



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Διαχείριση Τεχνικών Έργων (ΔΧΤ)

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Η συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Κινδύνων

Έργων: Θεωρητική Προσέγγιση και Ανάλυση Σύγχρονων

Ερευνητικών Τάσεων

Γεώργιος Τζιβίσκος

Επιβλέπων καθηγητή : «Πνευματικός Νικόλαος»

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Γεωργίου Τζιβίσκου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Η συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Κινδύνων
Έργων: Θεωρητική Προσέγγιση και Ανάλυση Σύγχρονων
Ερευνητικών Τάσεων

Γεώργιος Τζιβίσκος

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής
Πνευματικός Νικόλαος

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής
Χατζηγεωργίου Γεώργιος

Πάτρα, Ιούνιος 2026

«Ευχαριστίες/Αφιέρωση»

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες πρωτίστως στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Πνευματικό Νικόλαο, αλλά και σε όλους τους καθηγητές μου για την καθοδήγηση, τις γνώσεις και την πολύτιμη υποστήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Παράλληλα ένα μεγάλο ευχαριστώ στη σύζυγό μου. Ήταν ο άνθρωπος που κράτησε όλες τις ισορροπίες στο σπίτι μας προσφέροντας απλόχερα την υπομονή, την κατανόηση και την αμέριστη αγάπη της.

Το πιο βαθύ και ξεχωριστό ευχαριστώ όμως ανήκει στα παιδιά μου, που με τον δικό τους μοναδικό τρόπο με γέμιζαν δύναμη και αισιοδοξία κάθε φορά που ένιωθα να λυγίζω από την πίεση της ταυτόχρονης άσκησης επαγγελματικών και ακαδημαϊκών καθηκόντων. Η κοινή μας προσπάθεια στο διάβασμα μετέτρεψε την κούραση σε μια μοναδική εμπειρία ζωής. Αντλούσα καθημερινά έμπνευση από τον μεγάλο μου γιό με την αφοσίωσή του στις σπουδές του ως Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, αλλά και από τον απαιτητικό αγώνα του μικρού μου γιού, που προετοιμαζόταν για τις πανελλήνιες εξετάσεις, ο οποίος στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία με την εισαγωγή του στην Ιατρική Σχολή.

Τους αφιερώνω αυτή την εργασία με απέραντη αγάπη και ευγνωμοσύνη.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνά, μέσα από αυστηρά θεωρητική και βιβλιογραφική προσέγγιση, τον ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων. Αφετηρία της μελέτης αποτελεί η διαπίστωση ότι τα σύγχρονα τεχνικά και οργανωσιακά έργα εκπονούνται σε περιβάλλον αυξημένης πολυπλοκότητας, αβεβαιότητας και ταχείας τεχνολογικής μεταβολής, στο οποίο οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης και αξιολόγησης κινδύνων εμφανίζουν σημαντικούς περιορισμούς. Η εξάρτηση από στατικές εκτιμήσεις, την υποκειμενική ανθρώπινη κρίση και ιστορικά δεδομένα περιορισμένης κλίμακας μειώνει την ικανότητα έγκαιρης αναγνώρισης και αντιμετώπισης κρίσιμων απειλών. Σκοπός της εργασίας είναι η αφηγηματική χαρτογράφηση και κριτική σύνθεση της διεθνούς βιβλιογραφίας που συνδέει τις τεχνολογίες μηχανικής μάθησης και ανάλυσης δεδομένων με τις διαδικασίες πρόβλεψης, αξιολόγησης, ιεράρχησης και μετριασμού των κινδύνων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των έργων. Η μεθοδολογία στηρίζεται σε αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση και θεματική κατηγοριοποίηση δευτερογενών πηγών, καθώς και σε συγκριτική, ερμηνευτική ανάλυση επιλεγμένων θεωρητικών μοντέλων και μελετών περίπτωσης, χωρίς πρωτογενή συλλογή ή εμπειρική επεξεργασία δεδομένων. Από τη μελέτη αναδεικνύεται ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη δεν λειτουργεί ως υποκατάστατο της ανθρώπινης κρίσης, αλλά ως συμπληρωματικό εργαλείο ενίσχυσης της διοικητικής ικανότητας, το οποίο μειώνει το κόστος της πρόβλεψης και βελτιώνει την ποιότητα των αποφάσεων. Παράλληλα, επισημαίνονται κρίσιμες προϋποθέσεις και περιορισμοί, όπως η ποιότητα των δεδομένων, η ερμηνευσιμότητα των αλγορίθμων, η οργανωσιακή ωριμότητα και τα συναφή ηθικά ζητήματα. Η εργασία καταλήγει σε ένα συνεκτικό θεωρητικό πλαίσιο που γεφυρώνει τη διοίκηση έργων με την Τεχνητή Νοημοσύνη και διατυπώνει κατευθύνσεις για μελλοντική εμπειρική έρευνα και πρακτική εφαρμογή.

Λέξεις – Κλειδιά

Τεχνητή Νοημοσύνη, Διαχείριση Κινδύνων Έργων, Διοίκηση Έργων, Πρόβλεψη Κινδύνων, Μηχανική Μάθηση, Λήψη Αποφάσεων

The Contribution of Artificial Intelligence to Project Risk Management: A Theoretical Approach and Analysis of Contemporary Research Trends

Georgios Tziviskos

Abstract

This postgraduate dissertation examines, through a strictly theoretical and literature based approach, the role of Artificial Intelligence in project risk management. The study departs from the observation that contemporary technical and organisational projects are carried out in an environment of increasing complexity, uncertainty and rapid technological change, in which traditional methods of risk prediction and assessment display significant limitations. Reliance on static estimates, subjective human judgement and historical data of limited scale reduces the capacity for the timely identification and treatment of critical threats. The purpose of the dissertation is the narrative mapping and critical synthesis of the international literature that links machine learning and data analysis technologies with the processes of predicting, assessing, prioritising and mitigating risks throughout the project life cycle. The methodology is based on a narrative literature review and thematic categorisation of secondary sources, as well as on a comparative, interpretive analysis of selected theoretical models and case studies, without primary data collection or empirical processing. The study highlights that Artificial Intelligence does not act as a substitute for human judgement, but as a complementary tool that enhances managerial capability, reduces the cost of prediction and improves the quality of decisions. At the same time, critical preconditions and limitations are emphasised, such as data quality, algorithmic interpretability, organisational maturity and related ethical issues. The dissertation concludes with a coherent theoretical framework that bridges project management and

Artificial Intelligence and formulates directions for future empirical research and practical application.

Keywords

Artificial Intelligence, Project Risk Management, Project Management, Risk Prediction, Machine Learning, Decision Making

Περιεχόμενα

Περίληψη	v
Abstract	vii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xiii
1. Εισαγωγή – Πλαίσιο, Σκοπός και Μεθοδολογική Τοποθέτηση.....	1
1.1 Γενικό πλαίσιο της διαχείρισης έργων στη σύγχρονη εποχή	1
1.2 Η έννοια του κινδύνου στα έργα και η σημασία της πρόβλεψης	2
1.3 Η είσοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων	4
1.4 Σκοπός και στόχοι της εργασίας	6
1.5 Ερευνητικά ερωτήματα.....	8
1.6 Μεθοδολογική προσέγγιση και δομή της εργασίας	9
1.7 Η αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση ως μεθοδολογική επιλογή	11
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Διαχείρισης Κινδύνων Έργων	14
2.1 Έννοιες και ορισμοί στη διαχείριση κινδύνων έργων	14
2.2 Τύποι κινδύνων στα έργα	15
2.3 Παραδοσιακές μέθοδοι αναγνώρισης και αξιολόγησης κινδύνων.....	16
2.4 Κύκλος ζωής έργου και ενσωμάτωση της διαχείρισης κινδύνων	18
2.5 Περιορισμοί των συμβατικών προσεγγίσεων	19
2.6 Πρότυπα και πλαίσια διαχείρισης κινδύνων.....	20
2.7 Ωριμότητα και κουλτούρα διαχείρισης κινδύνων	22
2.8 Κίνδυνος, αβεβαιότητα και πολυπλοκότητα στα σύγχρονα έργα	23
2.9 Κριτική αποτίμηση των συμβατικών εργαλείων αξιολόγησης κινδύνων	25
2.10 Από τη διαχείριση κινδύνων στη διαχείριση γνώσης έργων	27
3. Τεχνητή Νοημοσύνη: Έννοιες, Τεχνολογίες και Εφαρμογές στη Διοίκηση.....	29
3.1 Βασικές έννοιες Τεχνητής Νοημοσύνης	29
3.2 Μηχανική μάθηση και ανάλυση δεδομένων	30
3.3 Γνωστικά συστήματα και υποστήριξη λήψης αποφάσεων	32
3.4 Η ΤΝ στη διοίκηση και στα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης.....	33
3.5 Όρια, ηθικά και οργανωσιακά ζητήματα της ΤΝ	34
3.6 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας και μεγάλα γλωσσικά μοντέλα	35
3.7 Μεγάλα δεδομένα και αναλυτική	36
3.8 Εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη και εμπιστοσύνη στη λήψη αποφάσεων.....	37
3.9 Ψηφιακά οικοσυστήματα έργων: BIM, IoT, digital twins και project analytics	38
4. Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Κινδύνων Έργων.....	41
4.1 Σύνδεση ΤΝ και διαχείρισης κινδύνων: θεωρητικά μοντέλα	41
4.2 ΤΝ στην πρόβλεψη και έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων.....	42
4.3 ΤΝ στην αξιολόγηση και ιεράρχηση κινδύνων	42
4.4 ΤΝ στον μετριασμό και τη λήψη αποφάσεων	43
4.5 Θεωρητική ανάλυση επιλεγμένων μελετών περίπτωσης (από βιβλιογραφία).....	44
4.6 Συγκριτική αξιολόγηση εφαρμογών ΤΝ ανά τομέα έργων	45
4.7 Υπολογιστική όραση για την ασφάλεια των έργων.....	46

4.8 Παραγωγική ΤΝ και μεγάλα γλωσσικά μοντέλα στη διαχείριση κινδύνων	47
4.9 ΤΝ στην αναγνώριση κινδύνων από έγγραφα έργου	48
4.10 ΤΝ σε κινδύνους κόστους, χρόνου, ασφάλειας και ποιότητας	50
4.11 Συγκριτική σύνθεση τεχνικών ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων	53
5. Συζήτηση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις	56
5.1 Σύνθεση θεωρητικών ευρημάτων	56
5.2 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων	57
5.3 Επιπτώσεις για τη διοίκηση έργων και τη λήψη αποφάσεων.....	58
5.4 Περιορισμοί της παρούσας εργασίας.....	59
5.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	59
5.6 Προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων.....	60
5.7 Πρακτικές επιπτώσεις για project managers και οργανισμούς	63
Βιβλιογραφία	66

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Σχήμα 1. Ενδεικτική Δομή Ανάλυσης Κινδύνου (RBS) για ένα τεχνικό έργο.....	16
Σχήμα 2. Μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης για την ιεράρχηση κινδύνων.	17
Σχήμα 3. Η διεργασία διαχείρισης κινδύνων κατά το πρότυπο ISO 31000:2018.	19
Σχήμα 4. Τα τέσσερα επίπεδα ωριμότητας διαχείρισης κινδύνων κατά Hillson (1997)....	22
Σχήμα 5. Σχέση Τεχνητής Νοημοσύνης, μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης.	30
Σχήμα 6. Οι τρεις βασικές κατηγορίες μηχανικής μάθησης.....	31
Σχήμα 7. Βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων.....	33
Σχήμα 8Τυπική ροή επεξεργασίας φυσικής γλώσσας με μοντέλα Transformer.	35
Σχήμα 9. Εννοιολογικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της TN στη διεργασία διαχείρισης κινδύνων.	41
Σχήμα 10. Σχηματική αναπαράσταση Μπεϋζιανού δικτύου για την αξιολόγηση κινδύνων.	43
Σχήμα 11. Κυρίαρχες τεχνικές TN ανά τομέα έργων.	46
Σχήμα 12. Ροή υπολογιστικής όρασης για την παρακολούθηση της ασφάλειας στα εργοτάξια.	47
Σχήμα 13. Αντιστοίχιση των περιορισμών των συμβατικών προσεγγίσεων με τη συμβολή της TN.	56
Σχήμα 14. Βασικοί άξονες προτεινόμενης μελλοντικής έρευνας.....	60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Διαφορές αφηγηματικής και συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης. .12	
Πίνακας 2. Ορισμοί του κινδύνου κατά πηγή.....15	
Πίνακας 3. Κατηγορίες κινδύνων έργου και ενδεικτικές πηγές.16	
Πίνακας 4. Ποιοτικές και ποσοτικές μέθοδοι αξιολόγησης κινδύνων.18	
Πίνακας 5..Σύγκριση βασικών προτύπων και πλαισίων διαχείρισης κινδύνων.21	
Πίνακας 6. Κύριοι περιορισμοί συμβατικών εργαλείων αξιολόγησης κινδύνων.26	
Πίνακας 7. Βασικές διακρίσεις και προσεγγίσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης.30	
Πίνακας 8. Είδη μηχανικής μάθησης, τυπικά έργα και ενδεικτικές εφαρμογές.....32	
Πίνακας 9. Βασικές επιχειρησιακές ανάγκες που καλύπτει η Τεχνητή Νοημοσύνη.34	
Πίνακας 10. Οι βασικές διαστάσεις των μεγάλων δεδομένων.36	
Πίνακας 11. Συστατικά ψηφιακού οικοσυστήματος έργων και συμβολή στη διαχείριση κινδύνων.40	
Πίνακας 12. Τεχνικές TN για την πρόβλεψη και την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων.....42	
Πίνακας 13. Συμβολή της TN ανά φάση της διεργασίας διαχείρισης κινδύνων.44	
Πίνακας 14. Σύνοψη επιλεγμένων μελετών περίπτωσης εφαρμογής TN.....45	
Πίνακας 15. Ευκαιρίες και περιορισμοί της παραγωγικής TN στη διαχείριση κινδύνων. .48	
Πίνακας 16. Πηγές κειμενικών δεδομένων και δυνητικά αναγνωρίσιμοι κίνδυνοι.50	
Πίνακας 17. Ενδεικτική αντιστοίχιση κατηγοριών κινδύνου και τεχνικών TN.....52	
Πίνακας 18. Συγκριτική αποτίμηση βασικών τεχνικών TN στη διαχείριση κινδύνων έργων.54	
Πίνακας 19. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της TN στη διαχείριση κινδύνων.58	
Πίνακας 20. . Επιπτώσεις της TN ανά επίπεδο διοίκησης έργων.....58	
Πίνακας 21. Προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της TN στη διαχείριση κινδύνων έργων.62	
Πίνακας 22. Πρακτικές επιπτώσεις της TN για project managers και οργανισμούς.64	

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Ο παρακάτω πίνακας συγκεντρώνει τις βασικές συντομογραφίες και ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στην εργασία.

Συντομογραφία	Ανάπτυξη όρου	Ερμηνεία / χρήση στην εργασία
AI	Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
ANN	Artificial Neural Network	Τεχνητό νευρωνικό δίκτυο
BIM	Building Information Modeling	Μοντελοποίηση πληροφοριών κτιρίου
CNN	Convolutional Neural Network	Συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο
DSS	Decision Support System	Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων
DL	Deep Learning	Βαθιά μάθηση
EVM	Earned Value Management	Διαχείριση δεδουλευμένης αξίας
IoT	Internet of Things	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ISO	International Organization for Standardization	Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης
KPI	Key Performance Indicator	Βασικός δείκτης απόδοσης
LLM	Large Language Model	Μεγάλο γλωσσικό μοντέλο
ML	Machine Learning	Μηχανική μάθηση
NLP	Natural Language Processing	Επεξεργασία φυσικής γλώσσας
PMBOK	Project Management Body of Knowledge	Σώμα γνώσης διοίκησης έργων
PMI	Project Management Institute	Ινστιτούτο Διοίκησης Έργων
RBS	Risk Breakdown Structure	Δομή ανάλυσης κινδύνων
RMP	Risk Management Plan	Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων
SVM	Support Vector Machine	Μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης
WBS	Work Breakdown Structure	Δομή ανάλυσης εργασιών
XAI	Explainable Artificial Intelligence	Εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη
ΔΧΤ	Διαχείριση Τεχνικών Έργων	Μεταπτυχιακό πρόγραμμα/γνωστικό πεδίο της εργασίας
ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο	Ίδρυμα εκπόνησης της ΜΔΕ
ΜΔΕ	Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία	Τύπος ακαδημαϊκής εργασίας
TN	Τεχνητή Νοημοσύνη	Κεντρική τεχνολογία που εξετάζεται στην εργασία

1. Εισαγωγή – Πλαίσιο, Σκοπός και Μεθοδολογική Τοποθέτηση

1.1 Γενικό πλαίσιο της διαχείρισης έργων στη σύγχρονη εποχή

Η διαχείριση έργων στη σύγχρονη εποχή αναπτύσσεται μέσα σε ένα περιβάλλον αυξανόμενης πολυπλοκότητας, έντονης αβεβαιότητας και ταχύτατης τεχνολογικής μεταβολής. Τα σύγχρονα έργα χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό διασύνδεσης τεχνικών, οργανωσιακών και κοινωνικών παραμέτρων, γεγονός που καθιστά τη γραμμική και προβλέψιμη προσέγγιση του παρελθόντος ανεπαρκή. Όπως επισημαίνει ο Kerzner (2017), η διοίκηση έργων έχει μετατοπιστεί από ένα εργαλειακό μοντέλο ελέγχου προς ένα δυναμικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων, στο οποίο η αβεβαιότητα αποτελεί δομικό στοιχείο και όχι εξαίρεση.

Η έννοια της επιτυχίας των έργων έχει επίσης υποστεί σημαντική αναθεώρηση. Η παραδοσιακή αντίληψη, η οποία περιόριζε την επιτυχία στην τήρηση του χρόνου, του κόστους και της ποιότητας, έχει κριθεί ανεπαρκής για να αποτυπώσει την πραγματική αξία των σύγχρονων έργων (de Wit, 1988). Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει πλέον ότι η επιτυχία ενός έργου συνδέεται με ευρύτερους παράγοντες, όπως η ικανοποίηση των εμπλεκόμενων μερών, η επίτευξη στρατηγικών στόχων και η βιωσιμότητα των αποτελεσμάτων (Cooke-Davies, 2002; Ika, 2009). Η διεύρυνση αυτή αντανακλά την ανάγκη προσαρμογής της διοίκησης έργων σε περιβάλλοντα όπου οι απαιτήσεις μεταβάλλονται διαρκώς και οι αποφάσεις λαμβάνονται υπό συνθήκες περιορισμένης πληροφόρησης.

Στο πλαίσιο αυτό, η διαχείριση κινδύνων αποκτά κεντρική σημασία. Οι κίνδυνοι στα σύγχρονα έργα δεν περιορίζονται σε τεχνικές αστοχίες ή οικονομικές αποκλίσεις, αλλά περιλαμβάνουν οργανωσιακούς, θεσμικούς, τεχνολογικούς και ανθρώπινους παράγοντες, οι οποίοι συχνά αλληλεπιδρούν με μη γραμμικό τρόπο (Radujković & Sjekavica, 2017). Η πολυπλοκότητα αυτή αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης απρόβλεπτων γεγονότων με σημαντικές επιπτώσεις στην πορεία και στα αποτελέσματα των έργων, καθιστώντας τη συστηματική διαχείριση κινδύνων κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας (Baker et al., 1997).

Παράλληλα, η ψηφιοποίηση και η ευρεία υιοθέτηση πληροφοριακών συστημάτων έχουν μετασχηματίσει το διοικητικό περιβάλλον των έργων. Η διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου δεδομένων δημιουργεί νέες δυνατότητες ανάλυσης και πρόβλεψης, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει την πολυπλοκότητα της λήψης αποφάσεων. Όπως επισημαίνουν οι Agrawal,

Gans και Goldfarb (2019), η πρόκληση δεν έγκειται πλέον στη συλλογή δεδομένων, αλλά στη μετατροπή τους σε αξιόπιστη γνώση που μπορεί να υποστηρίξει κρίσιμες διοικητικές αποφάσεις. Η ανθρώπινη κρίση, αν και απαραίτητη, παρουσιάζει περιορισμούς ως προς την επεξεργασία μεγάλων και ετερογενών συνόλων δεδομένων.

Σε αυτό το πλαίσιο, οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης έργων εμφανίζουν σημαντικές αδυναμίες. Η εξάρτηση από στατικές εκτιμήσεις, η υποκειμενικότητα της ανθρώπινης κρίσης και οι γνωστικές προκαταλήψεις περιορίζουν την αποτελεσματικότητα των συμβατικών εργαλείων, ιδίως σε περιβάλλοντα υψηλής αβεβαιότητας (Cooke-Davies, 2002; Kerzner, 2017). Η βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι τα σύγχρονα έργα απαιτούν προσεγγίσεις που μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά και να αξιοποιούν συστηματικά τη διαθέσιμη γνώση.

Η ραγδαία ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης εντάσσεται σε αυτό το μεταβαλλόμενο πλαίσιο ως ένας κρίσιμος παράγοντας μετασχηματισμού της διοίκησης έργων. Η Τεχνητή Νοημοσύνη προσφέρει τη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλων όγκων δεδομένων, αναγνώρισης σύνθετων προτύπων και υποστήριξης προβλεπτικών διαδικασιών, συμβάλλοντας στη μείωση της αβεβαιότητας και στη βελτίωση της διαχείρισης κινδύνων (Haenlein & Kaplan, 2019; Haefner et al., 2021). Η ενσωμάτωσή της στη διοίκηση έργων δεν αφορά μόνο την αυτοματοποίηση επιμέρους λειτουργιών, αλλά την αναβάθμιση της λήψης αποφάσεων σε στρατηγικό επίπεδο.

Το γενικό πλαίσιο της σύγχρονης διαχείρισης έργων χαρακτηρίζεται από αυξημένη πολυπλοκότητα, διεύρυνση της έννοιας της επιτυχίας και ανάγκη για προηγμένα εργαλεία αντιμετώπισης της αβεβαιότητας. Η κατανόηση αυτού του πλαισίου αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη θεωρητική διερεύνηση του ρόλου της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων, καθώς αναδεικνύει τόσο τις προκλήσεις όσο και τις δυνατότητες που διαμορφώνουν το σύγχρονο πεδίο της διοίκησης έργων.

1.2 Η έννοια του κινδύνου στα έργα και η σημασία της πρόβλεψης

Η έννοια του κινδύνου στα έργα αποτελεί θεμελιώδη συνιστώσα της σύγχρονης διοίκησης έργων και συνδέεται άρρηκτα με την ύπαρξη αβεβαιότητας ως δομικού χαρακτηριστικού του διοικητικού περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο της διοίκησης έργων, ο κίνδυνος ορίζεται ως η πιθανότητα εμφάνισης ενός αβέβαιου γεγονότος ή συνθήκης που, εφόσον πραγματοποιηθεί, δύναται να επηρεάσει θετικά ή αρνητικά τους στόχους του έργου, όπως

αυτοί αποτυπώνονται στον χρόνο, το κόστος, την ποιότητα και το εύρος (Project Management Institute [PMI], 2021). Ο ορισμός αυτός αναδεικνύει τη διττή φύση του κινδύνου, ο οποίος δεν ταυτίζεται αποκλειστικά με απειλές, αλλά μπορεί να ενσωματώνει και ευκαιρίες που, εφόσον αναγνωριστούν έγκαιρα, ενισχύουν την αξία και την απόδοση του έργου.

Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η αβεβαιότητα αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο κάθε έργου, ανεξαρτήτως μεγέθους ή τομέα εφαρμογής. Ήδη από τις πρώιμες θεωρητικές προσεγγίσεις, έχει καταδειχθεί ότι η αδυναμία πλήρους πρόβλεψης των εξελίξεων καθιστά τον κίνδυνο εγγενές χαρακτηριστικό της διοικητικής διαδικασίας (de Wit, 1988). Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων έργων, η εμπλοκή πολλαπλών ενδιαφερόμενων μερών και η εξάρτηση από τεχνολογικά και οργανωσιακά συστήματα αυξάνουν τη συχνότητα και την ένταση των αβέβαιων παραγόντων, ενισχύοντας τη σημασία της συστηματικής προσέγγισης του κινδύνου (Kerzner, 2017).

Η έννοια του κινδύνου στα έργα δεν περιορίζεται σε τεχνικές ή οικονομικές διαστάσεις, αλλά επεκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα παραγόντων που περιλαμβάνουν οργανωσιακούς, θεσμικούς, ανθρώπινους και περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η βιβλιογραφία των κρίσιμων παραγόντων επιτυχίας έχει αναδείξει ότι η αποτυχία πολλών έργων δεν οφείλεται σε τεχνικές ανεπάρκειες, αλλά σε ανεπαρκή αναγνώριση και διαχείριση κινδύνων που σχετίζονται με τη διοίκηση, την επικοινωνία και τη λήψη αποφάσεων (Baker et al., 1997; Cooke-Davies, 2002). Ως εκ τούτου, η διαχείριση κινδύνων δεν αποτελεί αποσπασματική δραστηριότητα, αλλά οριζόντια λειτουργία που διαπερνά ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου.

Στο πλαίσιο αυτό, η πρόβλεψη αναδεικνύεται σε κρίσιμο μηχανισμό μείωσης της αβεβαιότητας και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων. Η πρόβλεψη δεν αποσκοπεί στην εξάλειψη του κινδύνου, αλλά στη συστηματική εκτίμηση της πιθανότητας και των επιπτώσεων ενδεχόμενων γεγονότων, ώστε να καταστεί δυνατή η έγκαιρη προετοιμασία και η ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών απόκρισης (PMI, 2021). Η ικανότητα πρόβλεψης συνδέεται άμεσα με την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων, τη μεθοδολογική επάρκεια των εργαλείων ανάλυσης και την οργανωσιακή ωριμότητα στη διαχείριση έργων.

Η σημασία της πρόβλεψης ενισχύεται περαιτέρω από το γεγονός ότι οι επιπτώσεις των κινδύνων δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στον χρόνο. Πολλοί κίνδυνοι εκδηλώνονται στα πρώιμα στάδια των έργων, όπου οι αποφάσεις έχουν δυσανάλογα μεγάλη επίδραση στη συνολική έκβαση. Η βιβλιογραφία έχει επισημάνει ότι η έγκαιρη αναγνώριση και πρόβλεψη κινδύνων κατά τον σχεδιασμό του έργου αυξάνει σημαντικά τις πιθανότητες επιτυχίας, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή των στρατηγικών πριν οι αποκλίσεις καταστούν μη αναστρέψιμες (Ika, 2009; Radujković & Sjekavica, 2017).

Ωστόσο, οι παραδοσιακές προσεγγίσεις πρόβλεψης κινδύνων παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς. Η εξάρτηση από ιστορικά δεδομένα περιορισμένης κλίμακας, η υποκειμενικότητα της ανθρώπινης κρίσης και οι γνωστικές προκαταλήψεις των διαχειριστών έργων περιορίζουν την ακρίβεια των εκτιμήσεων, ιδίως σε περιβάλλοντα υψηλής πολυπλοκότητας (Kerzner, 2017). Οι περιορισμοί αυτοί καθιστούν εμφανή την ανάγκη για πιο προηγμένες προσεγγίσεις πρόβλεψης, οι οποίες να μπορούν να επεξεργάζονται μεγάλους όγκους δεδομένων και να εντοπίζουν μη προφανή πρότυπα κινδύνου.

