

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαδικασία ανάθεσης και
παρακολούθησης έργων Υποδομής

Άννα Κυριακοπούλου



Επιβλέπων καθηγητής: Νικολάου Ιωάννης

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») 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.

Εφαρμογή Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων
Υποδομής

Άννα Κυριακοπούλου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Νικολάου

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωνσταντίνος Δημάκος

1 Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της διαφάνειας και της ποιότητας λήψης αποφάσεων. Τα έργα υποδομής χαρακτηρίζονται από υψηλή πολυπλοκότητα, σημαντικό οικονομικό αποτύπωμα και αυξημένο κίνδυνο καθυστερήσεων ή υπερβάσεων κόστους. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση προηγμένων αναλυτικών εργαλείων κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για τον εκσυγχρονισμό της διαχείρισής τους. Η μεθοδολογία της εργασίας βασίστηκε στη συλλογή και επεξεργασία ιστορικών δεδομένων από έργα υποδομής, τα οποία περιλάμβαναν στοιχεία κόστους, χρονοδιαγραμμάτων, συμβάσεων και αποκλίσεων υλοποίησης. Ακολούθησε η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων Μηχανικής Μάθησης, όπως μοντέλα παλινδρόμησης, δέντρα απόφασης και νευρωνικά δίκτυα, με σκοπό την πρόβλεψη πιθανών καθυστερήσεων, την εκτίμηση τελικού κόστους και την υποστήριξη της διαδικασίας αξιολόγησης προσφορών. Παράλληλα, σχεδιάστηκε ένα πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων που ενσωματώνει προβλεπτικούς δείκτες και μηχανισμούς έγκαιρης προειδοποίησης κινδύνων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να επιτύχουν ικανοποιητική έως υψηλή ακρίβεια στην πρόβλεψη κρίσιμων παραμέτρων των έργων, συμβάλλοντας στη μείωση της αβεβαιότητας και στη βελτίωση του προγραμματισμού. Επιπλέον, η αυτοματοποιημένη ανάλυση δεδομένων ενισχύει τη διαφάνεια και μειώνει τον χρόνο αξιολόγησης στη φάση ανάθεσης. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι η απόδοση των μοντέλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και την επάρκεια των διαθέσιμων δεδομένων. Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μοχλό εκσυγχρονισμού, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης κατάλληλης ψηφιακής υποδομής, θεσμικής υποστήριξης και επαρκούς εξειδίκευσης του ανθρώπινου δυναμικού.

Λέξεις – Κλειδιά

Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, έργα υποδομής, διαχείριση έργων, πρόβλεψη κόστους, πρόβλεψη καθυστερήσεων, υποστήριξη αποφάσεων, ανάλυση δεδομένων, νευρωνικά δίκτυα, δέντρα απόφασης.

2 Abstract:

This diploma thesis examines the application of Artificial Intelligence in the process of assigning and monitoring infrastructure projects, with the aim of improving efficiency, transparency, and the quality of decision-making.

Infrastructure projects are characterized by high complexity, significant economic impact, and an increased risk of delays or cost overruns. In this context, the utilization of advanced analytical tools is considered particularly important for the modernization of project management practices. The methodology of the study was based on the collection and processing of historical data from infrastructure projects, including information related to costs, schedules, contracts, and implementation deviations. Subsequently, Machine Learning models such as regression models, decision trees, and neural networks were developed and applied in order to predict potential delays, estimate final project costs, and support the bid evaluation process. In parallel, a decision-support framework was designed, integrating predictive indicators and early-warning risk mechanisms. The findings of the research demonstrated that Artificial Intelligence models can achieve satisfactory to high levels of accuracy in predicting critical project parameters, thereby contributing to the reduction of uncertainty and the improvement of project planning. Furthermore, automated data analysis enhances transparency and reduces evaluation time during the procurement and assignment phase.

However, it is emphasized that the performance of these models largely depends on the quality and adequacy of the available data. In conclusion, the integration of Artificial Intelligence into infrastructure project management can serve as a significant driver of modernization, provided that appropriate digital infrastructure, institutional support, and adequately specialized human resources are in place.

Keywords

Artificial Intelligence, Machine Learning, infrastructure projects, project management, cost prediction, delay prediction, decision support, data analysis, neural networks, decision trees.

Περιεχόμενα

1	ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
2	ABSTRACT:.....	6
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
3.1	Αντικείμενο και σημασία της έρευνας	17
3.1.1	Αντικείμενο της έρευνας.....	17
3.1.2	Βελτιστοποίηση διαδικασίας ανάθεσης έργων.....	17
3.1.3	Σημασία της έρευνας	19
3.2	Σκοπός και στόχοι της ΜΔΕ.....	22
3.2.1	Συστηματική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης.....	22
3.2.2	Δημιουργία αξιόπιστης βάσης δεδομένων έργων.....	22
3.2.3	Ανάπτυξη και παραμετροποίηση μοντέλων TN	22
3.2.4	Ποσοτική και συγκριτική αξιολόγηση.....	23
3.2.5	Σχεδιασμός πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων (Yu et al., 2018)	23
3.2.6	Κριτική αποτίμηση και προτάσεις εφαρμογής	23
3.3	Συνοπτική αποτίμηση	23
3.3.1	Ερευνητικά ερωτήματα / υποθέσεις.....	23
3.4	Κύρια ερευνητικά ερωτήματα.....	24
3.4.1	Ερευνητικές υποθέσεις	24
3.4.2	Αναμενόμενη συμβολή των ερευνητικών ερωτημάτων.....	25
3.4.3	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	26
3.4.4	Συλλογή και προ επεξεργασία δεδομένων	27
3.4.5	Ανάπτυξη και εκπαίδευση μοντέλων TN	27
3.4.6	Αξιολόγηση και σύγκριση αποτελεσμάτων	27
3.4.7	Διαμόρφωση πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων.....	28
3.5	Δομή της εργασίας.....	28
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	30
4.1	Έργα υποδομής και κύκλος ζωής τους.....	30
4.2	Χαρακτηριστικά έργων υποδομής	30
4.2.1	Μεγάλη κλίμακα και πολυπλοκότητα:.....	30
4.2.2	Μεγάλη διάρκεια υλοποίησης:	30
4.2.3	Υψηλό οικονομικό κόστος:	30

4.2.4	Υψηλό επίπεδο ρίσκου και αβεβαιότητας:	31
4.2.5	Πολλαπλοί εμπλεκόμενοι φορείς:	31
4.3	Κύκλος ζωής έργων υποδομής.....	31
4.3.1	A. Σχεδιασμός και προγραμματισμός (Planning & Design).....	31
4.3.2	B. Διαγωνισμός και ανάθεση (Tendering & Contracting)	31
4.3.3	Γ. Κατασκευή (Construction)	32
4.3.4	Δ. Λειτουργία και συντήρηση (Operation & Maintenance)	32
4.3.5	Ε. Ανακαίνιση ή απόσυρση (Renovation or Decommissioning)	32
4.4	Σημασία της διαχείρισης κατά τον κύκλο ζωής	32
4.4.1	A. Θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο	33
4.4.2	Στάδια διαδικασίας ανάθεσης	34
4.4.3	Προκλήσεις της διαδικασίας.....	35
4.4.4	Ενίσχυση διαδικασίας μέσω τεχνολογίας	36
4.4.5	Εντοπισμός ερευνητικών κενών.....	63
4.4.6	Συνολική αποτίμηση και ερευνητική αναγκαιότητα	72
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	73
5.1	Θεσμικό και λειτουργικό πλαίσιο (ελληνικό και διεθνές).....	73
5.2	Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο δημοσίων έργων	73
5.3	Θεσμικοί περιορισμοί στην εφαρμογή ΤΝ στην Ελλάδα	74
5.4	Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο.....	76
5.5	Διεθνείς πρακτικές και πρότυπα	77
5.6	Λειτουργικό πλαίσιο εφαρμογής ΤΝ στη διαχείριση έργων.....	78
5.7	Συμπερασματική αποτίμηση	79
5.7.1	Προβλήματα και προκλήσεις στις διαδικασίες ανάθεσης.....	80
5.8	Πολυπλοκότητα θεσμικού πλαισίου.....	80
5.9	Χρονοβόρες διαδικασίες.....	81
5.10	Περιορισμένη αντικειμενικότητα στην αξιολόγηση	83
5.11	Ελλιπής αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων	84
5.12	Κίνδυνος στρατηγικής συμπεριφοράς αναδόχων	85
5.13	Περιορισμένη δια λειτουργικότητα συστημάτων.....	86
5.14	Θεσμικοί και νομικοί περιορισμοί	87

5.15	Οργανωτικές αδυναμίες.....	88
5.16	Συνολική αποτίμηση.....	89
5.16.1	Προβλήματα στην παρακολούθηση έργων υποδομής.....	89
5.16.2	Δομικές αδυναμίες προγραμματισμού και ελέγχου.....	89
5.16.3	Οικονομικές αποκλίσεις και ανεπαρκής έλεγχος κόστους.....	91
5.16.4	Τροποποιήσεις συμβάσεων και διοικητική επιβάρυνση.....	92
5.16.5	Κατακερματισμός και μη δομημένη πληροφορία.....	93
5.16.6	Περιορισμένη χρήση δεικτών απόδοσης (KPIs).....	94
5.16.7	Ανεπαρκής προγνωστική διαχείριση κινδύνων.....	95
5.16.8	Έλλειψη συστήματος αξιολόγησης απόδοσης αναδόχου.....	96
5.16.9	Περιορισμένη διαφάνεια και λογοδοσία.....	97
5.16.10	Οργανωτικοί και ανθρώπινοι περιορισμοί.....	98
5.16.11	Συστημικός χαρακτήρας των προβλημάτων.....	99
5.16.12	Συμπερασματική αποτίμηση.....	99
5.17	Ευκαιρίες αξιοποίησης ΤΝ.....	99
5.18	Ευκαιρίες στη διαδικασία ανάθεσης.....	100
5.18.1	Προγνωστική αξιολόγηση προσφορών.....	100
5.18.2	Ανάλυση στρατηγικής συμπεριφοράς.....	101
5.18.3	Αυτοματοποιημένη ανάλυση εγγράφων.....	103
5.19	Ευκαιρίες στην παρακολούθηση υλοποίησης.....	104
5.19.1	Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems).....	104
5.19.2	Προγνωστική διαχείριση κινδύνων.....	106
5.19.3	Ανάλυση απόδοσης και παραγωγικότητας.....	107
5.19.4	Ενοποίηση δεδομένων κύκλου ζωής έργου.....	108
5.19.5	Υποστήριξη στρατηγικού σχεδιασμού.....	109
5.19.6	Ενίσχυση διαφάνειας και λογοδοσίας.....	110
5.19.7	Προϋποθέσεις επιτυχούς αξιοποίησης.....	112
5.20	Συμπερασματική αποτίμηση.....	113
5.21	Προδιαγραφές συστήματος υποστήριξης αποφάσεων.....	113
5.21.1	Σκοπός και στόχοι του συστήματος.....	114
5.21.2	Βασικά χαρακτηριστικά.....	114
5.21.3	Απαιτήσεις δεδομένων.....	115
5.21.4	Ασφάλεια και θεσμική συμμόρφωση.....	115
5.21.5	Ενσωμάτωση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.....	116
5.21.6	Οφέλη από την εφαρμογή του DSS.....	116
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ.....	117
6.1	Ερευνητικός σχεδιασμός.....	117
6.2	Φύση της έρευνας.....	117
6.2.1	Ποιοτική διάσταση:.....	117

6.2.2 Ποσοτική διάσταση:	117
6.3 Στάδια έρευνας:	118
6.3.1 Καταγραφή υφιστάμενης κατάστασης	118
6.3.2 Προσδιορισμός προβλημάτων και ερευνητικών κενών	118
6.3.3 Σχεδιασμός και ανάπτυξη προτεινόμενου DSS	119
6.3.4 Πειραματική αξιολόγηση	119
6.4 Μεθοδολογικές αρχές	120
6.4.1 Αντικειμενικότητα	120
6.4.2 Συστηματικότητα	120
6.4.3 Επαναληψιμότητα	120
6.4.4 Συνδυασμός θεωρίας και πρακτικής	120
6.5 Τύπος δεδομένων	121
6.5.1 Πρωτογενή δεδομένα:	121
6.5.2 Δευτερογενή δεδομένα:	121
6.6 Μέθοδοι ανάλυσης	121
6.6.1 Στατιστική ανάλυση	121
6.6.2 Πολυκριτηριακή ανάλυση	121
6.6.3 Μηχανική μάθηση	122
6.6.4 Ποιοτική ανάλυση περιεχομένου	122
6.7 Σύνδεση με τους στόχους της ΜΔΕ	122
6.8 Συλλογή και περιγραφή δεδομένων	122
6.9 Πρωτογενή δεδομένα	123
6.10 Δευτερογενή δεδομένα	124
6.11 Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων	125
6.11.1 Κατηγοριοποίηση έργων	125
6.11.2 Κατηγοριοποίηση αποκλίσεων	125
6.11.3 Χαρακτηριστικά αναδόχων	125
6.11.4 Χαρακτηριστικά διαδικασιών	125
6.12 Ποιότητα και αξιοπιστία δεδομένων	126
6.13 Συμπερασματική αποτίμηση	126
6.14 Προ επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων	127
6.15 Προ επεξεργασία δεδομένων	127
6.15.1 Καθαρισμός δεδομένων	127
6.15.2 Ενοποίηση δεδομένων	128
6.15.3 Μετασχηματισμός δεδομένων για TN	128
6.15.4 Ανάλυση δεδομένων	129

6.15.5	Εξερευνητική ανάλυση (Exploratory Data Analysis – EDA).....	129
6.15.6	Στατιστική περιγραφή.....	129
6.15.7	Οπτικοποίηση δεδομένων.....	129
6.15.8	Ανίχνευση σχέσεων και συσχετίσεων	129
6.15.9	Ανίχνευση ακραίων τιμών (Outlier Detection)	130
6.15.10	Προγνωστική ανάλυση με TN.....	130
6.15.11	Κατηγοριοποίηση (Classification)	130
6.15.12	Παλινδρόμηση (Regression)	130
6.15.13	Ανίχνευση ανωμαλιών (Anomaly Detection)	130
6.15.14	Πολυκριτηριακή αξιολόγηση αναδόχων	131
6.16	Συμπεράσματα από την ανάλυση	131
6.17	Επιλογή αλγορίθμων TN.....	132
6.18	Προβλήματα κατηγοριοποίησης (Classification).....	132
6.19	Προβλήματα πρόβλεψης συνεχών τιμών (Regression)	133
6.20	Ανίχνευση ανωμαλιών (Anomaly Detection).....	133
6.21	Πολυκριτηριακή αξιολόγηση και συνδυαστικά μοντέλα.....	134
6.21.1	Συνδυασμός μοντέλων κατηγοριοποίησης και παλινδρόμησης.....	134
6.21.2	Εφαρμογή μεθόδων συνόλου (Ensemble Methods).....	134
6.21.3	Ανάλυση σημαντικότητας χαρακτηριστικών και ερμηνευσιμότητα.....	135
6.22	Κριτήρια επιλογής αλγορίθμων.....	135
6.22.1	Φύση των δεδομένων	135
6.22.2	Ακρίβεια προβλέψεων.....	135
6.22.3	Ερμηνευσιμότητα και διαφάνεια	136
6.22.4	Υπολογιστική απόδοση και κλιμάκωση.....	136
6.22.5	Συμπερασματική αξιολόγηση.....	136
6.22.6	Ανάπτυξη προτεινόμενου μοντέλου / πλαισίου	137
6.22.7	Μετρικές αξιολόγησης και διαδικασία επικύρωσης.....	139
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	141
7.1	Περιβάλλον υλοποίησης και εργαλεία	141
7.2	Υπολογιστική Υποδομή.....	141
7.2.1	Περιβάλλον ανάπτυξης (Development Environment)	141
7.2.2	Υπολογιστικοί πόροι.....	142
7.2.3	Δυνατότητα Cloud Deployment.....	142
7.3	Γλώσσες Προγραμματισμού και Βιβλιοθήκες TN.....	142
7.3.1	Python ως βασική γλώσσα ανάπτυξης.....	142
7.3.2	Βιβλιοθήκες επεξεργασίας δεδομένων (π.χ. Pandas, NumPy)	142
7.3.3	Βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης (π.χ. Scikit-learn).....	142
7.3.4	Βιβλιοθήκες οπτικοποίησης (π.χ. Matplotlib, Seaborn).....	142

7.4	Διαχείριση Δεδομένων και Βάση Δεδομένων	143
7.4.1	Σχεσιακή Βάση Δεδομένων (SQL)	143
7.4.2	Δομή δεδομένων	143
7.4.3	Διαλειτουργικότητα	143
7.5	Ανάπτυξη Διεπαφής Χρήστη (User Interface)	143
7.5.1	Διαδραστικό Dashboard	143
7.5.2	Ρόλοι χρηστών	143
7.5.3	Αρχιτεκτονική Συστήματος	144
7.5.4	Επίπεδο Δεδομένων (Duty Layer)	144
7.5.5	Επίπεδο Ανάλυσης (Analytics Layer)	144
7.5.6	Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer)	144
7.6	Ασφάλεια και Κανονιστική Συμμόρφωση	145
7.7	Έλεγχος πρόσβασης και ταυτοποίησης χρηστών	145
7.7.1	Καταγραφή ενεργειών (Audit Trail)	145
7.7.2	Προστασία δεδομένων	146
7.7.3	Συνολική αποτίμηση	146
7.8	Περιγραφή μελέτης περίπτωσης ή σεναρίου εφαρμογής	146
7.8.1	Αναλυτική Περιγραφή Έργου	147
7.8.2	Οικονομικά και Συμβατικά Χαρακτηριστικά	147
7.8.3	Εφαρμογή DSS στη Φάση Ανάθεσης (Αναλυτική Ροή)	148
7.8.4	Σύλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων Υποψηφίων	148
7.8.5	Δημιουργία Δείκτη Αξιοπιστίας Αναδόχου	148
7.8.6	Προγνωστική Ανάλυση Κινδύνου	148
7.8.7	Εφαρμογή DSS στη Φάση Υλοποίησης (Λειτουργία σε Πραγματικό Χρόνο)	149
7.8.8	Προγνωστικό Μοντέλο Κόστους και Χρόνου	150
7.8.9	Ανίχνευση Ανωμαλιών	150
7.8.10	Σενάριο Διορθωτικών Ενεργειών	151
7.8.11	Συγκριτική Αποτίμηση (Με και Χωρίς DSS)	151
7.8.12	Στρατηγική Σημασία της Μελέτης Περίπτωσης	151
7.9	Συνολικό Συμπέρασμα	151
7.10	Αποτελέσματα μοντέλων TN	152
7.11	Συνολική απόδοση των μοντέλων	152
7.12	Σύγκριση απόδοσης μεταξύ διαφορετικών αλγορίθμων	153
7.13	Ανάλυση πίνακα σύγχυσης (Confusion Matrix)	153
7.14	Αξιολόγηση της ικανότητας γενίκευσης των μοντέλων	154
7.15	Οπτικοποίηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων	154
7.16	Επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου	154

7.17	Συγκριτική αξιολόγηση με παραδοσιακές μεθόδους.....	155
7.18	Σύγκριση ως προς την ακρίβεια των προβλέψεων	155
7.19	Σύγκριση ως προς την ταχύτητα ανάλυσης δεδομένων	156
7.20	Σύγκριση ως προς την υποστήριξη λήψης αποφάσεων	157
7.21	Σύγκριση ως προς τη διαχείριση κινδύνων.....	157
7.22	Περιορισμοί και προκλήσεις της χρήσης Τεχνητής Νοημοσύνης.....	158
7.23	Συνολική αξιολόγηση των δύο προσεγγίσεων.....	158
8	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	159
8.1	Ερμηνεία ευρημάτων.....	159
8.2	Ερμηνεία της βελτιωμένης ακρίβειας προβλέψεων.....	159
8.3	Ερμηνεία της έγκαιρης ανίχνευσης κινδύνων	160
8.4	Ερμηνεία της ενίσχυσης της λήψης αποφάσεων.....	160
8.5	Ερμηνεία της μείωσης αποκλίσεων κόστους και χρόνου.....	161
8.6	Ερμηνεία της σημασίας της ποιότητας των δεδομένων.....	161
8.7	Σύνδεση ευρημάτων με τα ερευνητικά ερωτήματα.....	161
8.8	Επιπτώσεις για τη διαχείριση έργων υποδομής.....	162
8.8.1	Μετασχηματισμός της διαδικασίας λήψης αποφάσεων	162
8.8.2	Βελτίωση της διαχείρισης κινδύνων	163
8.8.3	Αναβάθμιση της διαδικασίας ανάθεσης έργων	163
8.8.4	Ενίσχυση της παρακολούθησης και ελέγχου έργων.....	164
8.8.5	Ενίσχυση διαφάνειας και λογοδοσίας	165
8.8.6	Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής	165
8.8.7	Συνολική αποτίμηση επιπτώσεων	165
8.9	Πρακτικές προεκτάσεις για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς	166
8.10	Πρακτικές προεκτάσεις για δημόσιους φορείς (αναθέτουσες αρχές)	166
8.11	Πρακτικές προεκτάσεις για ιδιωτικούς φορείς (τεχνικές εταιρείες και εργολάβοι) 167	
8.12	Ανάγκη ανάπτυξης ψηφιακών υποδομών και δεδομένων.....	168
8.13	Ανάπτυξη δεξιοτήτων και εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού.....	168

8.14	Αναδιοργάνωση διαδικασιών και θεσμικού πλαισίου.....	169
8.15	Ενίσχυση συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα	169
8.16	Συνολική αποτίμηση πρακτικών προεκτάσεων.....	170
9	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	170
9.1	Συνοπτική αποτίμηση της έρευνας	170
9.2	Αποτίμηση επίτευξης ερευνητικών στόχων	171
9.3	Συμβολή της έρευνας σε επιστημονικό και πρακτικό επίπεδο	171
9.4	Κύρια ευρήματα της έρευνας	172
9.5	Περιορισμοί της έρευνας.....	172
9.6	Συμπερασματική τοποθέτηση	173
9.7	Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	173
9.8	Ερευνητικό Ερώτημα 1: Σε ποιο βαθμό μπορεί η αξιοποίηση δεδομένων να βελτιώσει τη διαδικασία ανάθεσης έργων υποδομής;.....	174
9.9	Ερευνητικό Ερώτημα 2: Πώς επηρεάζει η εφαρμογή προγνωστικών μοντέλων την παρακολούθηση και τον έλεγχο των έργων;.....	174
9.10	Ερευνητικό Ερώτημα 3: Σε ποιο βαθμό τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων συμβάλλουν στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων;	174
9.11	Ερευνητικό Ερώτημα 4: Ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους;.....	175
9.12	Ερευνητικό Ερώτημα 5: Ποιοι είναι οι βασικοί περιορισμοί και προκλήσεις της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων;	175
9.13	Συνολική απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων.....	176
9.14	Προτάσεις πολιτικής και εφαρμογής.....	176
9.15	Θεσμική ενσωμάτωση δεδομενοκεντρικών προσεγγίσεων.....	177
9.16	Ανάπτυξη εθνικών ή οργανωτικών βάσεων δεδομένων έργων	178
9.17	Επένδυση σε ψηφιακές υποδομές και τεχνολογία.....	179
9.18	Εκπαίδευση και ανάπτυξη ανθρώπινου δυναμικού.....	181
9.19	Πιλοτική εφαρμογή και σταδιακή υιοθέτηση.....	182

9.20	Διασφάλιση διαφάνειας και ερμηνευσιμότητας.....	183
9.21	Ενίσχυση συνεργασίας δημόσιου και ιδιωτικού τομέα	184
9.22	Συνεχής αξιολόγηση και βελτίωση συστημάτων	186
9.23	Συνολική κατεύθυνση πολιτικής.....	187
9.24	Κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα	187
9.24.1	Επέκταση σε μεγαλύτερα και πιο ετερογενή σύνολα δεδομένων	188
9.24.2	Ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time data).....	189
9.24.3	Συνδυασμός με άλλες τεχνολογίες (π.χ. BIM, IoT).....	190
9.24.4	Ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων (Explainable AI).....	191
9.24.5	Αξιολόγηση εφαρμογών σε πραγματικά έργα (real-world validation).....	192
9.24.6	Διερεύνηση οργανωτικών και κοινωνικών παραμέτρων.....	192
9.24.7	Ανάπτυξη εξειδικευμένων μοντέλων ανά τύπο έργου	192
9.24.8	Συνολική κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας.....	193
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	194

3 Κεφάλαιο: Εισαγωγή

3.1 Αντικείμενο και σημασία της έρευνας

3.1.1 Αντικείμενο της έρευνας

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί η συστηματική διερεύνηση της δυνατότητας ενσωμάτωσης τεχνικών Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στις κρίσιμες φάσεις του κύκλου ζωής έργων υποδομής, με έμφαση στη διαδικασία ανάθεσης και στη φάση παρακολούθησης υλοποίησης. Η εργασία επιδιώκει να αναδείξει πώς η αξιοποίηση δεδομένων και προηγμένων αλγορίθμων μπορεί να υποστηρίξει πιο τεκμηριωμένες, αντικειμενικές και έγκαιρες αποφάσεις σε ένα περιβάλλον υψηλής πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας. (Adebayo et al., 2025)

Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώνεται σε τρεις βασικούς άξονες:

3.1.2 Βελτιστοποίηση διαδικασίας ανάθεσης έργων

Με την διαδικασία αυτή εξετάζεται η χρήση μοντέλων Μηχανικής Μάθησης για την υποστήριξη της αξιολόγησης προσφορών σε δημόσιους διαγωνισμούς. Η μελέτη διερευνά κατά πόσο μπορούν να αναπτυχθούν αλγοριθμικά εργαλεία που (Russell & Norvig, 2021):

- Μπορούν να αναλύουν πολυκριτηριακά δεδομένα προσφορών,
- Να εντοπίζουν πρότυπα σε ιστορικές αναθέσεις,
- Να εκτιμούν τον κίνδυνο αστοχίας αναδόχου, (Zhang et al., 2020)
- Να υποστηρίζουν την κατάταξη προσφορών με μεγαλύτερη συνέπεια και διαφάνεια.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη δυνατότητα υποστήριξης και όχι αντικατάστασης της ανθρώπινης κρίσης, μέσω συστημάτων υποβοηθούμενων αποφάσεων.

3.1.2.1 Προγνωστική ανάλυση κατά την υλοποίηση έργων

Δεύτερος πυλώνας είναι η ανάπτυξη μοντέλων για την έγκαιρη εκτίμηση κρίσιμων δεικτών απόδοσης έργων, όπως:

- Η πιθανότητα καθυστέρησης,
- Η αναμενόμενη υπέρβαση κόστους,
- Η πιθανότητα τυχόν συμβατικών τροποποιήσεων,
- Οι δείκτες προόδου φυσικού και οικονομικού αντικειμένου.

Η έρευνα εξετάζει πώς η αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων έργων μπορεί να οδηγήσει σε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (**early warning systems**), επιτρέποντας προληπτικές παρεμβάσεις από τους φορείς υλοποίησης.

3.1.2.2 Ανάπτυξη ολοκληρωμένου πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων

Η εργασία δεν περιορίζεται στην ανάπτυξη μεμονωμένων μοντέλων, αλλά επιδιώκει τη διαμόρφωση ενός ενιαίου πλαισίου που ενσωματώνει: (Yu et al., 2018)

- Την συλλογή και προ επεξεργασία δεδομένων έργων,
- Την εκπαίδευση και αξιολόγηση μοντέλων TN,
- Την παραγωγή δεικτών κινδύνου και απόδοσης
- Την παρουσίαση αναλυτικών αποτελεσμάτων σε μορφή κατανοητή για τους διαχειριστές έργων.

Το πλαίσιο αυτό προσεγγίζεται ως εργαλείο υποστήριξης στρατηγικών και επιχειρησιακών αποφάσεων.

3.1.2.3 Εξέταση περιορισμών και προϋποθέσεων εφαρμογής

Τέλος, μέρος του αντικειμένου της έρευνας αποτελεί η κριτική αποτίμηση των προκλήσεων εφαρμογής της TN στον συγκεκριμένο τομέα, όπως:

- Τα ζητήματα ποιότητας και διαθεσιμότητας δεδομένων,
- Η ανάγκη θεσμικής και οργανωτικής προσαρμογής,

- Τα θέματα διαφάνειας και ερμηνευσιμότητας αλγορίθμων,
- Ο βαθμός αποδοχής από τους εμπλεκόμενους φορείς

Συνολικά, το αντικείμενο της έρευνας τοποθετείται στη διασταύρωση της ψηφιακής τεχνολογίας (BIM,AI) με τη διοίκηση τεχνικών έργων(προγραμματισμός, παρακολούθηση κόστους, χρονοδιαγράμματα, συντονισμός εργοταξίου) και αποσκοπεί στη διερεύνηση πρακτικά εφαρμόσιμων λύσεων που μπορούν να υποστηρίξουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό του τομέα των έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

3.1.3 Σημασία της έρευνας

Η σημασία της παρούσας έρευνας είναι ιδιαίτερα αυξημένη, καθώς τα έργα υποδομής αποτελούν κρίσιμο πυλώνα οικονομικής ανάπτυξης, κοινωνικής συνοχής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι μεγάλος αριθμός έργων παρουσιάζει αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό, γεγονός που καθιστά αναγκαία την αξιοποίηση προηγμένων εργαλείων ανάλυσης και πρόβλεψης. (Wang et al., 2019)

3.1.3.1 Αντιμετώπιση συστημικών αδυναμιών στη διαχείριση έργων

Παραδοσιακά, η διαχείριση έργων υποδομής βασίζεται σε εμπειρικές μεθόδους και στατικές αναλύσεις, οι οποίες συχνά αδυνατούν να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα και τη δυναμική εξέλιξη των έργων (Flyvbjerg, 2014). Η έρευνα αναδεικνύει ότι η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί:

- να εντοπίζει κρυφά πρότυπα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων,
- να βελτιώνει την ακρίβεια προβλέψεων,
- να υποστηρίζει την δυναμική και την προσαρμοστική διαχείριση έργων (PMI, 2021)

Έτσι, συμβάλλει στη μετάβαση από την εμπειρική στην λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων (**data-driven**).

3.1.3.2 Ενίσχυση διαφάνειας, λογοδοσίας και εμπιστοσύνης

Στις διαδικασίες ανάθεσης δημόσιων έργων, η διαφάνεια αποτελεί θεμελιώδη απαίτηση.

Η αξιοποίηση αλγοριθμικών εργαλείων μπορεί να:

- τυποποιήσει την αξιολόγηση προσφορών,
- μειώσει την υποκειμενικότητα,
- ενισχύσει τη δυνατότητα ελέγχου και τεκμηρίωσης αποφάσεων.

Η έρευνα αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της ψηφιακής διακυβέρνησης και της ανάγκης για ενίσχυση της εμπιστοσύνης μεταξύ κράτους, αναδόχων και κοινωνίας.

3.1.3.3 Οικονομική αποδοτικότητα και βέλτιστη αξιοποίηση πόρων

Οι υπερβάσεις κόστους και οι καθυστερήσεις επιβαρύνουν σημαντικά τους δημόσιους προϋπολογισμούς. Μέσω της προγνωστικής ανάλυσης, η TN μπορεί να υποστηρίξει: (Flyvbjerg, 2014)

- Την έγκαιρη αναγνώριση κινδύνων,
- Το καλύτερο προγραμματισμό πόρων,
- Την μείωση απρόβλεπτων δαπανών,
- Την βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής των έργων.

Η οικονομική διάσταση της έρευνας είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβάλλον περιορισμένων δημοσίων πόρων και αυξημένων επενδυτικών αναγκών.

3.1.3.4 Επιτάχυνση ψηφιακού μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου

Ο τομέας των κατασκευών και υποδομών υστερεί ιστορικά στην υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών σε σχέση με άλλους κλάδους. Η παρούσα έρευνα συμβάλλει: (Abioye et al., 2021)

- Στην εφαρμογή καινοτόμων πρακτικών,
- Στην ενσωμάτωση της ΤΝ στη διοίκηση έργων,
- Στη δημιουργία βάσης για «έξυπνα» έργα υποδομής (smart infrastructure).

