ecological foundation of sustainable development. *Geography and Sustainability*, 5(4), 511–525. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.05.001>

12. Case studies

- Adisorn, T., Tholen, L., & Götz, T. (2021). Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy. *Energies*, 14(8), 2289. <https://doi.org/10.3390/en14082289>
- Aschenbrenner, D., Colloseus, C., Khoury, R., & Fangerow, N. (2023). Robot-assisted automated sorting techniques for plastic recycling. *Procedia CIRP*, 120, 1232–1237. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.154>
- Atta, I., Bakhoun, E. S., & Marzouk, M. M. (2021). Digitizing material passport for sustainable construction projects using BIM. *Journal of Building Engineering*, 43, 103233. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103233>
- Çetin, S., Raghu, D., Honic, M., Straub, A., & Gruis, V. (2023). Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings. *Sustainable Production and Consumption*, 38, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.011>
- Chertow, M., Reck, B. K., Wrzesniewski, A., & Calli, B. (2024). Outlook on the future role of robots and AI in material recovery facilities: Implications for U.S. recycling and the workforce. *Journal of Cleaner Production*, 457, 143234. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143234>
- Costa, A. R., Hoolahan, R., & Charef, R. (2025). Eight recommendations to adopt materials passports and accelerate material reuse in construction: Insights from academia and practice. *npj Materials Sustainability*, 1, 79. <https://doi.org/10.1038/s44296-025-00079-3>
- Dodamegama, S., Hou, L., Asadi, E., Zhang, G., & Setunge, S. (2024). Revolutionizing construction and demolition waste sorting: Insights from artificial intelligence and robotic applications. *Resources, Conservation & Recycling*, 202, 107375. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107375>
- Honic, M., Kovacic, I., Sibenik, G., & Rechberger, H. (2019). Data- and stakeholder management framework for the implementation of BIM-based material passports. *Journal of Building Engineering*, 23, 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.017>

- Langley, D. J., Rosca, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O., & Hooijer, C. (2023). Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports. *Journal of Business Research*, 169, 114259. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- Rufino Júnior, C. A., Rocha, S. S., Moreira, L. B., Fagundes, C. M., & Lima, A. C. (2024). Towards to battery digital passport: Reviewing regulations and standards for second-life batteries. *Batteries*, 10(4), 115. <https://doi.org/10.3390/batteries10040115>
- Satav, A. G., Kubade, S., & Pawar, A. (2023). A state-of-the-art review on robotics in waste sorting: Scope and challenges. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17, 2789–2806. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01320-w>
- Voulgaridis, K., Lagkas, T., Angelopoulos, C. M., Boulogeorgos, A.-A. A., Argyriou, V., & Sarigiannidis, P. (2024). Digital product passports as enablers of digital circular economy: A framework based on technological perspective. *Telecommunication Systems*, 85, 699–715. <https://doi.org/10.1007/s11235-024-01104-x>