Συνεπώς, η έννοια του κινδύνου στα έργα και η σημασία της πρόβλεψης αποτελούν κεντρικά ζητήματα της σύγχρονης διοίκησης έργων. Η αποτελεσματική πρόβλεψη δεν συνιστά απλώς τεχνική λειτουργία, αλλά στρατηγικό μηχανισμό που συνδέει τη διαχείριση κινδύνων με τη συνολική επιτυχία και βιωσιμότητα των έργων. Η αναγνώριση αυτής της σημασίας δημιουργεί το θεωρητικό υπόβαθρο για την περαιτέρω διερεύνηση προηγμένων εργαλείων, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα οποία υπόσχονται να ενισχύσουν ουσιαστικά την ικανότητα πρόβλεψης και διαχείρισης κινδύνων στα σύγχρονα έργα.

1.3 Η είσοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων

Η είσοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διοίκηση έργων συνιστά αποτέλεσμα μιας μακρόχρονης εξέλιξης τόσο της υπολογιστικής επιστήμης όσο και των διοικητικών επιστημών, η οποία επιταχύνθηκε ιδιαίτερα κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες λόγω της ραγδαίας αύξησης της υπολογιστικής ισχύος και της διαθεσιμότητας δεδομένων. Η Τεχνητή Νοημοσύνη, ήδη από τα πρώτα της θεωρητικά θεμέλια, ορίστηκε ως η προσπάθεια δημιουργίας συστημάτων ικανών να προσομοιώνουν πτυχές της ανθρώπινης νοημοσύνης, όπως η μάθηση, η λογική σκέψη και η επίλυση προβλημάτων (McCarthy et al., 1955). Παρότι οι αρχικές εφαρμογές ήταν περιορισμένες, οι βασικές αυτές αρχές

έθεσαν το υπόβαθρο για τη μελλοντική αξιοποίησή της σε σύνθετα διοικητικά περιβάλλοντα.

Η σύγχρονη διοίκηση έργων, ως πεδίο που χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας, πολυπλοκότητας και ανάγκης για ταχεία λήψη αποφάσεων, αποτέλεσε φυσικό χώρο εφαρμογής των τεχνολογιών ΤΝ. Η βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η παραδοσιακή διοίκηση έργων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ανθρώπινη κρίση και εμπειρία, στοιχεία τα οποία, αν και πολύτιμα, παρουσιάζουν περιορισμούς όταν καλούνται να διαχειριστούν μεγάλους όγκους δεδομένων και σύνθετες αλληλεπιδράσεις παραγόντων (Kerzner, 2017). Σε αυτό το πλαίσιο, η Τεχνητή Νοημοσύνη εισάγεται όχι ως υποκατάστατο του ανθρώπινου διαχειριστή έργου, αλλά ως συμπληρωματικό εργαλείο ενίσχυσης της διοικητικής ικανότητας.

Η μετάβαση αυτή συνδέεται άμεσα με τη γενικότερη εξέλιξη της ΤΝ από συστήματα βασισμένα σε κανόνες προς προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης και συνεργατικής νοημοσύνης. Η σύγχρονη βιβλιογραφία τονίζει ότι η αξία της ΤΝ έγκειται στη δυνατότητά της να λειτουργεί σε συνεργασία με τον άνθρωπο, ενισχύοντας τη δημιουργικότητα, τη λήψη αποφάσεων και την ικανότητα πρόβλεψης, αντί να την αντικαθιστά (Epstein, 2015). Η αντίληψη αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη στη διοίκηση έργων, όπου οι αποφάσεις συχνά ενσωματώνουν ποιοτικά κριτήρια και στρατηγικές εκτιμήσεις που δεν μπορούν να αυτοματοποιηθούν πλήρως.

Η είσοδος της ΤΝ στη διοίκηση έργων ενισχύθηκε περαιτέρω από την ευρύτερη ψηφιακή μετάβαση των οργανισμών και την ανάπτυξη προηγμένων πληροφοριακών συστημάτων διοίκησης. Η αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και εργαλείων ανάλυσης δεδομένων επέτρεψε τη συστηματική επεξεργασία ιστορικών και σε πραγματικό χρόνο δεδομένων έργων, δημιουργώντας νέες δυνατότητες για πρόβλεψη, έλεγχο και βελτιστοποίηση (Haenlein & Kaplan, 2019). Στο πλαίσιο αυτό, η ΤΝ άρχισε να ενσωματώνεται σταδιακά σε λειτουργίες όπως ο προγραμματισμός, η εκτίμηση κόστους και χρόνου, η παρακολούθηση προόδου και η διαχείριση κινδύνων.

Παράλληλα, η βιβλιογραφία της διοίκησης και της καινοτομίας αναδεικνύει ότι η ΤΝ μετασχηματίζει τα διοικητικά μοντέλα, μετατοπίζοντας το επίκεντρο από τη στατική ανάλυση προς τη δυναμική και προβλεπτική υποστήριξη αποφάσεων. Οι Agrawal, Gans και Goldfarb (2019) επισημαίνουν ότι η βασική συνεισφορά της ΤΝ έγκειται στη μείωση

του κόστους της πρόβλεψης, γεγονός που έχει άμεσες επιπτώσεις στη διοίκηση έργων, όπου οι προβλέψεις σχετικά με τον χρόνο, το κόστος και τους κινδύνους είναι καθοριστικές. Η δυνατότητα αυτή καθιστά εφικτή την έγκαιρη αναγνώριση αποκλίσεων και τη λήψη διορθωτικών μέτρων σε πρώιμα στάδια.

Η ενσωμάτωση της TN στη διοίκηση έργων δεν περιορίζεται μόνο σε τεχνικά ζητήματα, αλλά επηρεάζει και τον ρόλο του διαχειριστή έργου. Σύμφωνα με σύγχρονες προσεγγίσεις, ο ρόλος αυτός μετασχηματίζεται από εκτελεστικό και ελεγκτικό σε στρατηγικό και συντονιστικό, με έμφαση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που παράγονται από τα συστήματα TN και στη λήψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου (Haefner et al., 2021). Η αλλαγή αυτή αναδεικνύει τη σημασία της οργανωσιακής ετοιμότητας και της κατάλληλης ενσωμάτωσης της τεχνολογίας στα υφιστάμενα διοικητικά πλαίσια.

Η είσοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου μετασχηματισμού της διοικητικής σκέψης, ο οποίος ανταποκρίνεται στις αυξημένες απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής. Η TN δεν αντιμετωπίζεται ως πανάκεια, αλλά ως εργαλείο που, όταν ενσωματώνεται ορθά, μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση πολυπλοκότητας, την πρόβλεψη κινδύνων και τη λήψη αποφάσεων. Η κατανόηση της ιστορικής και εννοιολογικής αυτής εισόδου αποτελεί αναγκαίο βήμα για τη συστηματική διερεύνηση των εφαρμογών της TN στη διαχείριση κινδύνων έργων, η οποία αναπτύσσεται στα επόμενα κεφάλαια.

1.4 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Ο βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η θεωρητική διερεύνηση του ρόλου της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη σύγχρονη διοίκηση έργων, με έμφαση στη διαχείριση κινδύνων και ειδικότερα στις διαδικασίες πρόβλεψης, αξιολόγησης και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων. Η εργασία αποσκοπεί στη συστηματική χαρτογράφηση των εννοιολογικών και μεθοδολογικών προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, αναδεικνύοντας τόσο τις δυνατότητες όσο και τους περιορισμούς της αξιοποίησης της TN σε περιβάλλοντα έργων αυξημένης πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας (Kerzner, 2017; Haefner et al., 2021).

Σε ένα διοικητικό περιβάλλον όπου η επιτυχία των έργων εξαρτάται ολοένα και περισσότερο από την ικανότητα πρόβλεψης και έγκαιρης αντιμετώπισης κινδύνων, η TN εμφανίζεται ως κρίσιμο εργαλείο ενίσχυσης της διοικητικής ικανότητας. Όπως έχει

επισημανθεί στη σχετική βιβλιογραφία, η μείωση του κόστους της πρόβλεψης και η δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλων και ετερογενών συνόλων δεδομένων αποτελούν βασικούς μηχανισμούς μέσω των οποίων η ΤΝ επηρεάζει τη διοίκηση και τη λήψη αποφάσεων (Agrawal, Gans, & Goldfarb, 2019). Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία επιδιώκει να συμβάλει στη θεωρητική κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι τεχνολογίες ΤΝ μπορούν να ενσωματωθούν λειτουργικά στη διαχείριση κινδύνων έργων.

Ειδικότερα, οι στόχοι της εργασίας διαρθρώνονται σε τέσσερις αλληλένδετους άξονες. Πρώτον, επιδιώκεται η εννοιολογική αποσαφήνιση των βασικών όρων και εννοιών που αφορούν τόσο τη διαχείριση κινδύνων έργων όσο και την Τεχνητή Νοημοσύνη, προκειμένου να διαμορφωθεί ένα συνεκτικό θεωρητικό υπόβαθρο. Η αποσαφήνιση αυτή κρίνεται αναγκαία, καθώς η βιβλιογραφία συχνά παρουσιάζει ετερογένεια ως προς τους ορισμούς και τα όρια εφαρμογής των σχετικών εννοιών (Haenlein & Kaplan, 2019).

Δεύτερον, στόχος της εργασίας είναι η συστηματική ανάλυση των παραδοσιακών και σύγχρονων προσεγγίσεων διαχείρισης κινδύνων έργων, με έμφαση στους περιορισμούς των συμβατικών μεθόδων πρόβλεψης και αξιολόγησης. Μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, επιδιώκεται να αναδειχθούν τα σημεία στα οποία οι υφιστάμενες πρακτικές εμφανίζουν αδυναμίες, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλής πολυπλοκότητας και δυναμικών αλλαγών (Cooke-Davies, 2002; Radujković & Sjekavica, 2017).

Τρίτον, η εργασία στοχεύει στη θεωρητική διερεύνηση των τρόπων με τους οποίους η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση κινδύνων έργων σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής τους. Η ανάλυση επικεντρώνεται στη συμβολή της ΤΝ στην πρόβλεψη κινδύνων, στην ιεράρχηση και αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων, καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας των διοικητικών αποφάσεων. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με σύγχρονες θεωρητικές θέσεις που αντιμετωπίζουν την ΤΝ ως εργαλείο ενίσχυσης και όχι αντικατάστασης της ανθρώπινης κρίσης (Epstein, 2015; Haefner et al., 2021).

Τέταρτον, βασικός στόχος της εργασίας είναι η σύνθεση των θεωρητικών ευρημάτων και η διατύπωση ενός συνεκτικού θεωρητικού πλαισίου που να συνδέει τη διαχείριση κινδύνων έργων με τις δυνατότητες της Τεχνητής Νοημοσύνης. Μέσα από τη συγκριτική αξιολόγηση επιλεγμένων εφαρμογών και μελετών περίπτωσης από τη βιβλιογραφία, επιδιώκεται η ανάδειξη κοινών τάσεων, προτύπων και ερευνητικών κατευθύνσεων, καθώς

και η επισήμανση κενών γνώσης που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας (Ika, 2009; Haefner et al., 2021).

Συνολικά, ο σκοπός και οι στόχοι της παρούσας εργασίας αντανακλούν μια καθαρά θεωρητική και βιβλιογραφική προσέγγιση, η οποία φιλοδοξεί να συμβάλει στην εμβάθυνση της επιστημονικής συζήτησης γύρω από τη χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων και, ειδικότερα, στη διαχείριση κινδύνων. Η εργασία δεν επιδιώκει την εμπειρική επαλήθευση συγκεκριμένων μοντέλων, αλλά τη διαμόρφωση ενός ισχυρού θεωρητικού υποβάθρου που μπορεί να υποστηρίξει τόσο την ακαδημαϊκή έρευνα όσο και τη μελλοντική πρακτική εφαρμογή των τεχνολογιών ΤΝ στον χώρο της διοίκησης έργων.

1.5 Ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα εργασία, ακολουθώντας αυστηρά θεωρητική και βιβλιογραφική προσέγγιση, οργανώνεται γύρω από ένα σύνολο ερευνητικών ερωτημάτων τα οποία αποσκοπούν στη συστηματική κατανόηση του ρόλου της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) στη σύγχρονη διοίκηση έργων και, ειδικότερα, στη διαχείριση κινδύνων. Τα ερωτήματα αυτά δεν στοχεύουν σε εμπειρικό έλεγχο ή ποσοτική μέτρηση, αλλά στη διερεύνηση εννοιών, θεωρητικών πλαισίων και ερευνητικών τάσεων, όπως αυτές αποτυπώνονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Cooke-Davies, 2002; Ika, 2009).

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τον εννοιολογικό προσδιορισμό του κινδύνου στο πλαίσιο της σύγχρονης διοίκησης έργων και τον τρόπο με τον οποίο η έννοια αυτή έχει εξελιχθεί σε συνάρτηση με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των έργων. Συγκεκριμένα, διερευνάται πώς η βιβλιογραφία ορίζει και κατηγοριοποιεί τους κινδύνους έργων και με ποιον τρόπο οι αλλαγές στο διοικητικό περιβάλλον επηρεάζουν τις θεωρητικές προσεγγίσεις της διαχείρισής τους (Kerzner, 2017; Radujković & Sjekavica, 2017).

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα εστιάζει στους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης κινδύνων και πρόβλεψης στα έργα. Εξετάζεται σε ποιο βαθμό οι συμβατικές προσεγγίσεις, οι οποίες βασίζονται κυρίως στην ανθρώπινη κρίση και σε στατικά μοντέλα ανάλυσης, επαρκούν για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας σε δυναμικά και πολύπλοκα περιβάλλοντα έργων. Η διερεύνηση αυτή συνδέεται με την ευρύτερη συζήτηση γύρω από τους κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας και αποτυχίας των έργων (Baker et al., 1997; Cooke-Davies, 2002).

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τον θεωρητικό ρόλο της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων και ειδικότερα στη διαχείριση κινδύνων. Διερευνάται πώς η βιβλιογραφία προσεγγίζει τη συμβολή της TN στη μείωση της αβεβαιότητας, στην πρόβλεψη μελλοντικών εξελίξεων και στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων, καθώς και με ποιον τρόπο η TN αντιμετωπίζεται ως εργαλείο ενίσχυσης της ανθρώπινης διοικητικής ικανότητας και όχι ως υποκατάστατό της (Epstein, 2015; Haenlein & Kaplan, 2019).

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα εστιάζει στη σύνδεση της Τεχνητής Νοημοσύνης με τα επιμέρους στάδια του κύκλου ζωής των έργων. Εξετάζεται θεωρητικά πώς και σε ποια στάδια—σχεδιασμός, εκτέλεση, παρακολούθηση και έλεγχος—η TN μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικότερα στη διαχείριση κινδύνων, σύμφωνα με τα ερευνητικά ευρήματα και τα θεωρητικά μοντέλα που έχουν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (PMI, 2021; Haefner et al., 2021).

Τέλος, το πέμπτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τα όρια και τους περιορισμούς της εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων. Διερευνάται ποια θεωρητικά και πρακτικά εμπόδια αναδεικνύονται στη βιβλιογραφία, όπως ζητήματα διαφάνειας, ερμηνευσιμότητας, οργανωσιακής ετοιμότητας και εξάρτησης από δεδομένα, καθώς και ποιες κατευθύνσεις προτείνονται για μελλοντική έρευνα και εξέλιξη των σχετικών προσεγγίσεων (Haefner et al., 2021; Agrawal et al., 2019).

Τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας λειτουργούν ως θεωρητικός οδηγός για τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και τη σύνθεση των ευρημάτων. Μέσα από τη συστηματική διερεύνησή τους, η εργασία επιδιώκει να συμβάλει στη διαμόρφωση ενός συνεκτικού θεωρητικού πλαισίου που να συνδέει τη διαχείριση κινδύνων έργων με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς της Τεχνητής Νοημοσύνης στη σύγχρονη διοίκηση έργων.

1.6 Μεθοδολογική προσέγγιση και δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία υιοθετεί αυστηρά θεωρητική και βιβλιογραφική μεθοδολογική προσέγγιση, με στόχο τη συστηματική διερεύνηση της σχέσης μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης και διαχείρισης κινδύνων έργων, όπως αυτή αποτυπώνεται στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας αιτιολογείται από τη φύση του ερευνητικού αντικειμένου, το οποίο αφορά έννοιες, θεωρητικά μοντέλα και ερευνητικές τάσεις που βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη και δεν επιδέχονται άμεση

εμπειρική αποτύπωση χωρίς προηγούμενη εννοιολογική χαρτογράφηση (Ika, 2009; Haefner et al., 2021).

Η μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας βασίζεται στη αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση και σύνθεση δευτερογενών πηγών, όπως επιστημονικά άρθρα, μονογραφίες και θεσμικές εκδόσεις διεθνώς αναγνωρισμένων οργανισμών στον χώρο της διοίκησης έργων και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν περιορίζεται σε περιγραφική παράθεση προηγούμενων μελετών, αλλά επιδιώκει τη συγκριτική ανάλυση και την κριτική αποτίμηση των θεωρητικών προσεγγίσεων που έχουν προταθεί. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τη θέση ότι η επιστημονική πρόοδος στη διοίκηση έργων προϋποθέτει τη σύνθεση υφιστάμενης γνώσης και την ανάδειξη ερευνητικών κενών, πριν από την ανάπτυξη νέων εμπειρικών μοντέλων (Cooke-Davies, 2002).

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας οργανώνεται μέσω θεματικής κατηγοριοποίησης των πηγών, με άξονες που αφορούν τη διαχείριση κινδύνων έργων, τις παραδοσιακές και σύγχρονες μεθόδους πρόβλεψης, καθώς και τις εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση. Η θεματική αυτή προσέγγιση επιτρέπει την αναγνώριση κοινών εννοιολογικών πλαισίων, διαφοροποιήσεων μεταξύ σχολών σκέψης και εξελικτικών τάσεων στη βιβλιογραφία. Παράλληλα, δίνεται έμφαση στη διαχρονική εξέλιξη των θεωρητικών προσεγγίσεων, προκειμένου να καταδειχθεί πώς η είσοδος της Τεχνητής Νοημοσύνης επηρεάζει και αναδιαμορφώνει υφιστάμενα διοικητικά μοντέλα (Kerzner, 2017; Haenlein & Kaplan, 2019).

Η εργασία δεν περιλαμβάνει πρωτογενή συλλογή δεδομένων, ποσοτική ανάλυση ή εμπειρική επαλήθευση υποθέσεων. Αντιθέτως, αξιοποιεί επιλεγμένες μελέτες περίπτωσης αποκλειστικά ως θεωρητικά παραδείγματα, αντλημένα από τη βιβλιογραφία, με σκοπό την ερμηνευτική κατανόηση των εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης σε διαφορετικούς τύπους έργων. Η χρήση των μελετών αυτών δεν αποσκοπεί στη γενίκευση αποτελεσμάτων, αλλά στην ενίσχυση της θεωρητικής συζήτησης και στη σύνδεση αφηρημένων εννοιών με συγκεκριμένα διοικητικά πλαίσια (Radujković & Sjekavica, 2017).

Ως προς τη δομή της, η εργασία οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια και συμπληρωματικές θεματικές ενότητες και συμπληρωματικές θεματικές ενότητες, τα οποία ακολουθούν μια λογική πορεία από το γενικό στο ειδικό. Το πρώτο κεφάλαιο εισάγει το γενικό πλαίσιο της

σύγχρονης διοίκησης έργων, παρουσιάζει την έννοια του κινδύνου, την είσοδο της Τεχνητής Νοημοσύνης στο πεδίο και καθορίζει τον σκοπό, τους στόχους, τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας. Το δεύτερο κεφάλαιο εστιάζει στο θεωρητικό υπόβαθρο της διαχείρισης κινδύνων έργων, αναλύοντας βασικές έννοιες, τύπους κινδύνων και παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης. Το τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζει τις θεμελιώδεις έννοιες και τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης, με έμφαση στη διοικητική και οργανωσιακή τους διάσταση. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η κεντρική θεωρητική ανάλυση της εργασίας, όπου εξετάζονται οι εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων και συγκρίνονται διαφορετικές προσεγγίσεις και τομείς εφαρμογής. Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο συνθέτει τα θεωρητικά ευρήματα, συζητά τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων και διατυπώνει προτάσεις για μελλοντική έρευνα (Ika, 2009; Haefner et al., 2021).

Η μεθοδολογική προσέγγιση και η δομή της εργασίας έχουν σχεδιαστεί ώστε να διασφαλίζουν εσωτερική συνοχή, επιστημονική τεκμηρίωση και θεωρητική πληρότητα. Μέσα από τη συστηματική βιβλιογραφική ανάλυση και τη δομημένη ανάπτυξη των κεφαλαίων, η εργασία επιδιώκει να προσφέρει ένα συνεκτικό θεωρητικό πλαίσιο για την κατανόηση του ρόλου της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων στη σύγχρονη εποχή.

1.7 Η αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση ως μεθοδολογική επιλογή

Η παρούσα εργασία τοποθετείται με μεγαλύτερη ακρίβεια στο πεδίο της αφηγηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης, καθώς ο κύριος στόχος της δεν είναι η εξαντλητική στατιστική αποτύπωση όλων των διαθέσιμων δημοσιεύσεων, αλλά η ερμηνευτική και κριτική σύνθεση ενός σύνθετου, διεπιστημονικού πεδίου. Η σχέση μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης και διαχείρισης κινδύνων έργων δεν συγκροτείται από μία ενιαία σχολή σκέψης, αλλά από διασταυρούμενες βιβλιογραφίες που προέρχονται από τη διοίκηση έργων, την ανάλυση κινδύνων, την επιστήμη δεδομένων, τα πληροφοριακά συστήματα, τη διαχείριση γνώσης και την ηθική της Τεχνητής Νοημοσύνης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αφηγηματική ανασκόπηση επιτρέπει τη σύνδεση διαφορετικών θεωρητικών παραδόσεων, την ανάδειξη εννοιολογικών μετατοπίσεων και τη διατύπωση συνθετικών

συμπερασμάτων, χωρίς να περιορίζεται αποκλειστικά στη μηχανιστική καταμέτρηση μελετών (Baumeister & Leary, 1997; Snyder, 2019).

Η επιλογή της αφηγηματικής προσέγγισης είναι ιδιαίτερα κατάλληλη όταν το αντικείμενο μελέτης βρίσκεται σε φάση ταχείας εξέλιξης και όταν οι έννοιες που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία δεν έχουν ακόμη πλήρως σταθεροποιηθεί. Η Τεχνητή Νοημοσύνη στη διαχείριση έργων περιλαμβάνει διαφορετικές τεχνολογίες, όπως μηχανική μάθηση, βαθιά μάθηση, επεξεργασία φυσικής γλώσσας, υπολογιστική όραση, ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και παραγωγική ΤΝ. Παράλληλα, η διαχείριση κινδύνων έργων περιλαμβάνει τόσο καθιερωμένα πρότυπα και διαδικασίες όσο και πιο σύγχρονες προσεγγίσεις που εστιάζουν στην αβεβαιότητα, στην πολυπλοκότητα και στη δυναμική λήψη αποφάσεων. Η αφηγηματική ανασκόπηση επιτρέπει την οργάνωση αυτής της πολυμορφίας σε θεματικούς άξονες, ώστε να αναδειχθεί η θεωρητική σχέση μεταξύ των επιμέρους πεδίων (Grant & Booth, 2009; Greenhalgh et al., 2018).

Σε αντίθεση με μια συστηματική ανασκόπηση, η παρούσα μελέτη δεν ακολουθεί πρωτόκολλο τύπου PRISMA, δεν θέτει αυστηρά κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού με σκοπό την αναπαραγωγική επιλογή όλων των σχετικών άρθρων και δεν επιχειρεί μετα-ανάλυση ή ποσοτική σύγκριση αποτελεσμάτων. Αντίθετα, αξιοποιεί επιλεγμένες, έγκυρες και υψηλής συνάφειας πηγές, με σκοπό να συγκροτήσει μια συνεκτική αφήγηση γύρω από το πώς η ΤΝ μετασχηματίζει τη διαχείριση κινδύνων έργων. Αυτό δεν μειώνει την επιστημονική αξία της εργασίας, εφόσον η επιλογή των πηγών γίνεται τεκμηριωμένα και η σύνθεση δεν περιορίζεται σε περιγραφή, αλλά οδηγεί σε κριτική αποτίμηση, εννοιολογική ταξινόμηση και ανάδειξη ερευνητικών κενών (Baumeister & Leary, 1997; Booth et al., 2021).

Πίνακας 1. Διαφορές αφηγηματικής και συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Κριτήριο	Αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση	Συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση
Κύριος στόχος	Ερμηνευτική σύνθεση, θεωρητική κατανόηση και ανάδειξη τάσεων.	Εξαντλητική αναζήτηση, αξιολόγηση και αναπαραγώγιμη σύνθεση τεκμηρίων.
Επιλογή πηγών	Στοχευμένη επιλογή έγκυρων και αντιπροσωπευτικών πηγών.	Προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού.
Μορφή ανάλυσης	Θεματική, εννοιολογική και κριτική σύνθεση.	Πρωτόκολλο, διάγραμμα ροής, ενδεχομένως ποσοτική σύνθεση.
Καταλληλότητα	Κατάλληλη για σύνθετα ή αναδυόμενα πεδία με ετερογενή βιβλιογραφία.	Κατάλληλη για σαφώς οριοθετημένα ερωτήματα και συγκρίσιμα δεδομένα.

Η αξιοπιστία μιας αφηγηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης εξαρτάται από τη σαφήνεια της ερευνητικής εστίασης, την ποιότητα των πηγών, την ισορροπία μεταξύ κλασικών και πρόσφατων δημοσιεύσεων, καθώς και την ικανότητα του ερευνητή να εντοπίζει θεωρητικές σχέσεις και όχι απλώς να συνοψίζει κείμενα. Για τον λόγο αυτόν, η παρούσα εργασία δεν αντιμετωπίζει τη βιβλιογραφία ως απλή συλλογή παραθεμάτων, αλλά ως πεδίο διαλόγου ανάμεσα σε διαφορετικές προσεγγίσεις: την κανονιστική προσέγγιση των προτύπων διαχείρισης κινδύνων, την κριτική προσέγγιση της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας, την τεχνολογική προσέγγιση της μηχανικής μάθησης και την οργανωσιακή προσέγγιση της ανθρώπινης κρίσης και της λογοδοσίας.