Με τον τρόπο αυτό υποστηρίζεται ο ευρύτερος ψηφιακός μετασχηματισμός του κλάδου.

3.1.3.5 Επιστημονική και ερευνητική συμβολή

Σε ακαδημαϊκό επίπεδο, η έρευνα καλύπτει ένα πεδίο που βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, ιδιαίτερα στον ελληνικό και ευρωπαϊκό χώρο. (Adebayo et al., 2025)

Η συμβολή της εντοπίζεται:

- στη σύνδεση θεωρίας Τεχνητής Νοημοσύνης με πραγματικά δεδομένα έργων, (Russell & Norvig, 2021)
- στην αξιολόγηση δυνατότητας εφαρμογής των μοντέλων,
- στην ανάδειξη περιορισμών και ερευνητικών κενών.

3.1.3.6 Κοινωνική και αναπτυξιακή διάσταση

Η αποτελεσματικότερη υλοποίηση έργων υποδομής μεταφράζεται σε ταχύτερη παροχή υπηρεσιών προς τους πολίτες (μεταφορές, ενέργεια, ύδρευση κ.λπ.), βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και την περιφερειακή ανάπτυξη. Συνεπώς, τα οφέλη της έρευνας υπερβαίνουν το τεχνικό επίπεδο και επεκτείνονται στο κοινωνικοοικονομικό σύστημα. (Flyvbjerg, 2014)

Συνολικά, η σημασία της έρευνας έγκειται στο ότι προτείνει ένα τεχνολογικά ώριμο αλλά ταυτόχρονα πρακτικά εφαρμόσιμο πλαίσιο για τον εκσυγχρονισμό της ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής, συμβάλλοντας στη δημιουργία πιο αποδοτικών, διαφανών και ανθεκτικών επενδυτικών διαδικασιών. (Flyvbjerg, 2014)

3.2 Σκοπός και στόχοι της ΜΔΕ

Για την επίτευξη του κεντρικού σκοπού, η έρευνα διαρθρώνεται σε επιμέρους, μετρήσιμους στόχους:

3.2.1 Συστηματική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης

- Αναλυτική χαρτογράφηση του κύκλου ζωής έργων υποδομής (ανάθεση, συμβασιοποίηση, υλοποίηση, παρακολούθηση).
- Εντοπισμός κρίσιμων σημείων όπου εμφανίζονται καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους ή αστοχίες.
- Καταγραφή των περιορισμών των παραδοσιακών μεθόδων εκτίμησης και ελέγχου.
- Εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση εφαρμογών ΤΝ στη διοίκηση έργων και στον κατασκευαστικό κλάδο. (PMI, 2021)

3.2.2 Δημιουργία αξιόπιστης βάσης δεδομένων έργων

- Συλλογή ιστορικών δεδομένων από έργα υποδομής πολλαπλών κατηγοριών.
- Έλεγχος ποιότητας, διαχείριση ελλειπών τιμών και φιλτράρισμα δεδομένων.
- Επιλογή και μηχανική χαρακτηριστικών (feature engineering) που επηρεάζουν την απόδοση έργων.
- Διαχωρισμός δεδομένων σε σύνολα εκπαίδευσης, επικύρωσης και ελέγχου.

3.2.3 Ανάπτυξη και παραμετροποίηση μοντέλων ΤΝ

- Εφαρμογή και σύγκριση πολλαπλών αλγορίθμων (π.χ. δέντρα απόφασης, ensemble methods, νευρωνικά δίκτυα).
- Βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων (**hyperparameter tuning**).
- Αντιμετώπιση προβλημάτων υπερπροσαρμογής (**overfitting**).
- Ανάπτυξη μοντέλων τόσο για παλινδρόμηση (κόστος, χρόνος) όσο και για ταξινόμηση (κίνδυνος καθυστέρησης)

3.2.4 Ποσοτική και συγκριτική αξιολόγηση

- Υπολογισμός δεικτών απόδοσης (π.χ. MAE, RMSE, F1-score).
- Σύγκριση με συμβατικές μεθόδους πρόβλεψης. (Wang et al., 2019)
- Ανάλυση σημαντικότητας μεταβλητών (feature importance).
- Έλεγχος γενίκευσης μοντέλων σε νέα έργα.

3.2.5 Σχεδιασμός πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων (Yu et al., 2018)

- Μετατροπή των προβλέψεων σε λειτουργικούς δείκτες κινδύνου.
- Σχεδίαση μηχανισμού **early warning** για διαχειριστές έργων.
- Προτάσεις ενσωμάτωσης σε πληροφοριακά συστήματα φορέων.
- Διαμόρφωση σεναρίων χρήσης (**use cases**).

3.2.6 Κριτική αποτίμηση και προτάσεις εφαρμογής

- Ανάλυση θεσμικών, οργανωτικών και τεχνικών εμποδίων υιοθέτησης.
- Εξέταση ζητημάτων ερμηνευσιμότητας και αποδοχής από χρήστες.
- Διατύπωση κατευθύνσεων για μελλοντική έρευνα.
- Προτάσεις πιλοτικής εφαρμογής σε πραγματικά έργα.

3.3 Συνοπτική αποτίμηση

Μέσα από τους παραπάνω στόχους, η ΜΔΕ επιδιώκει να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ θεωρητικών δυνατοτήτων της Τεχνητής Νοημοσύνης και πρακτικών αναγκών της διαχείρισης έργων υποδομής, παρέχοντας ένα επιστημονικά τεκμηριωμένο και επιχειρησιακά αξιοποιήσιμο αποτέλεσμα. (Adebayo et al., 2025)

3.3.1 Ερευνητικά ερωτήματα / υποθέσεις

Η παρούσα ΜΔΕ διαμορφώνει ένα σύνολο ερευνητικών ερωτημάτων και αντίστοιχων υποθέσεων εργασίας, με στόχο τη συστηματική αξιολόγηση της συμβολής της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής. Τα ερωτήματα εστιάζουν τόσο στην τεχνική απόδοση των μοντέλων όσο και στην πρακτική τους αξία για τους φορείς υλοποίησης. (Adebayo et al., 2025)

3.4 Κύρια ερευνητικά ερωτήματα

Ερευνητικό Ερώτημα 1: Σε ποιο βαθμό τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους σε έργα υποδομής (Flyvbjerg, 2014)

Ερευνητικό Ερώτημα 2: Ποιοι παράγοντες (τεχνικοί, οικονομικοί, συμβατικοί) επηρεάζουν περισσότερο την απόδοση και τον κίνδυνο υλοποίησης των έργων

Ερευνητικό Ερώτημα 3: Μπορούν οι τεχνικές Μηχανικής Μάθησης να βελτιώσουν την αντικειμενικότητα και τη συνέπεια της διαδικασίας αξιολόγησης προσφορών; (Russell & Norvig, 2021)

Ερευνητικό Ερώτημα 4: Ποια κατηγορία αλγορίθμων παρουσιάζει την καλύτερη απόδοση για τα συγκεκριμένα δεδομένα έργων υποδομής; (Flyvbjerg, 2014)

Ερευνητικό Ερώτημα 5: Σε ποιο βαθμό ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης (early warning system) μπορεί να υποστηρίξει προληπτικές παρεμβάσεις στη διαχείριση έργων; (PMI, 2021)

Ερευνητικό Ερώτημα 6: Ποιοι είναι οι βασικοί περιορισμοί και οι προϋποθέσεις για την πρακτική εφαρμογή της TN από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς

3.4.1 Ερευνητικές υποθέσεις

Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία και τη θεωρητική τεκμηρίωση, διατυπώνονται οι ακόλουθες υποθέσεις προς έλεγχο:

Υπόθεση 1: Τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης επιτυγχάνουν στατιστικά σημαντικά υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους εκτίμησης. (Adebayo et al., 2025)

Υπόθεση 2: Η χρήση πολυκριτηριακών μοντέλων Μηχανικής Μάθησης οδηγεί σε πιο συνεπή και αντικειμενική κατάταξη προσφορών σε σύγκριση με καθαρά εμπειρικές διαδικασίες. (Russell & Norvig, 2021)

Υπόθεση 3: Η ποιότητα και η πληρότητα των ιστορικών δεδομένων επηρεάζουν καθοριστικά την απόδοση των μοντέλων πρόβλεψης. (Wang et al., 2019)

Υπόθεση 4: Τα ensemble μοντέλα (π.χ. Random Forest, Gradient Boosting) παρουσιάζουν καλύτερη συνολική απόδοση από απλούστερα γραμμικά μοντέλα για δεδομένα έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

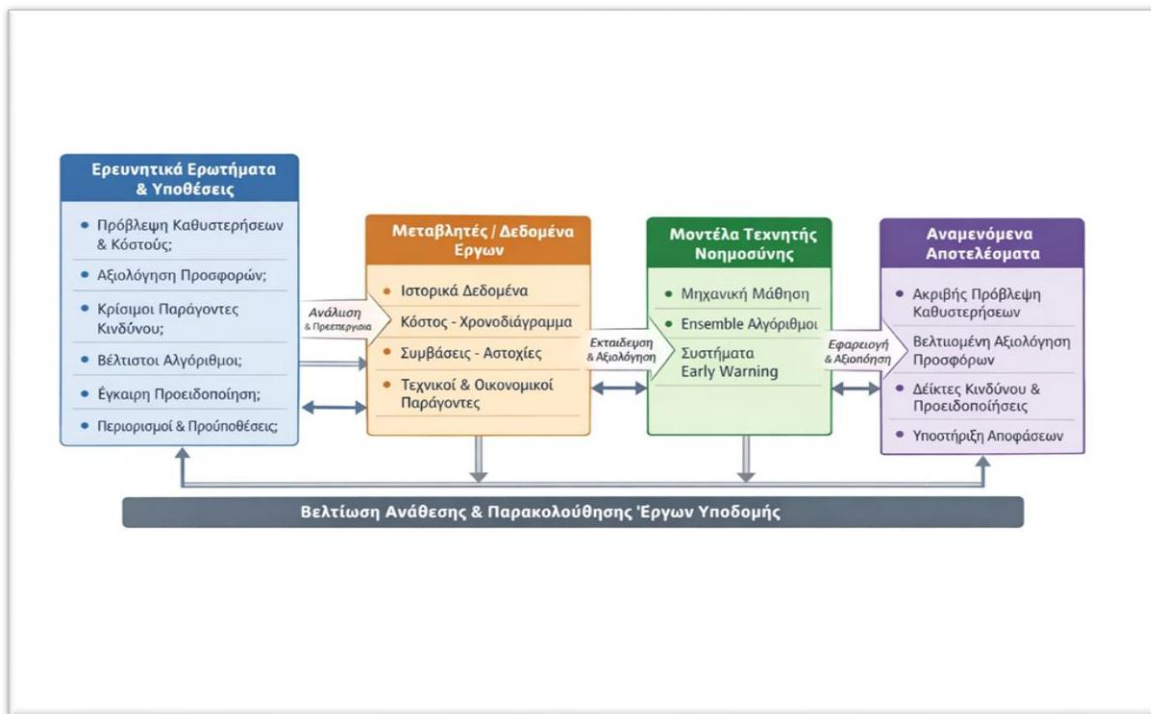
Υπόθεση 5: Η ενσωμάτωση δεικτών **early warning** μπορεί να μειώσει τον χρόνο εντοπισμού αποκλίσεων κατά την υλοποίηση έργων.

Υπόθεση 6: Η πρακτική υιοθέτηση συστημάτων TN εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνική ακρίβεια αλλά και από παράγοντες ερμηνευσιμότητας, θεσμικού πλαισίου και αποδοχής από τους χρήστες.

3.4.2 Αναμενόμενη συμβολή των ερευνητικών ερωτημάτων

Η διερεύνηση των παραπάνω ερωτημάτων επιτρέπει:

- την ποσοτική αποτίμηση της προστιθέμενης αξίας της TN,
- την κατανόηση των κρίσιμων παραγόντων κινδύνου στα έργα υποδομής,
- την αξιολόγηση της επιχειρησιακής βιωσιμότητας των προτεινόμενων λύσεων,
- τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων προτάσεων για φορείς πολιτικής και υλοποίησης έργων.



Εννοιολογικό διάγραμμα (conceptual framework): που δείχνει πώς συνδέονται τα ερωτήματα, οι μεταβλητές και τα μοντέλα.

Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση της ΜΔΕ βασίζεται σε μια ποσοτική, εμπειρική και εφαρμοσμένη ερευνητική στρατηγική, με στόχο την ανάπτυξη και αξιολόγηση μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης για την υποστήριξη της ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής. (Adebayo et al., 2025)

Συγκεκριμένα, η έρευνα ακολουθεί τα εξής βασικά στάδια:

3.4.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Πραγματοποιείται συστηματική ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με:

- τη διαχείριση έργων υποδομής,
- τα φαινόμενα καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους,
- την εφαρμογή τεχνικών Μηχανικής Μάθησης στη διοίκηση έργων.
- Στόχος είναι η θεωρητική θεμελίωση του ερευνητικού πλαισίου και η διαμόρφωση των ερευνητικών ερωτημάτων

3.4.4 Συλλογή και προ επεξεργασία δεδομένων

Συγκεντρώνονται ιστορικά δεδομένα έργων υποδομής (κόστος, χρονοδιάγραμμα, συμβάσεις, τροποποιήσεις, τεχνικά χαρακτηριστικά). Ακολουθεί:

- καθαρισμός δεδομένων,
- διαχείριση ελλিপών τιμών,
- κανονικοποίηση μεταβλητών,
- επιλογή κρίσιμων χαρακτηριστικών (feature selection).

3.4.5 Ανάπτυξη και εκπαίδευση μοντέλων TN

Εφαρμόζονται και συγκρίνονται διαφορετικοί αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης (π.χ. παλινδρόμηση, δέντρα απόφασης, ensemble μέθοδοι, νευρωνικά δίκτυα) για: (Russell & Norvig, 2021)

- πρόβλεψη καθυστερήσεων,
- εκτίμηση υπερβάσεων κόστους,
- υποστήριξη αξιολόγησης προσφορών.

Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε σύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου για την αποφυγή υπερπροσαρμογής.

3.4.6 Αξιολόγηση και σύγκριση αποτελεσμάτων

Η απόδοση των μοντέλων αξιολογείται με κατάλληλους στατιστικούς δείκτες (π.χ. MAE, RMSE). Πραγματοποιείται σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους εκτίμησης.

3.4.7 Διαμόρφωση πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων

Τα αποτελέσματα ενσωματώνονται σε ένα προτεινόμενο πλαίσιο early warning και δεικτών κινδύνου, με πρακτικό προσανατολισμό για φορείς διαχείρισης έργων. (Yu et al., 2018)

Συνολικά, η μεθοδολογία συνδυάζει θεωρητική ανάλυση και ποσοτική μοντελοποίηση, επιδιώκοντας εμπειρικά τεκμηριωμένα συμπεράσματα με εφαρμοστική αξία.

3.5 Δομή της εργασίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία δομείται σε επτά βασικά κεφάλαια, τα οποία αναπτύσσονται με στόχο τη συστηματική διερεύνηση της εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής.

Στο **Πρώτο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται η εισαγωγή της εργασίας. Συγκεκριμένα, αναλύεται το αντικείμενο και η σημασία της έρευνας, διατυπώνονται ο σκοπός και οι στόχοι της μελέτης, παρουσιάζονται τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα και οι υποθέσεις, ενώ γίνεται συνοπτική αναφορά στη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται. Επιπλέον, περιγράφεται η συνολική δομή της εργασίας.

Το **Δεύτερο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο και τη βιβλιογραφική ανασκόπηση της έρευνας. Αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των έργων υποδομής και ο κύκλος ζωής τους, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων και οι μέθοδοι παρακολούθησης και ελέγχου της υλοποίησής τους. Επιπρόσθετα, εξετάζονται οι θεμελιώδεις έννοιες της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Μηχανικής Μάθησης, καθώς και οι σύγχρονες εφαρμογές τους στον τομέα της διαχείρισης έργων και των κατασκευών. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τον εντοπισμό των βασικών ερευνητικών κενών της υπάρχουσας βιβλιογραφίας.

Στο **Τρίτο Κεφάλαιο** πραγματοποιείται ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης σχετικά με τις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής. Παρουσιάζεται το θεσμικό και λειτουργικό πλαίσιο σε ελληνικό και διεθνές επίπεδο, ενώ αναλύονται τα κυριότερα προβλήματα και οι προκλήσεις που εμφανίζονται κατά την ανάθεση και υλοποίηση των έργων. Παράλληλα, διερευνώνται οι δυνατότητες αξιοποίησης της

Τεχνητής Νοημοσύνης και προσδιορίζονται οι βασικές προδιαγραφές ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων.

Το **Τέταρτο Κεφάλαιο** αφορά τη μεθοδολογία της έρευνας. Ειδικότερα, παρουσιάζεται ο ερευνητικός σχεδιασμός, οι διαδικασίες συλλογής και περιγραφής των δεδομένων, καθώς και οι μέθοδοι προεπεξεργασίας και ανάλυσής τους. Στη συνέχεια, αιτιολογείται η επιλογή των αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και περιγράφεται η ανάπτυξη του προτεινόμενου μοντέλου ή πλαισίου εφαρμογής. Τέλος, παρουσιάζονται οι μετρικές αξιολόγησης και η διαδικασία επικύρωσης των αποτελεσμάτων.

Στο **Πέμπτο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται η υλοποίηση της έρευνας και η μελέτη περίπτωσης. Περιγράφεται το περιβάλλον υλοποίησης και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ αναλύεται το επιλεγμένο σενάριο εφαρμογής ή η μελέτη περίπτωσης. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης και πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση με παραδοσιακές μεθόδους διαχείρισης έργων. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ανάλυση ευαισθησίας και την καταγραφή των περιορισμών της εφαρμογής.

Το **Έκτο Κεφάλαιο** περιλαμβάνει τη συζήτηση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Αναλύονται και ερμηνεύονται τα βασικά ευρήματα, εξετάζονται οι επιπτώσεις τους στη διαχείριση έργων υποδομής και παρουσιάζονται οι πρακτικές προεκτάσεις για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Παράλληλα, αναφέρονται οι βασικοί περιορισμοί της έρευνας και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την εκπόνησή της.

Τέλος, στο **Εβδομο Κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα της εργασίας. Πραγματοποιείται συνοπτική αποτίμηση της έρευνας και δίνονται απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν αρχικά. Επιπλέον, διατυπώνονται προτάσεις πολιτικής και εφαρμογής σχετικά με την αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διοίκηση έργων υποδομής, ενώ προτείνονται και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα.

4 Κεφάλαιο : Θεωρητικό Υπόβαθρο και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

4.1 Έργα υποδομής και κύκλος ζωής τους

Τα έργα υποδομής αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης, καθώς επηρεάζουν άμεσα την καθημερινή ζωή των πολιτών και την αποτελεσματικότητα του παραγωγικού ιστού μιας χώρας. Η σημασία τους έγκειται στην ικανότητά τους να παρέχουν βασικές υπηρεσίες, όπως μεταφορές, ενέργεια, ύδρευση, αποχέτευση, επικοινωνίες, καθώς και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

4.2 Χαρακτηριστικά έργων υποδομής

Τα έργα υποδομής παρουσιάζουν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από άλλα είδη έργων :

4.2.1 Μεγάλη κλίμακα και πολυπλοκότητα:

Συνήθως περιλαμβάνουν πολλαπλά τεχνικά συστήματα, υποδομές και εργασίες που συνδέονται μεταξύ τους. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται όταν τα έργα απαιτούν συντονισμό πολλών εμπλεκομένων φορέων, όπως δημόσιων υπηρεσιών, αναδόχων και προμηθευτών.

4.2.2 Μεγάλη διάρκεια υλοποίησης:

Τα έργα υποδομής εκτείνονται σε χρόνια ή και δεκαετίες. Κατά τη διάρκεια αυτή μπορεί να εμφανιστούν τεχνολογικές, οικονομικές ή θεσμικές αλλαγές, που επηρεάζουν τον αρχικό σχεδιασμό.

4.2.3 Υψηλό οικονομικό κόστος:

Περιλαμβάνει κατασκευαστικό κόστος, κόστος λειτουργίας, συντήρησης και πιθανές αναβαθμίσεις ή επεκτάσεις. Λόγω του μεγάλου οικονομικού αποτυπώματος, η

αποτελεσματική διαχείριση είναι κρίσιμη για τη βιωσιμότητα των επενδύσεων. (Abioye et al., 2021)

4.2.4 Υψηλό επίπεδο ρίσκου και αβεβαιότητας:

Υπάρχει συνεχής κίνδυνος καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους, τεχνικών αστοχιών, περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή νομικών ζητημάτων. Ο σωστός προγραμματισμός και η παρακολούθηση είναι απαραίτητα για την ελαχιστοποίηση αυτών των κινδύνων. (Zhang et al., 2020)

4.2.5 Πολλαπλοί εμπλεκόμενοι φορείς:

Περιλαμβάνει δημόσιους φορείς, ιδιωτικούς αναδόχους, χρηματοδοτικά ιδρύματα, μηχανικούς, τοπικές κοινωνίες και οργανισμούς περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η συνεργασία και η σωστή επικοινωνία μεταξύ τους είναι καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση του έργου.

4.3 Κύκλος ζωής έργων υποδομής

Ο κύκλος ζωής ενός έργου υποδομής περιγράφει όλες τις φάσεις από τη σύλληψη της ιδέας έως την απόσυρση ή ανακαίνιση της υποδομής. Κάθε φάση έχει συγκεκριμένους στόχους, δραστηριότητες και κρίσιμα σημεία ελέγχου:

4.3.1 Α. Σχεδιασμός και προγραμματισμός (Planning & Design)

- Καθορισμός στόχων έργου, προϋπολογισμού και χρονοδιαγράμματος.
- Μελέτες σκοπιμότητας, βιωσιμότητας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Προκαταρκτικός σχεδιασμός τεχνικών λύσεων και διαχείριση πόρων.

4.3.2 Β. Διαγωνισμός και ανάθεση (Tendering & Contracting)

- Προκήρυξη διαγωνισμού και υποβολή προσφορών από αναδόχους.
- Αξιολόγηση προσφορών με βάση τεχνικά, οικονομικά και ποιοτικά κριτήρια.
- Σύναψη σύμβασης με τον επιλεγμένο ανάδοχο.

4.3.3 Γ. Κατασκευή (Construction)

- Υλοποίηση του έργου σύμφωνα με τα σχέδια και τις τεχνικές προδιαγραφές.
- Παρακολούθηση προόδου, κόστους, ποιότητας και ασφάλειας.
- Διαχείριση κινδύνων, επίλυση τεχνικών προβλημάτων και αναθεωρήσεις συμβάσεων αν απαιτηθεί.

4.3.4 Δ. Λειτουργία και συντήρηση (Operation & Maintenance)

- Παρακολούθηση της απόδοσης και της ασφάλειας της υποδομής.
- Εκτέλεση τακτικών και έκτακτων συντηρήσεων.
- Βελτιστοποίηση κόστους λειτουργίας και αξιολόγηση κοινωνικών/περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

4.3.5 Ε. Ανακαίνιση ή απόσυρση (Renovation or Decommissioning)

- Ανακαίνιση ή εκσυγχρονισμός λόγω τεχνολογικής απαξίωσης ή φυσικής φθοράς.
- Απόσυρση ή επαναχρησιμοποίηση υποδομών όταν λήξει η ωφέλιμη ζωή τους.

4.4 Σημασία της διαχείρισης κατά τον κύκλο ζωής

Η ολοκληρωμένη διαχείριση έργων υποδομής κατά τον κύκλο ζωής τους επιτρέπει:

- Μείωση καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους.
- Διασφάλιση ποιότητας, ασφάλειας και συμμόρφωσης με το θεσμικό πλαίσιο.
- Βέλτιστη κατανομή πόρων και έγκαιρη λήψη αποφάσεων.
- Ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας.

Η εισαγωγή τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης σε φάσεις όπως η ανάθεση και η παρακολούθηση έργων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως: (Adebayo et al., 2025)

- Πρόβλεψη πιθανών καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους (Wang et al., 2019)
- Έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων μέσω συστημάτων early warning,
- Υποστήριξη αποφάσεων βάσει δεδομένων, βελτιώνοντας αντικειμενικότητα και

διαφάνεια.



Διάγραμμα κύκλου ζωής: που να δείχνει τα κύρια δεδομένα/μεταβλητές όπου θα μπορεί να εφαρμοστεί Τεχνητή Νοημοσύνη σε κάθε στάδιο

Διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων

Η διαδικασία ανάθεσης δημοσίων έργων αποτελεί κρίσιμο σημείο στον κύκλο ζωής των έργων υποδομής, καθώς καθορίζει ποιοι φορείς θα εκτελέσουν τα έργα, με ποιους όρους και ποια ποιότητα, επηρεάζοντας άμεσα τον προϋπολογισμό, το χρονοδιάγραμμα και την τελική απόδοση. Η σημασία της διαδικασίας έγκειται στην ικανότητά της να διασφαλίζει διαφάνεια, αντικειμενικότητα, αποτελεσματικότητα και λογοδοσία στη χρήση δημοσίων πόρων. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.1 Α. Θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο

Οι διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων καθορίζονται από ένα αυστηρό νομικό και κανονιστικό πλαίσιο που περιλαμβάνει:

- **Νομοθεσία για δημόσιες συμβάσεις:** Καθορίζει τις γενικές αρχές, τα όρια και τις διαδικασίες ανάθεσης έργων.
- **Ευρωπαϊκές οδηγίες (για έργα με κοινοτική χρηματοδότηση):** Διασφαλίζουν ότι η διαδικασία είναι ανοιχτή και διαφανής, παρέχοντας ενιαία κριτήρια αξιολόγησης.
- **Κανονισμοί διαγωνισμών και πρότυπα τεχνικών προδιαγραφών:** Ορίζουν τη μορφή προσφορών, τα κριτήρια τεχνικής και οικονομικής αξιολόγησης, και τις διαδικασίες ένστασης ή προσφυγής.

Η τήρηση του θεσμικού πλαισίου εξασφαλίζει τη νομιμότητα των αποφάσεων και την αξιοπιστία του συστήματος, ενώ παράλληλα μειώνει τον κίνδυνο νομικών διαφορών και αμφισβητήσεων. (Zhang et al., 2020)

4.4.2 Στάδια διαδικασίας ανάθεσης

Η ανάθεση δημοσίων έργων ακολουθεί μια αυστηρά καθορισμένη σειρά σταδίων, καθένα από τα οποία είναι κρίσιμο για την επιτυχία του έργου:

4.4.2.1 Προετοιμασία διαγωνισμού

- Καθορισμός αντικείμενου έργου, χρονοδιαγράμματος και προϋπολογισμού.
- Σύνταξη τεχνικών προδιαγραφών και συμβατικών όρων, περιλαμβανομένων ρητρών ποιότητας, προθεσμιών και ποινών.
- Προκαταρκτικός έλεγχος βιωσιμότητας έργου, περιβαλλοντικών απαιτήσεων και τεχνικής σκοπιμότητας.
- Έγκριση διαγωνισμού από αρμόδιες αρχές, διασφαλίζοντας την πλήρη τεκμηρίωση της διαδικασίας.

4.4.2.2 Προκήρυξη και υποβολή προσφορών

- Δημόσια ανακοίνωση διαγωνισμού για όλους τους ενδιαφερόμενους.
- Καθορισμός προθεσμιών υποβολής και τρόπου υποβολής των τεχνικών και

οικονομικών προσφορών.

- Διαχείριση ερωτήσεων, διευκρινίσεων και πιθανών τροποποιήσεων επί των όρων διαγωνισμού.

4.4.2.3 Αξιολόγηση προσφορών

- **Τεχνικός έλεγχος:** Επαλήθευση ότι οι προσφορές καλύπτουν τις τεχνικές προδιαγραφές και τις συμβατικές απαιτήσεις.
- **Οικονομική αξιολόγηση:** Σύγκριση κόστους και προσφερόμενων υπηρεσιών με βάση αντικειμενικά κριτήρια.
- **Ανάλυση ρίσκου:** Εκτίμηση της ικανότητας των αναδόχων να ολοκληρώσουν το έργο εντός χρόνου και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενη εμπειρία, οικονομική κατάσταση και τεχνική επάρκεια. (Zhang et al., 2020)

4.4.2.4 Ανάθεση σύμβασης

- Επιλογή αναδόχου με βάση **πολυκριτηριακή αξιολόγηση** που συνδυάζει τεχνικά, οικονομικά και ποιοτικά στοιχεία.
- Υπογραφή σύμβασης με σαφείς όρους εκτέλεσης, παραδοτέων, δεικτών παρακολούθησης και ρητρών καθυστέρησης ή υπερβάσεων κόστους.
- Ορισμός μηχανισμών εποπτείας και έγκαιρης παρέμβασης για αποκλίσεις.

4.4.2.5 Παρακολούθηση κατά την ανάθεση

- Διαρκής έλεγχος συμμόρφωσης με τη νομοθεσία και τη σύμβαση.
- Παρακολούθηση προϋπολογισμού και χρονοδιαγράμματος σε πραγματικό χρόνο.
- Αντιμετώπιση τροποποιήσεων ή εκτάκτων αναγκών, εξασφαλίζοντας ότι οι αποφάσεις είναι τεκμηριωμένες και διαφανείς.

4.4.3 Προκλήσεις της διαδικασίας

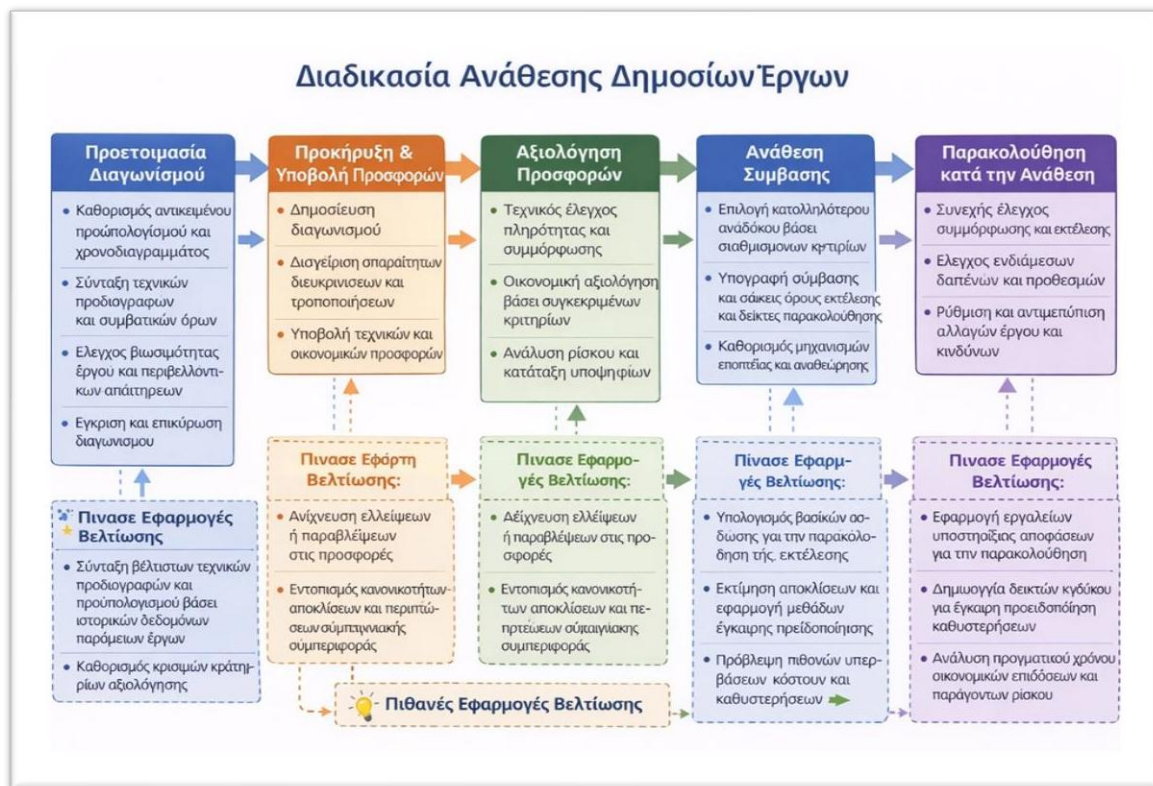
Η διαδικασία ανάθεσης δημοσίων έργων χαρακτηρίζεται από πολυπλοκότητα και υψηλό επίπεδο ρίσκου:

- **Υποκειμενικότητα αξιολόγησης:** Σε παραδοσιακές μεθόδους, η κρίση των αξιολογητών μπορεί να οδηγήσει σε ασυνεπείς αποφάσεις.
- **Καθυστερήσεις λόγω γραφειοκρατίας:** Η πολυπλοκότητα των εγκρίσεων μπορεί να επηρεάσει τον χρόνο έναρξης υλοποίησης. (Flynbjerg, 2014)
- **Δυσκολία πρόβλεψης κινδύνων:** Απαιτείται συστηματική ανάλυση δεδομένων για την εκτίμηση πιθανών υπερβάσεων κόστους ή καθυστερήσεων. (Wang et al., 2019)
- **Ανάγκη διαφάνειας και λογοδοσίας:** Οι διαδικασίες πρέπει να είναι πλήρως τεκμηριωμένες και ελέγξιμες.