Στο πλαίσιο αυτό, η ανασκόπηση οργανώνεται αφηγηματικά γύρω από τέσσερις βασικές κινήσεις. Πρώτον, αποσαφηνίζεται η έννοια του κινδύνου και οι περιορισμοί των συμβατικών εργαλείων. Δεύτερον, παρουσιάζεται η Τεχνητή Νοημοσύνη ως τεχνολογικό και διοικητικό φαινόμενο. Τρίτον, αναλύονται οι εφαρμογές της ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων ανά φάση, κατηγορία κινδύνου και τεχνολογική οικογένεια. Τέταρτον, τα ευρήματα συντίθενται σε ένα προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο που αναδεικνύει τη συμπληρωματική σχέση ανθρώπινης κρίσης, δεδομένων, αλγοριθμικής πρόβλεψης και οργανωσιακής ωριμότητας. Έτσι, η εργασία διατηρεί καθαρά θεωρητικό χαρακτήρα, αλλά επιχειρεί να παραγάγει προστιθέμενη αξία μέσα από τη σύνθεση και όχι μέσα από πρωτογενή εμπειρική μέτρηση.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Διαχείρισης Κινδύνων Έργων

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο εδράζεται η μελέτη της συμβολής της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων. Επιχειρούμε αρχικά να αποσαφηνίσουμε τις θεμελιώδεις έννοιες και τους ορισμούς που συγκροτούν το πεδίο, ώστε να καταστεί σαφές το εννοιολογικό πλαίσιο εντός του οποίου κινούμαστε. Στη συνέχεια εξετάζουμε τις βασικές κατηγορίες κινδύνων που απαντώνται στα έργα, τις παραδοσιακές μεθόδους αναγνώρισης και αξιολόγησής τους, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο η διαχείριση κινδύνων ενσωματώνεται στον κύκλο ζωής του έργου. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με κριτική αποτίμηση των περιορισμών που χαρακτηρίζουν τις συμβατικές προσεγγίσεις, αποτίμηση που θεμελιώνει τη μετάβαση προς τις τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης η οποία αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια.

2.1 Έννοιες και ορισμοί στη διαχείριση κινδύνων έργων

Η έννοια του κινδύνου αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του πεδίου και έχει αποτυπωθεί σε διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα και σώματα γνώσης. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Organization for Standardization [ISO], 2018), ο κίνδυνος ορίζεται ως η επίδραση της αβεβαιότητας στους στόχους, όπου η επίδραση νοείται ως απόκλιση, θετική ή αρνητική, από το αναμενόμενο. Ο ορισμός αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός, διότι αποσυνδέει εννοιολογικά τον κίνδυνο από την αποκλειστικά αρνητική του χροιά και τον συνδέει ευθέως με τους στόχους του οργανισμού ή του έργου. Στο ίδιο πνεύμα, το Σώμα Γνώσης Διοίκησης Έργων (Project Management Institute [PMI], 2021) προσδιορίζει τον κίνδυνο έργου ως αβέβαιο γεγονός ή συνθήκη που, εφόσον επέλθει, επιφέρει συνέπειες σε έναν ή περισσότερους στόχους του έργου, όπως το αντικείμενο, το χρονοδιάγραμμα, το κόστος και την ποιότητα.

Κρίσιμη για την κατανόηση του πεδίου είναι η διάκριση ανάμεσα στον κίνδυνο και την αβεβαιότητα. Οι Ward και Chapman (2003) υποστηρίζουν ότι ο ίδιος ο όρος κίνδυνος καλλιεργεί μια στενή, απειλοκεντρική οπτική, καθώς συνδέεται κατά κανόνα με διακριτά γεγονότα και όχι με τις ευρύτερες πηγές αβεβαιότητας που διατρέχουν ένα έργο. Για τον λόγο αυτόν προτείνουν τη μετατόπιση από τη διαχείριση κινδύνων προς τη διαχείριση αβεβαιότητας, ώστε η ανάλυση να καλύπτει τόσο τις απειλές όσο και τις ευκαιρίες, καθώς και τη διαφορούμενη γνώση που χαρακτηρίζει τα πρώιμα στάδια του έργου. Η θέση αυτή συνδέεται με την επιχειρηματολογία του Hillson (2002), ο οποίος υποστηρίζει ότι η

διεργασία διαχείρισης κινδύνων οφείλει να επεκταθεί ώστε να αντιμετωπίζει ισότιμα τις απειλές και τις ευκαιρίες, εφόσον και οι δύο αποτελούν εκφάνσεις της ίδιας υποκείμενης αβεβαιότητας και μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσα από μια ενιαία, κατάλληλα προσαρμοσμένη διαδικασία.

Με βάση τα παραπάνω, ως διαχείριση κινδύνων έργου ορίζουμε τη συστηματική και επαναληπτική διεργασία αναγνώρισης, ανάλυσης, αξιολόγησης και αντιμετώπισης των κινδύνων, με στόχο τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών των ευνοϊκών γεγονότων και την ελαχιστοποίηση εκείνων των δυσμενών (PMI, 2021). Λειτουργικά, ο κίνδυνος αποτυπώνεται συνήθως ως συνάρτηση δύο συνιστωσών, της πιθανότητας επέλευσης και του μεγέθους της επίπτωσης, γινόμενο που τροφοδοτεί την ιεράρχηση των κινδύνων και την κατανομή των διαθέσιμων πόρων. Ο Πίνακας 2 συνοψίζει τους βασικούς ορισμούς του κινδύνου όπως διατυπώνονται από τις κυριότερες πηγές του πεδίου.

Πίνακας 2. Ορισμοί του κινδύνου κατά πηγή.

Πηγή	Ορισμός / βασική θέση	Οπτική κινδύνου
ISO 31000:2018	Επίδραση της αβεβαιότητας στους στόχους (θετική ή αρνητική απόκλιση από το αναμενόμενο).	Διττή (απειλή και ευκαιρία)
PMI (PMBOK, 2021)	Αβέβαιο γεγονός ή συνθήκη που, εφόσον επέλθει, επηρεάζει τους στόχους του έργου.	Διττή
Hillson (2002)	Αβεβαιότητα που, αν επέλθει, επηρεάζει τους στόχους, με απειλές και ευκαιρίες σε ενιαία διεργασία.	Διττή
Ward & Chapman (2003)	Μετάβαση από τον κίνδυνο ως γεγονός στη διαχείριση της ευρύτερης αβεβαιότητας.	Διαχείριση αβεβαιότητας

2.2 Τύποι κινδύνων στα έργα

Η αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων προϋποθέτει την κατηγοριοποίησή τους, καθώς η συστηματική ταξινόμηση διευκολύνει τόσο την πληρέστερη αναγνώριση όσο και την κατανόηση των γενεσιουργών αιτίων. Μια διαδεδομένη προσέγγιση διακρίνει τους κινδύνους σε εσωτερικούς, οι οποίοι απορρέουν από παράγοντες εντός του ελέγχου της ομάδας έργου, και σε εξωτερικούς, οι οποίοι προέρχονται από το ευρύτερο περιβάλλον. Παράλληλα, στη διεθνή πρακτική έχει καθιερωθεί η χρήση της Δομής Ανάλυσης Κινδύνου (Risk Breakdown Structure), μιας ιεραρχικής αναπαράστασης που οργανώνει τις πηγές κινδύνου σε επίπεδα αυξανόμενης λεπτομέρειας (Hillson, 2002, PMI, 2021). Η δομή αυτή λειτουργεί ανάλογα με τη Δομή Ανάλυσης Εργασιών και συμβάλλει ώστε

καμία σημαντική κατηγορία κινδύνου να μην παραλείπεται κατά τη φάση της αναγνώρισης.



Σχήμα 1. Ενδεικτική Δομή Ανάλυσης Κινδύνου (RBS) για ένα τεχνικό έργο.

Στο ανώτερο επίπεδο, οι κίνδυνοι ενός έργου ταξινομούνται συνήθως σε τέσσερις βασικές κατηγορίες. Οι τεχνικοί κίνδυνοι σχετίζονται με τις απαιτήσεις, την τεχνολογία, την πολυπλοκότητα και τις επιδόσεις. Οι διοικητικοί ή οργανωσιακοί κίνδυνοι αφορούν τους πόρους, τον χρονισμό, την επικοινωνία και τις προτεραιότητες του οργανισμού. Οι εμπορικοί κίνδυνοι συνδέονται με τις συμβάσεις, τους προμηθευτές και τη χρηματοδότηση, ενώ οι εξωτερικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο, τις μακροοικονομικές συνθήκες και το φυσικό περιβάλλον. Ο Πίνακας 2.2 παρουσιάζει τις κατηγορίες αυτές μαζί με ενδεικτικές πηγές κινδύνου για κάθε μία.

Πίνακας 3. Κατηγορίες κινδύνων έργου και ενδεικτικές πηγές.

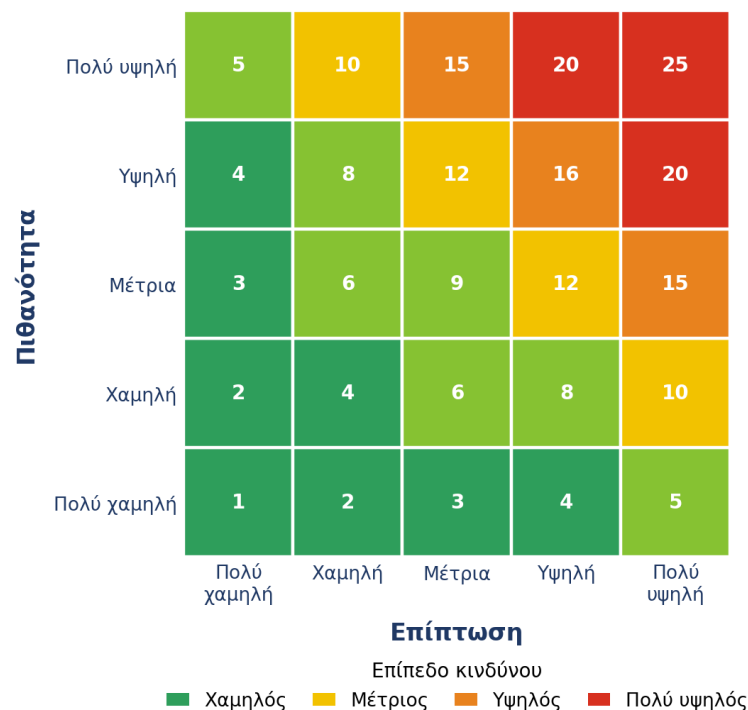
Κατηγορία	Ενδεικτικές πηγές κινδύνου	Παράδειγμα
Τεχνικοί	Ασάφεια απαιτήσεων, ανώριμη τεχνολογία, τεχνική πολυπλοκότητα, ποιότητα.	Αστοχία νέας τεχνολογικής λύσης
Διοικητικοί / Οργανωσιακοί	Ανεπαρκείς πόροι, μη ρεαλιστικός χρονισμός, αδύναμη επικοινωνία.	Καθυστερήση λόγω έλλειψης προσωπικού
Εμπορικοί	Όροι συμβάσεων, αξιοπιστία προμηθευτών, ταμειακή ροή και χρηματοδότηση.	Πτώχευση βασικού υπεργολάβου
Εξωτερικοί	Νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο, αγορά και οικονομία, φυσικοί παράγοντες.	Μεταβολή θεσμικού πλαισίου

2.3 Παραδοσιακές μέθοδοι αναγνώρισης και αξιολόγησης κινδύνων

Η αναγνώριση των κινδύνων αποτελεί την αφετηρία κάθε διεργασίας διαχείρισης, καθώς κίνδυνος που δεν έχει εντοπιστεί δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί. Στην παραδοσιακή

πρακτική αξιοποιείται ένα ευρύ φάσμα τεχνικών, όπως ο καταγιγισμός ιδεών, η μέθοδος Delphi, οι κατάλογοι ελέγχου, οι δομημένες συνεντεύξεις και η ανάλυση SWOT. Σε εμπειρική έρευνά τους, οι Raz και Michael (2001) κατέγραψαν τη συχνότητα χρήσης και την αντιλαμβανόμενη χρησιμότητα διαφόρων εργαλείων, διαπιστώνοντας ότι ο καταγιγισμός ιδεών, οι κατάλογοι ελέγχου και οι περιοδικές αναφορές κινδύνου συγκαταλέγονται στα πλέον διαδεδομένα, ενώ η διαίσθηση, η κρίση και η εμπειρία των στελεχών εξακολουθούν να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο.

Μετά την αναγνώριση, οι κίνδυνοι αξιολογούνται είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά. Η ποιοτική ανάλυση εστιάζει στην ιεράρχηση των κινδύνων βάσει της πιθανότητας και της επίπτωσής τους, με κατεξοχήν εργαλείο τη μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης. Η μήτρα αυτή, που απεικονίζεται στο Σχήμα 2, κατατάσσει κάθε κίνδυνο σε ζώνες προτεραιότητας και καθοδηγεί τη διοίκηση ως προς το ποιοι κίνδυνοι απαιτούν άμεση προσοχή. Η απλότητα και η εποπτικότητα της εξηγούν την ευρεία αποδοχή της στην πράξη.



Σχήμα 2. Μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης για την ιεράρχηση κινδύνων.

Η ποσοτική ανάλυση, αντιθέτως, αποδίδει αριθμητικές τιμές στους κινδύνους και επιχειρεί να εκτιμήσει τη συνολική τους επίδραση στους στόχους του έργου. Σε αυτήν εντάσσονται τεχνικές όπως η προσομοίωση Monte Carlo, η ανάλυση δένδρων αποφάσεων, η ανάλυση ευαισθησίας και ο υπολογισμός της αναμενόμενης χρηματικής

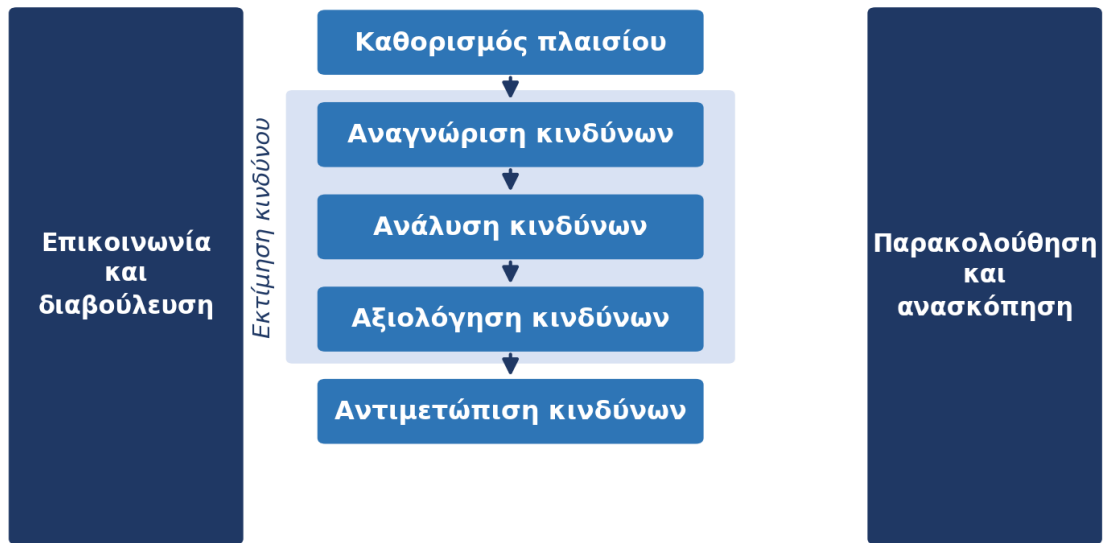
αξίας (Chapman & Ward, 2003, PMI, 2021). Οι μέθοδοι αυτές προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια και τη δυνατότητα μοντελοποίησης της αβεβαιότητας, απαιτούν όμως αξιόπιστα δεδομένα και εξειδικευμένη γνώση, γεγονός που συχνά περιορίζει την εφαρμογή τους. Ο Πίνακας 4 αντιπαραβάλλει τις δύο κατηγορίες προσεγγίσεων.

Πίνακας 4. Ποιοτικές και ποσοτικές μέθοδοι αξιολόγησης κινδύνων.

Διάσταση	Ποιοτικές μέθοδοι	Ποσοτικές μέθοδοι
Σκοπός	Ιεράρχηση κινδύνων κατά προτεραιότητα.	Αριθμητική εκτίμηση της συνολικής επίδρασης.
Ενδεικτικά εργαλεία	Μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης, κατάλογοι ελέγχου.	Monte Carlo, δένδρα αποφάσεων, ανάλυση ευαισθησίας.
Δεδομένα	Κρίση εμπειρογνομώνων, ποιοτικές κλίμακες.	Ιστορικά και αριθμητικά δεδομένα, κατανομές.
Πλεονεκτήματα	Ταχύτητα, απλότητα, εποπτικότητα.	Ακρίβεια, μοντελοποίηση αβεβαιότητας.
Περιορισμοί	Υποκειμενικότητα, χονδρική διαβάθμιση.	Απαιτήσεις σε δεδομένα και τεχνογνωσία.

2.4 Κύκλος ζωής έργου και ενσωμάτωση της διαχείρισης κινδύνων

Η διαχείριση κινδύνων δεν συνιστά μεμονωμένη ενέργεια αλλά συνεχή και επαναληπτική διεργασία που διατρέχει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του έργου, από τη σύλληψη και τον σχεδιασμό έως την εκτέλεση, τον έλεγχο και την περάτωση (Raz & Michael, 2001, PMI, 2021). Το πρότυπο ISO 31000:2018 περιγράφει μια δομημένη ακολουθία βημάτων που περιλαμβάνει τον καθορισμό του πλαισίου, την εκτίμηση του κινδύνου, η οποία αναλύεται περαιτέρω σε αναγνώριση, ανάλυση και αξιολόγηση, και εν συνεχεία την αντιμετώπιση των κινδύνων, ενώ η επικοινωνία, η διαβούλευση, η παρακολούθηση και η ανασκόπηση διατρέχουν εγκάρσια το σύνολο της διεργασίας (ISO, 2018). Το Σχήμα 3 αποτυπώνει τη λογική αυτή ροή.



Σχήμα 3. Η διεργασία διαχείρισης κινδύνων κατά το πρότυπο ISO 31000:2018.

Η ενσωμάτωση της διεργασίας στον κύκλο ζωής του έργου σημαίνει ότι το προφίλ των κινδύνων δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται διαρκώς. Στα πρώιμα στάδια, η αβεβαιότητα είναι μέγιστη και η γνώση περιορισμένη, ωστόσο το κόστος των διορθωτικών παρεμβάσεων είναι χαμηλό. Καθώς το έργο προχωρεί, η αβεβαιότητα μειώνεται αλλά το κόστος αντιμετώπισης των κινδύνων αυξάνεται. Αυτή ακριβώς η δυναμική καθιστά απαραίτητη την επαναληπτική επανεκτίμηση των κινδύνων σε κάθε φάση, ώστε οι αποφάσεις να ευθυγραμμίζονται με την εκάστοτε διαθέσιμη πληροφορία. Η συστηματική αυτή ενσωμάτωση συνδέεται άλλωστε στενά με την επιτυχία του έργου, καθώς η έγκαιρη αναγνώριση και αντιμετώπιση των απειλών αποτελεί αναγνωρισμένο παράγοντα επιτυχίας (Radujković & Sjekavica, 2017).

2.5 Περιορισμοί των συμβατικών προσεγγίσεων

Παρά τη θεσμική τους καθιέρωση και τη χρησιμότητά τους, οι συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης κινδύνων εμφανίζουν σημαντικούς περιορισμούς. Ένας πρώτος περιορισμός σχετίζεται με την έντονη εξάρτηση από την υποκειμενική κρίση. Όπως προαναφέρθηκε, η διαίσθηση και η εμπειρία των στελεχών παραμένουν κυρίαρχες στην πράξη (Raz & Michael, 2001), γεγονός που εισάγει μεταβλητότητα και μειώνει τη συνέπεια των εκτιμήσεων. Ένας δεύτερος περιορισμός αφορά τη στατική φύση πολλών εκτιμήσεων και την εξάρτησή τους από ιστορικά δεδομένα περιορισμένης κλίμακας, τα οποία δεν

αποτυπώνουν επαρκώς τη δυναμική και ταχέως μεταβαλλόμενη φύση των σύγχρονων έργων.

Ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα συνιστούν οι γνωσιακές προκαταλήψεις. Ο Flyvbjerg (2006) τεκμηριώνει ότι οι εκτιμήσεις κόστους και ζήτησης σε μεγάλα έργα υπόκεινται συστηματικά σε αισιοδοξική προκατάληψη και σε στρατηγική παραποίηση, με αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενες υπερβάσεις προϋπολογισμού και χρονοδιαγράμματος. Ως αντίμετρο προτείνει την πρόβλεψη με βάση κλάση αναφοράς, η οποία στηρίζει τις εκτιμήσεις στην πραγματική επίδοση συγκρίσιμων έργων αντί στην εσωτερική, συχνά μεροληπτική, οπτική της ομάδας. Η διαπίστωση αυτή αναδεικνύει ότι το πρόβλημα δεν εντοπίζεται μόνο στα εργαλεία αλλά και στους ανθρώπινους γνωσιακούς μηχανισμούς που τα τροφοδοτούν.

Επιπλέον, η αυξανόμενη πολυπλοκότητα και η αλληλεξάρτηση των σύγχρονων έργων αποκαλύπτουν τα όρια των απειλοκεντρικών και γεγονотоκεντρικών προσεγγίσεων, οι οποίες αδυνατούν να συλλάβουν την ευρύτερη αβεβαιότητα του εγχειρήματος (Ward & Chapman, 2003). Δεν εκπλήσσει, επομένως, το γεγονός ότι η εμπειρική τεκμηρίωση σχετικά με τη συμβολή της διαχείρισης κινδύνων στην επιτυχία των έργων παραμένει μικτή. Σε μετα-ανάλυση της σχετικής βιβλιογραφίας, οι de Bakker, Boonstra και Wortmann (2010) καταλήγουν ότι τα στοιχεία που τεκμηριώνουν άμεση και σαφή συνεισφορά είναι λιγότερο ισχυρά από όσο συχνά υποτίθεται, ιδίως όταν η διαχείριση κινδύνων αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως τυπική, μηχανιστική διαδικασία.

Συνολικά, οι περιορισμοί αυτοί, η υποκειμενικότητα, η στατικότητα, η ευπάθεια σε γνωσιακές προκαταλήψεις και η δυσκολία διαχείρισης της πολυπλοκότητας, συγκροτούν το κενό που οι σύγχρονες τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης φιλοδοξούν να καλύψουν. Η ικανότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων, αναγνώρισης μη γραμμικών προτύπων και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε συνθήκες αβεβαιότητας τοποθετεί την Τεχνητή Νοημοσύνη ως δυνητικά συμπληρωματικό εργαλείο ενίσχυσης της παραδοσιακής πρακτικής, ζήτημα που πραγματευόμαστε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

2.6 Πρότυπα και πλαίσια διαχείρισης κινδύνων

Η πρακτική της διαχείρισης κινδύνων έχει τυποποιηθεί μέσα από μια σειρά διεθνών προτύπων και πλαισίων, τα οποία προσφέρουν δομημένες διαδικασίες και κοινή ορολογία.

Τα πλέον διαδεδομένα είναι ο οδηγός γνώσης για τη διοίκηση έργων (PMBOK) του Project Management Institute, το πρότυπο ISO 31000, η μέθοδος PRINCE2 και το πλαίσιο Management of Risk (M_o_R). Παρά τις επιμέρους διαφορές τους, όλα συγκλίνουν στον θεμελιώδη κύκλο της αναγνώρισης, της ανάλυσης, της αντιμετώπισης και της παρακολούθησης των κινδύνων.

Ο οδηγός PMBOK αντιμετωπίζει τη διαχείριση κινδύνων ως διακριτή περιοχή γνώσης, οργανωμένη σε διεργασίες σχεδιασμού, αναγνώρισης, ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης, σχεδιασμού και υλοποίησης αποκρίσεων, καθώς και παρακολούθησης (PMI, 2021). Το πρότυπο ISO 31000, αντίθετα, υιοθετεί μια γενικότερη οπτική, παρέχοντας αρχές, ένα πλαίσιο και μια διεργασία διαχείρισης κινδύνου που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδους οργανισμό και δραστηριότητα, όχι μόνο σε έργα (ISO, 2018). Η ευελιξία αυτή έχει καταστήσει το ISO 31000 ένα ευρύτερο σημείο αναφοράς, υπό το οποίο εντάσσονται πολλές κλαδικές προσεγγίσεις.

Παράλληλα, η μέθοδος PRINCE2 και το πλαίσιο Management of Risk, αμφότερα βρετανικής προέλευσης, προσφέρουν μια συμπληρωματική οπτική. Η PRINCE2, ως ολοκληρωμένη μέθοδος διοίκησης έργων, ενσωματώνει τη διαχείριση κινδύνου ως μία από τις βασικές της θεματικές, ενώ το Management of Risk αποτελεί αποκλειστικό πλαίσιο με αρχές, προσέγγιση, διεργασίες και έμφαση στην ενσωμάτωση της διαχείρισης κινδύνου στην οργανωσιακή κουλτούρα. Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, η αναλυτική προσέγγιση των Chapman και Ward (2003) προτείνει μια πιο λεπτομερή διεργασία πολλών φάσεων, που εμβαθύνει στη δομημένη αντιμετώπιση της αβεβαιότητας.

Πίνακας 5..Σύγκριση βασικών προτύπων και πλαισίων διαχείρισης κινδύνων.

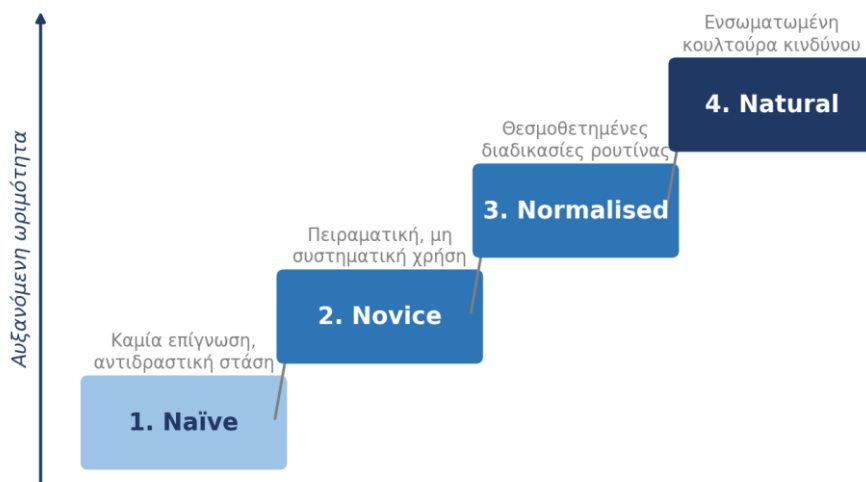
Πρότυπο / Πλαίσιο	Φορέας / Προέλευση	Βασικό χαρακτηριστικό
PMBOK	PMI (ΗΠΑ)	Περιοχή γνώσης με διακριτές διεργασίες κινδύνου.
ISO 31000	ISO (διεθνές)	Γενικές αρχές, πλαίσιο και διεργασία κινδύνου.
PRINCE2	AXELOS (HB)	Μέθοδος έργου με ενσωματωμένη θεματική κινδύνου.
M_o_R	AXELOS (HB)	Αποκλειστικό πλαίσιο διαχείρισης κινδύνου.

Συνολικά, η ύπαρξη πολλαπλών προτύπων δεν υποδηλώνει αντιφατικές προσεγγίσεις αλλά διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης και εστίασης. Η επιλογή του κατάλληλου πλαισίου εξαρτάται από το είδος του οργανισμού, την ωριμότητά του και τις απαιτήσεις του έργου.

Όπως θα φανεί στα επόμενα κεφάλαια, τα εργαλεία της Τεχνητής Νοημοσύνης δεν αντικαθιστούν τα πλαίσια αυτά, αλλά ενσωματώνονται σε αυτά, ενισχύοντας ιδίως τα στάδια της ανάλυσης και της παρακολούθησης.