4.4.4 Ενίσχυση διαδικασίας μέσω τεχνολογίας

Η εφαρμογή τεχνολογιών και αναλυτικών εργαλείων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ανάθεση δημοσίων έργων:

- **Ποσοτική αξιολόγηση προσφορών:** Χρήση δεδομένων προηγούμενων έργων για εκτίμηση κόστους και ρίσκου. (Zhang et al., 2020)
- **Πρόβλεψη αποκλίσεων:** Εντοπισμός πιθανών καθυστερήσεων ή υπερβάσεων κόστους πριν την υπογραφή σύμβασης. (Wang et al., 2019)
- **Διαφάνεια και λογοδοσία:** Δημιουργία τεκμηριωμένων αναφορών και δεικτών για τις αποφάσεις ανάθεσης.
- **Βελτιστοποίηση πόρων:** Υποστήριξη επιλογής αναδόχων που μπορούν να εκτελέσουν το έργο με μεγαλύτερη αποδοτικότητα.



Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάθεσης δημοσίων έργων: που να δείχνει όλα τα στάδια, τις δραστηριότητες και τις πιθανές εφαρμογές βελτίωσης

Παρακολούθηση και έλεγχος υλοποίησης έργων

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της υλοποίησης έργων υποδομής αποτελούν θεμελιώδεις διαδικασίες διαχείρισης έργων, καθώς διασφαλίζουν ότι οι στόχοι του έργου επιτυγχάνονται μέσα στα καθορισμένα όρια κόστους, χρόνου και ποιότητας. Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε μεγάλης κλίμακας έργα υποδομής λόγω της πολυπλοκότητας, του μεγάλου αριθμού εμπλεκόμενων και των υψηλών επενδυτικών κεφαλαίων. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.1 Σκοπός και σημασία της παρακολούθησης

Η παρακολούθηση έργου έχει ως κύριο σκοπό τη διαρκή καταγραφή και αξιολόγηση της προόδου σε σχέση με το αρχικό σχέδιο και το συμβατικό πλαίσιο. Σημαντικά οφέλη περιλαμβάνουν:

- **Διασφάλιση συμμόρφωσης:** Εξασφάλιση ότι όλες οι εργασίες εκτελούνται σύμφωνα με τα τεχνικά πρότυπα, τις συμβατικές ρήτρες και τις κανονιστικές απαιτήσεις.
- **Έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων:** Αναγνώριση πιθανών καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους ή τεχνικών προβλημάτων πριν εξελιχθούν σε κρίσιμες καταστάσεις.
- **Βελτιστοποίηση πόρων:** Παρακολούθηση ανθρώπινου δυναμικού, υλικών, εξοπλισμού και χρηματοδοτικών πόρων ώστε να μεγιστοποιείται η αποδοτικότητα.
- **Διαφάνεια και λογοδοσία:** Εξασφάλιση ότι όλα τα δεδομένα και οι αποφάσεις καταγράφονται και είναι διαθέσιμα για τους φορείς εποπτείας και χρηματοδότες.
- **Διαχείριση κινδύνου:** Προσδιορισμός και αξιολόγηση κινδύνων ώστε να υλοποιούνται προληπτικές ή διορθωτικές ενέργειες

4.4.4.2 Στάδια παρακολούθησης και ελέγχου

Η διαδικασία παρακολούθησης και ελέγχου περιλαμβάνει πέντε βασικά στάδια, κάθε ένα με κρίσιμες δραστηριότητες:

4.4.4.2.1 Συλλογή και καταγραφή δεδομένων

- **Καταγραφή προόδου:** Συγκέντρωση δεδομένων σχετικά με την ημερήσια ή εβδομαδιαία εκτέλεση των εργασιών.
- **Καταγραφή κόστους και δαπανών:** Ανάλυση του πραγματικού κόστους έναντι του προϋπολογισμού.
- **Τεκμηρίωση ποιότητας και ασφάλειας:** Έλεγχος συμμόρφωσης με πρότυπα ποιότητας και κανόνες ασφάλειας.
- **Καταγραφή αλλαγών:** Τεκμηρίωση τροποποιήσεων στον αρχικό σχεδιασμό ή στα συμβατικά στοιχεία.

4.4.4.2.2 Σύγκριση με αρχικό σχέδιο

- **Αξιολόγηση αποκλίσεων:** Σύγκριση της πραγματικής προόδου με το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό.
- **Υπολογισμός δεικτών απόδοσης (KPIs):** Παρακολούθηση δεικτών όπως ποσοστό ολοκλήρωσης εργασιών, κόστος ανά μονάδα έργου, χρόνος υλοποίησης ανά φάση.
- **Εντοπισμός κρίσιμων σημείων:** Ανάλυση εργασιών με υψηλό κίνδυνο καθυστέρησης ή υπέρβασης κόστους. (Zhang et al., 2020)

4.4.4.2.3 Ανάλυση αποκλίσεων και ρίσκου

- **Διερεύνηση αιτίων:** Προσδιορισμός τεχνικών, οικονομικών ή οργανωτικών παραγόντων που προκαλούν αποκλίσεις.
- **Κατηγοριοποίηση κινδύνου:** Προτεραιοποίηση προβλημάτων με βάση τη σοβαρότητα και την πιθανότητα εμφάνισης.
- **Σενάρια πρόληψης:** Σχεδίαση μέτρων για την αποφυγή επανάληψης των ίδιων προβλημάτων.

4.4.4.2.4 Λήψη διορθωτικών μέτρων

- **Αναθεώρηση προγραμμάτων και προϋπολογισμού:** Προσαρμογή χρονοδιαγραμμάτων και κόστους για εναρμόνιση με τις πραγματικές συνθήκες.
- **Ανακατανομή πόρων:** Μεταφορά ανθρώπινου δυναμικού ή εξοπλισμού όπου απαιτείται.
- **Τεχνικές παρεμβάσεις:** Εφαρμογή λύσεων για βελτίωση ποιότητας ή επίλυση τεχνικών προβλημάτων.

4.4.4.2.5 Αναφορά και επικοινωνία

- **Σύνταξη εκθέσεων προόδου:** Καταγραφή όλων των δεικτών, των αποκλίσεων και των διορθωτικών ενεργειών.
- **Ενημέρωση φορέων:** Διαρκής επικοινωνία με διοίκηση, χρηματοδότες και άλλους εμπλεκόμενους.

- **Αρχειοθέτηση δεδομένων:** Τεκμηρίωση αποφάσεων, αλλαγών και αποτελεσμάτων για μελλοντική αξιολόγηση.

4.4.4.3 Εργαλεία και τεχνικές υποστήριξης

Για την αποτελεσματική παρακολούθηση και έλεγχο έργων υποδομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν: (Flyvbjerg, 2014)

- **Λογισμικά διαχείρισης έργου:** Παρακολούθηση χρονοδιαγράμματος, κόστους και πόρων (π.χ. MS Project, Primavera).
- **Συστήματα δεικτών KPIs:** Μέτρηση απόδοσης έργου σε πραγματικό χρόνο.
- **Διαγράμματα προόδου και Gantt charts:** Οπτική απεικόνιση της προόδου και των αποκλίσεων.
- **Αναλυτικά εργαλεία δεδομένων:** Ανάλυση ιστορικών έργων για πρόβλεψη πιθανών αποκλίσεων και βελτιστοποίηση διαδικασιών. (Wang et al., 2019)
- **Συστήματα προειδοποίησης αποκλίσεων:** Ανίχνευση κινδύνων πριν εξελιχθούν σε σοβαρά προβλήματα.

4.4.4.4 Σημασία της παρακολούθησης και ελέγχου

Η συνεχής παρακολούθηση και ο έλεγχος:

- Επιτρέπουν **έγκαιρη αντίδραση** σε προβλήματα και ελαχιστοποιούν καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους. (Flyvbjerg, 2014)
- Ενισχύουν την **αποτελεσματικότητα της διαχείρισης έργου** και την ορθολογική χρήση πόρων
- Διασφαλίζουν **διαφάνεια και λογοδοσία**, σημαντικά για δημόσιες επενδύσεις.
- Προσφέρουν δεδομένα και δείκτες για βελτιστοποίηση μελλοντικών έργων.

Συνεπώς, η παρακολούθηση και ο έλεγχος δεν αποτελούν απλή καταγραφή, αλλά εργαλείο στρατηγικής διαχείρισης που συνδέει την υλοποίηση του έργου με την αποδοτικότητα, τη βιωσιμότητα και τη διαφάνεια.

4.4.4.4.1 Θεμελιώδεις έννοιες Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) και η Μηχανική Μάθηση (MM) έχουν αποκτήσει καθοριστική σημασία στη διαχείριση έργων υποδομής, καθώς προσφέρουν εργαλεία για πρόβλεψη, ανάλυση δεδομένων, βελτιστοποίηση διαδικασιών και υποστήριξη λήψης αποφάσεων. Η βαθύτερη κατανόηση αυτών των τεχνολογιών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της δυνατότητας εφαρμογής τους στην ανάθεση, παρακολούθηση και έλεγχο έργων. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.5 Τεχνητή Νοημοσύνη (TN)

Η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί έναν επιστημονικό και τεχνολογικό κλάδο που στοχεύει στη δημιουργία συστημάτων ικανά να **αντιλαμβάνονται, αναλύουν, μαθαίνουν και λαμβάνουν αποφάσεις** με τρόπο που προσομοιάζει τη νοημοσύνη του ανθρώπου.

4.4.4.6 Κύρια χαρακτηριστικά της TN:

1. Αντίληψη (Perception):

Η αντίληψη αναφέρεται στην ικανότητα της TN να συλλέγει, να αναγνωρίζει και να επεξεργάζεται δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, όπως αισθητήρες, βάσεις δεδομένων, κάμερες, δορυφορικά συστήματα, drones ή γεωτεχνικές μετρήσεις. Μέσω αυτής της δυνατότητας, τα συστήματα TN μπορούν να αποκτούν ολοκληρωμένη εικόνα ενός περιβάλλοντος ή μιας κατάστασης και να εντοπίζουν προβλήματα ή αλλαγές σε πραγματικό χρόνο. **Για παράδειγμα,** σε ένα εργοτάξιο η TN μπορεί να αναλύει δεδομένα από αισθητήρες και drones ώστε να ανιχνεύει καθυστερήσεις στις εργασίες, φθορές στον εξοπλισμό ή πιθανούς κινδύνους ασφάλειας. (Flyvbjerg, 2014)

2. Μάθηση (Learning):

Η TN έχει τη δυνατότητα να βελτιώνει συνεχώς την απόδοσή της μέσω της εμπειρίας και της ανάλυσης δεδομένων. Με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα συστήματα μπορούν να αναγνωρίζουν μοτίβα, να δημιουργούν κανόνες και να εντοπίζουν

συσχετίσεις ανάμεσα σε διαφορετικές πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει στην TN να προσαρμόζεται σε νέες συνθήκες και να παράγει πιο ακριβή αποτελέσματα με την πάροδο του χρόνου. **Για παράδειγμα**, ένα σύστημα διαχείρισης έργων μπορεί να αναλύει δεδομένα από παλαιότερα έργα και να προβλέπει πιθανές καθυστερήσεις ή υπερβάσεις κόστους, συμβάλλοντας έτσι στον καλύτερο προγραμματισμό και έλεγχο. (Flyvbjerg, 2014)

3. Λήψη αποφάσεων (Decision Making):

Η TN μπορεί να επεξεργάζεται μεγάλους όγκους δεδομένων και να επιλέγει την καταλληλότερη ενέργεια σύμφωνα με συγκεκριμένους στόχους και κριτήρια. Οι αποφάσεις αυτές βασίζονται τόσο στα διαθέσιμα δεδομένα όσο και σε προκαθορισμένους κανόνες ή μοντέλα πρόβλεψης. Με αυτόν τον τρόπο, η TN συμβάλλει στη γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση προβλημάτων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αυτόματη ανακατανομή πόρων σε ένα έργο που παρουσιάζει καθυστερήσεις, ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις στο χρονοδιάγραμμα και στο κόστος. (Flyvbjerg, 2014)

4. Αυτοματοποίηση διαδικασιών (Automation):

Η TN μπορεί να εκτελεί επαναλαμβανόμενες ή πολύπλοκες εργασίες χωρίς να απαιτείται συνεχής ανθρώπινη παρέμβαση. Η αυτοματοποίηση αυξάνει την ταχύτητα εκτέλεσης, μειώνει τα ανθρώπινα λάθη και βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα. Στον τομέα της διαχείρισης έργων, για παράδειγμα, η TN μπορεί να παρακολουθεί την πρόοδο των εργασιών, να συγκρίνει τα πραγματικά δεδομένα με το αρχικό χρονοδιάγραμμα και να ειδοποιεί αυτόματα για αποκλίσεις ή κινδύνους σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, οι υπεύθυνοι έργου μπορούν να λαμβάνουν άμεσα διορθωτικά μέτρα και να βελτιώνουν την οργάνωση και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών.

4.4.4.6.1 Μηχανική Μάθηση (MM)

Η Μηχανική Μάθηση αποτελεί υποσύνολο της TN και επικεντρώνεται στην **εκμάθηση συστημάτων από δεδομένα**, χωρίς να απαιτείται προγραμματισμός για κάθε ξεχωριστή εργασία.

4.4.4.6.2 Βασικές έννοιες MM:

1. Δεδομένα εισόδου (Input Data):

Τα δεδομένα αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία εκπαιδεύεται και λειτουργεί ένα μοντέλο Μηχανικής Μάθησης. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν ιστορικά στοιχεία έργων, προϋπολογισμούς, χρονοδιαγράμματα, εκθέσεις ποιότητας, μετρήσεις από αισθητήρες ή άλλες σχετικές πληροφορίες. Μέσω της ανάλυσης αυτών των δεδομένων, το σύστημα μπορεί να αναγνωρίζει πρότυπα και σχέσεις που δεν είναι εύκολα αντιληπτές από τον άνθρωπο. Η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια του μοντέλου, καθώς ελλιπή ή λανθασμένα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα. (Russell & Norvig, 2021)

2. Μοντέλο (Model):

Το μοντέλο αποτελεί μια μαθηματική ή στατιστική αναπαράσταση που έχει σχεδιαστεί ώστε να αναγνωρίζει σχέσεις μεταξύ των δεδομένων εισόδου και των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Μέσω της διαδικασίας μάθησης, το μοντέλο «εκπαιδεύεται» ώστε να εντοπίζει μοτίβα και να πραγματοποιεί προβλέψεις ή ταξινομήσεις. Για παράδειγμα, σε ένα κατασκευαστικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης καθυστερήσεων, το οποίο βασίζεται σε δεδομένα προηγούμενων έργων, όπως η διάρκεια εργασιών, οι καιρικές συνθήκες ή οι διαθέσιμοι πόροι. Το μοντέλο αυτό μπορεί να βοηθήσει τους υπεύθυνους έργου να προβλέπουν πιθανά προβλήματα και να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα. (Abioye et al., 2021)

3. Εκπαίδευση (Training):

Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, το μοντέλο επεξεργάζεται τα διαθέσιμα δεδομένα και προσαρμόζει τις εσωτερικές του παραμέτρους ώστε να μειώνει τα σφάλματα και να βελτιώνει την ακρίβεια των προβλέψεων. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται επαναληπτικά, καθώς το μοντέλο συγκρίνει τις προβλέψεις του με τα πραγματικά αποτελέσματα και διορθώνει σταδιακά τις αποκλίσεις. Όσο περισσότερα και πιο ποιοτικά

δεδομένα χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση, τόσο καλύτερη γίνεται συνήθως η απόδοση του μοντέλου.

4. Έλεγχος και αξιολόγηση (Validation & Testing):

Μετά την εκπαίδευση, το μοντέλο πρέπει να ελεγχθεί σε νέα δεδομένα που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως. Ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να αξιολογηθεί η ικανότητα του μοντέλου να λειτουργεί σωστά σε πραγματικές συνθήκες και να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Παράλληλα, η διαδικασία αυτή βοηθά στην αποφυγή του φαινομένου της υπερπροσαρμογής (**overfitting**), κατά το οποίο το μοντέλο αποδίδει πολύ καλά στα δεδομένα εκπαίδευσης αλλά αποτυγχάνει να γενικεύσει σωστά σε νέα δεδομένα. Η σωστή αξιολόγηση εξασφαλίζει ότι το μοντέλο είναι αξιόπιστο και κατάλληλο για πρακτική εφαρμογή.

5. Πρόβλεψη/Λήψη αποφάσεων (Prediction/Decision Making):

Αφού ολοκληρωθεί η εκπαίδευση και η αξιολόγηση, το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη μελλοντικών αποτελεσμάτων ή για την υποστήριξη αποφάσεων. Για παράδειγμα, ένα σύστημα Μηχανικής Μάθησης μπορεί να προβλέπει πιθανές καθυστερήσεις σε ένα έργο, να εκτιμά το τελικό κόστος ή να εντοπίζει πιθανούς κινδύνους. Με βάση αυτές τις προβλέψεις, οι υπεύθυνοι μπορούν να λαμβάνουν πιο τεκμηριωμένες και αποτελεσματικές αποφάσεις, βελτιώνοντας τη διαχείριση πόρων, τον προγραμματισμό και τη συνολική αποδοτικότητα του έργου. (Russell & Norvig, 2021)

4.4.4.6.3 Κατηγορίες Μηχανικής Μάθησης

4.4.4.6.3.1 Επιβλεπόμενη μάθηση (Supervised Learning):

Η επιβλεπόμενη μάθηση (Supervised Learning) αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή Μηχανικής Μάθησης. Σε αυτή την προσέγγιση, το μοντέλο εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας δεδομένα για τα οποία είναι ήδη γνωστά τα σωστά αποτελέσματα ή οι επιθυμητές εξόδους. Τα δεδομένα αυτά αποτελούνται από ζεύγη εισόδου και εξόδου, όπου το σύστημα προσπαθεί να μάθει τη σχέση που τα συνδέει. Κατά τη διαδικασία

εκπαίδευσης, το μοντέλο συγκρίνει τις προβλέψεις του με τις πραγματικές τιμές και προσαρμόζεται ώστε να μειώνει τα σφάλματα και να βελτιώνει την ακρίβειά του. Η επιβλεπόμενη μάθηση χρησιμοποιείται κυρίως για προβλήματα πρόβλεψης και ταξινόμησης. Για παράδειγμα, σε ένα κατασκευαστικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη πιθανής υπέρβασης κόστους με βάση δεδομένα προηγούμενων έργων, όπως ο προϋπολογισμός, η διάρκεια εργασιών και οι διαθέσιμοι πόροι. Με αυτόν τον τρόπο, οι υπεύθυνοι έργου μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα οικονομικούς κινδύνους και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα. (Russell & Norvig, 2021)

4.4.4.6.3.2 Μη επιβλεπόμενη μάθηση (Unsupervised Learning):

Η μη επιβλεπόμενη μάθηση (**Unsupervised Learning**) διαφέρει από την επιβλεπόμενη, καθώς το μοντέλο εκπαιδεύεται χωρίς να υπάρχουν προκαθορισμένες έξοδοι ή σωστές απαντήσεις. Στόχος της είναι η ανακάλυψη κρυφών δομών, προτύπων ή συσχετίσεων μέσα στα δεδομένα. Το σύστημα προσπαθεί να οργανώσει τα δεδομένα σε ομάδες ή κατηγορίες με βάση κοινά χαρακτηριστικά και ομοιότητες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων και την αναγνώριση μοτίβων που δεν είναι άμεσα εμφανή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής είναι η κατηγοριοποίηση έργων ανάλογα με τον βαθμό κινδύνου τους. Μέσω της ανάλυσης στοιχείων όπως το κόστος, η πολυπλοκότητα, οι καθυστερήσεις και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, το σύστημα μπορεί να ομαδοποιεί τα έργα σε κατηγορίες υψηλού, μεσαίου ή χαμηλού κινδύνου, βοηθώντας έτσι στη βελτίωση της διαχείρισης και του σχεδιασμού.

4.4.4.6.3.3 Ενισχυτική μάθηση (Reinforcement Learning):

Η ενισχυτική μάθηση (**Reinforcement Learning**) αποτελεί μια πιο δυναμική μορφή Μηχανικής Μάθησης, όπου το μοντέλο μαθαίνει μέσω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον. Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα λαμβάνει αποφάσεις και αξιολογείται με βάση τις συνέπειες των ενεργειών του. Όταν μια ενέργεια οδηγεί σε θετικό αποτέλεσμα, το σύστημα λαμβάνει μια «επιβράβευση», ενώ όταν οδηγεί σε αρνητικό αποτέλεσμα λαμβάνει μια «κύρωση» ή ποινή. Μέσω αυτής της συνεχούς διαδικασίας

δοκιμής και προσαρμογής, το μοντέλο μαθαίνει ποιες ενέργειες είναι πιο αποτελεσματικές για την επίτευξη ενός στόχου.

Η ενισχυτική μάθηση χρησιμοποιείται συχνά σε περιβάλλοντα που μεταβάλλονται δυναμικά και απαιτούν συνεχή λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμοστεί στη βελτιστοποίηση χρονοδιαγραμμάτων ενός έργου, όπου το σύστημα προσαρμόζει δυναμικά την κατανομή εργασιών και πόρων ανάλογα με τις αλλαγές στις συνθήκες του έργου, τις καθυστερήσεις ή τις διαθέσιμες δυνατότητες. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται πιο αποδοτική διαχείριση χρόνου και πόρων. (Russell & Norvig, 2021)

4.4.4.6.4 Εφαρμογή TN και MM σε έργα υποδομής

Η TN και η MM μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την υλοποίηση έργων υποδομής μέσω: (Flyvbjerg, 2014)

- **Πρόβλεψης καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους:** Ανάλυση ιστορικών δεδομένων για πιο ακριβείς προϋπολογισμούς και χρονοδιαγράμματα. (Wang et al., 2019)
- **Διαχείρισης κινδύνου:** Προληπτική ανίχνευση πιθανών προβλημάτων πριν εμφανιστούν.
- **Αξιολόγησης προσφορών και αναδόχων:** Ανάλυση στοιχείων προηγούμενων έργων για επιλογή βέλτιστων συνεργατών.
- **Βελτιστοποίησης πόρων και διαδικασιών:** Βέλτιστη κατανομή ανθρώπινου δυναμικού, υλικών και εξοπλισμού.
- **Στήριξης λήψης αποφάσεων:** Παροχή αντικειμενικών, τεκμηριωμένων και προγνωστικών δεδομένων στους διαχειριστές έργων.

Με άλλα λόγια, η TN και η MM μετατρέπουν μεγάλους όγκους δεδομένων σε χρήσιμη πληροφορία, μειώνοντας τον ανθρώπινο παράγοντα και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα, τη διαφάνεια και τη βιωσιμότητα των έργων υποδομής.

4.4.4.6.5 Εφαρμογές TN στη διαχείριση έργων και στις κατασκευές

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τεχνολογικούς παράγοντες μετασχηματισμού του κατασκευαστικού κλάδου και της διαχείρισης έργων υποδομής. Η αξιοποίησή της επιτρέπει τη μετάβαση από μια κυρίως εμπειρική και αντιδραστική προσέγγιση διαχείρισης σε ένα μοντέλο βασισμένο σε δεδομένα (data-driven), προγνωστική ανάλυση και αυτοματοποιημένη υποστήριξη αποφάσεων. (PMI, 2021)

4.4.4.6.6 Εφαρμογές στη φάση σχεδιασμού και προγραμματισμού

Η φάση του σχεδιασμού είναι κρίσιμη, καθώς σε αυτή λαμβάνονται αποφάσεις που επηρεάζουν έως και το 70–80% του συνολικού κόστους κύκλου ζωής ενός έργου.

4.4.4.6.6.1 Πρόβλεψη κόστους και διάρκειας

Η πρόβλεψη κόστους και διάρκειας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στη φάση σχεδιασμού και προγραμματισμού έργων υποδομής. Στα περισσότερα μεγάλα έργα, όπως αυτοκινητόδρομοι, γέφυρες, σιδηροδρομικά έργα ή ενεργειακές εγκαταστάσεις, παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις κόστους και καθυστερήσεις, οι οποίες προκαλούν σημαντικές οικονομικές και λειτουργικές επιπτώσεις. Οι παραδοσιακές μέθοδοι εκτίμησης βασίζονται κυρίως στην εμπειρία των μηχανικών και σε γενικές παραδοχές, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα σφαλμάτων και ανακριβών προβλέψεων. (Adebayo et al., 2025)

Η TN και η MM δίνουν τη δυνατότητα αξιοποίησης μεγάλου όγκου ιστορικών δεδομένων από προηγούμενα έργα. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν προϋπολογισμούς, πραγματικά κόστη κατασκευής, διάρκεια εργασιών, καθυστερήσεις, αναθεωρήσεις μελετών, μεταβολές τιμών υλικών, καιρικές συνθήκες, γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και στοιχεία παραγωγικότητας. Μέσω της ανάλυσης αυτών των πληροφοριών, τα μοντέλα Μηχανικής Μάθησης μπορούν να εντοπίζουν πρότυπα και σχέσεις που επηρεάζουν την εξέλιξη ενός έργου. (Russell & Norvig, 2021)

Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να αναγνωρίσει ότι έργα με αυξημένη γεωτεχνική δυσκολία ή με μεγάλο αριθμό υπεργολάβων εμφανίζουν συχνότερα καθυστερήσεις και αυξήσεις κόστους. Με βάση αυτές τις συσχετίσεις, το σύστημα μπορεί να προβλέψει με μεγαλύτερη ακρίβεια την πιθανότητα υπέρβασης του προϋπολογισμού ή της χρονικής διάρκειας ενός νέου έργου. Παράλληλα, μπορεί να εκτιμήσει ποιοι παράγοντες έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα, όπως οι αλλαγές στη μελέτη, οι καθυστερήσεις αδειοδοτήσεων ή οι διακυμάνσεις στις τιμές των υλικών. (Flyvbjerg, 2014)

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι προβλέψεις βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα και όχι αποκλειστικά στην ανθρώπινη εμπειρία ή σε θεωρητικές εκτιμήσεις. Έτσι, οι διαχειριστές έργων μπορούν να δημιουργούν πιο ρεαλιστικούς προϋπολογισμούς και πιο αξιόπιστα χρονοδιαγράμματα, μειώνοντας τον κίνδυνο λανθασμένων αποφάσεων. Επιπλέον, η έγκαιρη αναγνώριση πιθανών προβλημάτων επιτρέπει τη λήψη προληπτικών μέτρων πριν ξεκινήσει η κατασκευή, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση των οικονομικών απωλειών και των καθυστερήσεων. (Abioye et al., 2021)

Η δυνατότητα συνεχούς ενημέρωσης των μοντέλων αποτελεί επίσης σημαντικό πλεονέκτημα. Καθώς συλλέγονται νέα δεδομένα από την πρόοδο του έργου, το σύστημα μπορεί να αναπροσαρμόζει τις προβλέψεις του σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, η διαχείριση του έργου γίνεται πιο δυναμική και αποτελεσματική, καθώς οι υπεύθυνοι μπορούν να προσαρμόζουν άμεσα τον σχεδιασμό και τους διαθέσιμους πόρους σύμφωνα με τις πραγματικές συνθήκες.

4.4.4.6.6.2 Ανάλυση σεναρίων και βελτιστοποίηση

Η ανάλυση σεναρίων και η βελτιστοποίηση αποτελούν μία ακόμη σημαντική εφαρμογή της TN και της MM στη φάση σχεδιασμού και προγραμματισμού έργων υποδομής. Τα μεγάλα έργα χαρακτηρίζονται από υψηλή πολυπλοκότητα και επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα πόρων, οι τεχνικές απαιτήσεις, οι καιρικές συνθήκες, οι οικονομικοί περιορισμοί και οι χρονικές δεσμεύσεις. Η λήψη αποφάσεων σε ένα τόσο

σύνθετο περιβάλλον είναι δύσκολη, ιδιαίτερα όταν πρέπει να αξιολογηθούν πολλές εναλλακτικές λύσεις ταυτόχρονα. (Flyvbjerg, 2014)

Η ΤΝ επιτρέπει την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης ενός έργου πριν ακόμη ξεκινήσει η κατασκευή. Μέσω προηγμένων αλγορίθμων, μπορούν να εξετάζονται διαφορετικά χρονοδιαγράμματα, τεχνικές λύσεις ή στρατηγικές διαχείρισης πόρων, ώστε να εντοπίζεται η πιο αποδοτική επιλογή. Για παράδειγμα, ένα σύστημα μπορεί να συγκρίνει διαφορετικές ακολουθίες εργασιών και να υπολογίζει ποια οδηγεί στη μικρότερη συνολική διάρκεια του έργου ή στο χαμηλότερο κόστος. (Abioye et al., 2021)

Παράλληλα, η ΤΝ μπορεί να αξιολογεί διαφορετικές τεχνικές επιλογές λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά κριτήρια, όπως το κόστος κατασκευής, η ανθεκτικότητα, η περιβαλλοντική επίπτωση και η ενεργειακή απόδοση. Για παράδειγμα, σε ένα έργο οδοποιίας, το σύστημα μπορεί να συγκρίνει διαφορετικά υλικά οδοστρώματος ή διαφορετικές μεθόδους κατασκευής και να προτείνει τη βέλτιστη λύση με βάση οικονομικά και τεχνικά δεδομένα. (Abioye et al., 2021)

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η δυνατότητα βελτιστοποίησης της κατανομής πόρων. Η ΤΝ μπορεί να υπολογίζει πώς πρέπει να κατανεμηθούν το ανθρώπινο δυναμικό, τα μηχανήματα και τα υλικά ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, μπορεί να προτείνει πότε και σε ποιο σημείο του έργου πρέπει να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένος εξοπλισμός ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις ή αδράνεις. Επιπλέον, μπορεί να εντοπίζει πιθανά σημεία συμφόρησης στις διαδικασίες και να προτείνει εναλλακτικές λύσεις πριν εμφανιστούν προβλήματα. (Flyvbjerg, 2014)

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι τα συστήματα ΤΝ μπορούν να αναλύουν ταυτόχρονα πολύ μεγάλο αριθμό παραμέτρων και μεταβλητών, κάτι που είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί με παραδοσιακές μεθόδους. Έτσι, οι υπεύθυνοι έργων αποκτούν τη δυνατότητα να λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις βασισμένες σε αντικειμενικά δεδομένα και προσομοιώσεις πραγματικών συνθηκών. Η διαδικασία αυτή μειώνει την αβεβαιότητα, ενισχύει την ακρίβεια του προγραμματισμού και αυξάνει σημαντικά τις

πιθανότητες επιτυχούς ολοκλήρωσης του έργου εντός του προβλεπόμενου κόστους και χρονοδιαγράμματος.

4.4.4.6.7 Εφαρμογές στη διαδικασία ανάθεσης και αξιολόγησης

Η φάση της ανάθεσης χαρακτηρίζεται από πολυκριτηριακή αξιολόγηση και ανάγκη αντικειμενικότητας.

4.4.4.6.7.1 Πολυκριτηριακή αξιολόγηση προσφορών

Η πολυκριτηριακή αξιολόγηση προσφορών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στις διαδικασίες ανάθεσης έργων υποδομής. Η επιλογή του κατάλληλου αναδόχου δεν βασίζεται μόνο στη χαμηλότερη οικονομική προσφορά, αλλά και σε πολλούς άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα, την αξιοπιστία και τη συνολική επιτυχία του έργου. Στις παραδοσιακές διαδικασίες αξιολόγησης, η ανάλυση όλων αυτών των παραμέτρων είναι συχνά χρονοβόρα και ενδέχεται να επηρεάζεται από υποκειμενικές κρίσεις ή ανθρώπινα σφάλματα. (Adebayo et al., 2025)

Τα συστήματα TN μπορούν να επεξεργάζονται ταυτόχρονα μεγάλο όγκο δεδομένων και να αξιολογούν πολυάριθμα κριτήρια με αντικειμενικό τρόπο. Συγκεκριμένα, είναι σε θέση να αναλύουν τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές παραμέτρους των προσφορών, όπως το συνολικό κόστος, τη διάρκεια κατασκευής, τη μεθοδολογία υλοποίησης, την τεχνική επάρκεια, τη διαθεσιμότητα εξοπλισμού και την ποιότητα των προτεινόμενων λύσεων. Παράλληλα, μπορούν να συνδυάζουν πληροφορίες που σχετίζονται με την εμπειρία του αναδόχου, την επιτυχία προηγούμενων έργων, την οικονομική του σταθερότητα και την ικανότητα τήρησης χρονοδιαγραμμάτων. (Abioye et al., 2021)

Μέσω αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, τα συστήματα μπορούν να εντοπίζουν ποιοι παράγοντες συνδέονται συχνότερα με επιτυχημένη ολοκλήρωση έργων και να τους αποδίδουν μεγαλύτερη βαρύτητα κατά την αξιολόγηση. Για παράδειγμα, μπορεί να διαπιστωθεί ότι ανάδοχοι με σταθερή οικονομική κατάσταση και χαμηλό ποσοστό

καθυστερήσεων σε προηγούμενα έργα παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία στην εκτέλεση νέων συμβάσεων. (Russell & Norvig, 2021)

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης TN είναι ότι η διαδικασία αξιολόγησης γίνεται περισσότερο διαφανής, αντικειμενική και επαναλήψιμη. Οι αποφάσεις βασίζονται σε συγκεκριμένα δεδομένα και μετρήσιμα κριτήρια, μειώνοντας την πιθανότητα υποκειμενικών επιλογών ή αμφισβητήσεων. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση της ανάλυσης επιταχύνει σημαντικά τη διαδικασία ανάθεσης έργων και επιτρέπει στους φορείς διαχείρισης να λαμβάνουν πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις.

4.4.4.6.7.2 Αξιολόγηση κινδύνου αναδόχου

Η αξιολόγηση κινδύνου αναδόχου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση της επιτυχούς υλοποίησης ενός έργου υποδομής. Ένας ανάδοχος που αντιμετωπίζει οικονομικές δυσκολίες, παρουσιάζει συχνές καθυστερήσεις ή εμφανίζει χαμηλή ποιότητα εργασιών μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην εξέλιξη του έργου, οδηγώντας σε αυξημένο κόστος, καθυστερήσεις και νομικές διαφορές. (Flyvbjerg, 2014)

Η TN και η MM παρέχουν τη δυνατότητα ανάλυσης ιστορικών δεδομένων προηγούμενων έργων και αξιολόγησης της συνολικής συμπεριφοράς ενός αναδόχου. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με καθυστερήσεις, υπερβάσεις προϋπολογισμού, ποιότητα κατασκευής, συμβατικές παραβάσεις, νομικές διαφορές, οικονομικές επιδόσεις και συμμόρφωση με τεχνικές προδιαγραφές. Μέσω της επεξεργασίας αυτών των πληροφοριών, τα συστήματα μπορούν να αναγνωρίζουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα προβληματικής συμπεριφοράς. (Flyvbjerg, 2014)

Για παράδειγμα, εάν ένας ανάδοχος παρουσιάζει συστηματικά καθυστερήσεις σε έργα συγκεκριμένου τύπου ή μεγέθους, το σύστημα μπορεί να εκτιμήσει αυξημένη πιθανότητα παρόμοιων προβλημάτων και στο νέο έργο. Παράλληλα, η TN μπορεί να αναλύει οικονομικά δεδομένα και να εντοπίζει ενδείξεις πιθανής οικονομικής αστάθειας, όπως αυξημένος δανεισμός ή μειωμένη ρευστότητα, στοιχεία που ενδέχεται να επηρεάσουν την ικανότητα ολοκλήρωσης του έργου. (Flyvbjerg, 2014)

Μέσω αυτής της διαδικασίας, μπορεί να υπολογίζεται ένας δείκτης αξιοπιστίας του αναδόχου, ο οποίος εκφράζει τη συνολική πιθανότητα επιτυχούς και συνεπούς εκτέλεσης του έργου. Ο δείκτης αυτός βοηθά τους φορείς ανάθεσης να συγκρίνουν αντικειμενικά διαφορετικούς υποψηφίους και να λαμβάνουν πιο ασφαλείς αποφάσεις.

Η χρήση τέτοιων συστημάτων συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κινδύνου αποτυχημένων συνεργασιών και ενισχύει τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα των έργων υποδομής. Επιπλέον, επιτρέπει την έγκαιρη αναγνώριση πιθανών προβλημάτων και τη λήψη προληπτικών μέτρων πριν την υπογραφή της σύμβασης. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.6.7.3 Ανίχνευση ασυνήθιστων μοτίβων

Η ανίχνευση ασυνήθιστων μοτίβων αποτελεί μία ιδιαίτερα σημαντική εφαρμογή της TN και της MM στις διαδικασίες αξιολόγησης προσφορών και διαχείρισης έργων υποδομής. Σε μεγάλα έργα, όπου εμπλέκονται πολλοί οικονομικοί και τεχνικοί παράγοντες, είναι συχνό να εμφανίζονται αποκλίσεις ή ασυνήθιστα στοιχεία που μπορεί να υποδηλώνουν λανθασμένες εκτιμήσεις, τεχνικά προβλήματα ή ακόμη και προσπάθειες παραπλάνησης. (Flyvbjerg, 2014)

Οι αλγόριθμοι ανάλυσης δεδομένων μπορούν να εξετάζουν μεγάλο αριθμό προσφορών και τεχνικών στοιχείων με στόχο τον εντοπισμό ανωμαλιών ή μοτίβων που αποκλίνουν σημαντικά από τα συνηθισμένα δεδομένα. Ένα βασικό παράδειγμα είναι ο εντοπισμός μη ρεαλιστικά χαμηλών οικονομικών προσφορών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια (Russell & Norvig, 2021) υπερβολικά χαμηλή προσφορά μπορεί να φαίνεται αρχικά συμφέρουσα, αλλά να οδηγεί αργότερα σε προβλήματα, όπως χαμηλή ποιότητα κατασκευής, καθυστερήσεις ή ανάγκη πρόσθετων οικονομικών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια του έργου. Η TN μπορεί να συγκρίνει την προσφορά με ιστορικά δεδομένα παρόμοιων έργων και να εκτιμήσει κατά πόσο το προτεινόμενο κόστος είναι ρεαλιστικό.

Παράλληλα, τα συστήματα μπορούν να εντοπίζουν ασυνήθιστες αποκλίσεις κόστους σε επιμέρους εργασίες ή υλικά. **Για παράδειγμα,** εάν το κόστος συγκεκριμένων εργασιών διαφέρει σημαντικά από τα συνηθισμένα επίπεδα της αγοράς, το σύστημα μπορεί να

επισημάνει την απόκλιση για περαιτέρω έλεγχο από τους αρμόδιους μηχανικούς ή οικονομικούς αναλυτές.

Επιπλέον, η TN μπορεί να αναλύει τεχνικά στοιχεία και να εντοπίζει πιθανές ασυμφωνίες ή αντιφάσεις μέσα στις προσφορές. Για παράδειγμα, μπορεί να διαπιστώσει ότι ο προτεινόμενος εξοπλισμός δεν επαρκεί για την εκτέλεση του έργου εντός του δηλωμένου χρονοδιαγράμματος ή ότι υπάρχουν αντιφάσεις ανάμεσα στις τεχνικές προδιαγραφές και στις οικονομικές εκτιμήσεις.

Η δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης τέτοιων ανωμαλιών ενισχύει σημαντικά τη διαφάνεια και την αξιοπιστία των διαδικασιών ανάθεσης έργων. Παράλληλα, μειώνει τον κίνδυνο λανθασμένων επιλογών, οικονομικών απωλειών και μελλοντικών προβλημάτων κατά την υλοποίηση του έργου. Μέσω της αυτοματοποιημένης ανάλυσης δεδομένων, οι φορείς διαχείρισης μπορούν να λαμβάνουν πιο ασφαλείς, αντικειμενικές και τεκμηριωμένες αποφάσεις. (Zhang et al., 2020)

4.4.4.6.8 Εφαρμογές στην κατασκευή και υλοποίηση

Η φάση υλοποίησης είναι η πιο απαιτητική σε επίπεδο ελέγχου και διαχείρισης ρίσκου.

4.4.4.6.8.1 Παρακολούθηση προόδου σε πραγματικό χρόνο

Η παρακολούθηση της προόδου ενός έργου σε πραγματικό χρόνο αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στη φάση υλοποίησης έργων υποδομής. Σε μεγάλα και σύνθετα έργα, η συνεχής παρακολούθηση της εξέλιξης των εργασιών είναι απαραίτητη προκειμένου να διασφαλίζεται ότι το έργο προχωρά σύμφωνα με το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα, τον προϋπολογισμό και τις τεχνικές προδιαγραφές. (Adebayo et al., 2025)

Με τη χρήση ψηφιακών συστημάτων διαχείρισης έργου, αισθητήρων Internet of Things (IoT), drones και καμερών εργοταξίου, συλλέγεται συνεχώς μεγάλος όγκος δεδομένων σχετικά με την πρόοδο των εργασιών. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες για την ολοκλήρωση δραστηριοτήτων, τη χρήση εξοπλισμού, την

παραγωγικότητα των συνεργείων, τις καιρικές συνθήκες και την κατάσταση του εργοταξίου. Η ΤΝ μπορεί να επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να τα συγκρίνει αυτόματα με το αρχικό χρονοδιάγραμμα και τις προβλέψεις του έργου.

Για παράδειγμα, μέσω ανάλυσης εικόνων από drones, το σύστημα μπορεί να εκτιμά τον βαθμό ολοκλήρωσης συγκεκριμένων εργασιών, όπως εκσκαφές, σκυροδετήσεις ή κατασκευή οδοστρωμάτων. Παράλληλα, αισθητήρες εγκατεστημένοι σε μηχανήματα ή δομικά στοιχεία μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του εξοπλισμού ή την πρόοδο των εργασιών σε συγκεκριμένα σημεία του έργου. (Abioye et al., 2021)

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα έγκαιρης ειδοποίησης για αποκλίσεις. Εάν το σύστημα διαπιστώσει ότι μια δραστηριότητα καθυστερεί σε σχέση με τον προγραμματισμό ή ότι η παραγωγικότητα είναι χαμηλότερη από την αναμενόμενη, μπορεί να ειδοποιήσει άμεσα τους υπεύθυνους του έργου. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η γρήγορη λήψη διορθωτικών μέτρων πριν οι αποκλίσεις επηρεάσουν συνολικά το χρονοδιάγραμμα ή το κόστος του έργου.

Η συνεχής παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο συμβάλλει στη βελτίωση της διαφάνειας, της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας της διαχείρισης έργων, ενώ παράλληλα μειώνει την ανάγκη για χειροκίνητους ελέγχους και επιτόπιες επιθεωρήσεις.

4.4.4.6.8.2 Πρόβλεψη καθυστερήσεων

Η πρόβλεψη καθυστερήσεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή ολοκλήρωση ενός έργου υποδομής, καθώς οι χρονικές αποκλίσεις συχνά οδηγούν σε αυξημένο κόστος, νομικές διαφορές και προβλήματα στη λειτουργία του έργου. Η ΤΝ και η ΜΜ προσφέρουν τη δυνατότητα ανάπτυξης προγνωστικών μοντέλων που μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα δραστηριότητες υψηλού κινδύνου και να προβλέπουν πιθανές καθυστερήσεις πριν αυτές εμφανιστούν. (Flyvbjerg, 2014)

Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων προηγούμενων έργων, αλλά και σε δεδομένα που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από το εργοτάξιο.

Παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα υλικών, η απόδοση των συνεργείων, η κατάσταση του εξοπλισμού και οι τεχνικές δυσκολίες μπορούν να επηρεάζουν σημαντικά την πρόοδο του έργου. Η ΤΝ είναι σε θέση να αναγνωρίζει μοτίβα που συνδέονται με καθυστερήσεις και να εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισής τους σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. (Flyvbjerg, 2014)

Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να διαπιστώσει ότι οι εργασίες θεμελίωσης παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο καθυστέρησης λόγω δυσμενών γεωτεχνικών συνθηκών ή ότι η έλλειψη συγκεκριμένων υλικών ενδέχεται να επηρεάσει την πρόοδο των κατασκευαστικών εργασιών. Με βάση αυτές τις προβλέψεις, οι διαχειριστές έργου (Abioye et al., 2021) μπορούν να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα, όπως ανακατανομή πόρων, τροποποίηση του χρονοδιαγράμματος ή ενίσχυση των συνεργείων.

Επιπλέον, τα συστήματα ΤΝ μπορούν να προτείνουν διορθωτικές ενέργειες με στόχο τον περιορισμό των επιπτώσεων των καθυστερήσεων. **Για παράδειγμα**, μπορούν να υπολογίζουν ποια δραστηριότητα πρέπει να επιταχυνθεί ή ποιοι πόροι πρέπει να μεταφερθούν σε κρίσιμα σημεία του έργου ώστε να διατηρηθεί το συνολικό χρονοδιάγραμμα.

Η δυνατότητα πρόβλεψης καθυστερήσεων ενισχύει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης έργων, μειώνει την αβεβαιότητα και επιτρέπει τη λήψη πιο έγκαιρων και τεκμηριωμένων αποφάσεων. (Wang et al., 2019)

4.4.4.6.8.3 Διαχείριση ασφάλειας

Η διαχείριση της ασφάλειας αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς εφαρμογής της ΤΝ και της ΜΜ στα έργα υποδομής, καθώς τα εργοτάξια χαρακτηρίζονται από αυξημένο κίνδυνο εργατικών ατυχημάτων και επικίνδυνων συνθηκών εργασίας. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση του εργοταξίου και την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων, συμβάλλοντας σημαντικά στη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. (Zhang et al., 2020)

Μέσω ανάλυσης εικόνας από κάμερες και drones, τα συστήματα TN μπορούν να αναγνωρίζουν παραβιάσεις κανόνων ασφαλείας σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να εντοπίζονται εργαζόμενοι που δεν χρησιμοποιούν τον απαραίτητο προστατευτικό εξοπλισμό, όπως κράνη, γιλέκα ασφαλείας ή ζώνες προστασίας.

Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να αναγνωρίζει επικίνδυνες συμπεριφορές ή κινήσεις σε περιοχές υψηλού κινδύνου.

Παράλληλα, η TN μπορεί να αναλύει δεδομένα από αισθητήρες και συστήματα παρακολούθησης για να εντοπίζει επικίνδυνες ζώνες ή συνθήκες που αυξάνουν την πιθανότητα ατυχήματος. Για παράδειγμα, μπορεί να ανιχνεύει αυξημένες δονήσεις, υπερθέρμανση εξοπλισμού, διαρροές επικίνδυνων υλικών ή αστάθεια προσωρινών κατασκευών. (Abioye et al., 2021)

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι τα συστήματα μπορούν να ειδοποιούν άμεσα τους υπεύθυνους ασφαλείας όταν εντοπιστεί πιθανός κίνδυνος. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η άμεση λήψη μέτρων πριν συμβεί κάποιο ατύχημα. Επιπλέον, μέσω της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων ατυχημάτων, η TN μπορεί να αναγνωρίζει επαναλαμβανόμενα μοτίβα κινδύνου και να συμβάλλει στη βελτίωση των διαδικασιών πρόληψης. (Zhang et al., 2020)

Η χρήση TN στη διαχείριση ασφαλείας συμβάλλει στη μείωση των εργατικών ατυχημάτων, στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και στην ενίσχυση της συνολικής ασφαλείας και αξιοπιστίας των έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.6.8.4 Βελτιστοποίηση πόρων

Η βελτιστοποίηση πόρων αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποδοτική διαχείριση έργων υποδομής, καθώς η σωστή αξιοποίηση ανθρώπινου δυναμικού, μηχανημάτων και υλικών επηρεάζει άμεσα το κόστος, τη διάρκεια και την ποιότητα του έργου. Η TN και η MM επιτρέπουν τη δυναμική και αυτοματοποιημένη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων με βάση πραγματικά δεδομένα απόδοσης και λειτουργίας. (Flyvbjerg, 2014)

Μέσω συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τα συστήματα μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση των συνεργείων, τη χρήση του εξοπλισμού και την κατανάλωση υλικών. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, η TN μπορεί να υπολογίζει πώς πρέπει να κατανέμονται οι διαθέσιμοι πόροι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγικότητα και η ελάχιστη σπατάλη.

Για παράδειγμα, εάν ένα συνεργείο παρουσιάζει καθυστέρηση σε κρίσιμη δραστηριότητα, το σύστημα μπορεί να προτείνει την ενίσχυσή του με επιπλέον προσωπικό ή εξοπλισμό. Αντίστοιχα, μπορεί να εντοπίζει μηχανήματα που παραμένουν ανενεργά και να προτείνει τη μεταφορά τους σε άλλες περιοχές του έργου όπου υπάρχει αυξημένη ανάγκη.

Η TN μπορεί επίσης να συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης υλικών, προβλέποντας τις μελλοντικές ανάγκες και αποτρέποντας ελλείψεις ή υπερβολικά αποθέματα. Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να υπολογίζει πότε πρέπει να παραγγελθούν συγκεκριμένα υλικά ώστε να είναι διαθέσιμα τη σωστή χρονική στιγμή χωρίς να αυξάνονται άσκοπα τα κόστη αποθήκευσης.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα συνεχούς προσαρμογής της κατανομής πόρων ανάλογα με τις πραγματικές συνθήκες του έργου. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους, όπου ο προγραμματισμός γίνεται κυρίως στατικά, η TN επιτρέπει δυναμική διαχείριση που προσαρμόζεται αυτόματα σε αλλαγές, καθυστερήσεις ή απρόβλεπτες καταστάσεις. (Flyvbjerg, 2014)

Η βελτιστοποίηση πόρων μέσω TN οδηγεί σε μείωση κόστους, αύξηση παραγωγικότητας, περιορισμό καθυστερήσεων και αποτελεσματικότερη ολοκλήρωση των έργων υποδομής.

4.4.4.6.9 Εφαρμογές στη λειτουργία και συντήρηση

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) και η Μηχανική Μάθηση (MM) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη φάση λειτουργίας και συντήρησης των έργων υποδομής. Μέσω της ανάλυσης

δεδομένων και της συνεχούς παρακολούθησης των υποδομών, παρέχουν τη δυνατότητα πρόβλεψης πιθανών προβλημάτων, βελτιστοποίησης της λειτουργίας και μείωσης του λειτουργικού κόστους. Ιδιαίτερα σημαντικές εφαρμογές αποτελούν η προγνωστική συντήρηση και η ανάλυση απόδοσης υποδομών, οι οποίες συμβάλλουν στην αύξηση της αξιοπιστίας, της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των σύγχρονων τεχνικών έργων. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.7 Προγνωστική συντήρηση

Η προγνωστική συντήρηση αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στη φάση λειτουργίας και συντήρησης έργων υποδομής. Παραδοσιακά, η συντήρηση εξοπλισμού και υποδομών πραγματοποιούνταν είτε περιοδικά, σύμφωνα με προκαθορισμένα χρονοδιαγράμματα, είτε μετά την εμφάνιση κάποιας βλάβης. Οι μέθοδοι αυτές συχνά οδηγούν είτε σε άσκοπες παρεμβάσεις και αυξημένο κόστος είτε σε σοβαρές αστοχίες που προκαλούν διακοπές λειτουργίας και υψηλές δαπάνες αποκατάστασης. (Adebayo et al., 2025)

Η TN και η MM επιτρέπουν τη μετάβαση σε ένα πιο έξυπνο και αποδοτικό μοντέλο συντήρησης, γνωστό ως προγνωστική συντήρηση. Μέσω αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης συλλέγονται συνεχώς δεδομένα λειτουργίας από μηχανήματα, κατασκευές και εξοπλισμό. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν θερμοκρασία, δονήσεις, πίεση, κατανάλωση ενέργειας, θόρυβο λειτουργίας ή παραμορφώσεις δομικών στοιχείων. (Abioye et al., 2021)

Τα συστήματα Μηχανικής Μάθησης αναλύουν αυτά τα δεδομένα και αναγνωρίζουν μοτίβα που σχετίζονται με πιθανές βλάβες ή φθορές. Για παράδειγμα, μια σταδιακή αύξηση των δονήσεων σε έναν κινητήρα ή σε μια γέφυρα μπορεί να αποτελεί ένδειξη επικείμενης αστοχίας. Το σύστημα μπορεί να προβλέψει την πιθανότητα βλάβης πριν αυτή εμφανιστεί και να ειδοποιήσει έγκαιρα τους υπεύθυνους συντήρησης. (Russell & Norvig, 2021)

Με αυτόν τον τρόπο, η συντήρηση προγραμματίζεται προληπτικά και πραγματοποιείται τη χρονική στιγμή που είναι πραγματικά απαραίτητη. Αυτό έχει πολλαπλά οφέλη, καθώς

μειώνονται οι απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας, περιορίζονται οι σοβαρές βλάβες και αυξάνεται η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Παράλληλα, μειώνεται σημαντικά το κόστος αποκατάστασης, καθώς οι παρεμβάσεις πραγματοποιούνται πριν η βλάβη εξελιχθεί σε σοβαρό πρόβλημα.

Στα έργα υποδομής, η προγνωστική συντήρηση μπορεί να εφαρμοστεί σε γέφυρες, σιδηροδρομικά δίκτυα, ενεργειακές εγκαταστάσεις, συστήματα ύδρευσης ή βιομηχανικό εξοπλισμό. **Για παράδειγμα**, σε ένα σιδηροδρομικό δίκτυο η TN μπορεί να αναλύει δεδομένα από τις ράγες και τα συστήματα κύλισης ώστε να προβλέπει φθορές πριν προκληθούν ατυχήματα ή διακοπές λειτουργίας.

Η εφαρμογή της προγνωστικής συντήρησης συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των υποδομών, ενώ παράλληλα μειώνει το λειτουργικό και συντηρητικό κόστος σε βάθος χρόνου.

4.4.4.8 Ανάλυση απόδοσης υποδομών

Η ανάλυση απόδοσης υποδομών αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό τομέα εφαρμογής της TN και της MM στη φάση λειτουργίας έργων υποδομής. Οι σύγχρονες υποδομές, ιδιαίτερα στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας, παράγουν συνεχώς μεγάλο όγκο δεδομένων που σχετίζονται με τη λειτουργία και την απόδοσή τους. Η αξιοποίηση αυτών των δεδομένων μέσω τεχνολογιών TN επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των υποδομών και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. (Flyvbjerg, 2014)

Στα έργα μεταφορών, όπως αυτοκινητόδρομοι, σιδηροδρομικά δίκτυα ή αστικά συστήματα κυκλοφορίας, συλλέγονται δεδομένα σχετικά με την κυκλοφοριακή ροή, τις ταχύτητες οχημάτων, τα επίπεδα συμφόρησης και τα ατυχήματα. Η TN μπορεί να αναλύει αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να εντοπίζει μοτίβα κυκλοφορίας ή σημεία συμφόρησης. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, μπορούν να προτείνονται παρεμβάσεις όπως αλλαγές στη σηματοδότηση, ανακατεύθυνση κυκλοφορίας ή βελτιστοποίηση των δρομολογίων.

Για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης κυκλοφορίας, η TN μπορεί να προσαρμόζει δυναμικά τη λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών ανάλογα με την πραγματική κίνηση στους δρόμους. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι καθυστερήσεις, περιορίζεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και βελτιώνεται η συνολική απόδοση του δικτύου μεταφορών. (Flyvbjerg, 2014)

Αντίστοιχα, στον τομέα της ενέργειας, τα συστήματα TN μπορούν να αναλύουν δεδομένα κατανάλωσης, παραγωγής και ενεργειακής απόδοσης. Σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας ή εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η TN μπορεί να προβλέπει μεταβολές στη ζήτηση, να βελτιστοποιεί την κατανομή φορτίου και να εντοπίζει ενεργειακές απώλειες ή δυσλειτουργίες.

Για παράδειγμα, σε ένα έξυπνο ενεργειακό δίκτυο, η TN μπορεί να προσαρμόζει δυναμικά τη λειτουργία του συστήματος ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ισορροπία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβάλλει στη μείωση των ενεργειακών απωλειών, στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και στη μείωση του λειτουργικού κόστους.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ανάλυσης απόδοσης μέσω TN είναι η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και άμεσης προσαρμογής της λειτουργίας των υποδομών στις πραγματικές συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο, οι οργανισμοί διαχείρισης μπορούν να λαμβάνουν πιο γρήγορες και τεκμηριωμένες αποφάσεις, να αυξάνουν την αποδοτικότητα των υποδομών και να προσφέρουν καλύτερες υπηρεσίες στους χρήστες.

4.4.4.9 Στρατηγικά οφέλη εφαρμογής

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διαχείριση έργων έχει καθοριστική επίδραση σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου υποδομής, από τον σχεδιασμό μέχρι τη λειτουργία και τη συντήρηση. Μέσω της αξιοποίησης μεγάλου όγκου δεδομένων και της εφαρμογής αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, τα έργα μπορούν να οργανώνονται και να υλοποιούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια, αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία. (Adebayo et al., 2025)

Αρχικά, η TN συμβάλλει στη μεγαλύτερη ακρίβεια στον σχεδιασμό, καθώς επιτρέπει την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και την εξαγωγή πιο ρεαλιστικών προβλέψεων για το κόστος, τη διάρκεια και τις απαιτήσεις ενός έργου. Έτσι, οι αρχικές εκτιμήσεις βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα και όχι μόνο σε εμπειρικές προσεγγίσεις, μειώνοντας σημαντικά τα λάθη στον προγραμματισμό.

Παράλληλα, μειώνεται η αβεβαιότητα στη λήψη αποφάσεων, καθώς τα συστήματα TN μπορούν να επεξεργάζονται πολλαπλά σενάρια και μεταβλητές ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει στους υπεύθυνους έργων να κατανοούν καλύτερα τις πιθανές εξελίξεις και να επιλέγουν πιο ασφαλείς και τεκμηριωμένες λύσεις, ακόμα και σε σύνθετα και απρόβλεπτα περιβάλλοντα.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι η έγκαιρη διαχείριση κινδύνων. Η TN μπορεί να εντοπίζει προειδοποιητικά σημάδια καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους ή τεχνικών προβλημάτων, επιτρέποντας την άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων πριν αυτά εξελιχθούν σε σοβαρά προβλήματα. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η πρόληψη αντί της εκ των υστέρων αντιμετώπισης.

Επιπλέον, ενισχύεται η διαφάνεια και η τεκμηρίωση των αποφάσεων, καθώς οι διαδικασίες βασίζονται σε δεδομένα και μετρήσιμα αποτελέσματα. Αυτό μειώνει την υποκειμενικότητα και καθιστά τις επιλογές πιο ελέγξιμες και αιτιολογημένες, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μεγάλα δημόσια ή ιδιωτικά έργα.

Η συνολική απόδοση του έργου βελτιώνεται σημαντικά, καθώς η TN συμβάλλει στη βέλτιστη κατανομή πόρων, στον καλύτερο συντονισμό εργασιών και στη μείωση καθυστερήσεων. Τα έργα εκτελούνται πιο οργανωμένα και με μεγαλύτερη συνέπεια ως προς τα αρχικά σχέδια.

Τέλος, επιτυγχάνεται μείωση του κόστους κύκλου ζωής του έργου, καθώς περιορίζονται οι υπερβάσεις, οι επανεργασίες και οι απρόβλεπτες βλάβες. Η αποδοτικότερη χρήση πόρων και η προληπτική διαχείριση προβλημάτων οδηγούν σε συνολικά πιο οικονομική και βιώσιμη λειτουργία των έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.4.10 Προκλήσεις και περιορισμοί

Παρά τα σημαντικά οφέλη που προσφέρει η Τεχνητή Νοημοσύνη στη διαχείριση έργων, η εφαρμογή της συνοδεύεται και από ορισμένους σημαντικούς περιορισμούς και προκλήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. (PMI, 2021)

Ένα βασικό πρόβλημα είναι η ανεπαρκής ποιότητα ή έλλειψη ιστορικών δεδομένων. Τα συστήματα TN και Μηχανικής Μάθησης βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε δεδομένα για να εκπαιδευτούν και να παράγουν αξιόπιστες προβλέψεις. Όταν τα δεδομένα είναι ελλιπή, ανακριβή ή μη οργανωμένα, η απόδοση των μοντέλων μειώνεται σημαντικά, οδηγώντας σε λανθασμένες εκτιμήσεις και αποφάσεις. (Russell & Norvig, 2021)

Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός είναι η δυσκολία δια λειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Στα έργα υποδομής χρησιμοποιούνται συχνά πολλά διαφορετικά λογισμικά και πλατφόρμες, τα οποία δεν είναι πάντα συμβατά μεταξύ τους. Αυτό δυσκολεύει την ενσωμάτωση της TN σε ενιαία συστήματα διαχείρισης και περιορίζει την αποτελεσματική ανταλλαγή δεδομένων.

Παράλληλα, συχνά παρατηρείται αντίσταση από την οργανωτική κουλτούρα. Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών μπορεί να αντιμετωπίζεται με επιφυλακτικότητα από εργαζόμενους ή διοικήσεις, είτε λόγω έλλειψης εξοικείωσης είτε λόγω φόβου αλλαγών στον τρόπο εργασίας. Αυτό μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση και αξιοποίηση των συστημάτων TN.

Επιπλέον, ανακύπτουν ζητήματα ηθικής, ευθύνης και διαφάνειας των αλγορίθμων. Σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι απόλυτα σαφές πώς ένα μοντέλο καταλήγει σε μια συγκεκριμένη απόφαση, γεγονός που δημιουργεί προβληματισμούς σχετικά με την

αξιοπιστία και τη λογοδοσία. Η ανάγκη για «επεξηγήσιμη TN» γίνεται ολοένα και πιο σημαντική, ειδικά σε έργα υψηλής ευθύνης.

Τέλος, υπάρχει ανάγκη προσαρμογής του θεσμικού και νομικού πλαισίου, ώστε να υποστηρίζει τη χρήση των νέων τεχνολογιών. Οι υπάρχοντες κανονισμοί συχνά δεν καλύπτουν πλήρως ζητήματα όπως η χρήση αλγορίθμων στη λήψη αποφάσεων ή η ευθύνη σε περίπτωση σφάλματος, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη δημιουργία νέων κανονιστικών πλαισίων.

Συνολικά, ενώ η TN προσφέρει σημαντικές δυνατότητες, η επιτυχής εφαρμογή της απαιτεί αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και προσεκτικό σχεδιασμό.

4.4.4.11 Συνολική αξιολόγηση

Η TN στη διαχείριση έργων και στις κατασκευές δεν αντικαθιστά τον ανθρώπινο παράγοντα, αλλά ενισχύει τον ρόλο του διαχειριστή μέσω εργαλείων προγνωστικής ανάλυσης και τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων. (PMI, 2021)

Η επιτυχής εφαρμογή της εξαρτάται από:

- Τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων.
- Την κατάλληλη μεθοδολογική προσέγγιση.
- Τη θεσμική και οργανωτική ετοιμότητα.

Στο πλαίσιο της παρούσας ΜΔΕ, οι εφαρμογές αυτές αποτελούν τη θεωρητική βάση για τη διερεύνηση της ενσωμάτωσης συστημάτων TN στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής.