2.7 Ωριμότητα και κουλτούρα διαχείρισης κινδύνων

Πέρα από την υιοθέτηση τυπικών διαδικασιών, η αποτελεσματικότητα της διαχείρισης κινδύνων εξαρτάται καθοριστικά από την ωριμότητα και την κουλτούρα του οργανισμού. Η ωριμότητα στη διαχείριση κινδύνων αντανακλά το πόσο εξελιγμένη και ενσωματωμένη είναι η σχετική πρακτική. Ο Hillson (1997) πρότεινε το πρώτο μοντέλο ωριμότητας, διακρίνοντας τέσσερα διαδοχικά επίπεδα, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Τα τέσσερα επίπεδα ωριμότητας διαχείρισης κινδύνων κατά Hillson (1997).

Στο πρώτο επίπεδο, το οποίο χαρακτηρίζεται ως naïve, ο οργανισμός δεν έχει επίγνωση της έννοιας του κινδύνου και αντιδρά αποσπασματικά. Στο επόμενο επίπεδο, novice, αρχίζει να πειραματίζεται με τη διαχείριση κινδύνων χωρίς όμως συστηματικές διαδικασίες. Στο τρίτο επίπεδο, normalised, οι διαδικασίες θεσμοθετούνται και εντάσσονται στη ρουτίνα, ενώ στο ανώτατο επίπεδο, natural, η διαχείριση κινδύνου έχει ενσωματωθεί πλήρως στην κουλτούρα του οργανισμού. Η μετάβαση σε υψηλότερα επίπεδα ωριμότητας συνδέεται με βελτιωμένες επιδόσεις και μεγαλύτερη ικανότητα αντιμετώπισης της αβεβαιότητας.

Στον κατασκευαστικό τομέα ειδικότερα, οι Zou, Chen και Chan (2010) ανέπτυξαν ένα μοντέλο αξιολόγησης της ικανότητας διαχείρισης κινδύνων για κατασκευαστικούς

οργανισμούς, συνδέοντας την ωριμότητα με την επίδοση και υπογραμμίζοντας ότι η ωριμότητα αντανakλά την κατανόηση που έχει ο οργανισμός για το χαρτοφυλάκιο των κινδύνων του. Η μέτρηση αυτή επιτρέπει στους οργανισμούς να εντοπίζουν τα κενά τους και να σχεδιάζουν στοχευμένες βελτιώσεις.

Καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει επίσης η κουλτούρα κινδύνου, δηλαδή οι κοινές στάσεις και αξίες απέναντι στον κίνδυνο, με τη δέσμευση της ανώτατης διοίκησης να αποτελεί κρίσιμο παράγοντα (Zou et al., 2010). Η διάσταση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της Τεχνητής Νοημοσύνης, καθώς η αξιοποίηση δεδομενοκεντρικών εργαλείων προϋποθέτει έναν ώριμο οργανισμό με κουλτούρα προσανατολισμένη στα δεδομένα, ώστε η τεχνολογία να μεταφραστεί σε ουσιαστικό όφελος.

2.8 Κίνδυνος, αβεβαιότητα και πολυπλοκότητα στα σύγχρονα έργα

Η κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στον κίνδυνο, την αβεβαιότητα και την πολυπλοκότητα είναι αναγκαία προϋπόθεση για την ορθή αποτίμηση της συμβολής της Τεχνητής Νοημοσύνης. Στη συμβατική διαχείριση έργων, ο κίνδυνος συχνά αντιμετωπίζεται ως αναγνωρίσιμο γεγονός, του οποίου μπορούν να εκτιμηθούν η πιθανότητα και η επίπτωση. Ωστόσο, στα σύγχρονα έργα, η αβεβαιότητα δεν περιορίζεται σε μεμονωμένα γεγονότα. Συνδέεται με ασαφείς απαιτήσεις, μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς, τεχνολογική αβεβαιότητα, θεσμικές μεταβολές, αλληλεξαρτήσεις ενδιαφερόμενων μερών και μη γραμμικές επιδράσεις. Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη, διότι η διαχείριση κινδύνων που περιορίζεται σε καταλόγους απειλών μπορεί να υποτιμήσει βαθύτερες πηγές αβεβαιότητας (Ward & Chapman, 2003; Aven, 2016).

Η πολυπλοκότητα των έργων έχει αναλυθεί στη βιβλιογραφία ως πολυδιάστατο φαινόμενο. Ο Baccarini (1996) διέκρινε την οργανωσιακή και την τεχνολογική πολυπλοκότητα, ενώ μεταγενέστερες προσεγγίσεις πρόσθεσαν διαστάσεις όπως η αβεβαιότητα στόχων, η κοινωνικοπολιτική ασάφεια και η δυναμική αλληλεπίδραση επιμέρους συστημάτων. Στα μεγάλα τεχνικά έργα, η πολυπλοκότητα δεν είναι απλώς συνέπεια μεγέθους, αλλά αποτέλεσμα της ταυτόχρονης ύπαρξης πολλών τεχνικών, συμβατικών, οικονομικών, θεσμικών και κοινωνικών παραμέτρων. Επομένως, ένα έργο μπορεί να είναι πολύπλοκο ακόμη και όταν το τεχνικό του αντικείμενο φαίνεται καταρχήν διαχειρίσιμο, εφόσον χαρακτηρίζεται από υψηλή αλληλεξάρτηση αποφάσεων, πολλούς

φορείς και περιορισμένη δυνατότητα πρόβλεψης (Bosch-Rekvelde et al., 2011; Geraldi et al., 2011).

Η διάκριση μεταξύ απλών, περίπλοκων και πολύπλοκων έργων βοηθά στην κατανόηση των ορίων των συμβατικών εργαλείων. Σε ένα απλό έργο, οι αιτιώδεις σχέσεις είναι σχετικά σαφείς και η εμπειρία προηγούμενων έργων μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα. Σε ένα περίπλοκο έργο, υπάρχουν πολλά τεχνικά στοιχεία, αλλά οι σχέσεις μεταξύ τους μπορούν να αναλυθούν με εξειδικευμένη γνώση. Σε ένα πολύπλοκο έργο, όμως, οι σχέσεις δεν είναι πλήρως γνωστές εκ των προτέρων, η συμπεριφορά του συστήματος μεταβάλλεται κατά την εκτέλεση και οι αποφάσεις παράγουν απροσδόκητες συνέπειες. Σε τέτοια περιβάλλοντα, η πρόβλεψη δεν μπορεί να στηρίζεται μόνο σε στατικές εκτιμήσεις ειδικών, αλλά απαιτεί συνεχή μάθηση από δεδομένα και ανατροφοδότηση.

Η αβεβαιότητα συνδέεται επίσης με τον τρόπο με τον οποίο ορίζονται οι στόχοι του έργου. Οι Turner και Cochrane (1993) έδειξαν ότι έργα με ασαφείς στόχους ή ασαφείς μεθόδους υλοποίησης παρουσιάζουν αυξημένες διοικητικές απαιτήσεις, επειδή η ίδια η βάση λήψης αποφάσεων μεταβάλλεται. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για έργα καινοτομίας, ψηφιακού μετασχηματισμού, πληροφοριακών συστημάτων και σύνθετων υποδομών, όπου οι τεχνικές λύσεις και οι προσδοκίες των χρηστών ενδέχεται να αναδιαμορφώνονται κατά τη διάρκεια του έργου. Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να υποστηρίξει τη διαχείριση τέτοιων έργων όχι επειδή εξαλείφει την αβεβαιότητα, αλλά επειδή επιτρέπει τη συστηματική επεξεργασία σημάτων μεταβολής και την αναγνώριση προτύπων που δεν είναι εύκολα ορατά μέσω ανθρώπινης παρατήρησης.

Στην πράξη, οι κίνδυνοι σε πολύπλοκα έργα αλληλεπιδρούν. Μια καθυστέρηση στην αδειοδότηση μπορεί να επηρεάσει τη χρηματορροή, η χρηματορροή να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα πόρων, η έλλειψη πόρων να οδηγήσει σε πιέσεις ποιότητας και οι πιέσεις ποιότητας να αυξήσουν τον κίνδυνο αστοχίας ή επανάληψης εργασιών. Η μη γραμμική αυτή αλληλουχία καθιστά ανεπαρκή την αποτίμηση των κινδύνων ως ανεξάρτητων καταχωρίσεων σε ένα μητρώο κινδύνων. Η βιβλιογραφία των μεγάλων έργων έχει δείξει ότι τα συστηματικά σφάλματα πρόβλεψης κόστους και χρόνου σχετίζονται συχνά με αισιοδοξική προκατάληψη, στρατηγική παραποίηση και αδυναμία επαρκούς αποτύπωσης της πολυπλοκότητας (Flyvbjerg, 2006).

Η συμβολή της TN πρέπει επομένως να εξετάζεται υπό το πρίσμα αυτής της μετάβασης: από τη διαχείριση μεμονωμένων κινδύνων στη διαχείριση ενός δυναμικού συστήματος αβεβαιότητας. Η μηχανική μάθηση, τα Μπεϋζιανά δίκτυα, η προσομοίωση, η υπολογιστική όραση και τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα δεν αντικαθιστούν τη θεωρία κινδύνου, αλλά παρέχουν νέα μέσα παρατήρησης, αναγνώρισης και αναθεώρησης των εκτιμήσεων. Έτσι, η TN λειτουργεί ως τεχνολογική απάντηση σε ένα διοικητικό πρόβλημα: την ανάγκη για δυναμική, δεδομενοκεντρική και προσαρμοστική διαχείριση κινδύνων σε περιβάλλοντα όπου η αβεβαιότητα αποτελεί μόνιμη συνθήκη και όχι προσωρινή απόκλιση.

2.9 Κριτική αποτίμηση των συμβατικών εργαλείων αξιολόγησης κινδύνων

Τα συμβατικά εργαλεία διαχείρισης κινδύνων, όπως τα μητρώα κινδύνων, οι κατάλογοι ελέγχου, οι συνεντεύξεις εμπειρογνομόνων και οι μήτρες πιθανότητας και επίπτωσης, έχουν σημαντική πρακτική αξία. Παρέχουν κοινή γλώσσα, διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών και επιτρέπουν την αρχική ιεράρχηση των κινδύνων χωρίς την ανάγκη περίπλοκων αναλυτικών υποδομών. Η χρησιμότητά τους είναι ιδιαίτερα εμφανής σε οργανισμούς με χαμηλή ωριμότητα διαχείρισης κινδύνων, όπου η πρώτη πρόκληση είναι να καταγραφούν οι απειλές, να αποδοθούν ευθύνες και να θεσπιστεί μια στοιχειώδης διαδικασία παρακολούθησης. Ωστόσο, η πρακτική χρησιμότητα δεν πρέπει να συγχέεται με αναλυτική επάρκεια.

Η μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης είναι ίσως το πιο διαδεδομένο εργαλείο ποιοτικής αξιολόγησης κινδύνων, αλλά έχει δεχθεί ισχυρή κριτική. Ο Cox (2008) έδειξε ότι οι μήτρες κινδύνου μπορούν να παρουσιάζουν προβλήματα χαμηλής διακριτικής ικανότητας, ασάφειας κατηγοριών και πιθανής λανθασμένης ιεράρχησης. Δύο κίνδυνοι με πολύ διαφορετική ποσοτική επικινδυνότητα μπορεί να καταλήξουν στην ίδια κατηγορία, ενώ η μετατροπή ασαφών λεκτικών εκτιμήσεων σε αριθμητικές βαθμολογίες μπορεί να δημιουργήσει ψευδή αίσθηση ακρίβειας. Με παρόμοιο τρόπο, οι Thomas et al. (2014) υποστήριξαν ότι οι κατατάξεις κινδύνων μπορεί να εξαρτώνται περισσότερο από τον σχεδιασμό της μήτρας παρά από την πραγματική φύση του κινδύνου.

Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν οι κίνδυνοι είναι αλληλεξαρτώμενοι. Η συμβατική μήτρα συνήθως αξιολογεί κάθε κίνδυνο ως διακριτή μονάδα, ενώ στην πραγματικότητα οι

επιπτώσεις διαχέονται μέσω αλυσίδων αιτίου και αποτελέσματος. Επιπλέον, οι εκτιμήσεις πιθανότητας και επίπτωσης βασίζονται συχνά σε εμπειρική κρίση, η οποία μπορεί να επηρεάζεται από αισιοδοξική προκατάληψη, αγκύρωση, πρόσφατες εμπειρίες ή οργανωσιακές πιέσεις. Έτσι, η ίδια μέθοδος που υποτίθεται ότι αντικειμενοποιεί τη συζήτηση μπορεί να αναπαράγει τις προκαταλήψεις των συμμετεχόντων, ιδίως όταν δεν συνοδεύεται από ιστορικά δεδομένα, αναλυτικό έλεγχο και διαφάνεια των παραδοχών (Flyvbjerg, 2006; Raz & Michael, 2001).

Πίνακας 6. Κύριοι περιορισμοί συμβατικών εργαλείων αξιολόγησης κινδύνων.

Εργαλείο	Πλεονέκτημα	Βασικός περιορισμός	Δυνητική συμβολή ΤΝ
Μητρώο κινδύνων	Σαφής καταγραφή και ανάθεση ευθύνης.	Στατικότητα και εξάρτηση από χειροκίνητη επικαιροποίηση.	Αυτόματη ενημέρωση από δεδομένα προόδου και αναφορές.
Κατάλογοι ελέγχου	Αξιοποίηση προηγούμενης εμπειρίας.	Κίνδυνος μη αναγνώρισης νέων ή μη τυπικών κινδύνων.	Εξόρυξη νέων προτύπων από ιστορικά δεδομένα έργων.
Μήτρα πιθανότητας-επίπτωσης	Εύκολη επικοινωνία και γρήγορη ιεράρχηση.	Χαμηλή διακριτική ικανότητα και υποκειμενικότητα.	Δυναμική πιθανοτική εκτίμηση και μοντελοποίηση αλληλεξαρτήσεων.
Κρίση εμπειρογνομόνων	Αξιοποίηση tacit knowledge.	Μεροληψίες, αγκύρωση και ασυνέπεια μεταξύ αξιολογητών.	Συνδυασμός ανθρώπινης κρίσης με δεδομενοκεντρικές προβλέψεις.

Η κριτική αυτή δεν σημαίνει ότι τα συμβατικά εργαλεία πρέπει να εγκαταλειφθούν. Αντίθετα, η αξία τους παραμένει σημαντική ως διοικητική υποδομή και ως μέσο επικοινωνίας. Η βασική αδυναμία τους είναι ότι σχεδιάστηκαν για περιβάλλοντα όπου η πληροφορία είναι σχετικά περιορισμένη και η αναθεώρηση των εκτιμήσεων γίνεται περιοδικά. Στα σύγχρονα έργα, όμως, η πληροφορία παράγεται συνεχώς από χρονοδιαγράμματα, συστήματα κόστους, αναφορές προόδου, αισθητήρες, BIM μοντέλα, συμβατικά έγγραφα και επικοινωνίες ομάδων. Η μη αξιοποίηση αυτών των δεδομένων οδηγεί σε απώλεια προγνωστικής ικανότητας.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη εισέρχεται ακριβώς σε αυτό το σημείο. Δεν αντικαθιστά το μητρώο κινδύνων ή τη διοικητική ευθύνη του project manager, αλλά μπορεί να μετατρέψει τα συμβατικά εργαλεία σε δυναμικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Για παράδειγμα, η αρχική ποιοτική αξιολόγηση ενός κινδύνου μπορεί να επικαιροποιείται από πραγματικά δεδομένα προόδου, η ταξινόμηση κινδύνων μπορεί να υποστηρίζεται από ιστορικά πρότυπα παρόμοιων έργων και η ιεράρχηση μπορεί να λαμβάνει υπόψη

αλληλεξαρτήσεις που δεν αποτυπώνονται σε μια απλή μήτρα. Συνεπώς, η ορθή θεωρητική θέση δεν είναι η αντικατάσταση των παραδοσιακών εργαλείων από την TN, αλλά η ενίσχυσή τους μέσω αναλυτικής, δεδομένων και συνεχούς μάθησης.

2.10 Από τη διαχείριση κινδύνων στη διαχείριση γνώσης έργων

Η διαχείριση κινδύνων συνδέεται στενά με τη διαχείριση γνώσης, διότι κάθε εκτίμηση κινδύνου στηρίζεται σε προηγούμενη εμπειρία, τεχνική πληροφορία, οργανωσιακή μνήμη και ερμηνεία του πλαισίου. Η γνώση αυτή δεν είναι πάντοτε ρητή. Συχνά βρίσκεται ενσωματωμένη στην εμπειρία στελεχών, στις αποφάσεις προηγούμενων έργων, σε πρακτικά συσκέψεων, σε συμβατικές διεκδικήσεις, σε αναφορές αποκλίσεων και σε άτυπες διαδικασίες μάθησης. Η θεωρία της οργανωσιακής γνώσης έχει δείξει ότι η γνώση διακρίνεται σε ρητή και άρρητη, και ότι η δημιουργία οργανωσιακής ικανότητας απαιτεί μηχανισμούς μετατροπής και διάχυσης της γνώσης (Nonaka & Takeuchi, 1995; Alavi & Leidner, 2001).

Στο πεδίο των έργων, η διαχείριση γνώσης είναι ιδιαίτερα δύσκολη, επειδή τα έργα είναι προσωρινά οργανωσιακά σχήματα. Μετά την ολοκλήρωση ενός έργου, οι ομάδες διαλύονται, οι εμπειρίες διαχέονται και τα διδάγματα συχνά δεν μεταφέρονται επαρκώς στα επόμενα έργα. Η βιβλιογραφία έχει επισημάνει ότι οι οργανισμοί δυσκολεύονται να μάθουν συστηματικά από τα έργα τους, ακόμη και όταν διαθέτουν τυπικές διαδικασίες lessons learned (Schindler & Eppler, 2003; Williams, 2008). Αυτό δημιουργεί έναν φαύλο κύκλο: οι ίδιοι τύποι κινδύνων επανεμφανίζονται, οι ίδιες προκαταλήψεις επαναλαμβάνονται και η εμπειρία δεν μετατρέπεται σε οργανωσιακή ικανότητα.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να συμβάλει στη γεφύρωση αυτού του κενού, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα, αξιόπιστα και καλά οργανωμένα δεδομένα. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης χρειάζονται ιστορικά δεδομένα καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους, αλλαγών, claims, αναφορών ποιότητας και συμβάντων ασφάλειας. Τα γλωσσικά μοντέλα μπορούν να αναλύουν κείμενα έργων, αλλά η αξία τους εξαρτάται από την ποιότητα των εγγράφων και τη σαφήνεια της ορολογίας. Τα συστήματα project analytics μπορούν να υποστηρίξουν τη σύγκριση μεταξύ έργων, αλλά μόνο όταν υπάρχει κοινή δομή κωδικοποίησης κόστους, χρονοδιαγράμματος και κινδύνων. Επομένως, η TN δεν αναιρεί την ανάγκη διαχείρισης γνώσης· αντίθετα, την καθιστά ακόμη πιο κρίσιμη.

Η μετάβαση από το απλό μητρώο κινδύνων σε μια βάση γνώσης κινδύνων έργων αποτελεί σημαντικό βήμα οργανωσιακής ωρίμανσης. Μια τέτοια βάση δεν περιορίζεται στην καταγραφή της περιγραφής ενός κινδύνου, αλλά περιλαμβάνει την αιτία του, τα πρώιμα σήματα εμφάνισής του, τις επιπτώσεις του, τις στρατηγικές αντιμετώπισης που εφαρμόστηκαν, την αποτελεσματικότητά τους και τα διδάγματα που προέκυψαν. Με αυτόν τον τρόπο, η διαχείριση κινδύνων αποκτά ιστορική μνήμη και μπορεί να μετατραπεί από αντιδραστική διαδικασία σε προγνωστικό μηχανισμό. Η ΤΝ μπορεί να λειτουργήσει ως τεχνολογία ανάκτησης, ταξινόμησης και συσχέτισης αυτής της γνώσης.

Εξίσου σημαντικό είναι ότι η οργανωσιακή γνώση δεν μπορεί να περιοριστεί σε τεχνικά δεδομένα. Πολλοί κρίσιμοι κίνδυνοι έργων σχετίζονται με επικοινωνία, αλλαγές απαιτήσεων, διαχείριση ενδιαφερόμενων μερών, συμβατικές ασάφειες και πολιτικές ή θεσμικές συνθήκες. Τα δεδομένα αυτά συχνά βρίσκονται σε μη δομημένη μορφή, όπως πρακτικά, μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τεχνικές εκθέσεις και αναφορές συσκέψεων. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας προσφέρει δυνατότητες συστηματικής αξιοποίησης τέτοιων κειμενικών δεδομένων, αλλά απαιτεί προσεκτική εποπτεία ώστε η ανάλυση να μην απομονώνει λέξεις από το διοικητικό και συμβατικό τους πλαίσιο.

Συνεπώς, η συζήτηση για την Τεχνητή Νοημοσύνη στη διαχείριση κινδύνων έργων πρέπει να ενταχθεί σε μια ευρύτερη θεωρία οργανωσιακής μάθησης. Η ΤΝ είναι αποτελεσματική όταν ο οργανισμός γνωρίζει τι δεδομένα παράγει, πώς τα αποθηκεύει, πώς τα ερμηνεύει και πώς τα μετατρέπει σε αποφάσεις. Χωρίς κουλτούρα καταγραφής, διαμοιρασμού και αξιοποίησης γνώσης, τα αλγοριθμικά εργαλεία κινδυνεύουν να παραμείνουν επιφανειακές εφαρμογές. Αντίθετα, όταν εντάσσονται σε ένα ώριμο πλαίσιο διαχείρισης γνώσης, μπορούν να ενισχύσουν ουσιαστικά την πρόβλεψη, την έγκαιρη προειδοποίηση και τη στρατηγική μάθηση από έργο σε έργο.

3. Τεχνητή Νοημοσύνη: Έννοιες, Τεχνολογίες και Εφαρμογές στη Διοίκηση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναδείχθηκαν οι περιορισμοί των συμβατικών προσεγγίσεων διαχείρισης κινδύνων, ιδίως η εξάρτηση από την υποκειμενική κρίση, η στατικότητα των εκτιμήσεων και η δυσκολία διαχείρισης της πολυπλοκότητας. Το παρόν κεφάλαιο εισάγει το εννοιολογικό και τεχνολογικό οπλοστάσιο της Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο φιλοδοξεί να απαντήσει σε αυτές τις προκλήσεις. Παρουσιάζουμε διαδοχικά τις βασικές έννοιες του πεδίου, τις τεχνολογίες της μηχανικής μάθησης και της ανάλυσης δεδομένων, τα γνωστικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, τις εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση, και τέλος τα όρια και τα ηθικά ζητήματα που συνοδεύουν την υιοθέτησή της. Η ανάλυση αυτή προετοιμάζει το έδαφος για το επόμενο κεφάλαιο, όπου εξετάζεται η συγκεκριμένη συμβολή των τεχνολογιών αυτών στη διαχείριση κινδύνων έργων.

3.1 Βασικές έννοιες Τεχνητής Νοημοσύνης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών που μελετά τη σχεδίαση συστημάτων ικανών να επιτελούν εργασίες οι οποίες παραδοσιακά απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η αντίληψη, ο συλλογισμός, η μάθηση και η λήψη αποφάσεων (Russell & Norvig, 2021). Στο κλασικό σύγγραμμά τους, οι Russell και Norvig (2021) οργανώνουν το πεδίο γύρω από την έννοια του ορθολογικού πράκτορα, δηλαδή μιας οντότητας που αντιλαμβάνεται το περιβάλλον της και δρα ώστε να μεγιστοποιεί την πιθανότητα επίτευξης των στόχων της. Ο όρος καθιερώθηκε στο θεμελιώδες συνέδριο του Dartmouth το 1956, το οποίο θεωρείται η αφετηρία του πεδίου ως αυτόνομης επιστημονικής περιοχής (McCarthy et al., 2006).

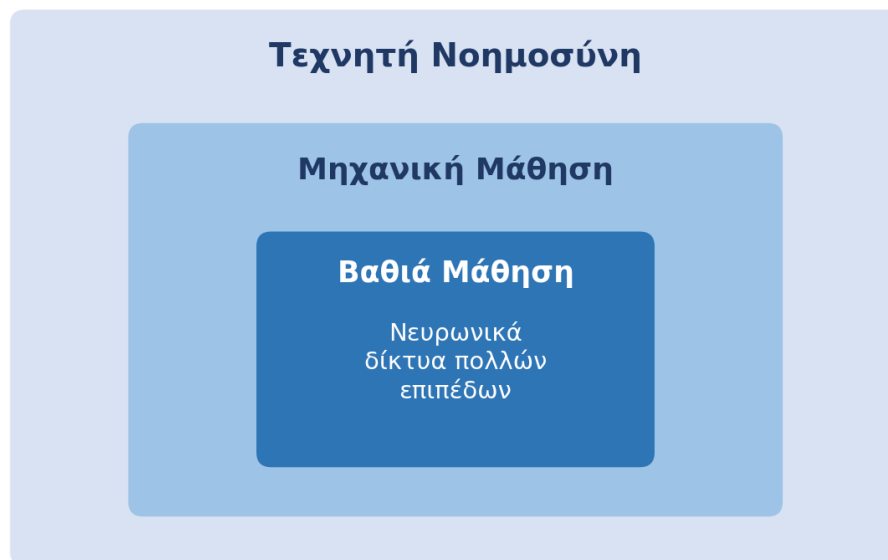
Η ιστορική πορεία της Τεχνητής Νοημοσύνης δεν υπήρξε γραμμική. Περιόδους έντονου ενθουσιασμού διαδέχθηκαν φάσεις απογοήτευσης και περιορισμένης χρηματοδότησης, οι γνωστές ως χειμώνες της Τεχνητής Νοημοσύνης, πριν η ραγδαία αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και της διαθεσιμότητας δεδομένων οδηγήσει στη σύγχρονη αναγέννηση του πεδίου (Haenlein & Kaplan, 2019). Στη βιβλιογραφία διακρίνονται δύο μεγάλες παραδόσεις, η συμβολική προσέγγιση, που στηρίζεται σε ρητούς κανόνες και λογική αναπαράσταση της γνώσης, και η υποσυμβολική ή στατιστική προσέγγιση, που μαθαίνει πρότυπα απευθείας από τα δεδομένα. Παράλληλα, γίνεται διάκριση μεταξύ της

στενής Τεχνητής Νοημοσύνης, που εξειδικεύεται σε συγκεκριμένα έργα, και της υποθετικής γενικής Τεχνητής Νοημοσύνης, η οποία θα διέθετε ευρεία νοημοσύνη αντίστοιχη της ανθρώπινης. Ο Πίνακας 7 συνοψίζει τις βασικές αυτές διακρίσεις.

Πίνακας 7. Βασικές διακρίσεις και προσεγγίσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Διάκριση	Περιγραφή	Παράδειγμα
Συμβολική TN	Ρητοί κανόνες και λογική αναπαράσταση της γνώσης.	Έμπειρα συστήματα
Υποσυμβολική / Στατιστική TN	Μάθηση προτύπων απευθείας από δεδομένα.	Νευρωνικά δίκτυα
Στενή TN	Εξειδίκευση σε ένα συγκεκριμένο έργο.	Σύστημα συστάσεων
Γενική TN	Υποθετική ευρεία νοημοσύνη αντίστοιχη της ανθρώπινης.	Δεν υφίσταται ακόμη

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 5, η μηχανική μάθηση αποτελεί υποσύνολο της Τεχνητής Νοημοσύνης, ενώ η βαθιά μάθηση συνιστά εξειδικευμένο υποσύνολο της μηχανικής μάθησης. Η σχέση αυτή εμφωλευμένων πεδίων βοηθά στην αποσαφήνιση όρων που συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά στον δημόσιο λόγο.