4.4.5 Εντοπισμός ερευνητικών κενών

Η συστηματική ανασκόπηση της διεθνούς και εγχώριας βιβλιογραφίας καταδεικνύει ότι, παρά τη σημαντική πρόοδο στην εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στον κατασκευαστικό κλάδο, η αξιοποίησή της στη διαχείριση δημοσίων έργων υποδομής παραμένει αποσπασματική και ελλιπώς θεμελιωμένη σε θεσμικό και λειτουργικό

επίπεδο. Τα βασικά ερευνητικά κενά εντοπίζονται τόσο σε τεχνικό όσο και σε οργανωτικό, θεσμικό και μεθοδολογικό επίπεδο. (Adebayo et al., 2025)

4.4.5.1 Αποσπασματική εστίαση στη φάση κατασκευής

Η αποσπασματική εστίαση της έρευνας στη φάση της κατασκευής αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα στον τομέα της εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στα έργα υποδομής. Μέχρι σήμερα, η πλειονότητα των μελετών και των εφαρμογών επικεντρώνεται κυρίως στο στάδιο της υλοποίησης του έργου, όπου η ανάγκη για παρακολούθηση και έλεγχο είναι πιο άμεση και τα δεδομένα είναι πιο εύκολα διαθέσιμα. (Abioye et al., 2021)

Συγκεκριμένα, μεγάλο μέρος της έρευνας αφορά την πρόβλεψη καθυστερήσεων κατά την κατασκευή, την εκτίμηση υπερβάσεων κόστους και την ανίχνευση κινδύνων ασφάλειας στο εργοτάξιο. Αυτές οι εφαρμογές είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς συμβάλλουν στη βελτίωση της διαχείρισης έργων σε πραγματικό χρόνο και στην άμεση αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν κατά την υλοποίηση. Ωστόσο, η εστίαση (Abioye et al., 2021) αυτή περιορίζεται κυρίως στο «εκτελεστικό» στάδιο του έργου και όχι στον αρχικό σχεδιασμό ή στη διαδικασία λήψης αποφάσεων πριν την έναρξη της κατασκευής.

Αντίθετα, η φάση της ανάθεσης έργων, η οποία είναι εξίσου κρίσιμη, δεν έχει μελετηθεί επαρκώς σε σχέση με την αξιοποίηση της TN. Υπάρχει περιορισμένη ανάπτυξη συστημάτων που να υποστηρίζουν τη διαδικασία επιλογής αναδόχου με βάση ιστορικά δεδομένα και αντικειμενικά κριτήρια απόδοσης. Στην πράξη, η επιλογή αναδόχου συχνά εξακολουθεί να βασίζεται σε συμβατικές διαδικασίες αξιολόγησης, χωρίς τη συστηματική χρήση προγνωστικών μοντέλων που θα μπορούσαν να εκτιμήσουν την μελλοντική απόδοση ενός υποψήφιου αναδόχου.

Επιπλέον, σπάνια υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ της απόδοσης ενός αναδόχου κατά την κατασκευή και των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την αρχική του επιλογή.

Δηλαδή, τα δεδομένα από προηγούμενα έργα δεν αξιοποιούνται πλήρως ώστε να βελτιώσουν τις μελλοντικές αποφάσεις ανάθεσης.

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια ασυνέχεια μεταξύ της προγνωστικής ανάλυσης και της πραγματικής διαδικασίας λήψης αποφάσεων πριν την υπογραφή μιας σύμβασης. (Abioye et al., 2021)

Το αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η δημιουργία ενός σημαντικού ερευνητικού και πρακτικού κενού. Η TN και η MM έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν τα δεδομένα απόδοσης προηγούμενων έργων με τη διαδικασία επιλογής αναδόχου, όμως αυτή η σύνδεση παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτη. Η ανάπτυξη ολοκληρωμένων μοντέλων που θα ενσωματώνουν τόσο την ανάλυση ιστορικών δεδομένων όσο και την υποστήριξη αποφάσεων στη φάση της ανάθεσης θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τη διαφάνεια, την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.5.2 Έλλειψη ολιστικής προσέγγισης στον κύκλο ζωής έργου

Οι περισσότερες υπάρχουσες ερευνητικές προσεγγίσεις στην εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και της Μηχανικής Μάθησης (MM) στα έργα υποδομής χαρακτηρίζονται από αποσπασματικότητα, καθώς εστιάζουν σε μεμονωμένες εφαρμογές και όχι σε μια ολιστική αντιμετώπιση του κύκλου ζωής ενός έργου. (Adebayo et al., 2025)

Συγκεκριμένα, οι περισσότερες μελέτες εξετάζουν ξεχωριστά επιμέρους στάδια, όπως ο σχεδιασμός, η κατασκευή ή η λειτουργία, χωρίς να επιτυγχάνεται μια ενιαία προσέγγιση που να συνδέει όλα τα στάδια μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που παράγονται σε κάθε φάση δεν αξιοποιούνται συστηματικά στις επόμενες, με αποτέλεσμα να χάνεται σημαντική πληροφορία που θα μπορούσε να βελτιώσει τη συνολική λήψη αποφάσεων. (Abioye et al., 2021)

Επιπλέον, δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο πληροφοριακό και αναλυτικό πλαίσιο που να συνδυάζει όλα τα δεδομένα του κύκλου ζωής ενός έργου. Ένα τέτοιο πλαίσιο θα επέτρεπε την ενοποίηση των δεδομένων από τον σχεδιασμό, την ανάθεση, την κατασκευή και τη λειτουργία, προσφέροντας μια συνολική εικόνα της απόδοσης του έργου και επιτρέποντας πιο τεκμηριωμένες και συνεπείς αποφάσεις. (Abioye et al., 2021)

Παράλληλα, υπάρχει έλλειψη μηχανισμών που να διασφαλίζουν τη διαχρονική αξιοποίηση των δεδομένων. Σε πολλά έργα, τα δεδομένα παραμένουν απομονωμένα ή δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά σε μελλοντικά έργα, με αποτέλεσμα να μην αξιοποιείται η εμπειρία που αποκτάται από προηγούμενες υλοποιήσεις.

Η απουσία ενός τέτοιου ολοκληρωμένου μοντέλου περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός «μαθησιακού συστήματος» στη διαχείριση έργων υποδομής. Ένα τέτοιο σύστημα θα μπορούσε να βελτιώνεται συνεχώς, μαθαίνοντας από τα αποτελέσματα προηγούμενων έργων και προσαρμόζοντας τις προβλέψεις και τις αποφάσεις του, οδηγώντας έτσι σε πιο αποδοτική, αξιόπιστη και έξυπνη διαχείριση των μελλοντικών έργων. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.5.3 Περιορισμένη διαθεσιμότητα και ποιότητα δεδομένων

Η ανάπτυξη αξιόπιστων μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και Μηχανικής Μάθησης (MM) στα έργα υποδομής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Για να μπορούν τα μοντέλα να παράγουν ακριβείς προβλέψεις και χρήσιμα αποτελέσματα, απαιτούνται δομημένα ιστορικά δεδομένα έργων, τα οποία να περιλαμβάνουν πλήρη και αξιόπιστα στοιχεία. (Adebayo et al., 2025)

Τέτοια δεδομένα περιλαμβάνουν το πραγματικό και προγραμματισμένο κόστος, τις τροποποιήσεις συμβάσεων, τις καθυστερήσεις σε επιμέρους εργασίες, τις αιτίες αποκλίσεων, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των αναδόχων και τις τεχνικές συνθήκες κάθε έργου. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η ύπαρξη τυποποιημένων κριτηρίων αξιολόγησης, ώστε τα δεδομένα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ διαφορετικών έργων και χρονικών περιόδων.

Ωστόσο, στην πράξη παρουσιάζονται σημαντικά προβλήματα. Τα δεδομένα των δημοσίων έργων συχνά δεν είναι πλήρως ψηφιοποιημένα ή δεν τηρούνται σε ενιαία συστήματα, γεγονός που δυσκολεύει τη συλλογή και ανάλυσή τους. Επιπλέον, υπάρχει έντονη ανομοιογένεια μεταξύ διαφορετικών φορέων, τόσο ως προς τον τρόπο καταγραφής των δεδομένων όσο και ως προς τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ασυνέπεια και τη δυσκολία ενοποίησης των πληροφοριών.

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι η απουσία ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων με επαρκή στατιστική επάρκεια. Σε πολλές περιπτώσεις, τα διαθέσιμα δεδομένα είναι περιορισμένα ή κατακερματισμένα, γεγονός που μειώνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των μοντέλων TN.

Το βασικό ερευνητικό κενό σε αυτό το πεδίο αφορά κυρίως τη μεθοδολογία συλλογής, καθαρισμού και αξιοποίησης δεδομένων στον δημόσιο τομέα. Η ανάπτυξη οργανωμένων διαδικασιών για τη δημιουργία αξιόπιστων βάσεων δεδομένων θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική εφαρμογή της TN στη διαχείριση έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.5.4 Περιορισμένη διερεύνηση αλγοριθμικής διαφάνειας και λογοδοσίας

Η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στα δημόσια έργα συνοδεύεται από σημαντικά ηθικά, νομικά και θεσμικά ζητήματα, τα οποία καθιστούν τη χρήση της ιδιαίτερα σύνθετη και απαιτητική. Καθώς οι αποφάσεις που υποστηρίζονται από αλγορίθμους μπορούν να επηρεάσουν κρίσιμες διαδικασίες, όπως η ανάθεση έργων, η αξιολόγηση αναδόχων ή η εκτίμηση κινδύνων, προκύπτουν εύλογα ερωτήματα σχετικά με τη διαφάνεια και τη λογοδοσία των συστημάτων αυτών. (Adebayo et al., 2025)

Ένα βασικό ζήτημα αφορά την επεξήγηση των αποφάσεων ενός αλγορίθμου. Σε πολλά συστήματα TN, ιδιαίτερα σε πιο σύνθετα μοντέλα Μηχανικής Μάθησης, η διαδικασία μέσω της οποίας προκύπτει ένα αποτέλεσμα δεν είναι εύκολα κατανοητή από τον άνθρωπο. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για «επεξηγήσιμη TN», δηλαδή για συστήματα που μπορούν να αιτιολογούν με σαφή τρόπο τις αποφάσεις τους, ώστε να είναι κατανοητές και

ελέγξιμες από τους αρμόδιους φορείς. (Russell & Norvig, 2021)

Παράλληλα, τίθεται το κρίσιμο ερώτημα της ευθύνης σε περίπτωση λανθασμένης πρόβλεψης ή απόφασης. Δεν είναι πάντα σαφές αν η ευθύνη βαραίνει τον φορέα που χρησιμοποιεί το σύστημα, τον προγραμματιστή του αλγορίθμου ή τον ίδιο τον οργανισμό που λαμβάνει την τελική απόφαση. Η έλλειψη σαφούς νομικού πλαισίου σε αυτό το ζήτημα δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για την ενσωμάτωση της TN σε δημόσιες διαδικασίες. (Wang et al., 2019)

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα είναι η διασφάλιση της μη διάκρισης και της αποφυγής μεροληψίας. Τα συστήματα TN εκπαιδεύονται με βάση ιστορικά δεδομένα, τα οποία ενδέχεται να περιέχουν ήδη προκαταλήψεις ή ανισότητες. Εάν αυτά τα δεδομένα δεν ελεγχθούν προσεκτικά, υπάρχει ο κίνδυνος τα μοντέλα να αναπαράγουν ή ακόμη και να ενισχύσουν υπάρχουσες αδικίες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, για παράδειγμα στην αξιολόγηση αναδόχων. (Zhang et al., 2020)

Αν και η βιβλιογραφία αναγνωρίζει τα παραπάνω ζητήματα, στην πράξη υπάρχει περιορισμένη σύνδεση με τις πραγματικές διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων.

Συχνά, οι ηθικές και νομικές προσεγγίσεις παραμένουν σε θεωρητικό επίπεδο, χωρίς να ενσωματώνονται σε πρακτικά εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων. (Yu et al., 2018)

Τέλος, απουσιάζουν σαφή λειτουργικά πρότυπα που να καθορίζουν πώς μπορούν να ενσωματωθούν επεξηγήσιμα μοντέλα TN (**explainable AI**) στο υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο των δημοσίων έργων. Η ανάπτυξη τέτοιων προτύπων θεωρείται απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι η χρήση της TN θα είναι όχι μόνο αποτελεσματική, αλλά και δίκαιη, διαφανής και νομικά κατοχυρωμένη.

4.4.5.5 Έλλειψη εμπειρικών εφαρμογών σε δημόσιο περιβάλλον

Οι περισσότερες εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στον κατασκευαστικό κλάδο προέρχονται κυρίως από τον ιδιωτικό τομέα, όπου οι συνθήκες είναι πιο ευέλικτες και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών γίνεται ταχύτερα. Σε αυτό το πλαίσιο, οι επιχειρήσεις έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν και να δοκιμάζουν συστήματα TN με στόχο τη βελτίωση

της παραγωγικότητας, τη μείωση του κόστους και την αύξηση της αποδοτικότητας των έργων τους. (Adebayo et al., 2025)

Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος αυτών των εφαρμογών αφορά είτε πιλοτικές προσεγγίσεις είτε εργαστηριακά περιβάλλοντα, όπου τα μοντέλα δοκιμάζονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες και όχι σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μεγάλων δημόσιων έργων. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα, αν και συχνά ενθαρρυντικά, δεν έχουν πάντα επιβεβαιωθεί σε πλήρη κλίμακα ή σε σύνθετα διοικητικά περιβάλλοντα.

Παράλληλα, οι εφαρμογές αυτές δεν έχουν δοκιμαστεί επαρκώς σε πραγματικά συστήματα δημόσιας διοίκησης, όπου οι διαδικασίες είναι πιο αυστηρές, τυποποιημένες και ρυθμισμένες από συγκεκριμένο νομικό πλαίσιο. Η μετάβαση από ένα ιδιωτικό ή πειραματικό περιβάλλον σε δημόσιους διαγωνισμούς και έργα υποδομής συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, καθώς απαιτείται συμμόρφωση με κανόνες διαφάνειας, ισότητας και λογοδοσίας.

Ως αποτέλεσμα, παραμένει ένα σημαντικό κενό γνώσης σχετικά με την προσαρμογή των μοντέλων TN στις ιδιαιτερότητες του δημόσιου τομέα. Δεν είναι πάντα σαφές πώς μπορούν τα υπάρχοντα μοντέλα να τροποποιηθούν ώστε να λαμβάνουν υπόψη θεσμικούς περιορισμούς, διοικητικές διαδικασίες και νομικές απαιτήσεις που διέπουν τα δημόσια έργα.

Επιπλέον, υπάρχει περιορισμένη κατανόηση της συμβατότητας των συστημάτων TN με τις υφιστάμενες νομικές και διοικητικές διαδικασίες. Ζητήματα όπως η διαφάνεια των αποφάσεων, η δυνατότητα ελέγχου και η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια δεν έχουν ενσωματωθεί πλήρως στα υπάρχοντα μοντέλα.

Τέλος, παραμένει ανοιχτό το ζήτημα της πρακτικής εφαρμογής της TN σε πραγματικούς διαγωνισμούς δημοσίων έργων. Η έλλειψη δοκιμασμένων και θεσμικά ενσωματωμένων λύσεων περιορίζει τη δυνατότητα ευρείας υιοθέτησης της τεχνολογίας, παρά τις σημαντικές δυνατότητες που αυτή προσφέρει.

4.4.5.6 Οργανωτική ετοιμότητα και ανθρώπινος παράγοντας

Η τεχνολογία από μόνη της δεν επαρκεί για την επιτυχή ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διαχείριση δημόσιων έργων, καθώς η αποτελεσματική αξιοποίησή της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από οργανωτικούς, ανθρώπινους και θεσμικούς παράγοντες. Παρότι η τεχνολογική πρόοδος προσφέρει ισχυρά εργαλεία ανάλυσης δεδομένων και υποστήριξης αποφάσεων, η εφαρμογή τους στην πράξη απαιτεί κατάλληλο οργανωτικό υπόβαθρο. (Adebayo et al., 2025)

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία παρουσιάζει περιορισμένη ανάλυση ως προς την ετοιμότητα των δημόσιων οργανισμών να υποστηρίξουν έναν ουσιαστικό ψηφιακό μετασχηματισμό. Πολλοί φορείς εξακολουθούν να λειτουργούν με παραδοσιακές διαδικασίες, γεγονός που δυσχεραίνει την ενσωμάτωση προηγμένων συστημάτων TN. Η έλλειψη ψηφιακής ωριμότητας μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών.

Παράλληλα, αναδεικνύεται η ανάγκη εκπαίδευσης των στελεχών που εμπλέκονται στη λήψη αποφάσεων και στη διαχείριση έργων. Η αποτελεσματική χρήση συστημάτων TN προϋποθέτει βασικές γνώσεις κατανόησης δεδομένων, αλγοριθμικής λογικής και ερμηνείας αποτελεσμάτων. Χωρίς την κατάλληλη εκπαίδευση, υπάρχει κίνδυνος τα συστήματα να μην αξιοποιούνται σωστά ή ακόμη και να απορρίπτονται στην πράξη. (PMI, 2021)

Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η αποδοχή των συστημάτων TN από μη τεχνικούς χρήστες, όπως διοικητικά στελέχη ή μηχανικοί πεδίου. Η εμπιστοσύνη προς τα αποτελέσματα των αλγορίθμων και η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους επηρεάζουν άμεσα τον βαθμό υιοθέτησης της τεχνολογίας. Η έλλειψη εμπιστοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμένη ή επιφανειακή χρήση των συστημάτων.

Τέλος, απαιτείται μια βαθύτερη αλλαγή κουλτούρας, από μια παραδοσιακή, εμπειρική προσέγγιση λήψης αποφάσεων προς μια πιο δεδομενοκεντρική λογική. Η μετάβαση αυτή δεν είναι μόνο τεχνολογική, αλλά κυρίως οργανωτική και διοικητική, καθώς προϋποθέτει αναθεώρηση διαδικασιών, ρόλων και τρόπων λήψης αποφάσεων.

Συνεπώς, το βασικό ερευνητικό κενό εντοπίζεται στη σύνδεση της τεχνολογικής διάστασης της TN με την οργανωτική και ανθρώπινη διάσταση των δημόσιων φορέων. Η ολοκληρωμένη κατανόηση αυτής της σχέσης είναι απαραίτητη για την επιτυχή και βιώσιμη εφαρμογή της TN στη διαχείριση έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

4.4.5.6 Έλλειψη διασύνδεσης ανάθεσης και παρακολούθησης

Ιδιαίτερα κρίσιμο ερευνητικό κενό εντοπίζεται στη μη συστηματική σύνδεση μεταξύ των κριτηρίων επιλογής ενός αναδόχου και της πραγματικής του απόδοσης κατά την υλοποίηση ενός έργου. Στην πράξη, τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται κατά τη φάση της ανάθεσης (όπως το κόστος, η τεχνική επάρκεια ή η εμπειρία) δεν αξιοποιούνται επαρκώς σε συνδυασμό με τα μεταγενέστερα δεδομένα απόδοσης, όπως οι καθυστερήσεις, οι τροποποιήσεις συμβάσεων και οι συμβατικές αποκλίσεις.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μια ασυνέχεια στην αξιολόγηση των αναδόχων, καθώς η πραγματική συμπεριφορά και απόδοσή τους κατά την εκτέλεση των έργων δεν τροφοδοτεί με συστηματικό τρόπο τις μελλοντικές διαδικασίες επιλογής. Έτσι, χάνεται πολύτιμη πληροφορία που θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια και την αντικειμενικότητα των αποφάσεων.

Επιπλέον, δεν έχουν αναπτυχθεί επαρκώς μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης που να ενημερώνουν δυναμικά την αξιολόγηση ενός αναδόχου με βάση την ιστορική του επίδοση. Δηλαδή, τα υπάρχοντα συστήματα δεν προσαρμόζουν συνεχώς την εικόνα αξιοπιστίας ενός αναδόχου καθώς αυτός ολοκληρώνει νέα έργα ή παρουσιάζει νέα δεδομένα απόδοσης. (Adebayo et al., 2025)

Σε αυτό το πλαίσιο, απουσιάζει επίσης η δημιουργία ενός ενιαίου δείκτη αξιοπιστίας αναδόχου, ο οποίος θα συνδυάζει πολλαπλές παραμέτρους από προηγούμενα έργα και θα παρέχει μια συνολική, ποσοτικοποιημένη εκτίμηση της μελλοντικής του συμπεριφοράς. Ένας τέτοιος δείκτης θα μπορούσε να αποτελέσει ισχυρό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων στη διαδικασία ανάθεσης δημοσίων έργων. (Yu et al., 2018)

Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό κενό αφορά την απουσία μηχανισμών ανατροφοδότησης (feedback loops) στα συστήματα αξιολόγησης. Τα δεδομένα που προκύπτουν κατά την υλοποίηση και ολοκλήρωση των έργων δεν ενσωματώνονται συστηματικά πίσω στο μοντέλο, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται συνεχής βελτίωση της ακρίβειας και της προγνωστικής ικανότητας του συστήματος.

Συνολικά, το ζήτημα αυτό αποτελεί κομβικό σημείο για την παρούσα έρευνα, καθώς η ανάπτυξη τέτοιων ολοκληρωμένων και δυναμικών μοντέλων θα μπορούσε να μετασχηματίσει ουσιαστικά τη διαδικασία επιλογής αναδόχων και τη διαχείριση δημοσίων έργων.

4.4.6 Συνολική αποτίμηση και ερευνητική αναγκαιότητα

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας αναδεικνύει ότι:

- Η εφαρμογή TN στα δημόσια έργα βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο.
- Απουσιάζει ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμογής στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης.
- Δεν υπάρχει επαρκής σύνδεση τεχνικής, θεσμικής και οργανωτικής διάστασης.
- Υπάρχει ανάγκη δημιουργίας μοντέλου που να αξιοποιεί δεδομένα κύκλου ζωής έργου.

Η παρούσα ΜΔΕ επιχειρεί να καλύψει τα παραπάνω ερευνητικά κενά μέσω:

- Ανάπτυξης ολοκληρωμένου πλαισίου ενσωμάτωσης TN.
- Διασύνδεσης φάσης ανάθεσης και φάσης παρακολούθησης.
- Εστίασης στο περιβάλλον δημοσίων έργων.
- Προσέγγισης που συνδυάζει τεχνική, διοικητική και θεσμική διάσταση.

5 Κεφάλαιο : Ανάλυση Υφιστάμενης Κατάστασης

5.1 Θεσμικό και λειτουργικό πλαίσιο (ελληνικό και διεθνές)

Η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής δεν αποτελεί αποκλειστικά τεχνολογικό ζήτημα, αλλά συνδέεται άμεσα με το θεσμικό, διοικητικό και λειτουργικό πλαίσιο μέσα στο οποίο υλοποιούνται τα δημόσια έργα. Η κατανόηση των κανονιστικών και οργανωτικών δομών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο είναι απαραίτητη προκειμένου να αξιολογηθεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης ψηφιακών και ευφυών συστημάτων στη δημόσια διοίκηση. (Adebayo et al., 2025)

5.2 Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο δημοσίων έργων

Το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για τα δημόσια έργα αποτελεί ένα αυστηρά οργανωμένο και εναρμονισμένο με το ευρωπαϊκό δίκαιο σύστημα, το οποίο καθορίζει με σαφήνεια τις διαδικασίες ανάθεσης, εκτέλεσης και παρακολούθησης των δημοσίων συμβάσεων.

Κεντρικό ρόλο σε αυτό το πλαίσιο διαδραματίζει ο **Νόμος 4412/2016**, ο οποίος αποτελεί τον βασικό κορμό ρύθμισης των δημοσίων συμβάσεων έργων, προμηθειών και υπηρεσιών στην Ελλάδα.

Ο συγκεκριμένος νόμος καθορίζει τις διαδικασίες μέσω των οποίων πραγματοποιείται η ανάθεση των δημοσίων έργων, θέτοντας συγκεκριμένους κανόνες για τη διαφάνεια, τον ανταγωνισμό και την ίση μεταχείριση των οικονομικών φορέων. Παράλληλα, προσδιορίζει τα κριτήρια επιλογής και ανάθεσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των προσφορών, καθώς και το πλαίσιο μέσα στο οποίο γίνεται η εκτέλεση και η παρακολούθηση των συμβάσεων.

Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι το θεσμικό αυτό πλαίσιο βασίζεται σε θεμελιώδεις αρχές, όπως η διαφάνεια, η ίση μεταχείριση, ο υγιής ανταγωνισμός και η λογοδοσία. Οι αρχές αυτές είναι κρίσιμες, ιδιαίτερα σε ένα περιβάλλον όπου επιχειρείται η ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης. Η χρήση αλγοριθμικών συστημάτων στη λήψη αποφάσεων προϋποθέτει ότι οι διαδικασίες είναι επεξηγήσιμες, αντικειμενικές και

ελέγξιμες, ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τις θεσμικές απαιτήσεις. (Adebayo et al., 2025)

Παράλληλα, η ελληνική δημόσια διοίκηση έχει αναπτύξει σημαντικές ψηφιακές υποδομές που μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μελλοντικές εφαρμογές ΤΝ. Συστήματα όπως το **ΕΣΗΔΗΣ** (Εθνικό Σύστημα Ηλεκτρονικών Δημοσίων Συμβάσεων), το **ΚΗΜΔΗΣ** (Κεντρικό Ηλεκτρονικό Μητρώο Δημοσίων Συμβάσεων) και η Διαύγεια συμβάλλουν στην καταγραφή και δημοσιοποίηση κρίσιμων δεδομένων που σχετίζονται με τις δημόσιες συμβάσεις.

Τα συστήματα αυτά συγκεντρώνουν μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία αφορούν διαγωνισμούς, αναθέσεις, συμβάσεις και διοικητικές πράξεις, ενώ παράλληλα επιτρέπουν την ψηφιακή ιχνηλασιμότητα των διαδικασιών. Υπό αυτή την έννοια, αποτελούν μια σημαντική υποδομή που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την εκπαίδευση αλγορίθμων ΤΝ και την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων στη διαχείριση έργων. (PMI, 2021)

Ωστόσο, παρά τη σημαντική πρόοδο στον τομέα της ψηφιοποίησης, η αξιοποίηση των δεδομένων αυτών παραμένει κυρίως σε διοικητικό και όχι σε αναλυτικό ή προγνωστικό επίπεδο. Δηλαδή, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για λόγους καταγραφής, διαφάνειας και ελέγχου, χωρίς να αξιοποιούνται πλήρως για την εξαγωγή συμπερασμάτων, την πρόβλεψη μελλοντικών εξελίξεων ή την υποστήριξη σύνθετων αποφάσεων μέσω ΤΝ. (Wang et al., 2019)

Συνεπώς, το υφιστάμενο θεσμικό και ψηφιακό πλαίσιο στην Ελλάδα παρέχει μεν τις βασικές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη εφαρμογών ΤΝ στα δημόσια έργα, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει σημαντικό περιθώριο εξέλιξης ως προς την αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων σε πιο προχωρημένα, αναλυτικά και προγνωστικά επίπεδα.

5.3 Θεσμικοί περιορισμοί στην εφαρμογή ΤΝ στην Ελλάδα

Παρά τον συνεχιζόμενο ψηφιακό μετασχηματισμό της δημόσιας διοίκησης, εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που περιορίζουν την αποτελεσματική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) στις δημόσιες συμβάσεις και στη διαχείριση έργων υποδομής. (Adebayo et al., 2025)

Καταρχάς, απουσιάζει ένα εξειδικευμένο κανονιστικό πλαίσιο που να ρυθμίζει τη χρήση συστημάτων ΤΝ στις διαδικασίες δημοσίων συμβάσεων. Παρότι το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο καλύπτει γενικά ζητήματα διαφάνειας και ίσης μεταχείρισης, δεν παρέχει συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές για την ενσωμάτωση αλγοριθμικών συστημάτων στη λήψη αποφάσεων, όπως η αξιολόγηση προσφορών ή η επιλογή αναδόχων.

Επιπλέον, παρατηρείται περιορισμένη διαλειτουργικότητα μεταξύ των υφιστάμενων πληροφοριακών συστημάτων. Παρά την ύπαρξη σημαντικών ψηφιακών πλατφορμών, όπως το ΕΣΗΔΗΣ και το ΚΗΜΔΗΣ, τα δεδομένα δεν είναι πάντα πλήρως ενοποιημένα ή εύκολα ανταλλάξιμα μεταξύ διαφορετικών φορέων και συστημάτων. Αυτό δυσχεραίνει τη δημιουργία ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν προηγμένες εφαρμογές ΤΝ.

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι η έλλειψη τυποποίησης των δεδομένων έργων. Τα δεδομένα συχνά καταγράφονται με διαφορετικούς τρόπους, μορφές και επίπεδα λεπτομέρειας, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα συστηματικής ανάλυσης και αξιοποίησής τους από αλγορίθμους Μηχανικής Μάθησης. Η απουσία ενιαίων προτύπων δυσκολεύει τη συγκρισιμότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων. (Russell & Norvig, 2021)

Παράλληλα, υπάρχει σημαντική νομική αβεβαιότητα σχετικά με τη χρήση αλγορίθμων στη λήψη αποφάσεων στον δημόσιο τομέα. Δεν είναι πάντα σαφές σε ποιο βαθμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτοματοποιημένα συστήματα χωρίς να παραβιάζονται αρχές όπως η διαφάνεια, η λογοδοσία και ο ανθρώπινος έλεγχος, γεγονός που δημιουργεί επιφυλάξεις ως προς την ευρύτερη υιοθέτησή τους.

Τέλος, οι δημόσιοι οργανισμοί λειτουργούν υπό ένα πλαίσιο υψηλής κανονιστικής συμμόρφωσης, με αυστηρές διαδικασίες ελέγχου και λογοδοσίας. Αυτό, αν και διασφαλίζει τη νομιμότητα και τη διαφάνεια, ταυτόχρονα καθιστά δυσκολότερη την εισαγωγή καινοτόμων εργαλείων, όπως τα συστήματα ΤΝ, όταν δεν υπάρχει σαφές και εξειδικευμένο θεσμικό υπόβαθρο που να υποστηρίζει τη χρήση τους.

Συνολικά, οι παραπάνω παράγοντες συνθέτουν ένα περιβάλλον στο οποίο η τεχνολογική πρόοδος δεν συνοδεύεται πάντα από αντίστοιχη θεσμική και οργανωτική προσαρμογή, περιορίζοντας έτσι την πλήρη αξιοποίηση της ΤΝ στον τομέα των δημοσίων έργων

5.4 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών και της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) στη δημόσια διοίκηση αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με στόχο τον εκσυγχρονισμό των δημόσιων υπηρεσιών, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την ενίσχυση της διαφάνειας στη λήψη αποφάσεων. (Adebayo et al., 2025)

Κεντρικό ρόλο σε αυτή την κατεύθυνση διαδραματίζει η Ευρωπαϊκή Στρατηγική για την ΤΝ, η οποία θέτει το γενικό πλαίσιο ανάπτυξης και αξιοποίησης της τεχνολογίας στα κράτη-μέλη, προωθώντας την καινοτομία αλλά και τη συμμόρφωση με θεμελιώδεις αξίες, όπως η προστασία των δικαιωμάτων των πολιτών, η ασφάλεια και η αξιοπιστία των συστημάτων.

Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο Κανονισμός για την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI Act), ο οποίος αποτελεί το πρώτο ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο για τη ρύθμιση της ΤΝ στην Ευρώπη. Ο κανονισμός αυτός εισάγει μια προσέγγιση βασισμένη στον κίνδυνο, ταξινομώντας τα συστήματα ΤΝ σε διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας, ανάλογα με τον πιθανό αντίκτυπό τους στους πολίτες και στην κοινωνία.

Στο πλαίσιο αυτό, τα συστήματα ΤΝ που χρησιμοποιούνται για τη λήψη ή την υποστήριξη δημόσιων αποφάσεων χαρακτηρίζονται ως συστήματα υψηλού κινδύνου. Για τα συστήματα αυτά τίθενται αυστηρές απαιτήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την υποχρεωτική διαφάνεια στη λειτουργία τους, την τεκμηρίωση των διαδικασιών και των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, καθώς και τη δυνατότητα ανθρώπινης εποπτείας σε όλα τα κρίσιμα στάδια λήψης αποφάσεων.

Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον έλεγχο και τον περιορισμό πιθανών προκαταλήψεων (bias) στα δεδομένα και στους αλγόριθμους, ώστε να αποφεύγονται

διακριτικές ή άδικες αποφάσεις. Παράλληλα, απαιτείται η δυνατότητα ελέγχου και ιχνηλασιμότητας των αποφάσεων, έτσι ώστε κάθε αποτέλεσμα που παράγεται από σύστημα TN να μπορεί να εξηγηθεί και να αναθεωρηθεί όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Συνολικά, το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο επιχειρεί να ισορροπήσει ανάμεσα στην τεχνολογική πρόοδο και στην προστασία των θεμελιωδών αρχών της δημοκρατίας και της χρηστής διοίκησης, διαμορφώνοντας ένα περιβάλλον όπου η TN μπορεί να αξιοποιείται με τρόπο αξιόπιστο, ηθικό και ελεγχόμενο.

5.5 Διεθνείς πρακτικές και πρότυπα

Σε διεθνές επίπεδο, πολλές χώρες έχουν ήδη προχωρήσει στην υιοθέτηση δεδομενοκεντρικών προσεγγίσεων για τη διαχείριση έργων υποδομής, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης και ψηφιακού μετασχηματισμού. Η τάση αυτή αποσκοπεί στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ακρίβειας στον σχεδιασμό και της διαφάνειας στη λήψη αποφάσεων. (Adebayo et al., 2025)

Μία από τις βασικές εφαρμογές είναι η χρήση predictive analytics για την εκτίμηση κόστους και χρόνου υλοποίησης έργων. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων και τρεχουσών συνθηκών, τα συστήματα αυτά μπορούν να προβλέπουν με μεγαλύτερη ακρίβεια πιθανές υπερβάσεις και καθυστερήσεις, επιτρέποντας καλύτερο προγραμματισμό και διαχείριση πόρων. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, αναπτύσσονται και αξιοποιούνται ψηφιακά δίδυμα (**digital twins**), τα οποία αποτελούν εικονικές αναπαραστάσεις φυσικών υποδομών. Μέσω αυτών, είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης ενός έργου σε πραγματικό χρόνο, η προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων και η έγκαιρη ανίχνευση πιθανών προβλημάτων πριν αυτά εξελιχθούν σε κρίσιμες αστοχίες.

Επιπλέον, εφαρμόζεται αυτοματοποιημένη ανάλυση κινδύνων έργων, όπου αλγόριθμοι TN αξιολογούν παραμέτρους όπως οικονομική σταθερότητα, τεχνική πολυπλοκότητα και ιστορική απόδοση, προκειμένου να εκτιμήσουν την πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων

κατά την υλοποίηση ενός έργου. Αυτό συμβάλλει στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και στη μείωση της αβεβαιότητας. (Russell & Norvig, 2021)

Σημαντική είναι επίσης η ανάπτυξη ενοποιημένων πληροφοριακών συστημάτων διαχείρισης έργων, τα οποία συγκεντρώνουν δεδομένα από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός έργου. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν καλύτερο συντονισμό, διαφάνεια και αξιοποίηση της πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο.

Σε επίπεδο διεθνών οργανισμών, προωθούνται σύγχρονα πρότυπα και αρχές όπως το data-driven governance, η ανάπτυξη open data infrastructures και η εφαρμογή smart public procurement. Οι προσεγγίσεις αυτές στοχεύουν στη βελτίωση της διαφάνειας, της αποδοτικότητας και της λογοδοσίας στις δημόσιες συμβάσεις και στη διαχείριση έργων. (PMI, 2021)

Παρόλα αυτά, ακόμη και σε διεθνές επίπεδο, η πλήρης αυτοματοποίηση των διαδικασιών ανάθεσης παραμένει περιορισμένη. Οι βασικοί λόγοι σχετίζονται με νομικά, ηθικά και θεσμικά ζητήματα, όπως η ανάγκη διασφάλισης διαφάνειας, η αποφυγή μεροληψίας και η διατήρηση του ανθρώπινου ελέγχου στις κρίσιμες αποφάσεις. Αυτό δείχνει ότι, παρά την τεχνολογική πρόοδο, η εφαρμογή της ΤΝ στις δημόσιες συμβάσεις εξακολουθεί να απαιτεί ισορροπία μεταξύ αυτοματοποίησης και κανονιστικής εποπτείας.

5.6 Λειτουργικό πλαίσιο εφαρμογής ΤΝ στη διαχείριση έργων

Η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) στη διαχείριση έργων και στις δημόσιες οργανώσεις δεν αποτελεί μόνο τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά προϋποθέτει ουσιαστική προσαρμογή των υφιστάμενων λειτουργικών και διοικητικών διαδικασιών. Η επιτυχής αξιοποίηση των συστημάτων ΤΝ εξαρτάται από το κατά πόσο οι οργανισμοί μπορούν να αναδιαμορφώσουν τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τα δεδομένα, τις πληροφοριακές τους υποδομές και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. (Adebayo et al., 2025)

Αρχικά, ιδιαίτερη σημασία έχει η διαχείριση δεδομένων, η οποία αποτελεί τη βάση κάθε εφαρμογής ΤΝ. Απαιτείται οργανωμένη συλλογή δεδομένων από αξιόπιστες πηγές, συστηματικός καθαρισμός από σφάλματα ή ελλείψεις και τυποποίηση των δεδομένων έργων, ώστε να είναι συμβατά και αξιοποιήσιμα από αλγορίθμους Μηχανικής Μάθησης. Χωρίς ποιοτικά και συνεπή δεδομένα, η απόδοση των μοντέλων περιορίζεται σημαντικά. (Russell & Norvig, 2021)

Εξίσου κρίσιμη είναι η ενσωμάτωση των συστημάτων, δηλαδή η δυνατότητα σύνδεσης διαφορετικών πληροφοριακών πλατφορμών και η δημιουργία συνεχούς ροής δεδομένων μεταξύ τους. Η διαλειτουργικότητα επιτρέπει την ενοποίηση πληροφοριών από διαφορετικά στάδια του έργου, προσφέροντας μια συνολική και ενημερωμένη εικόνα, η οποία είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων ΤΝ.

Ένα ακόμη βασικό στοιχείο είναι η ανθρώπινη εποπτεία, η οποία διασφαλίζει ότι η ΤΝ λειτουργεί υποστηρικτικά και όχι αντικαταστατικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι αλγόριθμοι μπορούν να παρέχουν προβλέψεις και προτάσεις, όμως η τελική ευθύνη και κρίση παραμένει στους ανθρώπινους φορείς, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλής ευθύνης όπως τα δημόσια έργα. (Russell & Norvig, 2021)

Τέλος, απαιτείται σημαντική αλλαγή στη διοικητική κουλτούρα των οργανισμών, με μετάβαση από παραδοσιακές, εμπειρικές μεθόδους λήψης αποφάσεων σε μια πιο τεκμηριωμένη και δεδομενοκεντρική προσέγγιση. Η αλλαγή αυτή δεν είναι μόνο τεχνική, αλλά κυρίως οργανωτική, καθώς προϋποθέτει αποδοχή της χρήσης δεδομένων ως βασικού εργαλείου στρατηγικής και επιχειρησιακής διαχείρισης.

5.7 Συμπερασματική αποτίμηση

Το θεσμικό και λειτουργικό πλαίσιο στην Ελλάδα και διεθνώς παρουσιάζει σημαντική πρόοδο ως προς την ψηφιοποίηση των δημοσίων έργων, ωστόσο η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης βρίσκεται ακόμη σε μεταβατικό στάδιο. (Adebayo et al., 2025)

Βασικά συμπεράσματα:

- Υπάρχει θεσμική βάση αλλά όχι εξειδικευμένη ρύθμιση για ΤΝ σε δημόσια έργα.
- Τα διαθέσιμα ψηφιακά συστήματα αποτελούν κρίσιμη υποδομή δεδομένων.
- Η ευρωπαϊκή πολιτική προωθεί ασφαλή και διαφανή χρήση ΤΝ.
- Απαιτείται σύνδεση τεχνολογίας, νομοθεσίας και διοικητικής πρακτικής.

Η παρούσα εργασία αξιοποιεί το παραπάνω πλαίσιο ώστε να προτείνει ρεαλιστικό μοντέλο εφαρμογής ΤΝ συμβατό με τις θεσμικές απαιτήσεις των δημοσίων έργων.

5.7.1 Προβλήματα και προκλήσεις στις διαδικασίες ανάθεσης

Η διαδικασία ανάθεσης δημοσίων έργων υποδομής αποτελεί κρίσιμο στάδιο του κύκλου ζωής ενός έργου, καθώς καθορίζει τον ανάδοχο, τους όρους υλοποίησης και τις βασικές παραμέτρους κόστους και χρόνου. Παρά τη θεσμική ωρίμανση και την ψηφιοποίηση των διαδικασιών, εξακολουθούν να παρατηρούνται σημαντικά προβλήματα και προκλήσεις, τα οποία επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα, τη διαφάνεια και την αποδοτικότητα των δημοσίων επενδύσεων. (Flyvbjerg, 2014)

Η κατανόηση αυτών των προκλήσεων είναι απαραίτητη για την τεκμηρίωση της ανάγκης ενσωμάτωσης καινοτόμων εργαλείων, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη.

5.8 Πολυπλοκότητα θεσμικού πλαισίου

Το θεσμικό πλαίσιο των δημοσίων συμβάσεων, όπως αυτό διαμορφώνεται κυρίως από τον Ν. 4412/2016 και τις εκάστοτε τροποποιήσεις του, παρουσιάζει υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας, ο οποίος επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο λειτουργίας των αναθετουσών αρχών και τη συνολική αποτελεσματικότητα των διαδικασιών ανάθεσης.

Καταρχάς, το πλαίσιο χαρακτηρίζεται από πλήθος διατάξεων, άρθρων και εξαιρέσεων, οι οποίες ρυθμίζουν λεπτομερώς κάθε στάδιο της διαδικασίας ανάθεσης και εκτέλεσης δημοσίων συμβάσεων. Η εκτενής αυτή νομοθετική δομή, αν και στοχεύει στη

διασφάλιση της διαφάνειας και της νομιμότητας, καθιστά το σύστημα ιδιαίτερα σύνθετο και δύσκολα διαχειρίσιμο, ειδικά για διοικητικές υπηρεσίες με περιορισμένους πόρους.

Επιπλέον, το πλαίσιο υπόκειται σε συχνές νομοθετικές μεταβολές, οι οποίες απαιτούν συνεχή προσαρμογή από τις αναθέτουσες αρχές. Η διαρκής αυτή μεταβολή αυξάνει την ανάγκη για επικαιροποίηση γνώσεων και διαδικασιών, ενώ παράλληλα δημιουργεί περιθώρια ασάφειας και διαφορετικών ερμηνειών των διατάξεων.

Παράλληλα, οι αυξημένες τυπικές απαιτήσεις που προβλέπονται σε κάθε στάδιο της διαδικασίας, από τη δημοσίευση των διαγωνισμών έως την υπογραφή και εκτέλεση των συμβάσεων, ενισχύουν τη γραφειοκρατική επιβάρυνση και απαιτούν υψηλό επίπεδο διοικητικής ακρίβειας και συμμόρφωσης.

Η πολυπλοκότητα αυτή έχει άμεσες επιπτώσεις στη λειτουργία των αναθετουσών αρχών. Συγκεκριμένα, αυξάνει σημαντικά τον διοικητικό φόρτο εργασίας, καθώς απαιτείται μεγαλύτερη προσπάθεια για την τήρηση όλων των διαδικαστικών και νομικών απαιτήσεων. Επιπλέον, δημιουργεί αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης διαδικαστικών σφαλμάτων, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις, ενστάσεις ή ακόμη και ακύρωση διαγωνιστικών διαδικασιών. (Flyvbjerg, 2014)

Τέλος, η συνολική πολυπλοκότητα του θεσμικού πλαισίου συμβάλλει στην επιβράδυνση της ολοκλήρωσης των διαγωνισμών, καθώς κάθε στάδιο απαιτεί εκτενή έλεγχο και συμμόρφωση με πολλαπλές προϋποθέσεις. Αυτό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ταχύτητα υλοποίησης των δημοσίων έργων και να καθυστερήσει την έναρξη κρίσιμων υποδομών.

5.9 Χρονοβόρες διαδικασίες

Οι διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων συμβάσεων συχνά παρουσιάζουν σημαντικές χρονικές καθυστερήσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη σύνθετη φύση του θεσμικού και διοικητικού πλαισίου, καθώς και από την ανάγκη αυστηρής τήρησης των προβλεπόμενων διαδικασιών. (Flyvbjerg, 2014)

Ένα πρώτο βασικό ζήτημα είναι οι μεγάλοι χρόνοι που απαιτούνται για την προετοιμασία των διαγωνιστικών εγγράφων. Η σύνταξη τεχνικών προδιαγραφών, η νομική επεξεργασία των όρων της διακήρυξης και ο έλεγχος συμμόρφωσης με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο αποτελούν διαδικασίες που απαιτούν σημαντικό διοικητικό χρόνο και εξειδικευμένη γνώση.

Παράλληλα, δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο των παρατάσεων προθεσμιών, οι οποίες δίνονται είτε λόγω αιτημάτων των οικονομικών φορέων είτε λόγω διοικητικών ή διαδικαστικών δυσκολιών. Οι παρατάσεις αυτές, αν και συχνά αναγκαίες για τη διασφάλιση της ορθότητας των διαδικασιών, συμβάλλουν στη συνολική επιμήκυνση του χρόνου ολοκλήρωσης των διαγωνισμών.

Ένα ακόμη σημαντικό αίτιο καθυστερήσεων είναι η υποβολή ενστάσεων και προσφυγών από συμμετέχοντες οικονομικούς φορείς. Οι διαδικασίες αυτές, αν και αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο διασφάλισης της νομιμότητας και της διαφάνειας, συχνά οδηγούν σε σημαντικές χρονικές καθυστερήσεις μέχρι την οριστική επίλυση των διαφορών. (Flyvbjerg, 2014)

Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούνται επαναλήψεις διαγωνισμών λόγω ακύρωσης της διαδικασίας, είτε για τυπικούς λόγους είτε λόγω νομικών ή διοικητικών λαθών. Οι επαναλήψεις αυτές επιβαρύνουν περαιτέρω τον συνολικό χρόνο υλοποίησης των έργων και απαιτούν εκ νέου κινητοποίηση διοικητικών πόρων.

Οι καθυστερήσεις που προκύπτουν από τους παραπάνω παράγοντες έχουν ευρύτερες επιπτώσεις. Πρώτον, επηρεάζουν αρνητικά τον αναπτυξιακό σχεδιασμό, καθώς μεταθέτουν χρονικά την υλοποίηση κρίσιμων έργων υποδομής. Δεύτερον, αυξάνουν το κόστος ευκαιρίας, αφού η καθυστέρηση στην έναρξη ή ολοκλήρωση ενός έργου συνεπάγεται απώλεια δυνητικών οικονομικών και κοινωνικών οφελών. Τρίτον, μειώνουν την απορροφητικότητα χρηματοδοτήσεων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για συγχρηματοδοτούμενα έργα, όπου η έγκαιρη υλοποίηση αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. (Flyvbjerg, 2014)

5.10 Περιορισμένη αντικειμενικότητα στην αξιολόγηση

Παρότι το θεσμικό πλαίσιο των δημοσίων συμβάσεων προβλέπει τη χρήση σαφών και συγκεκριμένων κριτηρίων αξιολόγησης, στην πρακτική εφαρμογή του συστήματος παρατηρούνται ορισμένες σημαντικές αποκλίσεις που επηρεάζουν την ποιότητα των τελικών επιλογών.

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα είναι η υπερβολική έμφαση στη χαμηλότερη τιμή ως κυρίαρχο κριτήριο ανάθεσης. Αν και η οικονομική προσφορά αποτελεί αντικειμενικό και εύκολα συγκρίσιμο στοιχείο, η μονοδιάστατη προσέγγιση μπορεί να υποβαθμίσει άλλες κρίσιμες παραμέτρους, όπως η τεχνική ποιότητα, η εμπειρία και η οργανωτική ικανότητα του αναδόχου.

Παράλληλα, παρατηρείται περιορισμένη και συχνά δύσκολη αξιολόγηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προσφορών. Στοιχεία όπως η τεχνική μεθοδολογία, η καινοτομία ή η ικανότητα διαχείρισης κινδύνων δεν είναι πάντα εύκολο να αποτυπωθούν ποσοτικά, γεγονός που δυσχεραίνει την αντικειμενική σύγκριση μεταξύ διαφορετικών προσφορών.

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα αφορά τη δυσκολία ποσοτικοποίησης της τεχνικής επάρκειας των υποψηφίων αναδόχων. Η αξιολόγηση τέτοιων στοιχείων συχνά βασίζεται σε εμπειρικές κρίσεις ή σε έμμεσους δείκτες, οι οποίοι ενδέχεται να μην αποτυπώνουν με ακρίβεια την πραγματική ικανότητα εκτέλεσης ενός σύνθετου έργου.

Επιπλέον, σε περιπτώσεις πολυκριτηριακών αξιολογήσεων, μπορεί να εμφανιστεί βαθμός υποκειμενικότητας, ιδιαίτερα όταν τα κριτήρια δεν είναι πλήρως τυποποιημένα ή όταν απαιτείται ερμηνεία ποιοτικών δεδομένων από τα μέλη των επιτροπών αξιολόγησης.

Οι παραπάνω αδυναμίες μπορούν να οδηγήσουν σε επιλογή αναδόχων που δεν διαθέτουν την απαιτούμενη πραγματική ικανότητα υλοποίησης των έργων, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης προβλημάτων κατά την εκτέλεση. (Zhang et al., 2020)

Συγκεκριμένα, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα για μελλοντικές υπερβάσεις κόστους και καθυστερήσεις, καθώς οι αρχικές εκτιμήσεις ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται στις

πραγματικές δυνατότητες και συνθήκες υλοποίησης του έργου. Αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για πιο εξελιγμένα και αντικειμενικά εργαλεία υποστήριξης της διαδικασίας αξιολόγησης. (Flyvbjerg, 2014)

5.11 Ελλιπής αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης των προσφορών και επιλογής αναδόχων στα δημόσια έργα, παρατηρούνται σημαντικές αδυναμίες που σχετίζονται κυρίως με τον τρόπο αξιοποίησης των διαθέσιμων πληροφοριών και δεδομένων από προηγούμενα έργα.

Αρχικά, σπάνια αξιοποιούνται συστηματικά τα δεδομένα προηγούμενης απόδοσης των αναδόχων. Παρότι σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία από ολοκληρωμένα έργα, όπως καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους ή ποιότητα εκτέλεσης, αυτά δεν ενσωματώνονται με οργανωμένο τρόπο στη διαδικασία αξιολόγησης των νέων προσφορών. Ως αποτέλεσμα, η εμπειρία του παρελθόντος δεν μετατρέπεται σε εργαλείο πρόβλεψης για το μέλλον. (Flyvbjerg, 2014)

Επιπλέον, δεν υπάρχουν ενιαίοι και τυποποιημένοι δείκτες αξιοπιστίας αναδόχων που να επιτρέπουν μια αντικειμενική και συγκρίσιμη αποτίμηση της απόδοσής τους. Η απουσία τέτοιων δεικτών οδηγεί σε κατακερματισμένες αξιολογήσεις, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από μεμονωμένα κριτήρια ή ποιοτικές εκτιμήσεις, χωρίς ενιαίο πλαίσιο μέτρησης.

Παράλληλα, δεν εφαρμόζεται σε συστηματική βάση ανάλυση κινδύνου που να βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα έργων. Η εκτίμηση του κινδύνου ενός έργου ή ενός αναδόχου συχνά γίνεται εμπειρικά, χωρίς τη χρήση προγνωστικών μοντέλων που θα μπορούσαν να εντοπίσουν μοτίβα αποτυχίας ή πιθανές αποκλίσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η απουσία μιας δομημένης και ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων επιδόσεων αποτελεί τον βασικό περιοριστικό παράγοντα σε όλα τα παραπάνω. Χωρίς οργανωμένα, τυποποιημένα και προσβάσιμα δεδομένα προηγούμενων έργων, η δυνατότητα τεκμηριωμένης και αντικειμενικής επιλογής αναδόχων παραμένει περιορισμένη, επηρεάζοντας συνολικά την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάθεσης.

5.12 Κίνδυνος στρατηγικής συμπεριφοράς αναδόχων

Στις διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων παρατηρούνται ορισμένα επαναλαμβανόμενα φαινόμενα στρατηγικής συμπεριφοράς από τους οικονομικούς φορείς, τα οποία επηρεάζουν τη συνολική οικονομική και επιχειρησιακή ισορροπία των έργων.

Ένα από τα πιο συχνά φαινόμενα είναι η υποβολή υπερβολικά υψηλών εκπτώσεων με σκοπό την εξασφάλιση της ανάθεσης. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι αρχικά πολύ χαμηλές οικονομικές προσφορές δεν αντανakλούν το πραγματικό κόστος υλοποίησης του έργου, αλλά χρησιμοποιούνται ως μέσο ανταγωνιστικής επικράτησης. Στη συνέχεια, κατά τη φάση της εκτέλεσης, μπορεί να προκύψει ανάγκη για τροποποιήσεις ή πρόσθετες απαιτήσεις, προκειμένου να καταστεί εφικτή η ολοκλήρωση του έργου.

Παράλληλα, παρατηρείται συχνά υποεκτίμηση του πραγματικού κόστους εκτέλεσης, είτε λόγω ελλιπούς τεχνικής ανάλυσης είτε λόγω στρατηγικής επιλογής ανάληψης έργου με χαμηλό αρχικό προϋπολογισμό. Η πρακτική αυτή ενέχει σημαντικούς κινδύνους, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις από τον αρχικό οικονομικό σχεδιασμό.

Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται αξιοποίηση νομικών ή διαδικαστικών «παραθύρων» του θεσμικού πλαισίου, τα οποία επιτρέπουν την προσαρμογή των όρων της σύμβασης κατά τη διάρκεια υλοποίησης. Αν και αυτές οι δυνατότητες προβλέπονται θεσμικά για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων συνθηκών, η συχνή ή μη τεκμηριωμένη χρήση τους μπορεί να αλλοιώσει τον αρχικό σχεδιασμό του έργου.

Οι παραπάνω πρακτικές οδηγούν συχνά σε σημαντικές συνέπειες για τη διαχείριση των δημοσίων έργων. Μία από τις πιο χαρακτηριστικές είναι η ανάγκη σύναψης συμπληρωματικών συμβάσεων, προκειμένου να καλυφθούν πρόσθετες εργασίες ή αυξημένες δαπάνες που δεν είχαν προβλεφθεί αρχικά. Παράλληλα, παρατηρούνται αναθεωρήσεις τιμών, οι οποίες επηρεάζουν τον αρχικό οικονομικό προγραμματισμό των έργων.

Συνολικά, τα φαινόμενα αυτά συμβάλλουν στη διαταραχή του δημοσιονομικού προγραμματισμού, καθώς καθιστούν δυσκολότερη την ακριβή πρόβλεψη του κόστους και του χρόνου υλοποίησης των έργων, επηρεάζοντας την αποτελεσματική κατανομή των δημόσιων πόρων. (Wang et al., 2019)

5.13 Περιορισμένη δια λειτουργικότητα συστημάτων

Παρότι έχουν αναπτυχθεί και λειτουργούν σημαντικά ηλεκτρονικά συστήματα στη δημόσια διοίκηση, όπως το ΕΣΗΔΗΣ και το ΚΗΜΔΗΣ, η αξιοποίησή τους εξακολουθεί να παρουσιάζει ορισμένους ουσιαστικούς περιορισμούς που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης των δημοσίων συμβάσεων.

Ένα βασικό ζήτημα είναι η έλλειψη πλήρους διασύνδεσης των συστημάτων αυτών με άλλα οικονομικά και τεχνικά πληροφοριακά συστήματα του δημόσιου τομέα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα δεδομένα να παραμένουν σε μεγάλο βαθμό απομονωμένα σε διαφορετικές πλατφόρμες, χωρίς να υπάρχει ενιαία εικόνα του κύκλου ζωής των έργων ή δυνατότητα ολιστικής ανάλυσης.

Παράλληλα, παρατηρείται περιορισμένη ή ανύπαρκτη αυτοματοποίηση στην ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται. Αν και τα συστήματα αυτά συγκεντρώνουν μεγάλο όγκο πληροφοριών σχετικά με διαγωνισμούς, συμβάσεις και αναθέσεις, η επεξεργασία τους γίνεται κυρίως σε επίπεδο καταγραφής και όχι σε επίπεδο προγνωστικής ή υποστηρικτικής ανάλυσης αποφάσεων.

Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις τα δεδομένα αποθηκεύονται χωρίς να αξιοποιούνται επαρκώς από σύγχρονα αναλυτικά εργαλεία ή αλγορίθμους Μηχανικής Μάθησης. Έτσι, αν και υπάρχει πλούτος διαθέσιμων πληροφοριών, η μετατροπή τους σε χρήσιμη γνώση για τη βελτίωση των διαδικασιών παραμένει περιορισμένη. (Russell & Norvig, 2021)

Συνολικά, το γεγονός αυτό αναδεικνύει ότι η ψηφιοποίηση από μόνη της δεν συνεπάγεται απαραίτητα και «έξυπνη» αξιοποίηση των δεδομένων. Η ύπαρξη ηλεκτρονικών συστημάτων αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση, αλλά όχι επαρκή συνθήκη

για τη μετάβαση σε ένα πραγματικά δεδομενοκεντρικό και προγνωστικό μοντέλο διαχείρισης δημοσίων έργων.

5.14 Θεσμικοί και νομικοί περιορισμοί

Η εισαγωγή αλγοριθμικών συστημάτων στη διαδικασία ανάθεσης δημοσίων έργων συνοδεύεται από μια σειρά κρίσιμων προκλήσεων, οι οποίες σχετίζονται τόσο με τη λειτουργία της δημόσιας διοίκησης όσο και με τις θεμελιώδεις αρχές του διοικητικού και ευρωπαϊκού δικαίου.

Ένα πρώτο και ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα αφορά τη διαφάνεια και την ερμηνευσιμότητα των αλγοριθμικών αποφάσεων. Όταν χρησιμοποιούνται προγνωστικά μοντέλα για την υποστήριξη ή τη λήψη αποφάσεων, είναι απαραίτητο να μπορεί να τεκμηριωθεί με σαφήνεια ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει ένα αποτέλεσμα. Η έλλειψη επεξηγησιμότητας μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα ελέγχου των αποφάσεων και να μειώσει την εμπιστοσύνη των εμπλεκόμενων φορέων.

Παράλληλα, ανακύπτουν σημαντικά νομικά ερωτήματα σχετικά με την ευθύνη σε περίπτωση λανθασμένων ή αμφισβητούμενων αποφάσεων που βασίζονται σε αλγοριθμικά συστήματα. Δεν είναι πάντα ξεκάθαρο αν η ευθύνη ανήκει στον δημόσιο φορέα που χρησιμοποιεί το σύστημα, στον κατασκευαστή του αλγορίθμου ή στο θεσμικό πλαίσιο που επιτρέπει τη χρήση του, γεγονός που δημιουργεί ένα σύνθετο πεδίο νομικής αβεβαιότητας. (Abioye et al., 2021)

Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία έχει η διασφάλιση της ίσης μεταχείρισης όλων των οικονομικών φορέων. Τα αλγοριθμικά συστήματα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τρόπο ώστε να αποφεύγονται διακρίσεις ή μεροληψίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν άδικα την έκβαση των διαγωνιστικών διαδικασιών. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό των μοντέλων και έλεγχο των δεδομένων εκπαίδευσής τους.

Συνολικά, η απουσία ενός σαφούς και εξειδικευμένου κανονιστικού πλαισίου για τη χρήση προγνωστικών μοντέλων στη λήψη δημοσίων αποφάσεων αποτελεί μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις. Η έλλειψη συγκεκριμένων κανόνων και προτύπων

δυσχεραίνει την ασφαλή και συστηματική ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στις διαδικασίες ανάθεσης, παρά τις σημαντικές δυνατότητες που αυτή προσφέρει. (Adebayo et al., 2025)

5.15 Οργανωτικές αδυναμίες

Οι αναθέτουσες αρχές, στην καθημερινή λειτουργία τους, αντιμετωπίζουν μια σειρά από ουσιαστικούς οργανωτικούς και λειτουργικούς περιορισμούς που επηρεάζουν άμεσα την ικανότητά τους να υιοθετήσουν προηγμένες, δεδομενοκεντρικές προσεγγίσεις στη λήψη αποφάσεων.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα είναι η έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού με γνώσεις σε τομείς όπως η ανάλυση δεδομένων, η Τεχνητή Νοημοσύνη και τα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης έργων. Η απουσία τέτοιων δεξιοτήτων δυσχεραίνει την κατανόηση, την αξιολόγηση και την αποτελεσματική χρήση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων.

Παράλληλα, παρατηρούνται περιορισμένες αναλυτικές δεξιότητες σε μεγάλο μέρος του διοικητικού προσωπικού, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα αξιοποίησης των διαθέσιμων δεδομένων σε πιο σύνθετες μορφές ανάλυσης. Συχνά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για καταγραφή και αναφορά, και όχι για εξαγωγή προγνωστικών συμπερασμάτων ή υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων.

Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα είναι η υπερφόρτωση των διοικητικών υποχρεώσεων, η οποία αφήνει περιορισμένο χρόνο και διαθέσιμους πόρους για ενασχόληση με πιο αναλυτικές ή καινοτόμες δραστηριότητες. Η καθημερινή διαχείριση σύνθετων γραφειοκρατικών διαδικασιών συχνά απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της διοικητικής δυναμικότητας των υπηρεσιών.

Συνολικά, η μετάβαση σε ένα πραγματικά δεδομενοκεντρικό μοντέλο λήψης αποφάσεων προϋποθέτει σημαντική οργανωτική ωρίμανση των δημόσιων φορέων. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο την τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά και την επένδυση σε ανθρώπινο κεφάλαιο, μέσω εκπαίδευσης, ανάπτυξης δεξιοτήτων και ενίσχυσης της

ικανότητας των οργανισμών να αξιοποιούν συστηματικά τα δεδομένα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

5.16 Συνολική αποτίμηση

Οι διαδικασίες ανάθεσης δημοσίων έργων χαρακτηρίζονται από:

- Υψηλή θεσμική πολυπλοκότητα
- Χρονοβόρες διοικητικές διαδικασίες
- Περιορισμένη αξιοποίηση δεδομένων
- Αυξημένο κίνδυνο λανθασμένης επιλογής αναδόχου (Zhang et al., 2020)

Οι προκλήσεις αυτές δημιουργούν πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων βασισμένων σε ανάλυση δεδομένων, τα οποία μπορούν να ενισχύσουν: (Yu et al., 2018)

- Την αντικειμενικότητα
- Τη διαφάνεια
- Την ταχύτητα διαδικασιών
- Τη μείωση δημοσιονομικού κινδύνου

5.16.1 Προβλήματα στην παρακολούθηση έργων υποδομής

Η παρακολούθηση έργων υποδομής αποτελεί πολυπαραγοντική και δυναμική διαδικασία, η οποία εκτείνεται σε ολόκληρη τη φάση υλοποίησης και συνδέεται άμεσα με τη διασφάλιση κόστους, χρόνου, ποιότητας και συμμόρφωσης με τους συμβατικούς όρους. Παρά τη θεσμική πρόβλεψη μηχανισμών επίβλεψης, η πρακτική εφαρμογή παρουσιάζει διαρθρωτικές αδυναμίες που συχνά οδηγούν σε αποκλίσεις από τους αρχικούς στόχους.

Η ανάλυση που ακολουθεί κατηγοριοποιεί τα προβλήματα σε διοικητικά, τεχνικά, πληροφοριακά και οργανωτικά.

5.16.2 Δομικές αδυναμίες προγραμματισμού και ελέγχου

Οι δομικές αδυναμίες στον προγραμματισμό και τον έλεγχο των έργων υποδομής αποτελούν έναν από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματική υλοποίησή τους. Παρά τη διαθεσιμότητα σύγχρονων εργαλείων διαχείρισης έργων, στην πράξη παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις από τις βέλτιστες πρακτικές προγραμματισμού και παρακολούθησης. (Flyvbjerg, 2014)

Αρχικά, σε πολλά έργα το αρχικό χρονοδιάγραμμα δεν βασίζεται σε ρεαλιστικές παραδοχές. Συχνά υποεκτιμώνται οι πραγματικές συνθήκες υλοποίησης, όπως οι καθυστερήσεις σε αδειοδοτήσεις, οι τεχνικές δυσκολίες ή οι περιορισμοί πόρων, με αποτέλεσμα το αρχικό πλάνο να μην ανταποκρίνεται στην πραγματική πολυπλοκότητα του έργου. (Flyvbjerg, 2014)

Επιπλέον, η ανάλυση της κρίσιμης διαδρομής (Critical Path) δεν επικαιροποιείται συστηματικά κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του έργου. Αυτό σημαίνει ότι δεν αποτυπώνονται έγκαιρα οι αλλαγές στις εξαρτήσεις και στις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα αποτελεσματικής παρακολούθησης της προόδου και εντοπισμού των πραγματικών σημείων καθυστέρησης.

Παράλληλα, δεν εφαρμόζεται επαρκώς δυναμικός επαναπρογραμματισμός όταν εμφανίζονται αποκλίσεις από το αρχικό σχέδιο. Αντί να προσαρμόζεται το χρονοδιάγραμμα με βάση τα νέα δεδομένα, συχνά διατηρείται το αρχικό πλάνο, το οποίο παύει να αντανακλά την πραγματική κατάσταση του έργου.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω αδυναμιών, οι καθυστερήσεις εντοπίζονται συνήθως σε προχωρημένο στάδιο, όταν πλέον τα περιθώρια παρέμβασης είναι περιορισμένα. Η έλλειψη έγκαιρης πληροφόρησης οδηγεί σε καθυστέρηση στη λήψη διορθωτικών μέτρων, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης του έργου.

Τέλος, οι αποφάσεις που λαμβάνονται σε αυτό το πλαίσιο είναι συχνά αντιδραστικές και όχι προληπτικές, καθώς βασίζονται σε ήδη διαμορφωμένες αποκλίσεις αντί σε έγκαιρες προγνωστικές ενδείξεις. Αυτό περιορίζει τη δυνατότητα έγκαιρης παρέμβασης και βελτιστοποίησης της συνολικής πορείας του έργου.

5.16.3 Οικονομικές αποκλίσεις και ανεπαρκής έλεγχος κόστους

Οι οικονομικές αποκλίσεις και ο ανεπαρκής έλεγχος κόστους αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα προβλήματα στη διαχείριση έργων υποδομής, καθώς επηρεάζουν άμεσα τη βιωσιμότητα, την αποδοτικότητα και τον συνολικό δημοσιονομικό προγραμματισμό των έργων.

Στην πράξη, η παρακολούθηση του οικονομικού αντικειμένου περιορίζεται συχνά σε βασικές διοικητικές και λογιστικές διαδικασίες. Συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση στην πιστοποίηση των εκτελεσμένων εργασιών, στην τήρηση των εγκεκριμένων προϋπολογιστικών ορίων και στην καταγραφή των αναθεωρήσεων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια υλοποίησης του έργου. Αν και οι διαδικασίες αυτές είναι απαραίτητες για τη νομιμότητα και τον έλεγχο, δεν επαρκούν για μια ουσιαστικά προγνωστική οικονομική διαχείριση.

Ωστόσο, παρατηρείται έλλειψη συστηματικής ανάλυσης των τάσεων που οδηγούν σε υπερβάσεις κόστους. Δεν αξιοποιούνται επαρκώς ιστορικά δεδομένα ή εξελικτικά μοτίβα που θα μπορούσαν να δείξουν έγκαιρα ότι ένα έργο αποκλίνει οικονομικά από τον αρχικό σχεδιασμό του. Έτσι, οι αποκλίσεις αντιμετωπίζονται κυρίως εκ των υστέρων και όχι προληπτικά. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, δεν γίνεται ευρεία χρήση δεικτών απόδοσης κόστους, όπως οι Cost Performance Indicators, οι οποίοι θα μπορούσαν να προσφέρουν μια πιο συστηματική και συγκρίσιμη εικόνα της οικονομικής πορείας ενός έργου. Η απουσία τέτοιων εργαλείων περιορίζει τη δυνατότητα αντικειμενικής αξιολόγησης της αποδοτικότητας της δαπάνης σε σχέση με την πρόοδο του έργου.

Επιπλέον, υπάρχει αδυναμία αξιόπιστης πρόβλεψης του τελικού κόστους ενός έργου (Estimate at Completion), γεγονός που καθιστά δύσκολη την έγκαιρη προσαρμογή του οικονομικού σχεδιασμού και την αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων.

Ως αποτέλεσμα, οι οικονομικές αποκλίσεις συχνά αποτυπώνονται μόνο σε λογιστικό επίπεδο, ως καταγραφή υπερβάσεων ή αναθεωρήσεων, χωρίς να συνοδεύονται από

ουσιαστική αναλυτική επεξεργασία. Αυτό περιορίζει τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων και τη βελτίωση των μελλοντικών οικονομικών προβλέψεων και αποφάσεων.

5.16.4 Τροποποιήσεις συμβάσεων και διοικητική επιβάρυνση

Τα έργα υποδομής χαρακτηρίζονται συχνά από ένα υψηλό επίπεδο μεταβολών κατά τη διάρκεια της υλοποίησής τους, οι οποίες επηρεάζουν τόσο το φυσικό όσο και το οικονομικό τους αντικείμενο. Οι μεταβολές αυτές αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις αναπόφευκτο στοιχείο της κατασκευαστικής διαδικασίας, ωστόσο η συχνότητά τους και ο τρόπος διαχείρισής τους δημιουργούν σημαντικές προκλήσεις. (Abioye et al., 2021)

Συγκεκριμένα, παρατηρείται εκτεταμένη χρήση συμπληρωματικών συμβάσεων, οι οποίες συνάπτονται για την κάλυψη πρόσθετων εργασιών που δεν είχαν προβλεφθεί στον αρχικό σχεδιασμό. Παράλληλα, εφαρμόζονται αναθεωρήσεις τιμών, οι οποίες προσαρμόζουν το οικονομικό αντικείμενο της σύμβασης στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς ή του έργου.

Επιπλέον, δεν είναι σπάνιες οι τροποποιήσεις του φυσικού αντικειμένου, δηλαδή αλλαγές στο εύρος, στο είδος ή στην τεχνική φύση των εργασιών, καθώς και οι παρατάσεις προθεσμιών, οι οποίες μεταβάλλουν το αρχικό χρονοδιάγραμμα υλοποίησης. Οι παρεμβάσεις αυτές, αν και συχνά δικαιολογούνται από πραγματικές ανάγκες του έργου, συνθέτουν ένα ιδιαίτερα δυναμικό και σύνθετο περιβάλλον διαχείρισης.

Ως αποτέλεσμα, οι τροποποιήσεις αυτές αυξάνουν σημαντικά τη διοικητική πολυπλοκότητα, καθώς απαιτούν συνεχή παρακολούθηση, τεκμηρίωση και έλεγχο από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Παράλληλα, δυσχεραίνουν τον συνολικό έλεγχο της απόδοσης του έργου, αφού το αρχικό σχέδιο δεν αποτελεί πλέον σταθερό σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της προόδου και του κόστους.

Επιπλέον, δημιουργείται ασάφεια ως προς τον αρχικό προγραμματισμό, καθώς οι συνεχείς αλλαγές καθιστούν δύσκολη την αποτίμηση του κατά πόσο το έργο εξελίσσεται

σύμφωνα με τις αρχικές προβλέψεις ή έχει μεταβληθεί ουσιαστικά ως προς το αντικείμενό του.

Τέλος, ένα σημαντικό έλλειμμα αφορά την απουσία ενός συγκεντρωτικού μηχανισμού αποτίμησης των επιπτώσεων των τροποποιήσεων. Η έλλειψη ενός ενιαίου εργαλείου που να καταγράφει και να αναλύει συστηματικά τις επιπτώσεις των αλλαγών στο κόστος, στον χρόνο και στο φυσικό αντικείμενο περιορίζει τη δυνατότητα συνολικής αξιολόγησης της επίδρασής τους στην πορεία και την τελική απόδοση των έργων.

5.16.5 Κατακερματισμός και μη δομημένη πληροφορία

Ο κατακερματισμός και η μη δομημένη φύση της πληροφορίας αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά διαρθρωτικά προβλήματα στη διαχείριση έργων υποδομής, καθώς επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα της παρακολούθησης, την ακρίβεια της ανάλυσης και τη δυνατότητα υποστήριξης αποφάσεων. (Flyvbjerg, 2014)

Η παρακολούθηση των έργων βασίζεται σε ένα ευρύ φάσμα πηγών πληροφόρησης, όπως τα πρακτικά επιβλέψεων, οι αναφορές προόδου, οι πιστοποιήσεις εργασιών, τα οικονομικά έγγραφα και διάφορα ηλεκτρονικά αρχεία που παράγονται από διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα ή φορείς. Κάθε μία από αυτές τις πηγές περιέχει σημαντικά δεδομένα για την πορεία του έργου, ωστόσο λειτουργεί συχνά αποσπασματικά και ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες.

Παρά τη διαθεσιμότητα μεγάλου όγκου πληροφοριών, τα δεδομένα αυτά δεν είναι ενοποιημένα σε ένα κοινό, δομημένο πλαίσιο. Αντίθετα, παραμένουν διασκορπισμένα σε διαφορετικά συστήματα και μορφές, γεγονός που δυσχεραίνει τη συνολική εικόνα της εξέλιξης του έργου και περιορίζει τη δυνατότητα συστηματικής ανάλυσης.

Επιπλέον, μεγάλο μέρος της πληροφορίας τηρείται σε μη δομημένη μορφή, όπως αρχεία PDF, σαρωμένα έγγραφα ή ακόμη και χειρόγραφες εκθέσεις. Η μορφή αυτή δεν επιτρέπει εύκολη επεξεργασία από αναλυτικά εργαλεία ή συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης, καθιστώντας την αξιοποίηση των δεδομένων ιδιαίτερα απαιτητική και χρονοβόρα διαδικασία. (Adebayo et al., 2025)

Παράλληλα, παρατηρείται απουσία αυτοματοποιημένων μηχανισμών ανάλυσης των διαθέσιμων πληροφοριών. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται κυρίως χειροκίνητα ή αποσπασματικά, χωρίς τη χρήση ολοκληρωμένων εργαλείων που θα μπορούσαν να εξάγουν δείκτες απόδοσης ή να εντοπίζουν τάσεις και αποκλίσεις σε πραγματικό χρόνο.

Ως αποτέλεσμα, η έλλειψη μιας κεντρικής και ενιαίας βάσης δεδομένων περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα εξαγωγής αξιόπιστων δεικτών απόδοσης και συγκριτικής αξιολόγησης έργων. Αυτό επηρεάζει αρνητικά τόσο τη διαφάνεια όσο και την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης, καθώς οι αποφάσεις βασίζονται συχνά σε αποσπασματική και μη ενοποιημένη πληροφορία αντί για ολοκληρωμένα αναλυτικά δεδομένα.

5.16.6 Περιορισμένη χρήση δεικτών απόδοσης (KPIs)

Η περιορισμένη χρήση δεικτών απόδοσης (KPIs) αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο για την αποτελεσματική παρακολούθηση και αξιολόγηση των έργων υποδομής, παρά την ύπαρξη διεθνώς αναγνωρισμένων θεωρητικών προτύπων στη διαχείριση έργων.

Στην πράξη, παρατηρείται ότι δεν εφαρμόζονται συστηματικά βασικοί δείκτες που αφορούν τον χρόνο, το κόστος και την ποιότητα. Αυτό σημαίνει ότι η πρόοδος ενός έργου δεν αποτυπώνεται πάντα με τρόπο αντικειμενικό και συγκρίσιμο, αλλά συχνά βασίζεται σε περιγραφικές αναφορές και εμπειρικές εκτιμήσεις.

Επιπλέον, δεν παρακολουθούνται σε επαρκή βαθμό δείκτες παραγωγικότητας, οι οποίοι θα μπορούσαν να αποτυπώσουν τη σχέση μεταξύ των πόρων που χρησιμοποιούνται και του παραγόμενου αποτελέσματος. Η απουσία τέτοιων μετρήσεων περιορίζει τη δυνατότητα εντοπισμού αναποτελεσματικότητων κατά την υλοποίηση των έργων.

Παράλληλα, δεν γίνεται συστηματική αξιολόγηση της απόδοσης των έργων σε σχέση με τους αρχικούς στόχους που έχουν τεθεί κατά τη φάση του σχεδιασμού. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι πάντα εφικτό να διαπιστωθεί με ακρίβεια κατά πόσο ένα έργο έχει επιτύχει τους προκαθορισμένους δείκτες επιτυχίας του.

Η απουσία ποσοτικοποιημένων δεικτών οδηγεί τελικά σε μια πιο ποιοτική και λιγότερο μετρήσιμη προσέγγιση αξιολόγησης. Αυτό δυσχεραίνει τη σύγκριση μεταξύ έργων, την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη βελτίωση των μελλοντικών πρακτικών διαχείρισης.

5.16.7 Ανεπαρκής προγνωστική διαχείριση κινδύνων

Η ανεπαρκής προγνωστική διαχείριση κινδύνων αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα αδύναμα σημεία στη σύγχρονη διαχείριση έργων υποδομής, καθώς περιορίζει τη δυνατότητα έγκαιρης πρόβλεψης και αντιμετώπισης προβλημάτων που επηρεάζουν το κόστος, τον χρόνο και την ποιότητα των έργων. (Flyvbjerg, 2014)

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαχείριση κινδύνου περιορίζεται σε μια αρχική καταγραφή πιθανών κινδύνων κατά τη φάση του σχεδιασμού του έργου, χωρίς να ακολουθείται συστηματική επικαιροποίηση κατά τη διάρκεια της υλοποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι κίνδυνοι να αντιμετωπίζονται ως στατικά στοιχεία και όχι ως δυναμικές μεταβλητές που εξελίσσονται με την πρόοδο του έργου. (Zhang et al., 2020)

Επιπλέον, παρατηρείται έλλειψη ποσοτικής προσέγγισης στην εκτίμηση των κινδύνων, τόσο ως προς την πιθανότητα εμφάνισής τους όσο και ως προς την πιθανή τους επίπτωση. Αντί για αριθμητικές ή μοντελοποιημένες εκτιμήσεις, χρησιμοποιούνται συχνά ποιοτικές κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες δεν επιτρέπουν ακριβή σύγκριση ή προτεραιοποίηση των κινδύνων.

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι η περιορισμένη σύνδεση της διαχείρισης κινδύνου με τα πραγματικά δεδομένα προόδου του έργου. Η απουσία συνεχούς ενημέρωσης με βάση την εξέλιξη των εργασιών στερεί τη δυνατότητα προσαρμογής των εκτιμήσεων κινδύνου σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων.

Παράλληλα, δεν αξιοποιούνται επαρκώς ιστορικά δεδομένα από προηγούμενα έργα για την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων. Έτσι, δεν γίνεται συστηματική χρήση πληροφοριών που θα μπορούσαν να υποδείξουν την πιθανότητα καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους ή εμφάνισης τεχνικών δυσκολιών, με βάση παρόμοιες περιπτώσεις στο παρελθόν. (Wang et al., 2019)

Συνολικά, η διαχείριση κινδύνου παραμένει κυρίως περιγραφική και όχι αναλυτική ή προγνωστική. Αυτό περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα των οργανισμών να προλαμβάνουν προβλήματα και να λαμβάνουν έγκαιρα διορθωτικά μέτρα, οδηγώντας σε μια πιο αντιδραστική παρά προληπτική προσέγγιση στη διαχείριση έργων. (PMI, 2021)

5.16.8 Έλλειψη συστήματος αξιολόγησης απόδοσης αναδόχου

Η έλλειψη ενός συστήματος αξιολόγησης της απόδοσης των αναδόχων αποτελεί σημαντικό κενό στη συνολική διαδικασία διαχείρισης έργων υποδομής, καθώς περιορίζει τη δυνατότητα μάθησης από την εμπειρία προηγούμενων έργων και βελτίωσης των μελλοντικών επιλογών. (Flyvbjerg, 2014)

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν εφαρμόζεται μια τυποποιημένη και ενιαία μεθοδολογία βαθμολόγησης της απόδοσης των αναδόχων. Αυτό σημαίνει ότι η αξιολόγηση δεν βασίζεται σε κοινά αποδεκτούς δείκτες και κριτήρια, γεγονός που δυσχεραίνει τη συγκρισιμότητα μεταξύ διαφορετικών έργων και διαφορετικών οικονομικών φορέων.

Παράλληλα, δεν καταγράφεται με συστηματικό τρόπο η ποιότητα της συνεργασίας μεταξύ αναθετουσών αρχών και αναδόχων κατά τη διάρκεια της υλοποίησης των έργων. Στοιχεία όπως η συνέπεια στην τήρηση χρονοδιαγραμμάτων, η ανταπόκριση σε διορθωτικές παρατηρήσεις ή η διαχείριση προβλημάτων δεν αποτυπώνονται σε μια δομημένη και αξιοποιήσιμη μορφή.

Επιπλέον, απουσιάζει η δημιουργία ενός ενιαίου δείκτη αξιοπιστίας αναδόχου, ο οποίος θα μπορούσε να συμπυκνώνει την ιστορική του απόδοση σε ένα μετρήσιμο και συγκρίσιμο μέγεθος. Η απουσία ενός τέτοιου εργαλείου περιορίζει τη δυνατότητα τεκμηριωμένης επιλογής συνεργατών σε μελλοντικά έργα.

Η μη ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου μηχανισμού ανατροφοδότησης έχει ως αποτέλεσμα τη μη αξιοποίηση της εμπειρίας από προηγούμενα έργα. Έτσι, τα ίδια ή παρόμοια σφάλματα τείνουν να επαναλαμβάνονται, χωρίς να ενσωματώνεται η γνώση αυτή στη διαδικασία βελτίωσης.

Τέλος, η επιλογή αναδόχου σε νέα έργα δεν βασίζεται σε επαρκώς τεκμηριωμένα ιστορικά δεδομένα απόδοσης, αλλά κυρίως σε τρέχοντα στοιχεία της προσφοράς. Αυτό περιορίζει τη δυνατότητα πρόβλεψης της μελλοντικής συμπεριφοράς και απόδοσης των οικονομικών φορέων και μειώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ανάθεσης. (Wang et al., 2019)

5.16.9 Περιορισμένη διαφάνεια και λογοδοσία

Η περιορισμένη διαφάνεια και λογοδοσία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη διαχείριση σύνθετων έργων υποδομής, καθώς επηρεάζει τόσο την αποτελεσματικότητα των ελέγχων όσο και την εμπιστοσύνη στη διαδικασία υλοποίησης των δημοσίων συμβάσεων. (Flyvbjerg, 2014)

Η αυξημένη πολυπλοκότητα των έργων, σε συνδυασμό με τις συχνές συμβατικές τροποποιήσεις, καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την πλήρη και συνεχή παρακολούθησή τους από τους αρμόδιους ελεγκτικούς μηχανισμούς. Οι αλλαγές στο φυσικό και οικονομικό αντικείμενο δημιουργούν ένα δυναμικό περιβάλλον, στο οποίο η αποτύπωση της πραγματικής κατάστασης απαιτεί συνεχή ενημέρωση και αναλυτική τεκμηρίωση.

Παράλληλα, η πολυπλοκότητα αυτή περιορίζει την καθαρή και άμεση κατανόηση της πραγματικής εξέλιξης ενός έργου. Οι επιμέρους τροποποιήσεις, αναθεωρήσεις και διοικητικές αποφάσεις συχνά καθιστούν δύσκολη τη σύνθεση μιας ενιαίας και κατανοητής εικόνας για την πορεία του έργου, τόσο σε τεχνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

Ως αποτέλεσμα, μπορεί να δημιουργηθούν πεδία αμφισβήτησης ή συγκρούσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν διαφορετικές ερμηνείες των αλλαγών ή της επίδρασής τους στο έργο. Η έλλειψη κοινά αποδεκτής και άμεσα προσβάσιμης πληροφορίας εντείνει αυτές τις αβεβαιότητες.

Τέλος, η ιχνηλασιμότητα των αποφάσεων δεν είναι πάντοτε πλήρης ή εύκολα προσβάσιμη. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι πάντα δυνατή η αναδρομική παρακολούθηση του ποιος έλαβε μια απόφαση, με ποια δεδομένα και για ποιους λόγους, γεγονός που

περιορίζει τη διαφάνεια και δυσχεραίνει τη λογοδοσία στο σύνολο της διαδικασίας διαχείρισης των έργων.

5.16.10 Οργανωτικοί και ανθρώπινοι περιορισμοί

Οι οργανωτικοί και ανθρώπινοι περιορισμοί αποτελούν έναν καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει άμεσα την αποτελεσματικότητα της παρακολούθησης και διαχείρισης των έργων υποδομής, ανεξαρτήτως του θεσμικού ή τεχνολογικού πλαισίου που εφαρμόζεται. (Flyvbjerg, 2014)

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα είναι η υποστελέχωση των τεχνικών υπηρεσιών, η οποία οδηγεί σε περιορισμένη δυνατότητα παρακολούθησης όλων των έργων με την απαιτούμενη λεπτομέρεια και συχνότητα. Οι διαθέσιμοι ανθρώπινοι πόροι συχνά δεν επαρκούν για την κάλυψη του συνόλου των απαιτήσεων που προκύπτουν από τον όγκο και την πολυπλοκότητα των έργων.

Παράλληλα, παρατηρείται έλλειψη εξειδικευμένων γνώσεων στον τομέα της ανάλυσης δεδομένων και της αξιοποίησης σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων. Αυτό περιορίζει τη δυνατότητα των υπηρεσιών να μετατρέπουν τα διαθέσιμα δεδομένα σε χρήσιμη πληροφορία για τη λήψη αποφάσεων και την πρόβλεψη πιθανών αποκλίσεων. (Wang et al., 2019)

Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι ο υψηλός διοικητικός φόρτος, ο οποίος απορροφά μεγάλο μέρος του διαθέσιμου χρόνου του προσωπικού. Η καθημερινή ενασχόληση με διαδικαστικά και γραφειοκρατικά καθήκοντα αφήνει περιορισμένο περιθώριο για αναλυτική επεξεργασία δεδομένων και στρατηγική παρακολούθηση των έργων.

Επιπλέον, η περιορισμένη επιμόρφωση σε σύγχρονες μεθόδους διαχείρισης έργων και ψηφιακών εργαλείων ενισχύει το χάσμα μεταξύ των διαθέσιμων τεχνολογικών δυνατοτήτων και της πραγματικής τους αξιοποίησης. Η έλλειψη συνεχούς εκπαίδευσης δυσχεραίνει την προσαρμογή σε νέες απαιτήσεις και πρακτικές.

Ως αποτέλεσμα, η παρακολούθηση των έργων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρική κρίση των στελεχών, χωρίς επαρκή υποστήριξη από αναλυτικά και προγνωστικά εργαλεία. Αυτό μειώνει τη συστηματικότητα της διαδικασίας και περιορίζει τη δυνατότητα αντικειμενικής και τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων.

5.16.11 Συστημικός χαρακτήρας των προβλημάτων

Τα προβλήματα παρακολούθησης δεν είναι μεμονωμένα αλλά αλληλένδετα:

- Η ανεπαρκής παρακολούθηση οδηγεί σε τροποποιήσεις.
- Οι τροποποιήσεις αυξάνουν την πολυπλοκότητα.
- Η πολυπλοκότητα μειώνει τη διαφάνεια.
- Η έλλειψη δεδομένων περιορίζει τη δυνατότητα βελτίωσης μελλοντικών έργων.

Έτσι δημιουργείται ένας φαύλος κύκλος διοικητικής και οικονομικής επιβάρυνσης.

5.16.12 Συμπερασματική αποτίμηση

Η παρακολούθηση έργων υποδομής χαρακτηρίζεται από:

- Αντιδραστικό αντί προληπτικό έλεγχο.
- Περιορισμένη αναλυτική επεξεργασία δεδομένων.
- Έλλειψη ενοποίησης πληροφοριών.
- Μη αξιοποίηση ιστορικής γνώσης.

Η υπέρβαση των παραπάνω αδυναμιών απαιτεί:

- Ενοποιημένα πληροφοριακά συστήματα.
- Ποσοτικοποιημένους δείκτες απόδοσης.
- Προγνωστικά μοντέλα έγκαιρης προειδοποίησης.
- Σύνδεση δεδομένων παρακολούθησης με τη διαδικασία μελλοντικής ανάθεσης.

5.17 Ευκαιρίες αξιοποίησης ΤΝ

Η ανάλυση των προβλημάτων στις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής αναδεικνύει σημαντικά περιθώρια βελτίωσης μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης (TN). Η TN δεν υποκαθιστά τη διοικητική ή τεχνική κρίση, αλλά μπορεί να λειτουργήσει ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support System), ενισχύοντας την αντικειμενικότητα, τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα. (Adebayo et al., 2025)

Οι βασικές ευκαιρίες αξιοποίησης αναλύονται κατωτέρω, διαχωρισμένες ανά φάση του κύκλου ζωής του έργου.

5.18 Ευκαιρίες στη διαδικασία ανάθεσης

5.18.1 Προγνωστική αξιολόγηση προσφορών

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διαδικασία ανάθεσης δημοσίων ή ιδιωτικών έργων δημιουργεί σημαντικές δυνατότητες αναβάθμισης της αξιολόγησης των προσφορών, μέσω της μετάβασης από παραδοσιακά στατικά κριτήρια σε δυναμικά μοντέλα πρόβλεψης και ανάλυσης κινδύνου. Ειδικότερα, η προγνωστική αξιολόγηση προσφορών αποτελεί μία από τις πλέον ουσιαστικές εφαρμογές της TN στον τομέα των συμβάσεων και της διοίκησης έργων. (Adebayo et al., 2025)

Η βασική λειτουργία της προσέγγισης αυτής στηρίζεται στην ανάλυση ιστορικών δεδομένων προηγούμενων έργων και συμβάσεων. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με χρονοδιαγράμματα υλοποίησης, αποκλίσεις κόστους, ποιότητα παραδοτέων, συχνότητα τροποποιήσεων συμβάσεων, οικονομική σταθερότητα αναδόχων, καθώς και δείκτες συμμόρφωσης με τεχνικές και κανονιστικές απαιτήσεις. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα δεδομένα επεξεργάζονται ώστε να εντοπίζονται πρότυπα συμπεριφοράς και επαναλαμβανόμενοι παράγοντες κινδύνου. (Russell & Norvig, 2021)

Ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής αφορά την εκτίμηση της πιθανότητας καθυστέρησης ενός αναδόχου. Η TN μπορεί να συσχετίζει παραμέτρους όπως προηγούμενες καθυστερήσεις, οργανωτική επάρκεια, αριθμό ταυτόχρονων έργων, οικονομική

κατάσταση ή εμπειρία σε αντίστοιχα έργα, προκειμένου να υπολογίσει την πιθανότητα μη τήρησης του συμβατικού χρονοδιαγράμματος. Αντίστοιχα, είναι δυνατή η πρόβλεψη κινδύνου υπέρβασης κόστους, μέσω ανάλυσης δεδομένων που σχετίζονται με παλαιότερες οικονομικές αποκλίσεις, μεταβολές τιμών υλικών, συμπληρωματικές συμβάσεις και διοικητικές καθυστερήσεις. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, η TN μπορεί να συμβάλει στην αξιολόγηση της συνολικής αξιοπιστίας ενός οικονομικού φορέα. Μέσα από την επεξεργασία δεδομένων προηγούμενης απόδοσης, δημιουργούνται μοντέλα αξιολόγησης που λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την οικονομική προσφορά, αλλά και την πραγματική επιχειρησιακή συμπεριφορά του αναδόχου. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη ενός «δείκτη προγνωστικής αξιοπιστίας», ο οποίος αποτυπώνει τη στατιστική πιθανότητα επιτυχούς ολοκλήρωσης ενός έργου με βάση αντικειμενικά δεδομένα.

Επιπλέον, μπορούν να αναπτυχθούν συστήματα πολυκριτηριακής υποστήριξης αποφάσεων, τα οποία συνδυάζουν οικονομικά, τεχνικά, χρονικά και ποιοτικά κριτήρια. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στην αναθέτουσα αρχή να αξιολογεί συνολικά την καταλληλότητα κάθε προσφοράς, περιορίζοντας την αποκλειστική εξάρτηση από το κριτήριο της χαμηλότερης τιμής. Έτσι, ενισχύεται η δυνατότητα επιλογής αναδόχων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα επιτυχούς και βιώσιμης υλοποίησης του έργου. (Yu et al., 2018)

Η εφαρμογή τέτοιων μοντέλων μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως βελτίωση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών ανάθεσης, περιορισμό αστοχιών έργων, ενίσχυση της διαφάνειας και μείωση του διοικητικού κινδύνου. Ωστόσο, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή σε ζητήματα ποιότητας δεδομένων, αλγοριθμικής διαφάνειας και αποφυγής μεροληψιών, ώστε τα αποτελέσματα να παραμένουν αντικειμενικά, επαληθεύσιμα και συμβατά με τις αρχές της ίσης μεταχείρισης και της νομιμότητας στις δημόσιες συμβάσεις.

5.18.2 Ανάλυση στρατηγικής συμπεριφοράς

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση της στρατηγικής συμπεριφοράς των οικονομικών φορέων κατά τη διαδικασία υποβολής και εκτέλεσης προσφορών. Μέσω προηγμένων τεχνικών ανάλυσης δεδομένων και μηχανικής μάθησης, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός μοτίβων που ενδέχεται να υποδηλώνουν μη βιώσιμες ή στρατηγικά παραπλανητικές προσφορές.

Ένα βασικό πεδίο εφαρμογής αφορά την ανίχνευση ακραίων εκπτώσεων σε σχέση με τα συνήθη στατιστικά πρότυπα της αγοράς. Η TN μπορεί να συγκρίνει την υποβαλλόμενη οικονομική προσφορά με ιστορικά δεδομένα αντίστοιχων έργων, μέσες τιμές κλάδου, τεχνικές προδιαγραφές και πραγματικά κόστη υλοποίησης. Όταν μια προσφορά αποκλίνει σημαντικά από τα αναμενόμενα επίπεδα τιμών, το σύστημα μπορεί να επισημαίνει αυξημένο κίνδυνο υποκοστολόγησης ή αδυναμίας ορθής εκτέλεσης της σύμβασης. (Zhang et al., 2020)

Παράλληλα, η ανάλυση ιστορικών δεδομένων επιτρέπει τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων μοτίβων τροποποιήσεων συμβάσεων. Συγκεκριμένα, η TN μπορεί να αναγνωρίζει περιπτώσεις όπου ανάδοχοι παρουσιάζουν συστηματικά χαμηλές αρχικές προσφορές, οι οποίες στη συνέχεια συνοδεύονται από σημαντικές συμπληρωματικές συμβάσεις, παρατάσεις προθεσμιών ή αναθεωρήσεις οικονομικού αντικειμένου. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει την ικανότητα των αναθετουσών αρχών να αξιολογούν όχι μόνο την αρχική οικονομική προσφορά αλλά και τη συνολική στρατηγική συμπεριφορά ενός αναδόχου διαχρονικά.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η δυνατότητα συσχέτισης χαμηλής αρχικής τιμής με μελλοντικές υπερβάσεις κόστους ή καθυστερήσεις έργου. Μέσω προγνωστικών μοντέλων, η TN μπορεί να αναλύει κατά πόσο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας προσφοράς συνδέονται στατιστικά με αυξημένη πιθανότητα μεταγενέστερων οικονομικών ή χρονικών αποκλίσεων. Έτσι, δημιουργούνται μηχανισμοί έγκαιρης προειδοποίησης που επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση κινδύνου ήδη από το στάδιο αξιολόγησης των προσφορών. (Flyvbjerg, 2014)

Η αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογιών συμβάλλει ουσιαστικά στον εντοπισμό δυνητικά μη βιώσιμων προσφορών, ενισχύοντας τη διαφάνεια, την αντικειμενικότητα και τη βιωσιμότητα των διαδικασιών ανάθεσης. Παράλληλα, μειώνεται ο κίνδυνος καταχρηστικών πρακτικών και περιορίζονται φαινόμενα τεχνητά χαμηλών προσφορών που μπορεί να οδηγήσουν σε προβληματική εκτέλεση έργων ή σημαντική επιβάρυνση του δημοσίου κόστους κατά τη διάρκεια υλοποίησης της σύμβασης. (Zhang et al., 2020)

Ωστόσο, η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων απαιτεί σαφές κανονιστικό πλαίσιο, επαρκή ποιότητα δεδομένων και διαφάνεια στη λειτουργία των αλγορίθμων, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι αξιολογήσεις παραμένουν τεκμηριωμένες, αμερόληπτες και συμβατές με τις αρχές της ίσης μεταχείρισης και του ανταγωνισμού.