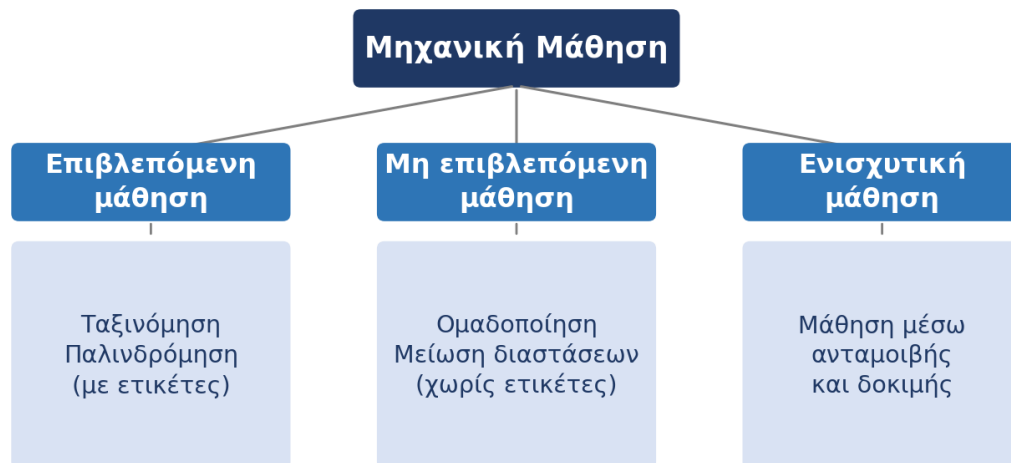
Σχήμα 5. Σχέση Τεχνητής Νοημοσύνης, μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης.

3.2 Μηχανική μάθηση και ανάλυση δεδομένων

Η μηχανική μάθηση απαντά στο ερώτημα του πώς μπορούν οι υπολογιστές να βελτιώνονται αυτόματα μέσω της εμπειρίας, εντοπίζοντας πρότυπα και κανονικότητες σε δεδομένα αντί να ακολουθούν ρητά προγραμματισμένους κανόνες (Jordan & Mitchell,

2015). Βρίσκεται στη διασταύρωση της επιστήμης των υπολογιστών και της στατιστικής και αποτελεί τον πυρήνα της σύγχρονης Τεχνητής Νοημοσύνης και της επιστήμης δεδομένων. Η πρόσφατη πρόοδος οφείλεται τόσο στην ανάπτυξη νέων αλγορίθμων όσο και στην έκρηξη της διαθεσιμότητας δεδομένων και της φθηνής υπολογιστικής ισχύος (Jordan & Mitchell, 2015).

Παραδοσιακά, η μηχανική μάθηση διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Στην επιβλεπόμενη μάθηση, το σύστημα εκπαιδεύεται σε επισημασμένα δεδομένα ώστε να προβλέπει μια έξοδο, όπως στην ταξινόμηση και στην παλινδρόμηση. Στη μη επιβλεπόμενη μάθηση, το σύστημα ανακαλύπτει δομές σε μη επισημασμένα δεδομένα, για παράδειγμα μέσω ομαδοποίησης. Στην ενισχυτική μάθηση, ένας πράκτορας μαθαίνει μέσω δοκιμής και ανταμοιβής, λαμβάνοντας διαδοχικές αποφάσεις σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Οι τρεις αυτές κατηγορίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Οι τρεις βασικές κατηγορίες μηχανικής μάθησης.

Ιδιαίτερη ώθηση στο πεδίο έδωσε η βαθιά μάθηση, μια οικογένεια μεθόδων που αξιοποιεί νευρωνικά δίκτυα πολλών επιπέδων για να μαθαίνει αναπαραστάσεις των δεδομένων σε διαδοχικά επίπεδα αφαίρεσης (LeCun et al., 2015). Οι μέθοδοι αυτές επέφεραν θεαματικές βελτιώσεις σε τομείς όπως η αναγνώριση εικόνας και ομιλίας και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Η δυνατότητα αυτόματης εξαγωγής χαρακτηριστικών από ακατέργαστα δεδομένα καθιστά τη βαθιά μάθηση ιδιαίτερα ισχυρή σε προβλήματα υψηλής διαστατικότητας, αν και με κόστος σε διαφάνεια και ερμηνευσιμότητα, ζήτημα στο οποίο

επανερχόμαστε στη συνέχεια. Στο επίπεδο της διοίκησης, η ικανότητα αυτή μεταφράζεται σε φθηνότερη και ακριβέστερη πρόβλεψη, την οποία ορισμένοι ερευνητές θεωρούν την πραγματική οικονομική συνεισφορά της Τεχνητής Νοημοσύνης (Agrawal et al., 2019). Ο Πίνακας 8 συνοψίζει τα είδη της μηχανικής μάθησης με ενδεικτικά έργα και εφαρμογές.

Πίνακας 8. Είδη μηχανικής μάθησης, τυπικά έργα και ενδεικτικές εφαρμογές.

Είδος	Δεδομένα	Τυπικά έργα	Ενδεικτική εφαρμογή
Επιβλεπόμενη	Επισημασμένα (με ετικέτες)	Ταξινόμηση, παλινδρόμηση	Πρόβλεψη καθυστέρησης έργου
Μη επιβλεπόμενη	Χωρίς ετικέτες	Ομαδοποίηση, μείωση διαστάσεων	Τμηματοποίηση κινδύνων
Ενισχυτική	Ανατροφοδότηση μέσω ανταμοιβής	Διαδοχική λήψη αποφάσεων	Βελτιστοποίηση χρονισμού

3.3 Γνωσιακά συστήματα και υποστήριξη λήψης αποφάσεων

Η αξιοποίηση των υπολογιστικών συστημάτων για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων προηγείται χρονικά της σύγχρονης έκρηξης της Τεχνητής Νοημοσύνης. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων εμφανίστηκαν ήδη από τη δεκαετία του 1970 και εξελίχθηκαν σημαντικά με την προσθήκη αποθηκών δεδομένων, αναλυτικής επεξεργασίας, εξόρυξης δεδομένων και, αργότερα, διαδικτυακών αρχιτεκτονικών (Shim et al., 2002). Όπως περιγράφεται από τους Shim et al. (2002), η εξέλιξη αυτή μετέφερε την υποστήριξη από τον μεμονωμένο λήπτη απόφασης προς ομάδες και εικονικές ομάδες, διευρύνοντας το πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας.

Ένα τυπικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων συγκροτείται από διακριτά υποσυστήματα, μια βάση δεδομένων, μια βάση μοντέλων, μια βάση γνώσης και μια διεπαφή χρήστη, τα οποία συντονίζονται από μια κεντρική μηχανή διαχείρισης και εξαγωγής συμπερασμάτων. Η αρχιτεκτονική αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 7. Με την ενσωμάτωση τεχνικών Τεχνητής Νοημοσύνης, τα κλασικά συστήματα μετεξελίχθηκαν σε ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και σε έμπειρα συστήματα, ικανά να κωδικοποιούν και να αξιοποιούν εξειδικευμένη γνώση.



Σχήμα 7. Βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων.

Μια κρίσιμη μετατόπιση στη σύγχρονη θεώρηση αφορά τον ρόλο του ανθρώπου. Αντί η Τεχνητή Νοημοσύνη να αντιμετωπίζεται ως υποκατάστατο της ανθρώπινης κρίσης, αναδεικνύεται η συμπληρωματικότητα ανθρώπου και μηχανής, υπό το πρίσμα της συνεργατικής νοημοσύνης (Epstein, 2015). Σε αυτή τη λογική, το σύστημα αναλαμβάνει την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων και την ανάδειξη προτύπων, ενώ ο άνθρωπος διατηρεί την τελική κρίση, την ερμηνεία του πλαισίου και την ευθύνη της απόφασης.

3.4 Η ΤΝ στη διοίκηση και στα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης

Στο πεδίο της διοίκησης, η Τεχνητή Νοημοσύνη αξιοποιείται ολοένα και περισσότερο για την επίλυση επιχειρησιακών προβλημάτων. Σε εκτενή μελέτη τους που στηρίχθηκε σε έρευνα μεταξύ διακοσίων πενήντα στελεχών και σε ανάλυση εκατόν πενήντα δύο έργων, οι Davenport και Ronanki (2018) διακρίνουν τρεις βασικές επιχειρησιακές ανάγκες που καλύπτει η Τεχνητή Νοημοσύνη, την αυτοματοποίηση διεργασιών, την εξαγωγή γνώσης μέσω ανάλυσης δεδομένων και την ενίσχυση της εμπλοκής πελατών και εργαζομένων. Σημαντικό εύρημα της μελέτης είναι ότι οι οργανισμοί επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα όταν υιοθετούν μια σταδιακή και όχι ριζικά μετασχηματιστική προσέγγιση, και όταν επικεντρώνονται στην ενίσχυση παρά στην αντικατάσταση των ανθρώπινων ικανοτήτων (Davenport & Ronanki, 2018).

Πίνακας 9. Βασικές επιχειρησιακές ανάγκες που καλύπτει η Τεχνητή Νοημοσύνη.

Επιχειρησιακή ανάγκη	Ενδεικτική τεχνολογία	Παράδειγμα εφαρμογής
Αυτοματοποίηση διεργασιών	Ρομποτική αυτοματοποίηση, κανόνες	Διαχείριση συναλλαγών υποστήριξης
Εξαγωγή γνώσης από δεδομένα	Μηχανική και βαθιά μάθηση	Προβλέψεις και εντοπισμός προτύπων
Ενίσχυση της εμπλοκής	Επεξεργασία φυσικής γλώσσας	Έξυπνοι ψηφιακοί βοηθοί

Πέρα από τη λειτουργική διάσταση, η Τεχνητή Νοημοσύνη επιδρά και στη διαχείριση της καινοτομίας, μεταβάλλοντας τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί αναζητούν ευκαιρίες, αξιολογούν εναλλακτικές και κατανέμουν πόρους (Haefner et al., 2021). Στο πλαίσιο των πληροφοριακών συστημάτων διοίκησης, η ενσωμάτωση δυνατοτήτων πρόβλεψης μετασχηματίζει τη φύση της διοικητικής απόφασης, καθώς η φθηνότερη και ακριβέστερη πρόβλεψη επιτρέπει τη μετατόπιση της ανθρώπινης προσπάθειας προς την κρίση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Agrawal et al., 2019).

3.5 Όρια, ηθικά και οργανωσιακά ζητήματα της ΤΝ

Παρά τις δυνατότητές της, η Τεχνητή Νοημοσύνη συνοδεύεται από σημαντικούς περιορισμούς και ζητήματα που απαιτούν προσεκτική αντιμετώπιση. Ένα κεντρικό τεχνικό ζήτημα είναι η αδιαφάνεια πολλών μοντέλων. Τα συστήματα βαθιάς μάθησης επιτυγχάνουν υψηλές επιδόσεις, αλλά η εσωτερική τους λειτουργία είναι δύσκολο να ερμηνευθεί (LeCun et al., 2015), γεγονός που δημιουργεί προβλήματα ιδίως σε ρυθμιζόμενους τομείς όπου απαιτείται λογοδοσία και αιτιολόγηση των αποφάσεων (Davenport & Ronanki, 2018). Σε αυτό προστίθεται η ισχυρή εξάρτηση από την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων, καθώς μεροληπτικά ή ελλιπή δεδομένα οδηγούν σε μεροληπτικά αποτελέσματα.

Τα ζητήματα αυτά εντάσσονται σε μια ευρύτερη συζήτηση για την ηθική των αλγορίθμων. Οι Mittelstadt et al. (2016) προτείνουν έναν χάρτη του πεδίου, αναδεικνύοντας προβλήματα που σχετίζονται με μη πειστικά ή παραπλανητικά τεκμήρια, με άδικα αποτελέσματα, με μετασχηματιστικές επιδράσεις στην κοινωνία και με την ανάγκη ιχνηλασιμότητας των αποφάσεων. Σε επίπεδο διακυβέρνησης, η ανάλυση ογδόντα τεσσάρων κειμένων κατευθυντήριων αρχών από όλο τον κόσμο ανέδειξε μια συγκλίνουσα τάση γύρω από πέντε ηθικές αρχές, τη διαφάνεια, τη δικαιοσύνη, τη μη πρόκληση βλάβης,

την υπευθυνότητα και την προστασία της ιδιωτικότητας, αν και με σημαντικές αποκλίσεις ως προς την πρακτική τους εφαρμογή (Jobin et al., 2019).

Τέλος, η υιοθέτηση της Τεχνητής Νοημοσύνης εγείρει οργανωσιακές προκλήσεις. Πολλά φιλόδοξα έργα συναντούν δυσκολίες ή αποτυγχάνουν, ιδίως όταν επιχειρείται απότομος μετασχηματισμός χωρίς επαρκή προετοιμασία σε δεδομένα, δεξιότητες και διαχείριση της αλλαγής (Davenport & Ronanki, 2018). Συνεπώς, η αξιοποίηση της τεχνολογίας απαιτεί όχι μόνο τεχνική επάρκεια αλλά και κατάλληλη οργανωσιακή και ηθική θωράκιση. Με αυτές τις επιφυλάξεις κατά νου, στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζουμε πώς οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να εφαρμοστούν συγκεκριμένα στη διαχείριση κινδύνων έργων.

3.6 Επεξεργασία φυσικής γλώσσας και μεγάλα γλωσσικά μοντέλα

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας αποτελεί τον κλάδο της Τεχνητής Νοημοσύνης που επιτρέπει στους υπολογιστές να κατανοούν και να παράγουν ανθρώπινη γλώσσα. Η σημασία της είναι ιδιαίτερα μεγάλη στη διοίκηση έργων, όπου ένα τεράστιο μέρος της πληροφορίας περιέχεται σε αδόμητο κείμενο, όπως συμβάσεις, τεχνικές εκθέσεις, αλληλογραφία και αναφορές προόδου. Εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο μέρος των μεγάλων δεδομένων είναι αδόμητο (Gandomi & Haider, 2015), γεγονός που καθιστά την επεξεργασία φυσικής γλώσσας κλειδί για την αξιοποίησή τους.

Καθοριστική τομή στην εξέλιξη του πεδίου υπήρξε η αρχιτεκτονική Transformer, η οποία στηρίζεται αποκλειστικά σε μηχανισμούς προσοχής, εγκαταλείποντας τις προγενέστερες αναδρομικές και συνελκτικές δομές (Vaswani et al., 2017). Η αρχιτεκτονική αυτή αποτέλεσε τη βάση για τα σύγχρονα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα. Η τυπική ροή επεξεργασίας απεικονίζεται στο Σχήμα 8, όπου το κείμενο του έργου προεπεξεργάζεται, τροφοδοτείται σε ένα μοντέλο Transformer και οδηγεί στην εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας για την υποστήριξη αποφάσεων.



Σχήμα 8 Τυπική ροή επεξεργασίας φυσικής γλώσσας με μοντέλα Transformer.

Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα, εκπαιδευμένα σε τεράστια σώματα κειμένων, επιδεικνύουν αξιοσημείωτη ικανότητα σε ποικίλες γλωσσικές εργασίες, όπως η σύνοψη, η εξαγωγή

πληροφορίας και η απάντηση σε ερωτήματα. Στο πεδίο της διοίκησης, οι δυνατότητες αυτές μεταφράζονται σε εφαρμογές όπως οι έξυπνοι συνομιλιακοί βοηθοί και η αυτοματοποιημένη επεξεργασία εγγράφων, ενισχύοντας την εμπλοκή και την αποδοτικότητα (Davenport & Ronanki, 2018).

Παρά τις δυνατότητες αυτές, η αξιοποίηση των γλωσσικών μοντέλων συνοδεύεται από σημαντικές επιφυλάξεις. Η εξάρτηση από τα δεδομένα εκπαίδευσης, ο κίνδυνος παραγωγής εσφαλμένων πληροφοριών και η περιορισμένη ερμηνευσιμότητα απαιτούν προσεκτική χρήση και ανθρώπινη εποπτεία (Barredo Arrieta et al., 2020). Οι προκλήσεις αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία όταν η τεχνολογία εφαρμόζεται σε κρίσιμες αποφάσεις, όπως αναλύεται στη συνέχεια για τη διαχείριση κινδύνων.

3.7 Μεγάλα δεδομένα και αναλυτική

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα μεγάλα δεδομένα, δηλαδή με σύνολα δεδομένων τεράστιου όγκου, ποικιλίας και ταχύτητας. Οι Gandomi και Haider (2015) προσφέρουν έναν ευρύ ορισμό, ο οποίος δεν περιορίζεται στο μέγεθος αλλά περιλαμβάνει πρόσθετες διαστάσεις που χαρακτηρίζουν τη φύση των δεδομένων. Οι διαστάσεις αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Οι βασικές διαστάσεις των μεγάλων δεδομένων.

Διάσταση	Περιγραφή
Όγκος	Τεράστιος και διαρκώς αυξανόμενος όγκος δεδομένων.
Ποικιλία	Ετερογενείς μορφές, δομημένα και αδόμητα δεδομένα.
Ταχύτητα	Υψηλός ρυθμός παραγωγής και ροής των δεδομένων.
Εγκυρότητα	Αβεβαιότητα και ζητήματα ποιότητας των δεδομένων.
Αξία	Δυνητικό όφελος από την αξιοποίηση των δεδομένων.

Η αναλυτική των μεγάλων δεδομένων αποσκοπεί στην εξαγωγή αξίας από τα δεδομένα αυτά και διακρίνεται συνήθως σε περιγραφική, προγνωστική και κανονιστική. Οι μέθοδοι βαθιάς μάθησης αποδίδουν ιδιαίτερα καλά σε περιβάλλοντα μεγάλων δεδομένων, καθώς η απόδοσή τους βελτιώνεται με την αύξηση του όγκου των διαθέσιμων παραδειγμάτων (LeCun et al., 2015). Ιδιαίτερη σημασία έχει η αναλυτική των αδόμητων δεδομένων, όπως κειμένου, ήχου και εικόνας, που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των μεγάλων δεδομένων (Gandomi & Haider, 2015).

Στο πλαίσιο των έργων, τα μεγάλα δεδομένα προέρχονται από ποικίλες πηγές, όπως αισθητήρες, συστήματα πληροφορικής, ψηφιακά μοντέλα και έγγραφα, και τροφοδοτούν τα μοντέλα πρόβλεψης και αξιολόγησης κινδύνων. Η αποτελεσματική αξιοποίησή τους προϋποθέτει την αντιμετώπιση προκλήσεων που σχετίζονται με την ποιότητα, την ενσωμάτωση και την προστασία των δεδομένων, ζητήματα στα οποία επανερχόμαστε στο επόμενο κεφάλαιο.

3.8 Εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη και εμπιστοσύνη στη λήψη αποφάσεων

Η εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη διοίκηση έργων, επειδή οι αποφάσεις διαχείρισης κινδύνων έχουν συχνά σημαντικές οικονομικές, συμβατικές, τεχνικές και ανθρώπινες συνέπειες. Ένα μοντέλο που προβλέπει υψηλή πιθανότητα καθυστέρησης, υπέρβασης κόστους ή συμβάντος ασφάλειας δεν αρκεί να παράγει μια αριθμητική εκτίμηση. Ο project manager πρέπει να κατανοεί ποιοι παράγοντες οδήγησαν στην πρόβλεψη, πόσο αξιόπιστα είναι τα δεδομένα, ποιο είναι το επίπεδο αβεβαιότητας και πώς η πρόβλεψη μπορεί να μετατραπεί σε διοικητική ενέργεια. Για τον λόγο αυτόν, η ακρίβεια ενός μοντέλου δεν είναι το μόνο κριτήριο αξιολόγησης· εξίσου σημαντικές είναι η ερμηνευσιμότητα, η διαφάνεια και η δυνατότητα λογοδοσίας (Adadi & Berrada, 2018; Barredo Arrieta et al., 2020).

Τα μοντέλα μαύρου κουτιού, όπως ορισμένες μορφές βαθιάς μάθησης, μπορούν να επιτύχουν υψηλές επιδόσεις σε προβλήματα πρόβλεψης, αλλά η εσωτερική τους λειτουργία δεν είναι εύκολα κατανοητή από τους χρήστες. Αυτό δημιουργεί διοικητικό πρόβλημα. Εάν ένα σύστημα εισηγείται την αναθεώρηση του προϋπολογισμού, την ανακατανομή πόρων ή την αλλαγή στρατηγικής απόκρισης σε κίνδυνο, ο οργανισμός πρέπει να μπορεί να τεκμηριώσει γιατί έλαβε αυτή την απόφαση. Η απλή επίκληση της αλγοριθμικής πρόβλεψης δεν επαρκεί, ιδίως σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν συμβατικές υποχρεώσεις, ευθύνη έναντι τρίτων, δημόσια λογοδοσία ή απαιτήσεις ελέγχου.

Η βιβλιογραφία της εξηγήσιμης ΤΝ διακρίνει ανάμεσα στην εγγενή ερμηνευσιμότητα και στις μεταγενέστερες εξηγήσεις. Εγγενώς ερμηνεύσιμα μοντέλα, όπως ορισμένα δένδρα αποφάσεων ή γραμμικά μοντέλα, προσφέρουν μεγαλύτερη διαφάνεια, αλλά ενδέχεται να υστερούν σε ακρίβεια όταν τα δεδομένα είναι πολύπλοκα. Αντίθετα, πιο σύνθετα μοντέλα μπορούν να συνοδεύονται από τεχνικές εξήγησης, όπως τοπικές προσεγγίσεις ερμηνείας ή

ανάλυση σημαντικότητας χαρακτηριστικών (Ribeiro et al., 2016; Lundberg & Lee, 2017). Για τη διαχείριση κινδύνων έργων, η επιλογή μοντέλου πρέπει να σταθμίζει την προβλεπτική απόδοση με την ανάγκη κατανόησης και επικοινωνίας της πρόβλεψης.

Η εμπιστοσύνη των χρηστών αποτελεί κεντρική προϋπόθεση υιοθέτησης. Εάν τα στελέχη έργων θεωρούν ότι το σύστημα TN παράγει ακατανόητες ή αυθαίρετες συστάσεις, είναι πιθανό να το αγνοήσουν ή να το χρησιμοποιήσουν προσχηματικά. Αντίθετα, όταν το σύστημα εξηγεί ότι ο αυξημένος κίνδυνος καθυστέρησης σχετίζεται με συγκεκριμένους δείκτες, όπως χαμηλή παραγωγικότητα, καθυστερημένες εγκρίσεις, πολλαπλές αλλαγές σχεδιασμού ή ασυνήθιστη κατανάλωση αποθεμάτων χρόνου, η πρόβλεψη αποκτά διοικητικό νόημα. Η εξήγηση επιτρέπει στον project manager να ελέγξει την εύλογη βάση της σύστασης, να τη συγκρίνει με την εμπειρία του και να αποφασίσει αν απαιτείται δράση.

Η εξηγήσιμη TN συνδέεται επίσης με την ηθική και τη διακυβέρνηση. Οι αλγοριθμικές αποφάσεις μπορούν να ενσωματώνουν μεροληψίες των δεδομένων εκπαίδευσης ή να αναπαράγουν ιστορικά μοτίβα που δεν είναι επιθυμητά. Για παράδειγμα, εάν προηγούμενα έργα κατέγραφαν συστηματικά ορισμένους υπεργολάβους ως υψηλού κινδύνου χωρίς να λαμβάνουν υπόψη εξωτερικούς παράγοντες, ένα μοντέλο μπορεί να αναπαράγει αυτή την αξιολόγηση. Η εξηγησιμότητα επιτρέπει τον εντοπισμό τέτοιων προβλημάτων και υποστηρίζει την υπεύθυνη χρήση της TN (Mittelstadt et al., 2016; Jobin et al., 2019).

Στο πλαίσιο της διοίκησης έργων, η εξηγησιμότητα δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αποκλειστικά τεχνικό χαρακτηριστικό. Είναι διοικητική απαίτηση. Ένα σύστημα TN πρέπει να είναι ενταγμένο σε διαδικασίες που ορίζουν ποιος ελέγχει τις προβλέψεις, ποιος αποφασίζει για την αποδοχή ή απόρριψή τους, πώς τεκμηριώνονται οι αποκλίσεις και πώς ανατροφοδοτείται το μοντέλο μετά την έκβαση του έργου. Με αυτή την έννοια, η εξηγήσιμη TN αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ αλγοριθμικής πρόβλεψης και υπεύθυνης ανθρώπινης απόφασης.

3.9 Ψηφιακά οικοσυστήματα έργων: BIM, IoT, digital twins και project analytics

Η Τεχνητή Νοημοσύνη δεν λειτουργεί σε κενό. Η αποτελεσματικότητά της στη διαχείριση κινδύνων εξαρτάται από την ύπαρξη ενός ευρύτερου ψηφιακού οικοσυστήματος έργου, το

οποίο παράγει, οργανώνει και διασυνδέει δεδομένα. Στα τεχνικά και κατασκευαστικά έργα, το οικοσύστημα αυτό περιλαμβάνει συστήματα BIM, αισθητήρες Internet of Things, πλατφόρμες παρακολούθησης χρονοδιαγράμματος, πληροφοριακά συστήματα κόστους, εργαλεία διαχείρισης εγγράφων, ψηφιακά ημερολόγια έργου, drones, εικόνες εργοταξίου και dashboards. Η TN αξιοποιεί αυτά τα δεδομένα για να εντοπίσει πρότυπα, αποκλίσεις και συσχετίσεις που δεν είναι εύκολα ορατές μέσω συμβατικής παρακολούθησης (Bilal et al., 2016; Sacks et al., 2018).

Το Building Information Modeling αποτελεί βασικό πυρήνα αυτού του οικοσυστήματος, επειδή προσφέρει ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού αντικειμένου και των επιμέρους στοιχείων του. Σε ένα ώριμο περιβάλλον BIM, τα γεωμετρικά στοιχεία συνδέονται με πληροφορίες υλικών, ποσοτήτων, κόστους, προγραμματισμού και συντήρησης. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει καλύτερη ανίχνευση συγκρούσεων, βελτιωμένη συνεργασία μεταξύ ειδικοτήτων και δυνατότητα προσομοίωσης επιπτώσεων από αλλαγές σχεδιασμού. Όταν το BIM συνδυάζεται με αναλυτική και TN, μπορεί να υποστηρίξει πρόβλεψη κινδύνων που σχετίζονται με ποσότητες, αλληλουχίες εργασιών, κατασκευασσιμότητα και πιθανές αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό (Eastman et al., 2011; Sacks et al., 2018).

Τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν εξέλιξη αυτής της λογικής, καθώς δεν περιορίζονται σε στατική ψηφιακή αναπαράσταση, αλλά επιδιώκουν δυναμική σύνδεση μεταξύ φυσικού και ψηφιακού αντικειμένου. Ένα ψηφιακό δίδυμο ενημερώνεται από δεδομένα πεδίου, όπως αισθητήρες, εικόνες, μετρήσεις προόδου και δεδομένα λειτουργίας, επιτρέποντας παρακολούθηση, προσομοίωση και πρόβλεψη. Η βιβλιογραφία τονίζει ότι η έννοια του digital twin προϋποθέτει ροή δεδομένων και όχι απλή ύπαρξη τρισδιάστατου μοντέλου (Boje et al., 2020; Fuller et al., 2020). Για τη διαχείριση κινδύνων, αυτό σημαίνει ότι οι εκτιμήσεις μπορούν να επικαιροποιούνται καθώς το έργο εξελίσσεται και όχι μόνο σε προκαθορισμένες συναντήσεις ελέγχου.

Το Internet of Things ενισχύει περαιτέρω τη δυνατότητα δυναμικής διαχείρισης κινδύνων. Αισθητήρες σε εξοπλισμό, μηχανήματα, δομικά στοιχεία ή περιβάλλοντα εργασίας μπορούν να παρέχουν δεδομένα για θερμοκρασία, δονήσεις, θέση, χρήση εξοπλισμού, συνθήκες ασφάλειας και παραγωγικότητα. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν μετάβαση από περιοδικές επιθεωρήσεις σε συνεχή παρακολούθηση. Σε συνδυασμό με μοντέλα μηχανικής μάθησης, μπορούν να υποστηρίξουν έγκαιρη προειδοποίηση για κινδύνους ασφάλειας, καθυστερήσεις, αστοχίες εξοπλισμού ή αποκλίσεις από τον σχεδιασμό.

Ωστόσο, η αξία τους εξαρτάται από την αξιοπιστία των αισθητήρων, τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων και την ικανότητα του οργανισμού να μετατρέπει δεδομένα σε αποφάσεις.

Πίνακας 11. Συστατικά ψηφιακού οικοσυστήματος έργων και συμβολή στη διαχείριση κινδύνων.

Συστατικό	Τύπος δεδομένων	Συμβολή στη διαχείριση κινδύνων
BIM	Γεωμετρικά, ποσοτικά και πληροφοριακά δεδομένα αντικειμένου.	Ανίχνευση συγκρούσεων, εκτίμηση ποσοτήτων, σύνδεση σχεδιασμού με κόστος και χρόνο.
IoT και αισθητήρες	Δεδομένα πεδίου σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο.	Έγκαιρη προειδοποίηση για ασφάλεια, εξοπλισμό και συνθήκες εκτέλεσης.
Digital twin	Δυναμική σύνδεση φυσικού και ψηφιακού συστήματος.	Προσομοίωση σεναρίων, πρόβλεψη αποκλίσεων και προσαρμοστική παρακολούθηση.
Project analytics	Ιστορικά και τρέχοντα δεδομένα κόστους, χρόνου και απόδοσης.	Πρόβλεψη καθυστερήσεων, υπερβάσεων και τάσεων κινδύνου.
NLP/LLMs	Κειμενικά δεδομένα συμβάσεων, αναφορών και επικοινωνιών.	Αναγνώριση συμβατικών, οργανωσιακών και τεχνικών κινδύνων από έγγραφα.

Τα project analytics λειτουργούν ως ενδιάμεση γέφυρα ανάμεσα στα δεδομένα και στη διοικητική απόφαση. Δεν πρόκειται απλώς για οπτικοποίηση δεικτών, αλλά για αξιοποίηση ιστορικών και τρεχόντων δεδομένων ώστε να υποστηριχθούν προβλέψεις και ερμηνείες. Τα dashboards μπορούν να δείχνουν αποκλίσεις, αλλά η TN μπορεί να εκτιμά αν αυτές οι αποκλίσεις είναι στατιστικά σημαντικές, αν μοιάζουν με μοτίβα αποτυχίας προηγούμενων έργων ή αν συνδέονται με άλλους δείκτες κινδύνου. Έτσι, η διαχείριση κινδύνων μετατρέπεται από στατική διαδικασία αξιολόγησης σε συνεχή διαδικασία μάθησης και αναθεώρησης.

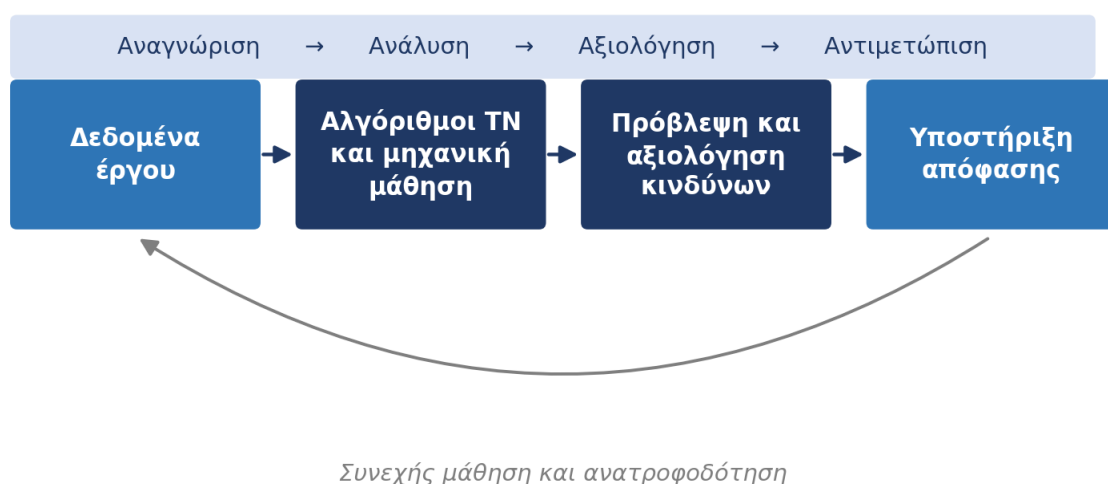
Η βασική πρόκληση είναι η διαλειτουργικότητα. Πολλά έργα διαθέτουν δεδομένα, αλλά αυτά είναι κατακερματισμένα σε διαφορετικά συστήματα, μορφές αρχείων και επίπεδα ποιότητας. Η TN δεν μπορεί να αντισταθμίσει πλήρως την κακή οργάνωση πληροφοριών. Αν τα δεδομένα κόστους δεν συνδέονται με το χρονοδιάγραμμα, αν τα ημερολόγια έργου δεν έχουν κοινή δομή ή αν οι αλλαγές σχεδιασμού δεν καταγράφονται με σαφή τρόπο, η αλγοριθμική ανάλυση περιορίζεται. Επομένως, το ψηφιακό οικοσύστημα έργου αποτελεί προϋπόθεση για τη σοβαρή αξιοποίηση της TN στη διαχείριση κινδύνων και όχι απλώς τεχνολογικό συμπλήρωμα.

4. Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στη Διαχείριση Κινδύνων Έργων

Έχοντας αποσαφηνίσει τόσο τους περιορισμούς των συμβατικών προσεγγίσεων όσο και το τεχνολογικό υπόβαθρο της Τεχνητής Νοημοσύνης, στο παρόν κεφάλαιο εξετάζουμε τις συγκεκριμένες εφαρμογές της στη διαχείριση κινδύνων έργων. Παρουσιάζουμε αρχικά τα θεωρητικά μοντέλα που συνδέουν τα δύο πεδία, και στη συνέχεια διερευνούμε τη συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης στην πρόβλεψη και έγκαιρη ανίχνευση, στην αξιολόγηση και ιεράρχηση, καθώς και στον μετριασμό των κινδύνων και στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων. Ακολουθεί η θεωρητική ανάλυση επιλεγμένων μελετών περίπτωσης από τη διεθνή βιβλιογραφία και, τέλος, μια συγκριτική αποτίμηση των εφαρμογών ανά τομέα έργων.

4.1 Σύνδεση ΤΝ και διαχείρισης κινδύνων: θεωρητικά μοντέλα

Η θεωρητική σύνδεση της Τεχνητής Νοημοσύνης με τη διαχείριση κινδύνων στηρίζεται στην ιδέα της ενίσχυσης και όχι της αντικατάστασης της ανθρώπινης κρίσης. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 9, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης τροφοδοτούνται με δεδομένα του έργου, παράγουν προβλέψεις και αξιολογήσεις κινδύνων και υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων, εντασσόμενοι στα διαδοχικά στάδια της αναγνώρισης, της ανάλυσης, της αξιολόγησης και της αντιμετώπισης που περιγράφηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Η συνεχής ανατροφοδότηση επιτρέπει στα μοντέλα να βελτιώνονται καθώς συσσωρεύονται νέα δεδομένα.



Σχήμα 9. Εννοιολογικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της ΤΝ στη διεργασία διαχείρισης κινδύνων.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, η αξιοποίηση μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης για τη διαχείριση κινδύνων έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, ιδίως στον κατασκευαστικό τομέα (Afzal et al., 2021, Abioye et al., 2021). Σε ανασκόπησή τους, οι Afzal et al. (2021) τονίζουν ότι οι υβριδικές προσεγγίσεις, που συνδυάζουν την ασαφή λογική με επεκτάσεις των Μπεϋζιανών δικτύων, ενδείκνυνται για την αποτύπωση των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ πολυπλοκότητας και κινδύνου υπό συνθήκες υψηλής αβεβαιότητας. Η δυνατότητα αυτή απαντά ευθέως στους περιορισμούς των συμβατικών μεθόδων, καθώς η Τεχνητή Νοημοσύνη μαθαίνει από τα δεδομένα αντί να βασίζεται αποκλειστικά στην υποκειμενική κρίση, μετριάζοντας ταυτόχρονα τη στατικότητα των εκτιμήσεων.

4.2 ΤΝ στην πρόβλεψη και έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων

Μια από τις πλέον ώριμες εφαρμογές αφορά την πρόβλεψη και την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων. Σε μελέτη τους, οι Gondia et al. (2020) ανέπτυξαν μοντέλα μηχανικής μάθησης, και ειδικότερα δένδρα αποφάσεων και τον αφελή ταξινομητή Bayes, για την πρόβλεψη του κινδύνου καθυστέρησης σε κατασκευαστικά έργα, αξιοποιώντας αντικειμενικά δεδομένα. Αντίστοιχα, στον χώρο των έργων πληροφορικής, η συστηματική ανάλυση των παραγόντων κινδύνου επιτρέπει την έγκαιρη αναγνώριση πιθανών αστοχιών (de Bakker et al., 2010). Σημαντικό πλεονέκτημα των προσεγγίσεων αυτών είναι ότι, θεμελιώνοντας τις προβλέψεις στην πραγματική επίδοση παρόμοιων έργων, περιορίζουν την αισιοδοξική προκατάληψη που χαρακτηρίζει τις υποκειμενικές εκτιμήσεις (Flyvbjerg, 2006).

Πίνακας 12. Τεχνικές ΤΝ για την πρόβλεψη και την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων.

Τεχνική	Λειτουργία	Ενδεικτική αναφορά
Δένδρα αποφάσεων, Naive Bayes	Πρόβλεψη κινδύνου καθυστέρησης από αντικειμενικά δεδομένα.	Gondia et al. (2020)
Νευρωνικά δίκτυα, SVM	Εκτίμηση πιθανότητας και συνέπειας παραγόντων κινδύνου.	Sanni-Anibire et al. (2022)
Ανάλυση παραγόντων κινδύνου	Έγκαιρη αναγνώριση κινδύνων σε έργα πληροφορικής.	de Bakker et al. (2010)

4.3 ΤΝ στην αξιολόγηση και ιεράρχηση κινδύνων

Πέρα από την πρόβλεψη, η Τεχνητή Νοημοσύνη συνεισφέρει στην αξιολόγηση και ιεράρχηση των κινδύνων, ξεπερνώντας τους περιορισμούς της στατικής μήτρας πιθανότητας και επίπτωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα Μπεϋζιανά δίκτυα, τα οποία μοντελοποιούν ρητά τις εξαρτήσεις μεταξύ των παραγόντων κινδύνου.

Οι Khodakarami και Abdi (2014) αξιοποίησαν ένα υβριδικό και δυναμικό Μπεϋζιανό δίκτυο για την ανάλυση του κινδύνου κόστους, αποτυπώνοντας τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των επιμέρους στοιχείων κόστους και εκτιμώντας πιθανοτικά το συνολικό κόστος του έργου. Η λογική αυτή απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 10, όπου παράγοντες κινδύνου τροφοδοτούν μια ενδιάμεση εκτίμηση επικινδυνότητας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα κόστους και χρόνου.



Σχήμα 10. Σχηματική αναπαράσταση Μπεϋζιανού δικτύου για την αξιολόγηση κινδύνων.

Παράλληλα, οι υβριδικές μέθοδοι που συνδυάζουν την ασαφή λογική με Μπεϋζιανά δίκτυα επιτρέπουν την αποτύπωση της αβεβαιότητας και της υποκειμενικότητας των δεδομένων κινδύνου με μεγαλύτερη ευελιξία (Afzal et al., 2021). Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές ποιοτικές μεθόδους, οι προσεγγίσεις αυτές προσφέρουν δυναμική ιεράρχηση, η οποία επικαιροποιείται καθώς μεταβάλλονται οι συνθήκες του έργου.

4.4 ΤΝ στον μετριασμό και τη λήψη αποφάσεων

Στο στάδιο του μετριασμού, η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, βοηθώντας στην επιλογή και αξιολόγηση στρατηγικών απόκρισης. Σύμφωνα με τη λογική των μηχανών πρόβλεψης, η φθηνότερη και ακριβέστερη πρόβλεψη μετατοπίζει την ανθρώπινη προσπάθεια προς την κρίση και την αξιολόγηση των εναλλακτικών (Agrawal et al., 2019). Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με την καθιερωμένη θέση ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη αποδίδει καλύτερα όταν ενισχύει αντί να

αντικαθιστά τις ανθρώπινες ικανότητες (Davenport & Ronanki, 2018). Ο Πίνακας 13 συνοψίζει τη συμβολή της Τεχνητής Νοημοσύνης σε κάθε φάση της διεργασίας διαχείρισης κινδύνων.

Πίνακας 13. Συμβολή της TN ανά φάση της διεργασίας διαχείρισης κινδύνων.

Φάση	Συμβατική πρακτική	Συμβολή της TN
Αναγνώριση	Καταιγισμός ιδεών, κατάλογοι ελέγχου.	Αυτόματη ανίχνευση προτύπων σε δεδομένα.
Ανάλυση	Ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση.	Μοντέλα πρόβλεψης και Μπεϋζιανά δίκτυα.
Αξιολόγηση	Μήτρα πιθανότητας και επίπτωσης.	Δυναμική ιεράρχηση βάσει δεδομένων.
Αντιμετώπιση	Κρίση εμπειρογνομόνων.	Υποστήριξη επιλογής στρατηγικών απόκρισης.

Η αξιοποίηση αυτή εγείρει, ωστόσο, ζητήματα ευθύνης και διαφάνειας. Η αδιαφάνεια ορισμένων μοντέλων και ο κίνδυνος μεροληπτικών αποτελεσμάτων καθιστούν αναγκαία τη διατήρηση της ανθρώπινης εποπτείας και την τήρηση ηθικών αρχών όπως η λογοδοσία και η ιχνηλασιμότητα (Mittelstadt et al., 2016, Jobin et al., 2019). Συνεπώς, η τελική απόφαση και η ευθύνη της παραμένουν στον άνθρωπο, με την Τεχνητή Νοημοσύνη σε ρόλο υποστηρικτικό.

4.5 Θεωρητική ανάλυση επιλεγμένων μελετών περίπτωσης (από βιβλιογραφία)

Η ανάλυση επιλεγμένων μελετών περίπτωσης από τη διεθνή βιβλιογραφία αναδεικνύει την πρακτική εφαρμοσιμότητα των παραπάνω προσεγγίσεων. Οι Gondia et al. (2020) κατέδειξαν ότι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια τον κίνδυνο καθυστέρησης σε κατασκευαστικά έργα, χρησιμοποιώντας αντικειμενικά δεδομένα. Οι Sanni-Anibire et al. (2022), αξιοποιώντας τριάντα έξι παράγοντες κινδύνου καθυστέρησης και ένα σύνολο τεχνικών μηχανικής μάθησης, ανέπτυξαν μοντέλο εκτίμησης του κινδύνου καθυστέρησης ειδικά για έργα ψηλών κτιρίων, με το βέλτιστο αποτέλεσμα να προκύπτει από σύστημα πολλαπλών ταξινομητών.

Στο πεδίο του κόστους, οι Khodakarami και Abdi (2014) εφάρμοσαν υβριδικό Μπεϋζιανό δίκτυο για τη μοντελοποίηση των εξαρτήσεων μεταξύ στοιχείων κόστους και την πιθανοτική εκτίμηση του συνολικού κόστους. Σε ευρύτερο πλαίσιο, οι Uddin et al. (2022) πρότειναν ένα πλαίσιο βασισμένο σε δεδομένα και αξιολόγησαν συγκριτικά υφιστάμενες

μεθόδους μηχανικής μάθησης στην παράδοση κατασκευαστικών έργων, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα αξιοποίησής τους στην αναλυτική των έργων. Ο Πίνακας 4.3 συνοψίζει τις μελέτες αυτές.

Πίνακας 14. Σύνοψη επιλεγμένων μελετών περίπτωσης εφαρμογής TN.

Μελέτη	Μέθοδος TN	Τομέας	Βασικό εύρημα
Gondia et al. (2020)	Δένδρα αποφάσεων, Naive Bayes	Κατασκευές	Ακριβής πρόβλεψη κινδύνου καθυστέρησης.
Sanni-Anibire et al. (2022)	KNN, ANN, SVM, πολυταξινομητής	Ψηλά κτίρια	Αξιόπιστη εκτίμηση κινδύνου καθυστέρησης.
Khodakarami & Abdi (2014)	Υβριδικό Μπεϋζιανό δίκτυο	Κόστος έργων	Μοντελοποίηση εξαρτήσεων κόστους.
Uddin et al. (2022)	Σύγκριση αλγορίθμων ML	Διοίκηση έργων	Πλαίσιο αξιοποίησης ML στην παράδοση.

4.6 Συγκριτική αξιολόγηση εφαρμογών TN ανά τομέα έργων

Η συγκριτική θεώρηση των εφαρμογών αναδεικνύει διαφοροποιήσεις ανά τομέα έργων, όπως συνοψίζεται στο Σχήμα 11. Στον κατασκευαστικό τομέα κυριαρχούν η ασαφής λογική, τα Μπεϋζιανά δίκτυα και τα νευρωνικά δίκτυα, λόγω της ικανότητάς τους να διαχειρίζονται την πολυπλοκότητα και την υποκειμενικότητα των δεδομένων (Afzal et al., 2021, Abioye et al., 2021). Στα έργα πληροφορικής και λογισμικού, η έμφαση δίνεται σε ταξινομητές μηχανικής μάθησης και σε στατιστικά μοντέλα κινδύνου που αξιοποιούν ιστορικά δεδομένα αστοχιών (de Bakker et al., 2010). Στη γενικότερη διοίκηση έργων, αναδύεται η αναλυτική των έργων, με εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης σε ιστορικά δεδομένα για την υποστήριξη της παράδοσης (Uddin et al., 2022).



Σχήμα 11. Κυρίαρχες τεχνικές TN ανά τομέα έργων.

Παρά τις διαφοροποιήσεις, εντοπίζονται κοινοί περιορισμοί σε όλους τους τομείς. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των δεδομένων, η ερμηνευσιμότητα των μοντέλων και η ενσωμάτωσή τους στις υφιστάμενες οργανωσιακές διαδικασίες αποτελούν επαναλαμβανόμενες προκλήσεις (Afzal et al., 2021). Η αντιμετώπισή τους προϋποθέτει όχι μόνο τεχνική επάρκεια αλλά και κατάλληλη οργανωσιακή προετοιμασία, ζήτημα που συζητείται περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο, όπου συνοψίζονται τα ευρήματα και διατυπώνονται οι μελλοντικές κατευθύνσεις.

4.7 Υπολογιστική όραση για την ασφάλεια των έργων

Η ασφάλεια αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς κινδύνου, ιδίως στα κατασκευαστικά έργα, όπου τα ατυχήματα έχουν σοβαρές ανθρώπινες και οικονομικές συνέπειες. Η υπολογιστική όραση, σε συνδυασμό με τη βαθιά μάθηση, προσφέρει τη δυνατότητα αυτόματης παρακολούθησης των εργοταξίων μέσω εικόνων και βίντεο, μετατρέποντας τη διαχείριση της ασφάλειας από αντιδραστική σε προληπτική.

Σε εκτενή ανασκόπησή τους, οι Fang, Love, Luo και Ding (2020) εξετάζουν τη χρήση της υπολογιστικής όρασης για τη βασισμένη στη συμπεριφορά ασφάλεια, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα αυτόματης ανίχνευσης επικίνδυνων συμπεριφορών και κινδύνων σε πραγματικό χρόνο από δισδιάστατες εικόνες. Η τυπική ροή επεξεργασίας απεικονίζεται στο Σχήμα 12, όπου η εικόνα ή το βίντεο του εργοταξίου τροφοδοτεί ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο που ανιχνεύει αντικείμενα και αναγνωρίζει επικίνδυνες καταστάσεις, οδηγώντας σε έγκαιρη ειδοποίηση.



Σχήμα 12. Ροή υπολογιστικής όρασης για την παρακολούθηση της ασφάλειας στα εργοτάξια.

Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα επιτρέπουν την ανίχνευση εργαζομένων, εξοπλισμού και μέσων ατομικής προστασίας, όπως τα κράνη, καθώς και τον εντοπισμό επικίνδυνης εγγύτητας, ενεργοποιώντας έγκαιρες προειδοποιήσεις. Οι εφαρμογές αυτές εντάσσονται στο ευρύτερο ρεύμα αξιοποίησης της Τεχνητής Νοημοσύνης στον κατασκευαστικό κλάδο (Abioye et al., 2021) και στηρίζονται στις προόδους της βαθιάς μάθησης στην αναγνώριση εικόνας (LeCun et al., 2015).

Παρά τις δυνατότητες αυτές, η πρακτική εφαρμογή της υπολογιστικής όρασης αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με την ακρίβεια, τη γενικευσιμότητα της ανίχνευσης, τη συλλογή δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικότητας (Fang et al., 2020). Παρ' όλα αυτά, η τεχνολογία αυτή μετατοπίζει τη διαχείριση της ασφάλειας προς μια προληπτική κατεύθυνση, εντοπίζοντας τους κινδύνους πριν αυτοί εκδηλωθούν.

4.8 Παραγωγική ΤΝ και μεγάλα γλωσσικά μοντέλα στη διαχείριση κινδύνων

Η πλέον πρόσφατη εξέλιξη στο πεδίο αφορά την παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη και τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα, όπως τα μοντέλα GPT. Σε πρόσφατη μελέτη τους, οι Saka et al. (2024) αξιολογούν τα μοντέλα αυτά στον κατασκευαστικό κλάδο, εντοπίζοντας ευκαιρίες σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου, μέσω κριτικής ανασκόπησης, συζήτησης με εμπειρογνώμονες και επικύρωσης σε μελέτη περίπτωσης.

Στο πεδίο της διαχείρισης κινδύνων ειδικότερα, τα γλωσσικά μοντέλα μπορούν να εξετάζουν εκτενή έγγραφα έργου και ιστορικά δεδομένα για την αναγνώριση και την αξιολόγηση κινδύνων, να συνθέτουν αυτόματα αναφορές κινδύνου και να ενσωματώνουν νέα πληροφορία καθώς το έργο εξελίσσεται (Saka et al., 2024). Οι δυνατότητες αυτές

στηρίζονται στην αρχιτεκτονική Transformer που παρουσιάστηκε προηγουμένως (Vaswani et al., 2017). Ο Πίνακας 15 συνοψίζει τις βασικές ευκαιρίες και τους περιορισμούς.

Πίνακας 15. Ευκαιρίες και περιορισμοί της παραγωγικής TN στη διαχείριση κινδύνων.

Ευκαιρίες	Περιορισμοί
Αυτόματη σύνταξη αναφορών κινδύνου.	Παραγωγή εσφαλμένων ή πλασματικών πληροφοριών.
Εξαγωγή κινδύνων από εκτενή έγγραφα.	Ζητήματα εμπιστευτικότητας των δεδομένων.
Ενσωμάτωση νέας πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο.	Ανάγκη επικύρωσης από ειδικό.
Υποστήριξη της επικοινωνίας κινδύνων.	Περιορισμένη ερμηνευσιμότητα και διαφάνεια.

Οι περιορισμοί αυτοί είναι ουσιώδεις. Ο κίνδυνος παραγωγής εσφαλμένων πληροφοριών, τα ζητήματα εμπιστευτικότητας των δεδομένων και η ανάγκη επικύρωσης από ειδικό καθιστούν απαραίτητη την ανθρώπινη εποπτεία (Saka et al., 2024). Σε αυτά προστίθενται η περιορισμένη ερμηνευσιμότητα (Barredo Arrieta et al., 2020) και τα ευρύτερα ηθικά ζητήματα της αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων (Mittelstadt et al., 2016). Συνεπώς, η παραγωγική Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί υποστηρικτικά και ενισχυτικά, χωρίς να υποκαθιστά την κρίση και την ευθύνη του ανθρώπου, αποτελώντας ένα πολλά υποσχόμενο αλλά ακόμη αναδυόμενο εργαλείο.

4.9 TN στην αναγνώριση κινδύνων από έγγραφα έργου

Ένα μεγάλο μέρος των κινδύνων ενός έργου βρίσκεται ενσωματωμένο σε κείμενα. Συμβάσεις, τεχνικές προδιαγραφές, τεύχη δημοπράτησης, πρακτικά συναντήσεων, αλληλογραφία, αναφορές προόδου, αιτήματα αλλαγών, ημερολόγια έργου και έγγραφα claims περιέχουν πληροφορίες που μπορούν να προειδοποιήσουν για πιθανά προβλήματα. Παραδοσιακά, η αναγνώριση αυτών των κινδύνων βασίζεται στην εμπειρία των στελεχών και στη χειροκίνητη ανάγνωση μεγάλου όγκου εγγράφων. Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα προσφέρουν νέες δυνατότητες συστηματικής ανάλυσης τέτοιων κειμενικών πηγών (Jurafsky & Martin, 2023; Saka et al., 2024).

Η βασική συμβολή της TN στην ανάλυση εγγράφων έργου είναι η δυνατότητα εντοπισμού μοτίβων, ασυνεπειών και ενδείξεων κινδύνου σε μη δομημένα δεδομένα. Για παράδειγμα, ένα σύστημα NLP μπορεί να αναγνωρίσει επαναλαμβανόμενες αναφορές σε

καθυστερήσεις εγκρίσεων, ασάφειες προδιαγραφών, μεταβολές απαιτήσεων, ελλείψεις προσωπικού ή συγκρούσεις μεταξύ υπεργολάβων. Σε πιο προχωρημένο επίπεδο, ένα γλωσσικό μοντέλο μπορεί να συνοψίζει κινδύνους από εκτενείς αναφορές, να προτείνει ταξινόμηση σε κατηγορίες κινδύνου και να υποστηρίζει τη σύνταξη αναφορών προς τη διοίκηση. Η αξία αυτής της λειτουργίας είναι ιδιαίτερα μεγάλη σε έργα με υψηλή τεκμηρίωση και πολλαπλούς εμπλεκόμενους.

Η ανάλυση συμβάσεων αποτελεί ιδιαίτερο πεδίο εφαρμογής. Πολλοί κίνδυνοι κόστους και χρόνου δεν προκύπτουν από τεχνικές αστοχίες, αλλά από ασάφειες ευθυνών, ατελείς όρους, ασαφείς διαδικασίες αλλαγών ή αμφιλεγόμενες ρήτρες. Η TN μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό όρων που συνδέονται με αυξημένο συμβατικό κίνδυνο, όπως περιορισμένα δικαιώματα παράτασης, αυστηρές ρήτρες καθυστέρησης, ασαφείς μηχανισμοί αποζημίωσης ή ανεπαρκή ορισμό παραδοτέων. Ωστόσο, η ερμηνεία των συμβατικών κινδύνων δεν μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως, διότι απαιτεί νομική, τεχνική και διοικητική κρίση. Η TN μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός επισήμανσης και όχι ως τελικός ερμηνευτής.

Ανάλογη σημασία έχουν τα πρακτικά συναντήσεων και οι αναφορές προόδου. Συχνά, τα πρώιμα σήματα κινδύνου εμφανίζονται ως επαναλαμβανόμενες μικρές αποκλίσεις στη γλώσσα των αναφορών: καθυστερημένες απαντήσεις, εκκρεμότητες χωρίς υπεύθυνο, ασάφεια χρονοδιαγράμματος, συχνή αναβολή αποφάσεων ή αυξανόμενη ένταση μεταξύ εμπλεκομένων. Τα γλωσσικά μοντέλα μπορούν να υποστηρίξουν την εξαγωγή τέτοιων δεικτών, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται με επίγνωση των περιορισμών τους. Η παραγωγική TN μπορεί να παράγει πειστικά αλλά εσφαλμένα συμπεράσματα, να παραβλέψει κρίσιμες λεπτομέρειες ή να απομονώσει φράσεις από το πλαίσιο (Brown et al., 2020; Saka et al., 2024).

Πίνακας 16. Πηγές κειμενικών δεδομένων και δυνητικά αναγνωρίσιμοι κίνδυνοι.

Πηγή εγγράφων	Ενδεικτικοί κίνδυνοι	Δυνατότητα TN
Συμβάσεις και τεύχη δημοπράτησης	Ασάφειες ευθυνών, ρήτρες καθυστέρησης, claims.	Εντοπισμός όρων υψηλού συμβατικού κινδύνου και σύγκριση με πρότυπα.
Τεχνικές προδιαγραφές	Ασυμβατότητες, ελλιπής περιγραφή απαιτήσεων, ποιοτικοί κίνδυνοι.	Εξαγωγή ασάφειας, επαναλήψεων και αποκλίσεων από τεχνικά πρότυπα.
Πρακτικά συναντήσεων	Εκκρεμότητες, αναβολές, συγκρούσεις stakeholders.	Αυτόματη σύνοψη θεμάτων και ανίχνευση επαναλαμβανόμενων ενδείξεων κινδύνου.
Αναφορές προόδου	Καθυστερήσεις, μειωμένη παραγωγικότητα, ελλείψεις πόρων.	Συσχέτιση γλωσσικών σημάτων με ιστορικά μοτίβα απόκλισης.
Αλληλογραφία έργου	Ανεπίλυτες αποφάσεις, αλλαγές απαιτήσεων, επικοινωνιακοί κίνδυνοι.	Κατηγοριοποίηση θεμάτων και προτεραιοποίηση πιθανών ζητημάτων.

Η χρήση TN σε έγγραφα έργου εγείρει επίσης ζητήματα εμπιστευτικότητας και διακυβέρνησης δεδομένων. Τα έγγραφα έργου συχνά περιλαμβάνουν οικονομικά στοιχεία, τεχνικά μυστικά, συμβατικές στρατηγικές και προσωπικά δεδομένα. Η εισαγωγή τέτοιων πληροφοριών σε εξωτερικά συστήματα TN χωρίς κατάλληλες δικλίδες μπορεί να δημιουργήσει σοβαρούς κινδύνους. Επομένως, η αξιοποίηση NLP και LLMs πρέπει να συνοδεύεται από πολιτικές πρόσβασης, ανωνυμοποίησης, ελέγχου εξόδου και ανθρώπινης επικύρωσης. Η παραγωγική TN είναι χρήσιμη όταν ενισχύει τη δομημένη ανάγνωση και τη διοικητική προετοιμασία, όχι όταν αντικαθιστά την επαγγελματική κρίση.

Συνολικά, η αναγνώριση κινδύνων από έγγραφα έργου αποτελεί ένα από τα πιο υποσχόμενα πεδία εφαρμογής της TN, επειδή συνδέει την τεχνική ανάλυση με την καθημερινή πραγματικότητα της διοίκησης έργων. Τα έργα παράγουν διαρκώς κείμενα και τα κείμενα αυτά περιέχουν ενδείξεις κινδύνου πριν οι κίνδυνοι εκδηλωθούν πλήρως. Η TN μπορεί να λειτουργήσει ως σύστημα ενίσχυσης της προσοχής του project manager, επισημαίνοντας σημεία που αξίζουν έλεγχο. Η τελική αξιολόγηση, όμως, παραμένει ανθρώπινη, καθώς απαιτεί κατανόηση του τεχνικού αντικειμένου, του συμβατικού πλαισίου και των σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων.

4.10 TN σε κινδύνους κόστους, χρόνου, ασφάλειας και ποιότητας

Οι κίνδυνοι κόστους και χρόνου αποτελούν τις πιο κλασικές αλλά και πιο επίμονες προκλήσεις της διοίκησης έργων. Παρά τη μακρά ιστορία εργαλείων προγραμματισμού, προϋπολογισμού και ελέγχου, πολλά έργα εξακολουθούν να παρουσιάζουν υπερβάσεις κόστους και καθυστερήσεις. Η συμβολή της TN σε αυτό το πεδίο είναι σημαντική, επειδή επιτρέπει την αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων, δεικτών παραγωγικότητας, προόδου, αλλαγών και αποκλίσεων για την εκτίμηση της πιθανότητας μελλοντικών προβλημάτων. Μελέτες όπως των Gondia et al. (2020) και Sanni-Anibire et al. (2022) δείχνουν ότι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη κινδύνου καθυστερήσεων σε κατασκευαστικά έργα.

Στον κίνδυνο χρονοδιαγράμματος, τα μοντέλα TN μπορούν να αξιοποιήσουν δεδομένα από δραστηριότητες, κρίσιμες διαδρομές, ρυθμούς παραγωγής, καθυστερήσεις εγκρίσεων, αλλαγές σχεδιασμού και διαθεσιμότητα πόρων. Η διαφορά από τη συμβατική παρακολούθηση είναι ότι η TN δεν περιορίζεται στη διαπίστωση υφιστάμενης απόκλισης, αλλά μπορεί να εκτιμήσει πιθανή μελλοντική απόκλιση με βάση πρότυπα που έχουν εμφανιστεί σε παρόμοια έργα. Έτσι, η διαχείριση χρόνου μετακινείται από το αναδρομικό reporting προς την προληπτική λήψη μέτρων. Η αξιοποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συνδυάζεται με earned value management, εβδομαδιαίες αναφορές προόδου και δεδομένα παραγωγικότητας.

Στον κίνδυνο κόστους, οι υπερβάσεις συχνά συνδέονται με αλλαγές αντικειμένου, αστοχίες εκτίμησης, πληθωριστικές πιέσεις, μεταβολές τιμών υλικών, ανεπαρκή ανάλυση κινδύνων και αλληλεξαρτήσεις μεταξύ στοιχείων κόστους. Τα Μπεϋζιανά δίκτυα και τα υβριδικά μοντέλα μπορούν να συμβάλουν στην πιθανοτική αποτίμηση αυτών των αλληλεξαρτήσεων, όπως δείχνει η εργασία των Khodakarami και Abdi (2014). Σε αντίθεση με μια απλή γραμμική εκτίμηση, τέτοιες προσεγγίσεις μπορούν να αναπαραστήσουν το γεγονός ότι μια αλλαγή σε ένα στοιχείο κόστους επηρεάζει άλλα στοιχεία και τελικά το συνολικό κόστος του έργου.

Η ασφάλεια αποτελεί πεδίο όπου η TN έχει ιδιαίτερη πρακτική σημασία, διότι οι κίνδυνοι δεν είναι μόνο οικονομικοί αλλά αφορούν ανθρώπινη ζωή και υγεία. Η υπολογιστική όραση μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανίχνευση εργαζομένων, εξοπλισμού, μέσων ατομικής προστασίας, επικίνδυνης εγγύτητας ή μη ασφαλών συμπεριφορών. Οι Fang et al. (2020) αναδεικνύουν τη δυνατότητα χρήσης υπολογιστικής όρασης για συμπεριφορική ασφάλεια στα εργοτάξια, ενώ οι Guo et al. (2017) τεκμηριώνουν τη σημασία της

αυτοματοποιημένης οπτικής ανάλυσης για την πρόληψη ατυχημάτων. Η μετατόπιση εδώ είναι σαφής: από τον περιοδικό έλεγχο μετά το συμβάν προς την έγκαιρη ανίχνευση επικίνδυνων συνθηκών.

Οι κίνδυνοι ποιότητας είναι εξίσου σημαντικοί, αν και συχνά υποτιμώνται στη βιβλιογραφία έναντι κόστους και χρόνου. Η κακή ποιότητα μπορεί να οδηγήσει σε επανεργασίες, καθυστερήσεις, claims, αυξημένο κόστος συντήρησης και απώλεια εμπιστοσύνης. Η TN μπορεί να υποστηρίξει την ανίχνευση αποκλίσεων από σχέδια, την αναγνώριση ελαττωμάτων μέσω εικόνας, τη σύγκριση as-built και as-designed κατάστασης και την πρόβλεψη περιοχών υψηλού κινδύνου επανάληψης εργασιών. Η σύνδεση BIM, computer vision και αναλυτικής επιτρέπει τη διαμόρφωση ενός πιο ολοκληρωμένου μηχανισμού ελέγχου ποιότητας.

Πίνακας 17. Ενδεικτική αντιστοίχιση κατηγοριών κινδύνου και τεχνικών TN.

Κατηγορία κινδύνου	Ενδεικτικά δεδομένα	Τεχνικές TN	Σκοπός
Χρόνος	Χρονοδιάγραμμα, πρόοδος, παραγωγικότητα, εγκρίσεις.	Decision trees, SVM, neural networks.	Πρόβλεψη καθυστέρησης και early warnings.
Κόστος	Προϋπολογισμός, αλλαγές, τιμές, claims.	Bayesian networks, regression models, ML.	Πιθανοτική εκτίμηση υπέρβασης και ανάλυση εξαρτήσεων.
Ασφάλεια	Εικόνες, βίντεο, αισθητήρες, συμβάντα.	Computer vision, deep learning.	Ανίχνευση επικίνδυνων συμπεριφορών και άμεση ειδοποίηση.
Ποιότητα	BIM, φωτογραφίες, επιθεωρήσεις, αναφορές ελαττωμάτων.	Image recognition, anomaly detection.	Έγκαιρος εντοπισμός αποκλίσεων και ανάγκης επανεργασίας.
Συμβατικοί κίνδυνοι	Συμβάσεις, αλληλογραφία, τεύχη.	NLP, LLMs, text classification.	Εντοπισμός ασάφειας, claims και όρων υψηλού κινδύνου.

Παρά τις δυνατότητες αυτές, η εφαρμογή της TN σε κόστη, χρονοδιαγράμματα, ασφάλεια και ποιότητα πρέπει να αξιολογείται κριτικά. Τα μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να αποδώσουν καλά σε ένα σύνολο δεδομένων και να αποτύχουν σε άλλο, ιδίως όταν αλλάζει ο τύπος έργου, το θεσμικό περιβάλλον ή η ποιότητα των δεδομένων. Επιπλέον, η ανίχνευση συσχετίσεων δεν ισοδυναμεί πάντοτε με αιτιώδη κατανόηση. Ένα μοντέλο μπορεί να προβλέψει αυξημένο κίνδυνο καθυστέρησης, αλλά ο project manager πρέπει να κατανοήσει αν η αιτία είναι τεχνική, οργανωσιακή, συμβατική ή εξωτερική. Η TN παρέχει σήματα, όχι αυτοτελή διοικητική σοφία.

Επομένως, η ισχυρότερη χρήση της TN είναι η ενσωμάτωσή της σε έναν κύκλο διοικητικής μάθησης. Τα δεδομένα τροφοδοτούν το μοντέλο, το μοντέλο παράγει πρόβλεψη, ο άνθρωπος ερμηνεύει και αποφασίζει, η απόφαση εφαρμόζεται και το αποτέλεσμα επιστρέφει ως νέο δεδομένο. Σε αυτόν τον κύκλο, η TN δεν είναι απλώς εργαλείο αυτοματοποίησης, αλλά μηχανισμός συνεχούς βελτίωσης της διαχείρισης κινδύνων. Η αξία της μετράται όχι μόνο από την ακρίβεια των προβλέψεων, αλλά και από την ικανότητά της να οδηγεί σε έγκαιρες, τεκμηριωμένες και υπεύθυνες παρεμβάσεις.

4.11 Συγκριτική σύνθεση τεχνικών TN στη διαχείριση κινδύνων έργων

Η σύγκριση των τεχνικών TN δείχνει ότι δεν υπάρχει μία καθολικά βέλτιστη μέθοδος για τη διαχείριση κινδύνων έργων. Κάθε τεχνική έχει διαφορετική καταλληλότητα, ανάλογα με το είδος των δεδομένων, τον τύπο του κινδύνου, την ανάγκη ερμηνευσιμότητας και το επίπεδο διοικητικής ωριμότητας του οργανισμού. Η απλή αναφορά στην TN ως ενιαίο εργαλείο είναι επομένως μεθοδολογικά ανεπαρκής. Μια ώριμη βιβλιογραφική αποτίμηση πρέπει να διακρίνει ανάμεσα σε τεχνικές πρόβλεψης, τεχνικές ταξινόμησης, πιθανοτικά μοντέλα, τεχνικές ανάλυσης εικόνας, τεχνικές επεξεργασίας κειμένου και υβριδικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Η διαφοροποίηση αυτή είναι κρίσιμη για να αποφευχθεί η γενικευμένη και ασαφής χρήση του όρου TN.

Τα δένδρα αποφάσεων και ορισμένοι κλασικοί ταξινομητές έχουν το πλεονέκτημα της σχετικής ερμηνευσιμότητας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προβλήματα όπου ο οργανισμός χρειάζεται όχι μόνο πρόβλεψη, αλλά και μια λογική διαδρομή αιτιολόγησης. Για παράδειγμα, στην πρόβλεψη καθυστέρησης, ένα δένδρο αποφάσεων μπορεί να δείξει ότι ο κίνδυνος αυξάνεται όταν συνυπάρχουν χαμηλή πρόοδος, καθυστερημένες εγκρίσεις και αυξημένος αριθμός αλλαγών. Η ερμηνευσιμότητα αυτή διευκολύνει τη χρήση από project managers, αλλά συχνά συνοδεύεται από περιορισμένη ικανότητα αποτύπωσης σύνθετων μη γραμμικών σχέσεων σε μεγάλα και ετερογενή δεδομένα (Jordan & Mitchell, 2015; Gondia et al., 2020).

Τα νευρωνικά δίκτυα και η βαθιά μάθηση είναι καταλληλότερα όταν υπάρχουν μεγάλα σύνολα δεδομένων και πολύπλοκα πρότυπα. Είναι ιδιαίτερα ισχυρά στην ανάλυση εικόνας, βίντεο και αισθητηριακών δεδομένων, γι' αυτό συνδέονται στενά με την υπολογιστική όραση για θέματα ασφάλειας και ποιότητας. Ωστόσο, η υψηλή προβλεπτική τους ισχύς συνοδεύεται από μειωμένη διαφάνεια. Σε έργα όπου οι αποφάσεις πρέπει να

τεκμηριώνονται έναντι διοίκησης, πελάτη, δημόσιας αρχής ή δικαστικής διαδικασίας, η έλλειψη εξήγησης μπορεί να λειτουργήσει ως σημαντικό εμπόδιο υιοθέτησης (LeCun et al., 2015; Barredo Arrieta et al., 2020).

Τα Μπεϋζιανά δίκτυα και οι πιθανοτικές προσεγγίσεις έχουν ιδιαίτερη αξία στη διαχείριση κινδύνων, επειδή επιτρέπουν τη ρητή αποτύπωση εξαρτήσεων. Σε αντίθεση με μια απλή μήτρα κινδύνου, ένα Μπεϋζιανό δίκτυο μπορεί να δείξει πώς ένας παράγοντας επηρεάζει άλλους και πώς η μεταβολή νέας πληροφορίας αναθεωρεί την εκτίμηση συνολικού κινδύνου. Αυτό ταιριάζει με τη φύση των έργων, όπου οι κίνδυνοι συνήθως δεν είναι ανεξάρτητοι. Το μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται προσεκτική διαμόρφωση δομής, επαρκή δεδομένα ή τεκμηριωμένη γνώση ειδικών και συνεχής επικαιροποίηση των πιθανοτήτων (Khodakarami & Abdi, 2014; Afzal et al., 2021).

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα καλύπτουν διαφορετική ανάγκη: την αξιοποίηση κειμενικών δεδομένων. Η διοίκηση έργων είναι έντονα κειμενοκεντρική, καθώς οι αποφάσεις, οι υποχρεώσεις, οι αλλαγές και οι συγκρούσεις αποτυπώνονται σε έγγραφα. Η αξία των NLP/LLMs βρίσκεται στην ικανότητα ανάγνωσης, ταξινόμησης και σύνοψης μεγάλου όγκου κειμένου. Παράλληλα, οι περιορισμοί τους είναι κρίσιμοι: πιθανότητα παραγωγής ανακριβών πληροφοριών, ανάγκη ελέγχου από ειδικό, ζητήματα εμπιστευτικότητας και δυσκολία κατανόησης του πλήρους νομικού ή τεχνικού πλαισίου (Brown et al., 2020; Saka et al., 2024).

Πίνακας 18. Συγκριτική αποτίμηση βασικών τεχνικών ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων.

Τεχνική	Καταλληλότερη χρήση	Πλεονέκτημα	Περιορισμός
Δένδρα αποφάσεων / κλασικοί ταξινομητές	Πρόβλεψη καθυστερήσεων και ταξινόμηση κινδύνων.	Σχετική ερμηνευσιμότητα και ευκολία επικοινωνίας.	Περιορισμένη απόδοση σε πολύ σύνθετα δεδομένα.
Νευρωνικά δίκτυα / βαθιά μάθηση	Εικόνες, βίντεο, μεγάλα και μη γραμμικά δεδομένα.	Υψηλή ακρίβεια σε σύνθετα πρότυπα.	Black-box χαρακτήρας και ανάγκη πολλών δεδομένων.
Μπεϋζιανά δίκτυα	Αλληλεξαρτήσεις κόστους, χρόνου και κινδύνων.	Πιθανοτική λογική και δυναμική αναθεώρηση.	Ανάγκη τεκμηριωμένης δομής και παραδοχών.
NLP / LLMs	Συμβάσεις, αναφορές, πρακτικά και τεχνικά κείμενα.	Αξιοποίηση μη δομημένων κειμενικών δεδομένων.	Κίνδυνος ανακριβών απαντήσεων και ανάγκη ανθρώπινης επικύρωσης.
Computer vision	Ασφάλεια, ποιότητα και εργοταξιακή παρακολούθηση.	Παρακολούθηση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.	Ζητήματα ιδιωτικότητας, γενίκευσης και ποιότητας εικόνας.

Η συγκριτική αυτή θεώρηση δείχνει ότι η επιλογή τεχνικής TN πρέπει να είναι πρόβλημα σχεδιασμού και όχι απλή τεχνολογική μόδα. Ο οργανισμός οφείλει να ξεκινά από το ερώτημα ποια απόφαση θέλει να υποστηρίξει και όχι από το ερώτημα ποια τεχνολογία είναι διαθέσιμη. Εάν η ανάγκη είναι η διαφανής αιτιολόγηση μιας διοικητικής απόφασης, ένα απλούστερο ερμηνεύσιμο μοντέλο μπορεί να είναι προτιμότερο από ένα πιο ακριβές αλλά αδιαφανές μοντέλο. Εάν η ανάγκη είναι η έγκαιρη ανίχνευση επικίνδυνης συμπεριφοράς στο εργοτάξιο, η υπολογιστική όραση μπορεί να είναι καταλληλότερη. Εάν η ανάγκη είναι η ανάλυση συμβατικών όρων, τα γλωσσικά μοντέλα μπορούν να προσφέρουν σημαντική υποστήριξη, υπό την προϋπόθεση της ανθρώπινης επαλήθευσης.

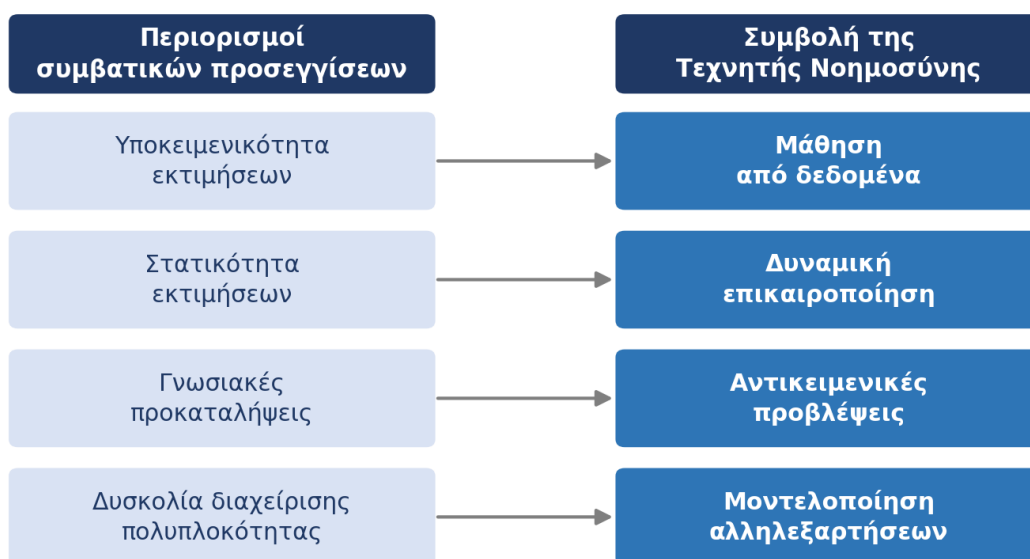
Κατά συνέπεια, η ωριμότητα της χρήσης TN στη διαχείριση κινδύνων δεν κρίνεται μόνο από το αν ένας οργανισμός χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες, αλλά από το αν τις αντιστοιχίζει ορθά σε συγκεκριμένα προβλήματα κινδύνου. Η τεχνική καταλληλότητα, η ποιότητα δεδομένων, η εξηγησιμότητα, η ασφάλεια πληροφοριών και η οργανωσιακή ενσωμάτωση πρέπει να αξιολογούνται ταυτόχρονα. Αυτή η αρχή συνδέει τη θεωρητική συζήτηση με την πρακτική διοίκηση έργων: η TN δημιουργεί αξία όταν μετατρέπεται σε λειτουργική ικανότητα απόφασης, όχι όταν παραμένει απομονωμένη τεχνική εφαρμογή.

5. Συζήτηση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο συνοψίζουμε και αποτιμούμε τα ευρήματα της εργασίας. Συνθέτουμε αρχικά τα θεωρητικά ευρήματα των προηγούμενων κεφαλαίων, στη συνέχεια αποτιμούμε τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση κινδύνων έργων, εξετάζουμε τις επιπτώσεις για τη διοίκηση και τη λήψη αποφάσεων, αναγνωρίζουμε τους περιορισμούς της παρούσας μελέτης και, τέλος, διατυπώνουμε προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

5.1 Σύνθεση θεωρητικών ευρημάτων

Η εργασία ανέδειξε μια συνεκτική πορεία επιχειρηματολογίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο διαπιστώθηκε ότι οι συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης κινδύνων, παρά τη θεσμική τους καθιέρωση, περιορίζονται από την υποκειμενικότητα, τη στατικότητα των εκτιμήσεων, την ευπάθεια σε γνωσιακές προκαταλήψεις και τη δυσκολία διαχείρισης της πολυπλοκότητας (Raz & Michael, 2001, Flyvbjerg, 2006, Ward & Chapman, 2003). Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το τεχνολογικό υπόβαθρο της Τεχνητής Νοημοσύνης, και ιδίως η ικανότητα της μηχανικής μάθησης να εντοπίζει πρότυπα σε δεδομένα (Jordan & Mitchell, 2015). Στο τέταρτο κεφάλαιο, τέλος, τεκμηριώθηκε πώς οι τεχνολογίες αυτές εφαρμόζονται έμπρακτα στην πρόβλεψη, την αξιολόγηση και τον μετριασμό των κινδύνων.



Σχήμα 13. Αντιστοίχιση των περιορισμών των συμβατικών προσεγγίσεων με τη συμβολή της ΤΝ.

Όπως συνοψίζεται στο Σχήμα 13, κάθε βασικός περιορισμός των συμβατικών προσεγγίσεων βρίσκει μια αντίστοιχη απάντηση στις δυνατότητες της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η μάθηση από δεδομένα μετριάζει την υποκειμενικότητα, η δυναμική επικαιροποίηση αντιμετωπίζει τη στατικότητα, οι αντικειμενικές προβλέψεις περιορίζουν τις προκαταλήψεις και η μοντελοποίηση των αλληλεξαρτήσεων, για παράδειγμα μέσω Μπεϋζιανών δικτύων, αποτυπώνει την πολυπλοκότητα (Khodakarami & Abdi, 2014, Afzal et al., 2021). Παρά αυτά, η εμπειρική τεκμηρίωση της συνεισφοράς παραμένει μικτή, γεγονός που επιβάλλει συγκρατημένη αισιοδοξία (de Bakker et al., 2010).

5.2 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων

Τα πλεονεκτήματα της Τεχνητής Νοημοσύνης απορρέουν κυρίως από τον δεδομενοκεντρικό της χαρακτήρα. Η αξιοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων επιτρέπει ακριβέστερες και αντικειμενικότερες προβλέψεις, δυναμική ιεράρχηση και αποτύπωση σύνθετων αλληλεξαρτήσεων (Gondia et al., 2020, Uddin et al., 2022). Από την άλλη πλευρά, οι περιορισμοί είναι εξίσου ουσιώδεις. Η εξάρτηση από την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, η περιορισμένη ερμηνευσιμότητα των πολύπλοκων μοντέλων (LeCun et al., 2015) και ο κίνδυνος μεροληπτικών αποτελεσμάτων συνιστούν σημαντικές προκλήσεις. Η αδιαφάνεια των μοντέλων μαύρου κουτιού έχει αναδειχθεί ως κρίσιμο εμπόδιο για την πρακτική ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης, γεγονός που ώθησε την ανάπτυξη του πεδίου της εξηγήσιμης Τεχνητής Νοημοσύνης (Barredo Arrieta et al., 2020). Ο Πίνακας 19 αντιπαραβάλλει συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς.

Πίνακας 19. Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της TN στη διαχείριση κινδύνων.

Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Μάθηση από δεδομένα και μείωση της υποκειμενικότητας.	Εξάρτηση από την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα δεδομένων.
Δυναμική και επαναλαμβανόμενη επικαιροποίηση εκτιμήσεων.	Περιορισμένη ερμηνευσιμότητα (μοντέλα μαύρου κουτιού).
Μοντελοποίηση αλληλεξαρτήσεων και πολυπλοκότητας.	Κίνδυνος μεροληπτικών αποτελεσμάτων.
Υποστήριξη ταχύτερης και τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων.	Προκλήσεις ενσωμάτωσης σε οργανωσιακές διαδικασίες.

5.3 Επιπτώσεις για τη διοίκηση έργων και τη λήψη αποφάσεων

Οι επιπτώσεις της Τεχνητής Νοημοσύνης για τη διοίκηση έργων είναι πολυεπίπεδες. Σε στρατηγικό επίπεδο, η τεκμηριωμένη πρόβλεψη επιτρέπει αποτελεσματικότερη ιεράρχηση των κινδύνων και κατανομή των πόρων. Σε τακτικό και λειτουργικό επίπεδο, η δυναμική επανεκτίμηση των κινδύνων και η αυτόματη ανίχνευση προτύπων υποστηρίζουν την έγκαιρη λήψη μέτρων. Κατά τη λογική των μηχανών πρόβλεψης, η ανθρώπινη προσπάθεια μετατοπίζεται από την παραγωγή προβλέψεων προς την κρίση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Agrawal et al., 2019). Ο Πίνακας 20 αποτυπώνει τις επιπτώσεις ανά επίπεδο διοίκησης.

Πίνακας 20. . Επιπτώσεις της TN ανά επίπεδο διοίκησης έργων.

Επίπεδο	Επίπτωση	Παράδειγμα
Στρατηγικό	Τεκμηριωμένη ιεράρχηση και κατανομή πόρων.	Διαχείριση χαρτοφυλακίου κινδύνων.
Τακτικό	Δυναμική επανεκτίμηση κινδύνων ανά φάση.	Έγκαιρη προειδοποίηση καθυστερήσεων.
Λειτουργικό	Υποστήριξη καθημερινών αποφάσεων.	Αυτόματη ανίχνευση προτύπων σε δεδομένα.

Σε κάθε επίπεδο, ωστόσο, η τελική ευθύνη παραμένει στον άνθρωπο. Η τήρηση ηθικών αρχών όπως η διαφάνεια, η λογοδοσία και η προστασία της ιδιωτικότητας αποτελεί προϋπόθεση για την υπεύθυνη αξιοποίηση της τεχνολογίας (Jobin et al., 2019, Mittelstadt et al., 2016). Επιπλέον, η επιτυχής υιοθέτηση απαιτεί σταδιακή προσέγγιση και

κατάλληλη οργανωσιακή προετοιμασία, αντί για απότομο μετασχηματισμό (Davenport & Ronanki, 2018).

5.4 Περιορισμοί της παρούσας εργασίας

Η παρούσα εργασία υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς που οφείλουμε να αναγνωρίσουμε. Πρώτον, πρόκειται για θεωρητική μελέτη βασισμένη στη βιβλιογραφία, χωρίς τη συλλογή και ανάλυση πρωτογενών εμπειρικών δεδομένων. Τα συμπεράσματα, επομένως, αντλούνται από τις αναφερόμενες πηγές και δεν επικυρώνονται με αυτόνομη εμπειρική έρευνα. Δεύτερον, η ανάλυση των μελετών περίπτωσης περιορίστηκε σε επιλεγμένα παραδείγματα, με έμφαση στον κατασκευαστικό τομέα, όπου η σχετική βιβλιογραφία είναι πλουσιότερη, γεγονός που ενδέχεται να περιορίζει τη γενικευσιμότητα των ευρημάτων. Τρίτον, το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης εξελίσσεται ταχύτατα, με αποτέλεσμα ορισμένες διαπιστώσεις να ενδέχεται να απαιτήσουν επικαιροποίηση. Οι περιορισμοί αυτοί δεν αναιρούν τα ευρήματα, αλλά οριοθετούν το εύρος τους και υποδεικνύουν κατευθύνσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

5.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Με βάση τα παραπάνω, διατυπώνουμε ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα, οι οποίες συνοψίζονται στο Σχήμα 14. Ένας πρώτος και κρίσιμος άξονας αφορά την εξηγήσιμη Τεχνητή Νοημοσύνη, καθώς η βελτίωση της ερμηνευσιμότητας των μοντέλων θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιόπιστη και υπεύθυνη ανάπτυξή τους σε κρίσιμες αποφάσεις (Adadi & Berrada, 2018, Barredo Arrieta et al., 2020). Ένας δεύτερος άξονας σχετίζεται με την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, που αποτελούν θεμελιώδη προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα των μοντέλων.



Σχήμα 14. Βασικοί άξονες προτεινόμενης μελλοντικής έρευνας.

Επιπλέον, απαιτείται έρευνα για την ομαλή ενσωμάτωση των εργαλείων Τεχνητής Νοημοσύνης στις υφιστάμενες οργανωσιακές διαδικασίες, καθώς και για τη διασφάλιση της ηθικής και υπεύθυνης χρήσης τους (Jobin et al., 2019). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη υβριδικών μοντέλων συνεργασίας ανθρώπου και μηχανής, που αξιοποιούν τη συμπληρωματικότητα των δύο (Epstein, 2015). Τέλος, κρίνεται σκόπιμη η εμπειρική επικύρωση των ευρημάτων σε ποικίλους τομείς έργων, πέραν του κατασκευαστικού, ώστε να διαπιστωθεί η γενικευσιμότητα των προσεγγίσεων. Συνολικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη δεν αναιρεί την ανθρώπινη κρίση αλλά την ενισχύει, προσφέροντας ένα ισχυρό συμπληρωματικό οπλοστάσιο για τη διαχείριση των κινδύνων στα σύγχρονα, ολοένα πιο σύνθετα έργα.

5.6 Προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της ΤΝ στη διαχείριση κινδύνων έργων

Η σύνθεση της βιβλιογραφίας οδηγεί στην ανάγκη διατύπωσης ενός θεωρητικού πλαισίου που να αποτυπώνει όχι μόνο τις τεχνικές δυνατότητες της ΤΝ, αλλά και τις οργανωσιακές και διοικητικές προϋποθέσεις της χρήσης της. Το πλαίσιο που προτείνεται εδώ βασίζεται σε πέντε αλληλένδετα επίπεδα: τις πηγές δεδομένων, τις τεχνικές ΤΝ, τις διεργασίες διαχείρισης κινδύνων, την ανθρώπινη κρίση και διακυβέρνηση, και τα αναμενόμενα

αποτελέσματα σε επίπεδο έργου. Η βασική θέση είναι ότι η TN δεν αποτελεί αυτόνομη λύση, αλλά ενδιάμεσο μηχανισμό μετατροπής δεδομένων σε προβλέψεις, προβλέψεων σε ερμηνείες και ερμηνειών σε διοικητικές αποφάσεις.

Το πρώτο επίπεδο αφορά τα δεδομένα. Χωρίς επαρκή, αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά δεδομένα, η TN δεν μπορεί να προσφέρει αξιόπιστη υποστήριξη. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι δομημένα, όπως χρονοδιαγράμματα, προϋπολογισμοί, δείκτες παραγωγικότητας και μητρώα κινδύνων, ή μη δομημένα, όπως συμβάσεις, πρακτικά, αναφορές και εικόνες εργοταξίου. Η ποιότητα των δεδομένων, η συνέπεια κωδικοποίησης, η επικαιρότητα και η δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ συστημάτων αποτελούν βασικές προϋποθέσεις. Σε αυτό το επίπεδο, η διαχείριση γνώσης και το ψηφιακό οικοσύστημα του έργου λειτουργούν ως θεμέλιο της αλγοριθμικής ανάλυσης.

Το δεύτερο επίπεδο αφορά τις τεχνικές TN. Διαφορετικά προβλήματα απαιτούν διαφορετικές τεχνικές. Η μηχανική μάθηση είναι κατάλληλη για πρόβλεψη καθυστερήσεων και υπερβάσεων, τα Μπεϋζιανά δίκτυα για αλληλεξαρτήσεις κινδύνων, η υπολογιστική όραση για ασφάλεια και ποιότητα, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας για έγγραφα και επικοινωνίες, ενώ τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα μπορούν να υποστηρίξουν σύνοψη, ταξινόμηση και αναφορά. Η επιλογή τεχνικής πρέπει να καθορίζεται από το είδος του κινδύνου, τη φύση των δεδομένων, την ανάγκη εξηγησιμότητας και τη διοικητική χρήση του αποτελέσματος (Jordan & Mitchell, 2015; Barredo Arrieta et al., 2020).

Το τρίτο επίπεδο συνδέει την TN με τις διεργασίες διαχείρισης κινδύνων. Στην αναγνώριση κινδύνων, η TN μπορεί να εντοπίζει πρότυπα, ασυνήθιστες ενδείξεις και κινδύνους από κείμενα ή δεδομένα πεδίου. Στην ανάλυση, μπορεί να εκτιμά πιθανότητες, επιπτώσεις και αλληλεξαρτήσεις. Στην αξιολόγηση, μπορεί να υποστηρίζει δυναμική ιεράρχηση κινδύνων. Στην αντιμετώπιση, μπορεί να προτείνει εναλλακτικές στρατηγικές ή να προσομοιώνει συνέπειες. Στην παρακολούθηση, μπορεί να λειτουργεί ως μηχανισμός έγκαιρης προειδοποίησης. Έτσι, η TN ενσωματώνεται σε ολόκληρο τον κύκλο κινδύνου και όχι μόνο σε μία μεμονωμένη λειτουργία.

Πίνακας 21. Προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο ενσωμάτωσης της TN στη διαχείριση κινδύνων έργων.

Επίπεδο πλαισίου	Περιεχόμενο	Κρίσιμη προϋπόθεση
Δεδομένα έργου	Ιστορικά, τρέχοντα, δομημένα και μη δομημένα δεδομένα.	Ποιότητα, πληρότητα και διαλειτουργικότητα.
Τεχνικές TN	ML, NLP, computer vision, Bayesian networks, LLMs.	Καταλληλότητα τεχνικής και ερμηνευσιμότητα.
Διεργασίες κινδύνου	Αναγνώριση, ανάλυση, αξιολόγηση, αντιμετώπιση, παρακολούθηση.	Ενσωμάτωση στις υφιστάμενες διαδικασίες έργου.
Ανθρώπινη κρίση	Ερμηνεία, αξιολόγηση, απόφαση, ευθύνη.	Human-in-the-loop και λογοδοσία.
Αποτελέσματα	Έγκαιρη προειδοποίηση, δυναμική ιεράρχηση, καλύτερη απόφαση.	Οργανωσιακή μάθηση και συνεχής ανατροφοδότηση.

Το τέταρτο επίπεδο αφορά την ανθρώπινη κρίση και τη διακυβέρνηση. Η βιβλιογραφία για την TN στη διοίκηση επισημαίνει ότι η μεγαλύτερη αξία δεν προκύπτει πάντοτε από την πλήρη αυτοματοποίηση, αλλά από την ενίσχυση των ανθρώπινων ικανοτήτων (Davenport & Ronanki, 2018; Raisch & Krakowski, 2021). Στη διαχείριση κινδύνων, αυτό σημαίνει ότι ο άνθρωπος διατηρεί την τελική ευθύνη για την ερμηνεία των προβλέψεων, την αποδοχή ή απόρριψη των συστάσεων και την επιλογή στρατηγικής απόκρισης. Η TN μπορεί να μειώσει το κόστος πρόβλεψης, αλλά δεν μπορεί να αναλάβει πλήρως την κρίση, τη δεοντολογική ευθύνη και τη στρατηγική στάθμιση συμφερόντων (Agrawal et al., 2019).

Το πέμπτο επίπεδο αφορά τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η επιτυχής ενσωμάτωση της TN μπορεί να οδηγήσει σε έγκαιρη αναγνώριση κινδύνων, βελτιωμένη ακρίβεια προβλέψεων, πιο τεκμηριωμένη κατανομή πόρων, ταχύτερη απόκριση σε αποκλίσεις και συστηματικότερη οργανωσιακή μάθηση. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι αυτόματα. Προϋποθέτουν κατάλληλη οργανωσιακή ωριμότητα, κουλτούρα δεδομένων, εξηγησιμότητα, ηθική διακυβέρνηση και συνεχή αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων. Χωρίς αυτά, η TN μπορεί να δημιουργήσει νέους κινδύνους, όπως υπερβολική εμπιστοσύνη σε αλγοριθμικά αποτελέσματα, μεροληψίες ή αδιαφανείς αποφάσεις.

Το προτεινόμενο πλαίσιο επιβεβαιώνει το βασικό θεωρητικό συμπέρασμα της εργασίας: η Τεχνητή Νοημοσύνη δεν πρέπει να νοηθεί ως υποκατάστατο της διαχείρισης κινδύνων, αλλά ως τεχνολογικός επιταχυντής μιας πιο ώριμης, δυναμικής και δεδομενοκεντρικής

προσέγγισης. Η συμβολή της είναι μεγαλύτερη όταν συνδυάζεται με σαφή πρότυπα, αξιόπιστα δεδομένα, οργανωσιακή γνώση, ανθρώπινη εποπτεία και ηθική λογοδοσία. Με αυτή την έννοια, το μέλλον της διαχείρισης κινδύνων έργων δεν είναι ούτε αποκλειστικά ανθρώπινο ούτε αποκλειστικά αλγοριθμικό, αλλά υβριδικό: ένα πεδίο συνεργασίας μεταξύ εμπειρίας, δεδομένων, προβλεπτικών μοντέλων και υπεύθυνης διοικητικής κρίσης.

5.7 Πρακτικές επιπτώσεις για project managers και οργανισμούς

Η θεωρητική ανάλυση της εργασίας έχει άμεσες πρακτικές συνέπειες για τους project managers και τους οργανισμούς που επιθυμούν να αξιοποιήσουν την TN στη διαχείριση κινδύνων. Η πρώτη συνέπεια αφορά τον μετασχηματισμό του ρόλου του project manager. Ο διαχειριστής έργου δεν καλείται πλέον μόνο να συλλέγει εκτιμήσεις και να ενημερώνει μητρώα κινδύνων, αλλά να ερμηνεύει αλγοριθμικές προβλέψεις, να αξιολογεί την ποιότητα των δεδομένων, να αναγνωρίζει τα όρια των μοντέλων και να μετατρέπει αναλυτικά αποτελέσματα σε συγκεκριμένες διοικητικές παρεμβάσεις. Αυτό απαιτεί νέα μορφή επαγγελματικής επάρκειας, η οποία συνδυάζει γνώση διοίκησης έργων, data literacy και κριτική σκέψη.

Η δεύτερη συνέπεια αφορά τους οργανισμούς. Η υιοθέτηση TN δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αγορά ενός λογισμικού, αλλά ως οργανωσιακή αλλαγή. Χρειάζεται πολιτική δεδομένων, σαφής ορισμός ρόλων, διαδικασίες ελέγχου, εκπαίδευση χρηστών και σταδιακή ενσωμάτωση στις υφιστάμενες διαδικασίες. Η εμπειρία από την επιχειρησιακή χρήση της TN δείχνει ότι οι οργανισμοί επιτυγχάνουν καλύτερα αποτελέσματα όταν επιδιώκουν σταδιακή ενίσχυση των ανθρώπινων ικανοτήτων και όχι βίαιη αντικατάσταση διαδικασιών (Davenport & Ronanki, 2018). Στη διαχείριση κινδύνων, αυτό σημαίνει πιλοτικές εφαρμογές, έλεγχο εγκυρότητας, σύγκριση με ανθρώπινες εκτιμήσεις και προσεκτική επέκταση.

Η τρίτη πρακτική συνέπεια είναι η ανάγκη για κουλτούρα ποιότητας δεδομένων. Πολλοί οργανισμοί διαθέτουν πληθώρα δεδομένων, αλλά αυτά είναι ελλιπή, ασύμβατα, μη τυποποιημένα ή αποθηκευμένα σε συστήματα που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Σε τέτοιες συνθήκες, η TN δεν μπορεί να αποδώσει αξιόπιστα. Η δημιουργία κοινών κωδικοποιήσεων, η συστηματική καταγραφή αλλαγών, η σύνδεση κόστους και χρόνου, η τεκμηρίωση των αποφάσεων και η διατήρηση ιστορικών δεδομένων αποτελούν πρακτικές

προϋποθέσεις για την ανάπτυξη προβλεπτικών μοντέλων. Επομένως, η επένδυση σε TN προϋποθέτει επένδυση σε διοικητική πειθαρχία.

Η τέταρτη συνέπεια αφορά τη διαχείριση της εμπιστοσύνης. Οι χρήστες πρέπει να γνωρίζουν πότε μπορούν να βασιστούν σε ένα μοντέλο και πότε πρέπει να το αμφισβητήσουν. Η υπερβολική εμπιστοσύνη μπορεί να οδηγήσει σε αυτοματοποιημένη αδράνεια, ενώ η υπερβολική δυσπιστία μπορεί να ακυρώσει την αξία του συστήματος. Για τον λόγο αυτόν, τα συστήματα TN πρέπει να παρέχουν εξηγήσεις, επίπεδα αβεβαιότητας, δυνατότητα ελέγχου και μηχανισμούς ανατροφοδότησης. Η ανθρώπινη εποπτεία δεν είναι εμπόδιο στην καινοτομία, αλλά προϋπόθεση υπεύθυνης χρήσης (Amershi et al., 2019; Shneiderman, 2020).

Η πέμπτη συνέπεια αφορά τη σχέση TN και λογοδοσίας. Σε ένα έργο, η απόφαση αντιμετώπισης κινδύνου μπορεί να έχει συνέπειες σε κόστος, χρόνο, συμβατικές σχέσεις και ασφάλεια. Επομένως, ο οργανισμός πρέπει να ορίσει σαφώς ποιος έχει την ευθύνη όταν μια αλγοριθμική πρόβλεψη οδηγεί σε συγκεκριμένη ενέργεια. Η TN μπορεί να υποστηρίξει, να ειδοποιεί, να ταξινομεί και να προτείνει, αλλά η τελική διοικητική ευθύνη παραμένει ανθρώπινη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε δημόσια έργα, κρίσιμες υποδομές και έργα υψηλής κοινωνικής ευαισθησίας, όπου η διαφάνεια και η τεκμηρίωση αποφάσεων αποτελούν βασικές απαιτήσεις.

Πίνακας 22. Πρακτικές επιπτώσεις της TN για project managers και οργανισμούς.

Πεδίο επίπτωσης	Απαιτήση	Πρακτική ενέργεια
Ρόλος project manager	Μετάβαση από εκτιμητή σε ερμηνευτή προβλέψεων.	Εκπαίδευση σε data literacy και αλγοριθμική σκέψη.
Δεδομένα έργου	Αξιοπιστία και διαλειτουργικότητα.	Τυποποίηση κωδικών κόστους, χρόνου, κινδύνων και αλλαγών.
Οργανωσιακή αλλαγή	Σταδιακή υιοθέτηση και πιλοτικές εφαρμογές.	Έλεγχος μοντέλων πριν από πλήρη ενσωμάτωση.
Εμπιστοσύνη	Εξηγήσιμες προβλέψεις και ανθρώπινη εποπτεία.	Human-in-the-loop διαδικασίες και τεκμηρίωση αποφάσεων.
Λογοδοσία	Σαφής κατανομή ευθύνης.	Πολιτικές χρήσης TN, πρόσβασης δεδομένων και ελέγχου αποτελεσμάτων.

Συνολικά, η πρακτική αξιοποίηση της TN απαιτεί ισορροπία ανάμεσα στην τεχνολογική δυνατότητα και τη διοικητική ωριμότητα. Ένας οργανισμός που δεν διαθέτει σαφείς διαδικασίες διαχείρισης κινδύνων δύσκολα θα ωφεληθεί ουσιαστικά από προηγμένα μοντέλα πρόβλεψης. Αντίθετα, ένας οργανισμός που διαθέτει κουλτούρα τεκμηρίωσης, δομημένα δεδομένα, σαφείς ρόλους και διάθεση μάθησης μπορεί να χρησιμοποιήσει την

TN ως μηχανισμό ενίσχυσης της διοικητικής ικανότητας. Το πρακτικό συμπέρασμα είναι ότι η TN δεν αντικαθιστά τη βασική πειθαρχία της διοίκησης έργων· την καθιστά πιο απαιτητική και ταυτόχρονα πιο αποτελεσματική.

Βιβλιογραφία

- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J. M. D., Bilal, M., Akinade, O. O., & Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44, Article 103299. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103299>
- Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black-box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access*, 6, 52138–52160. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052>
- Afzal, F., Yunfei, S., Nazir, M., & Bhatti, S. M. (2021). A review of artificial intelligence based risk assessment methods for capturing complexity-risk interdependencies: Cost overrun in construction projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 14(2), 300–328. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-02-2019-0047>
- Agrawal, A., Gans, J. S., & Goldfarb, A. (2019). Exploring the impact of artificial intelligence: Prediction versus judgment. *Information Economics and Policy*, 47, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.01.001>
- Alavi, M., & Leidner, D. E. (2001). Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS Quarterly*, 25(1), 107–136. <https://doi.org/10.2307/3250961>
- Amershi, S., Weld, D., Vorvoreanu, M., Fourney, A., Nushi, B., Collisson, P., Suh, J., Iqbal, S., Bennett, P. N., Inkpen, K., Teevan, J., Kikin-Gil, R., & Horvitz, E. (2019). Guidelines for human-AI interaction. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300233>
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity: A review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(95\)00093-3](https://doi.org/10.1016/0263-7863(95)00093-3)

- Baker, B. N., Murphy, D. C., & Fisher, D. (1997). Factors affecting project success. In J. R. Pinto (Ed.), *Project management handbook* (pp. 902–919). John Wiley & Sons.
- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1997). Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, 1(3), 311–320. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311>
- Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., Owolabi, H. A., Alaka, H. A., & Pasha, M. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500–521. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, 114, Article 103179. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- Booth, A., Sutton, A., Clowes, M., & Martyn-St James, M. (2021). *Systematic approaches to a successful literature review* (3rd ed.). Sage.
- Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H., & Verbraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728–739. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.008>
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901.
- Chapman, C. B., & Ward, S. C. (2003). *Project risk management: Processes, techniques and insights* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

- Cooke-Davies, T. (2002). The “real” success factors on projects. *International Journal of Project Management*, 20(3), 185–190. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00067-9)
- Cox, L. A., Jr. (2008). What’s wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497–512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- de Bakker, K. F. C., Boonstra, A., & Wortmann, H. (2010). Does risk management contribute to IT project success? A meta-analysis of empirical evidence. *International Journal of Project Management*, 28(5), 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.07.002>
- de Wit, A. (1988). Measurement of project success. *International Journal of Project Management*, 6(3), 164–170. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(88\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0263-7863(88)90043-9)
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*, 4171–4186. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1702.08608>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Epstein, S. L. (2015). Wanted: Collaborative intelligence. *Artificial Intelligence*, 221, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2015.01.006>
- Fang, W., Love, P. E. D., Luo, H., & Ding, L. (2020). Computer vision for behaviour-based safety in construction: A review and future directions. *Advanced Engineering Informatics*, 43, Article 100980. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100980>
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., Luetge, C., Madelin, R., Pagallo, U., Rossi, F., Schafer, B., Valcke, P., & Vayena, E. (2018). AI4People: An ethical framework for a good AI society. *Minds and Machines*, 28, 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>

- Flyvbjerg, B. (2006). From Nobel Prize to project management: Getting risks right. *Project Management Journal*, 37(3), 5–15. <https://doi.org/10.1177/875697280603700302>
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952–108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007>
- Geraldi, J., Maylor, H., & Williams, T. (2011). Now, let's make it really complex: A systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(9), 966–990. <https://doi.org/10.1108/01443571111165848>
- Gondia, A., Siam, A., El-Dakhakhni, W., & Nassar, A. H. (2020). Machine learning algorithms for construction projects delay risk prediction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), Article 04019085. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001736](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001736)
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Greenhalgh, T., Thorne, S., & Malterud, K. (2018). Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews? *European Journal of Clinical Investigation*, 48(6), Article e12931. <https://doi.org/10.1111/eci.12931>
- Guo, H., Yu, Y., & Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>
- Haefner, N., Wincent, J., Parida, V., & Gassmann, O. (2021). Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, Article 120392. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120392>

- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5–14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>
- Hillson, D. (1997). Towards a risk maturity model. *The International Journal of Project & Business Risk Management*, 1(1), 35–45.
- Hillson, D. (2002). Extending the risk process to manage opportunities. *International Journal of Project Management*, 20(3), 235–240. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00074-6)
- Ika, L. A. (2009). Project success as a topic in project management journals. *Project Management Journal*, 40(4), 6–19. <https://doi.org/10.1002/pmj.20137>
- International Organization for Standardization. (2018). Risk management — Guidelines (ISO 31000:2018). <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing* (3rd ed. draft). Stanford University.
- Kerzner, H. (2017). The changing landscape of project management. In *Project management metrics, KPIs, and dashboards* (pp. 1–42). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119258851.ch1>
- Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1233–1245. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.001>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

- Lu, Q., Xie, X., Heaton, J., Parlikad, A. K., & Schooling, J. (2020). From BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management. *Service Oriented Computing and Applications*, 14, 41–55. <https://doi.org/10.1007/s11761-019-00276-8>
- Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4765–4774.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), 12–14. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2), 1–21. <https://doi.org/10.1177/2053951716679679>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.)*. PMI.
- Radujković, M., & Sjekavica, M. (2017). Project management success factors. *Procedia Engineering*, 196, 607–615. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.048>
- Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation-augmentation paradox. *Academy of Management Review*, 46(1), 192–210. <https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072>
- Raz, T., & Michael, E. (2001). Use and benefits of tools for project risk management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 9–17. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00036-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00036-8)
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?” Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 1135–1144. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.)*. Pearson.

- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (2024). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. *Developments in the Built Environment*, 17, Article 100300. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100300>
- Sanni-Anibire, M. O., Zin, R. M., & Olatunji, S. O. (2022). Machine learning model for delay risk assessment in tall building projects. *International Journal of Construction Management*, 22(11), 2134–2143. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1768326>
- Schindler, M., & Eppler, M. J. (2003). Harvesting project knowledge: A review of project learning methods and success factors. *International Journal of Project Management*, 21(3), 219–228. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(02)00096-0)
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., & Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, 33(2), 111–126. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(01\)00139-7](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(01)00139-7)
- Shneiderman, B. (2020). Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 36(6), 495–504. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1741118>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Thomas, P., Bratvold, R. B., & Bickel, J. E. (2014). The risk of using risk matrices. *SPE Economics & Management*, 6(2), 56–66. <https://doi.org/10.2118/166269-PA>
- Turner, J. R., & Cochrane, R. A. (1993). Goals-and-methods matrix: Coping with projects with ill-defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of Project Management*, 11(2), 93–102. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(93\)90017-H](https://doi.org/10.1016/0263-7863(93)90017-H)
- Uddin, S., Ong, S., & Lu, H. (2022). Machine learning in project analytics: A data-driven framework and case study. *Scientific Reports*, 12, Article 15252. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19728-x>

- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 30, pp. 5998–6008). Curran Associates.
- Ward, S., & Chapman, C. (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 21(2), 97–105. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00080-1)
- Williams, T. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17(5), 269–273. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00047-7)
- Williams, T. (2008). How do organizations learn lessons from projects—and do they? *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(2), 248–266. <https://doi.org/10.1109/TEM.2007.912920>
- Zou, P. X. W., Chen, Y., & Chan, T. (2010). Understanding and improving your risk management capability: Assessment model for construction organizations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 854–863. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000175](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000175)

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.