5.18.3 Αυτοματοποιημένη ανάλυση εγγράφων

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και ιδιαίτερα των τεχνικών Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing – NLP) επιτρέπει την αυτοματοποίηση σημαντικού μέρους της διαχείρισης και ανάλυσης εγγράφων στις διαδικασίες ανάθεσης συμβάσεων. Η δυνατότητα αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω του μεγάλου όγκου διοικητικών και τεχνικών εγγράφων που συνοδεύουν τις διαγωνιστικές διαδικασίες, όπως τεχνικές προσφορές, δικαιολογητικά συμμετοχής, συμβάσεις, πιστοποιητικά και οικονομικά στοιχεία. (Adebayo et al., 2025)

Μία βασική εφαρμογή αφορά την αυτόματη κατηγοριοποίηση τεχνικών φακέλων και εγγράφων. Μέσω αλγορίθμων NLP, τα συστήματα μπορούν να αναγνωρίζουν το περιεχόμενο και το είδος κάθε εγγράφου, ταξινομώντας το σε προκαθορισμένες κατηγορίες, όπως τεχνικές προδιαγραφές, οικονομικές προσφορές, πιστοποιήσεις ποιότητας ή έγγραφα συμμόρφωσης. Η αυτοματοποιημένη αυτή διαδικασία διευκολύνει την οργάνωση και τη γρήγορη ανάκτηση πληροφοριών, περιορίζοντας τον χρόνο που απαιτείται για χειροκίνητο έλεγχο.

Παράλληλα, η TN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο πληρότητας των δικαιολογητικών συμμετοχής. Τα συστήματα NLP έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν ελλείψεις, ασυμβατότητες ή αποκλίσεις σε σχέση με τις απαιτήσεις της διακήρυξης,

συγκρίνοντας το περιεχόμενο των υποβληθέντων εγγράφων με προκαθορισμένα πρότυπα και κανονιστικά κριτήρια. Έτσι, μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος ανθρώπινου λάθους και επιταχύνεται η διαδικασία διοικητικής επαλήθευσης. (Zhang et al., 2020)

Επιπλέον, ιδιαίτερα σημαντική είναι η δυνατότητα εξαγωγής βασικών όρων και κρίσιμων πληροφοριών από συμβάσεις και νομικά κείμενα. Μέσω τεχνικών σημασιολογικής ανάλυσης, η TN μπορεί να εντοπίζει αυτόματα όρους που σχετίζονται με χρονοδιαγράμματα, ρήτρες καθυστέρησης, οικονομικές υποχρεώσεις, δικαιώματα τροποποίησης ή όρους καταγγελίας της σύμβασης. Η δυνατότητα αυτή διευκολύνει τόσο τον νομικό όσο και τον διοικητικό έλεγχο, παρέχοντας ταχύτερη και πιο στοχευμένη πρόσβαση σε κρίσιμα στοιχεία των συμβατικών κειμένων.

Η αυτοματοποίηση της ανάλυσης εγγράφων συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση του διοικητικού φόρτου, στην επιτάχυνση των διαδικασιών αξιολόγησης και στη βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας των αναθετουσών αρχών. Παράλληλα, ενισχύεται η συνέπεια και η ομοιομορφία των ελέγχων, καθώς οι διαδικασίες βασίζονται σε τυποποιημένα μοντέλα ανάλυσης και όχι αποκλειστικά στην ανθρώπινη κρίση.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εκπαίδευσης, τη σωστή γλωσσική προσαρμογή των αλγορίθμων και τη δυνατότητα κατανόησης σύνθετης νομικής και τεχνικής ορολογίας.

Για τον λόγο αυτό απαιτείται συνεχής εποπτεία και συνδυασμός της αυτοματοποιημένης επεξεργασίας με ανθρώπινο έλεγχο, ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια, η νομιμότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

5.19 Ευκαιρίες στην παρακολούθηση υλοποίησης

5.19.1 Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems)

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στην παρακολούθηση της υλοποίησης έργων και συμβάσεων δημιουργεί σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems). Τα συστήματα αυτά βασίζονται στη συνεχή συλλογή και ανάλυση πραγματικών δεδομένων προόδου, με στόχο τον έγκαιρο

εντοπισμό αποκλίσεων και την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων πριν αυτά εξελιχθούν σε κρίσιμες αστοχίες. (Adebayo et al., 2025)

Μία από τις βασικές λειτουργίες των συστημάτων αυτών είναι ο εντοπισμός αποκλίσεων από το εγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων προόδου, όπως ποσοστά ολοκλήρωσης εργασιών, ημερήσιες αναφορές έργου, καταναλώσεις πόρων και παραδόσεις υλικών, η TN μπορεί να συγκρίνει την πραγματική εξέλιξη με τον αρχικό προγραμματισμό και να αναγνωρίζει έγκαιρα καθυστερήσεις ή αποκλίσεις από τα προβλεπόμενα ορόσημα. Η συνεχής αυτή παρακολούθηση επιτρέπει την άμεση ενημέρωση των υπευθύνων διοίκησης και τη γρήγορη λήψη διορθωτικών μέτρων. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη πιθανής καθυστέρησης ολοκλήρωσης του έργου. Αναλύοντας ιστορικά δεδομένα παρόμοιων έργων και συσχετίζοντας παράγοντες όπως ρυθμός προόδου, διαθεσιμότητα προσωπικού, καιρικές συνθήκες, τεχνικές δυσκολίες ή καθυστερήσεις προμηθειών, η TN είναι σε θέση να εκτιμά την πιθανότητα μη τήρησης των συμβατικών προθεσμιών. Με τον τρόπο αυτό, οι αναθέτουσες αρχές και οι φορείς υλοποίησης αποκτούν ένα εργαλείο προγνωστικής διαχείρισης κινδύνου και όχι απλής καταγραφής προβλημάτων εκ των υστέρων. (Flyvbjerg, 2014)

Εξίσου σημαντική είναι η δυνατότητα εκτίμησης του τελικού κόστους του έργου με βάση τις τρέχουσες τάσεις υλοποίησης. Η TN μπορεί να αναλύει δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση πόρων, τις μεταβολές τιμών, τις συμπληρωματικές εργασίες και τις αποκλίσεις από τον οικονομικό προγραμματισμό, ώστε να προβλέπει πιθανές υπερβάσεις κόστους πριν αυτές καταστούν μη αναστρέψιμες. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα έγκαιρης οικονομικής αναπροσαρμογής και καλύτερου ελέγχου του προϋπολογισμού. (Flyvbjerg, 2014)

Η λειτουργία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης συμβάλλει ουσιαστικά στη μετάβαση από ένα παθητικό μοντέλο διαχείρισης έργων σε ένα προληπτικό μοντέλο διοίκησης. Αντί οι αποκλίσεις να εντοπίζονται μόνο μετά την εμφάνιση σοβαρών

προβλημάτων, η TN επιτρέπει τη συνεχή αξιολόγηση της κατάστασης του έργου και τη λήψη έγκαιρων διορθωτικών παρεμβάσεων, όπως ανακατανομή πόρων, τροποποίηση χρονοδιαγραμμάτων ή ενίσχυση τεχνικής υποστήριξης.

Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα των συστημάτων αυτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα αξιόπιστων και ενημερωμένων δεδομένων, τη σωστή διασύνδεση των πληροφοριακών συστημάτων και τη διαρκή παρακολούθηση της ακρίβειας των αλγορίθμων πρόβλεψης. Παράλληλα, απαιτείται ανθρώπινη εποπτεία ώστε οι αυτοματοποιημένες ειδοποιήσεις να αξιολογούνται με βάση το πραγματικό επιχειρησιακό και τεχνικό πλαίσιο κάθε έργου. (Wang et al., 2019)

5.19.2 Προγνωστική διαχείριση κινδύνων

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) προσφέρει σημαντικές δυνατότητες αναβάθμισης της διαχείρισης κινδύνων κατά την υλοποίηση έργων και συμβάσεων, μετατρέποντας τη διαδικασία από μια παραδοσιακή περιγραφική προσέγγιση σε ένα δυναμικό και προγνωστικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Μέσω της αξιοποίησης μεγάλου όγκου ιστορικών και λειτουργικών δεδομένων, τα συστήματα TN μπορούν να εντοπίζουν πρότυπα κινδύνου και να προβλέπουν πιθανές αστοχίες πριν αυτές εκδηλωθούν στην πράξη.

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές αφορά την ανάλυση ιστορικών έργων με στόχο τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων κινδύνων. Τα συστήματα μηχανικής μάθησης μπορούν να επεξεργάζονται δεδομένα από προηγούμενα έργα, όπως καθυστερήσεις, τεχνικές αστοχίες, οικονομικές υπερβάσεις, προβλήματα εφοδιαστικής αλυσίδας ή διαχειριστικές δυσλειτουργίες, προκειμένου να αναγνωρίζουν συχνά εμφανιζόμενα μοτίβα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία βάση γνώσης κινδύνων, η οποία αξιοποιείται για την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων σε νέα έργα με παρόμοια χαρακτηριστικά. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, η TN μπορεί να υπολογίζει την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων κινδύνων, αξιολογώντας πολλαπλές μεταβλητές ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα του έργου, η εμπειρία του αναδόχου, η γεωγραφική

περιοχή, η διαθεσιμότητα πόρων ή οι εξωτερικές οικονομικές συνθήκες μπορούν να συνδυάζονται σε προγνωστικά μοντέλα κινδύνου. Τα μοντέλα αυτά παρέχουν ποσοτικές εκτιμήσεις σχετικά με την πιθανότητα εμφάνισης καθυστερήσεων, αυξήσεων κόστους ή τεχνικών προβλημάτων, ενισχύοντας τη δυνατότητα έγκαιρου σχεδιασμού μέτρων πρόληψης.

Εξίσου σημαντική είναι η δυνατότητα ιεράρχησης των κινδύνων βάσει της πιθανής επίπτωσής τους. Η TN δεν περιορίζεται μόνο στον εντοπισμό ενός κινδύνου, αλλά μπορεί να αξιολογεί τη σοβαρότητα και τις συνέπειές του ως προς το χρονοδιάγραμμα, το κόστος, την ποιότητα ή τη λειτουργικότητα του έργου. Έτσι, οι φορείς διοίκησης αποκτούν τη δυνατότητα να επικεντρώνουν τους διαθέσιμους πόρους και τις παρεμβάσεις τους στους κινδύνους υψηλής προτεραιότητας, βελτιώνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα της διαχείρισης.

Η μετάβαση από την περιγραφική στην προγνωστική διαχείριση κινδύνων αποτελεί ουσιαστική αλλαγή φιλοσοφίας στη διοίκηση έργων. Στο παραδοσιακό μοντέλο, οι κίνδυνοι καταγράφονται και αντιμετωπίζονται κυρίως μετά την εμφάνισή τους. Αντίθετα, η TN επιτρέπει την πρόβλεψη και την προληπτική αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων, ενισχύοντας τη στρατηγική λήψη αποφάσεων και μειώνοντας την αβεβαιότητα κατά την υλοποίηση των συμβάσεων. (PMI, 2021)

Ωστόσο, η αποτελεσματική εφαρμογή τέτοιων συστημάτων προϋποθέτει υψηλής ποιότητας δεδομένα, αξιόπιστα μοντέλα ανάλυσης και διαρκή επικαιροποίηση των πληροφοριών. Παράλληλα, απαιτείται ανθρώπινη εποπτεία για την ορθή ερμηνεία των προβλέψεων και την αποφυγή υπερβολικής εξάρτησης από αυτοματοποιημένες εκτιμήσεις, ιδιαίτερα σε σύνθετα έργα με μεταβαλλόμενες συνθήκες και πολλαπλές πηγές αβεβαιότητας.

5.19.3 Ανάλυση απόδοσης και παραγωγικότητας

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στην παρακολούθηση της υλοποίησης έργων επιτρέπει τη συστηματική ανάλυση της απόδοσης και της παραγωγικότητας μέσω συνεχούς συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων προόδου. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει

σημαντικά τον έλεγχο των έργων και τη διαφάνεια στη διαχείρισή τους. (Adebayo et al., 2025)

Μέσω κατάλληλων μοντέλων ανάλυσης μπορούν να αναπτυχθούν βασικοί δείκτες απόδοσης, όπως ο Δείκτης Απόδοσης Χρόνου (Schedule Performance Index – SPI), ο οποίος αξιολογεί κατά πόσο το έργο εξελίσσεται σύμφωνα με το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα. Αντίστοιχα, ο Δείκτης Απόδοσης Κόστους (Cost Performance Index – CPI) επιτρέπει την παρακολούθηση της οικονομικής αποδοτικότητας του έργου, συγκρίνοντας το πραγματικό κόστος με την παραγόμενη πρόοδο.

Παράλληλα, η TN μπορεί να υποστηρίξει συγκριτικές αξιολογήσεις μεταξύ διαφορετικών έργων, εντοπίζοντας πρότυπα υψηλής ή χαμηλής απόδοσης. Μέσα από τη σύγκριση δεδομένων παραγωγικότητας, κόστους και χρονικής εξέλιξης, οι φορείς διοίκησης μπορούν να αναγνωρίζουν βέλτιστες πρακτικές αλλά και επαναλαμβανόμενες αδυναμίες στη διαχείριση έργων. (PMI, 2021)

Η συνεχής ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει πιο αποτελεσματικό έλεγχο της υλοποίησης, ταχύτερο εντοπισμό προβλημάτων και καλύτερη τεκμηρίωση των διοικητικών αποφάσεων. Παράλληλα, ενισχύεται η διαφάνεια, καθώς η αξιολόγηση της προόδου βασίζεται σε αντικειμενικούς και μετρήσιμους δείκτες και όχι αποκλειστικά σε ποιοτικές εκτιμήσεις.

5.19.4 Ενοποίηση δεδομένων κύκλου ζωής έργου

Μία από τις σημαντικότερες δυνατότητες αξιοποίησης της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στη διοίκηση έργων και συμβάσεων είναι η ενοποίηση των δεδομένων σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου, από το στάδιο της ανάθεσης έως την ολοκλήρωση και αξιολόγηση της υλοποίησης. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού οικοσυστήματος, στο οποίο τα δεδομένα δεν λειτουργούν αποσπασματικά αλλά συνδέονται δυναμικά μεταξύ τους. (Adebayo et al., 2025)

Βασικό στοιχείο της διαδικασίας αποτελεί η ανάπτυξη ενιαίας βάσης δεδομένων έργων, στην οποία συγκεντρώνονται πληροφορίες σχετικά με τεχνικά χαρακτηριστικά,

χρονοδιαγράμματα, οικονομικά στοιχεία, αποκλίσεις, τροποποιήσεις συμβάσεων και αποτελέσματα υλοποίησης. Η συγκέντρωση αυτή επιτρέπει τη συστηματική ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και την εξαγωγή χρήσιμων προτύπων και δεικτών απόδοσης.

Παράλληλα, μπορεί να δημιουργηθεί διαχρονικό μητρώο επιδόσεων αναδόχων, το οποίο καταγράφει στοιχεία σχετικά με τη συνέπεια, την ποιότητα εκτέλεσης, τις καθυστερήσεις, τις οικονομικές υπερβάσεις και τη συμμόρφωση με συμβατικές υποχρεώσεις. Μέσω της συνεχούς ενημέρωσης του μητρώου, οι αναθέτουσες αρχές αποκτούν πιο ολοκληρωμένη εικόνα της πραγματικής απόδοσης κάθε οικονομικού φορέα. (Flynbjerg, 2014)

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η ανάπτυξη μηχανισμού ανατροφοδότησης μεταξύ της διαδικασίας ανάθεσης και της φάσης υλοποίησης. Τα δεδομένα που παράγονται κατά την εκτέλεση των έργων μπορούν να αξιοποιούνται για τη βελτίωση των μελλοντικών διαδικασιών αξιολόγησης προσφορών, των κριτηρίων επιλογής και των μοντέλων πρόβλεψης κινδύνου. Με τον τρόπο αυτό, η TN λειτουργεί ως ένας «μηχανισμός μάθησης» του συστήματος, ο οποίος αξιοποιεί την εμπειρία προηγούμενων έργων ώστε να ενισχύει τη λήψη πιο τεκμηριωμένων και αποτελεσματικών αποφάσεων στο μέλλον. (Wang et al., 2019)

Η ενοποίηση των δεδομένων συμβάλλει στη βελτίωση της διαφάνειας, της συνέχειας και της θεσμικής μνήμης των οργανισμών, περιορίζοντας την απώλεια γνώσης μεταξύ διαφορετικών έργων και διοικητικών κύκλων. Παράλληλα, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για πιο στρατηγική και δεδομενοκεντρική διοίκηση έργων και δημοσίων συμβάσεων. (PMI, 2021)

5.19.5 Υποστήριξη στρατηγικού σχεδιασμού

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον στρατηγικό σχεδιασμό δημοσίων έργων και επενδύσεων, ενισχύοντας τη δυνατότητα λήψης

τεκμηριωμένων αποφάσεων βάσει δεδομένων και προβλέψεων. Η αξιοποίηση προηγμένων αναλυτικών μοντέλων επιτρέπει στη δημόσια διοίκηση να μεταβεί από έναν αποσπασματικό σχεδιασμό σε μια πιο ολοκληρωμένη και δεδομενοκεντρική προσέγγιση.

Μία βασική εφαρμογή αφορά την ιεράρχηση έργων βάσει της αναμενόμενης απόδοσης και αποτελεσματικότητάς τους. Μέσω ανάλυσης ιστορικών δεδομένων, κοινωνικών αναγκών, οικονομικών δεικτών και προβλέψεων ανάπτυξης, η TN μπορεί να συμβάλει στην αξιολόγηση του βαθμού προτεραιότητας διαφορετικών επενδυτικών παρεμβάσεων. Έτσι, διευκολύνεται η επιλογή έργων που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα θετικού αναπτυξιακού αποτελέσματος ή υψηλότερης κοινωνικής ωφέλειας.

Παράλληλα, η TN μπορεί να υποστηρίξει την ανάλυση της απορροφητικότητας πόρων, εξετάζοντας την ικανότητα υλοποίησης έργων, τον ρυθμό εκτέλεσης προϋπολογισμών και την αποτελεσματικότητα αξιοποίησης χρηματοδοτήσεων. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διαχείριση εθνικών και ευρωπαϊκών πόρων, καθώς επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό καθυστερήσεων ή χαμηλής αποδοτικότητας στη διάθεση κονδυλίων.

Επιπλέον, μέσω προγνωστικών μοντέλων και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων, μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτίμηση του κοινωνικοοικονομικού αντίκτυπου των έργων. Η TN έχει τη δυνατότητα να συνδυάζει οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά δεδομένα, προκειμένου να εκτιμά επιδράσεις όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας, η περιφερειακή ανάπτυξη, η βελτίωση υποδομών ή οι περιβαλλοντικές συνέπειες μιας επένδυσης.

Η μετάβαση σε δεδομενοκεντρικό στρατηγικό σχεδιασμό ενισχύει τη βιωσιμότητα των δημόσιων επενδύσεων, καθώς οι αποφάσεις βασίζονται περισσότερο σε μετρήσιμα στοιχεία, προβλέψεις και αντικειμενικές αξιολογήσεις. Παράλληλα, ενισχύεται η διαφάνεια, η αποδοτικότητα κατανομής πόρων και η δυνατότητα μακροπρόθεσμου σχεδιασμού δημόσιων πολιτικών με μεγαλύτερη ακρίβεια και θεσμική συνέπεια.

5.19.6 Ενίσχυση διαφάνειας και λογοδοσίας

Η αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στις δημόσιες συμβάσεις και στη διοίκηση έργων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται επεξηγήσιμα μοντέλα TN (Explainable AI – XAI). Τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν όχι μόνο την παραγωγή προβλέψεων ή συστάσεων, αλλά και την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο προκύπτουν οι σχετικές αποφάσεις. (Adebayo et al., 2025)

Μέσω της επεξηγήσιμης TN, οι διοικητικές αποφάσεις μπορούν να τεκμηριώνονται αναλυτικά, καθώς το σύστημα έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει τα δεδομένα, τα κριτήρια και τις μεταβλητές που οδήγησαν σε ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, σε μια διαδικασία αξιολόγησης προσφορών, μπορεί να αποτυπώνεται με σαφήνεια ποιοι παράγοντες επηρέασαν την εκτίμηση κινδύνου ή την αξιολόγηση αξιοπιστίας ενός αναδόχου.

Παράλληλα, οι παράγοντες που επηρεάζουν μια πρόβλεψη ή σύσταση καθίστανται περισσότερο κατανοητοί και ελέγξιμοι. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβάλλοντα δημόσιας διοίκησης, όπου απαιτείται αιτιολόγηση των αποφάσεων και δυνατότητα ελέγχου από αρμόδιους φορείς, δικαστικές αρχές ή ανεξάρτητους μηχανισμούς εποπτείας. (Wang et al., 2019)

Η ενίσχυση της διαφάνειας μέσω επεξηγήσιμων συστημάτων TN συμβάλλει επίσης στην αύξηση της εμπιστοσύνης των πολιτών και των ελεγκτικών μηχανισμών απέναντι στις ψηφιακές διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Όταν οι αλγόριθμοι λειτουργούν με σαφή και επαληθεύσιμο τρόπο, περιορίζεται η αντίληψη ότι οι αυτοματοποιημένες αποφάσεις αποτελούν ένα «μαύρο κουτί» χωρίς δυνατότητα ελέγχου. (Russell & Norvig, 2021)

Κατά συνέπεια, η TN δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως παράγοντας αδιαφάνειας, αλλά ως πιθανό εργαλείο ενίσχυσης της θεσμικής λογοδοσίας και της αντικειμενικότητας.

Ωστόσο, για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται κατάλληλο κανονιστικό πλαίσιο, σαφείς διαδικασίες ελέγχου και συνεχής ανθρώπινη εποπτεία, ώστε οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες να παραμένουν συμβατές με τις αρχές της νομιμότητας, της ίσης μεταχείρισης και της χρηστής διοίκησης.

5.19.7 Προϋποθέσεις επιτυχούς αξιοποίησης

Η αποτελεσματική αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στις δημόσιες συμβάσεις και στη διοίκηση έργων προϋποθέτει την ύπαρξη συγκεκριμένων οργανωτικών, τεχνικών και θεσμικών συνθηκών. Η επιτυχία των σχετικών εφαρμογών δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογική ανάπτυξη, αλλά κυρίως από τον τρόπο ενσωμάτωσης της TN στο συνολικό διοικητικό και λειτουργικό πλαίσιο. (Adebayo et al., 2025)

Βασική προϋπόθεση αποτελεί η διαθεσιμότητα δομημένων, αξιόπιστων και ποιοτικών δεδομένων. Τα συστήματα TN βασίζονται στην επεξεργασία μεγάλου όγκου πληροφοριών και συνεπώς η ακρίβεια, η πληρότητα και η συνέπεια των δεδομένων επηρεάζουν άμεσα την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ελλιπή ή ασύνδετα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες εκτιμήσεις και μειωμένη αποτελεσματικότητα των μοντέλων πρόβλεψης. (Wang et al., 2019)

Εξίσου σημαντική είναι η διαλειτουργικότητα των πληροφοριακών συστημάτων. Η δυνατότητα ανταλλαγής και ενοποίησης δεδομένων μεταξύ διαφορετικών διοικητικών πλατφορμών, φορέων και σταδίων του κύκλου ζωής ενός έργου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη λειτουργία ολοκληρωμένων συστημάτων TN. Χωρίς τεχνική διασύνδεση των πληροφοριακών υποδομών, η αξιοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων παραμένει αποσπασματική.

Παράλληλα, απαιτείται θεσμική προσαρμογή του κανονιστικού και διοικητικού πλαισίου. Η εισαγωγή συστημάτων TN δημιουργεί νέα ζητήματα σχετικά με τη διαφάνεια, τη λογοδοσία, την προστασία δεδομένων και τη νομιμότητα των αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Συνεπώς, είναι αναγκαία η ανάπτυξη σαφών κανόνων και μηχανισμών εποπτείας που θα διασφαλίζουν τη συμβατότητα των τεχνολογικών εφαρμογών με τις αρχές της δημόσιας διοίκησης και του κράτους δικαίου.

Ιδιαίτερη σημασία έχει επίσης η εκπαίδευση και εξειδίκευση των στελεχών που θα χρησιμοποιούν τα συστήματα αυτά. Η αποτελεσματική αξιοποίηση της TN προϋποθέτει όχι μόνο τεχνικές γνώσεις, αλλά και ικανότητα ερμηνείας των αποτελεσμάτων,

κατανόησης των περιορισμών των αλγορίθμων και ορθής ενσωμάτωσης των προβλέψεων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τέλος, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η διατήρηση ανθρώπινης εποπτείας στις αλγοριθμικές αποφάσεις. Η TN μπορεί να λειτουργήσει ως ισχυρό εργαλείο υποστήριξης, δεν μπορεί όμως να υποκαταστήσει πλήρως την ανθρώπινη κρίση, ιδιαίτερα σε σύνθετα διοικητικά ή νομικά ζητήματα. Η ανθρώπινη παρέμβαση παραμένει αναγκαία για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, τον έλεγχο πιθανών σφαλμάτων ή μεροληψιών και τη διασφάλιση της νομιμότητας και της δικαιοσύνης των αποφάσεων.

Κατά συνέπεια, η επιτυχής ενσωμάτωση της TN εξαρτάται από μια συνολική και συστημική προσέγγιση, στην οποία η τεχνολογία συνδυάζεται με κατάλληλες θεσμικές δομές, οργανωτική προσαρμογή και ενίσχυση των ανθρώπινων δεξιοτήτων.

5.20 Συμπερασματική αποτίμηση

Οι ευκαιρίες αξιοποίησης TN στις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής είναι σημαντικές και πολυεπίπεδες. Η TN μπορεί να συμβάλει: (Flyvbjerg, 2014)

- Στη μείωση καθυστερήσεων και υπερβάσεων
- Στην αντικειμενικότερη επιλογή αναδόχων
- Στην έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων
- Στη βελτίωση διαφάνειας και λογοδοσίας
- Στη δημιουργία συστήματος διαχρονικής μάθησης

5.21 Προδιαγραφές συστήματος υποστήριξης αποφάσεων

Με βάση τα προβλήματα και τις ευκαιρίες που αναλύθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια, προτείνεται η ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) για τη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής, ενσωματώνοντας τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης (TN). Το σύστημα αποσκοπεί στην τεκμηρίωση

αποφάσεων, στην πρόβλεψη αποκλίσεων και στην ενοποίηση πληροφοριών, διασφαλίζοντας διαφάνεια και αποτελεσματικότητα. (Adebayo et al., 2025)

Παρακάτω περιγράφονται οι βασικές προδιαγραφές του συστήματος.

5.21.1 Σκοπός και στόχοι του συστήματος

Το DSS στοχεύει στην αντικειμενική και τεκμηριωμένη αξιολόγηση των προσφορών των αναδόχων, περιορίζοντας την υποκειμενικότητα στη λήψη αποφάσεων.

Παράλληλα, επιδιώκει την πρόβλεψη πιθανών καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους, επιτρέποντας έγκαιρη διαχείριση κινδύνων. (Wang et al., 2019)

Σημαντικός στόχος είναι επίσης η ενοποίηση και ανάλυση δεδομένων από όλο τον κύκλο ζωής του έργου, ώστε να υποστηρίζεται μια ολοκληρωμένη εικόνα της απόδοσης.

Το σύστημα συμβάλλει στην προληπτική διαχείριση κινδύνου, στη δημιουργία ιστορικού επιδόσεων αναδόχων για μελλοντική αξιολόγηση, καθώς και στην ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας μέσω τεκμηριωμένων αποφάσεων.

5.21.2 Βασικά χαρακτηριστικά

5.21.2.1 Τεχνολογική αρχιτεκτονική

- **Δομημένη βάση δεδομένων:** Συλλογή δεδομένων ανάθεσης, υλοποίησης, κόστους, προόδου και τροποποιήσεων.
- **Μηχανισμός ETL (Extract-Transform-Load):** Ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικά συστήματα (ΕΣΗΔΗΣ, ΚΗΜΔΗΣ, τεχνικές υπηρεσίες).
- **Αλγόριθμοι TN / Μηχανικής Μάθησης:** Προγνωστικά μοντέλα για καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους, αξιολόγηση αναδόχων.
- **Διαδραστική διεπαφή (User Interface):** Οπτικοποιήσεις, dashboards, ειδοποιήσεις για αποκλίσεις.
- **Υποστήριξη εξηγησιμότητας (Explainable AI):** Παροχή τεκμηρίωσης για τις αποφάσεις των αλγορίθμων.

5.21.2.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

- **Αξιολόγηση προσφορών:** Πολυκριτηριακή ανάλυση βασισμένη σε ιστορικά δεδομένα, τεχνικά και οικονομικά κριτήρια.
- **Προγνωστική παρακολούθηση έργου:** Εκτίμηση πιθανοτήτων καθυστερήσεων ή υπερβάσεων κόστους σε πραγματικό χρόνο.
- **Διαχείριση κινδύνων:** Αναγνώριση πιθανών κινδύνων και ιεράρχηση κατά σοβαρότητα.
- **Ανάλυση απόδοσης αναδόχου:** Δημιουργία δεικτών αξιοπιστίας και απόδοσης.
- **Συστήματα ειδοποίησης:** Αυτόματες ειδοποιήσεις σε περίπτωση σημαντικών αποκλίσεων ή κινδύνων.

5.21.3 Απαιτήσεις δεδομένων

Το DSS βασίζεται σε υψηλής ποιότητας δεδομένα για να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Απαιτούνται ιστορικά δεδομένα έργων (κόστος, χρόνος, ποιότητα, τροποποιήσεις), πληροφορίες για αναδόχους και ομάδες έργου, καθώς και οικονομικά στοιχεία και πιστοποιήσεις.

Επιπλέον, σημαντικά είναι τα δεδομένα προόδου σε πραγματικό χρόνο, όπως αυτά που προέρχονται από BIM, αισθητήρες και αναφορές πεδίου. (Eastman et al., 2018)

Η ακρίβεια και η πληρότητα των δεδομένων είναι κρίσιμη, καθώς καθορίζει άμεσα την αξιοπιστία των αλγορίθμων TN και των παραγόμενων αποφάσεων.

5.21.4 Ασφάλεια και θεσμική συμμόρφωση

Το σύστημα πρέπει να συμμορφώνεται με τον GDPR για την προστασία προσωπικών και επιχειρηματικών δεδομένων και να διασφαλίζει τη διαφάνεια των αποφάσεων μέσω τεχνικών Explainable AI. Παράλληλα, απαιτείται έλεγχος πρόσβασης βάσει ρόλων (π.χ. ελεγκτές, διαχειριστές, αναθέτουσες αρχές) και πλήρης καταγραφή όλων των ενεργειών και αποφάσεων μέσω audit trail για λόγους ιχνηλασιμότητας και λογοδοσίας.

5.21.5 Ενσωμάτωση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Το DSS λειτουργεί υποστηρικτικά και δεν αντικαθιστά τον ανθρώπινο παράγοντα στη λήψη αποφάσεων. Παρέχει αναλύσεις, προβλέψεις και προτάσεις που βοηθούν τα αρμόδια στελέχη να αξιολογούν καλύτερα τις επιλογές τους.

Οι τελικές αποφάσεις για ανάθεση ή τροποποίηση συμβάσεων παραμένουν στην ευθύνη των αρμόδιων οργάνων, τα οποία αξιοποιούν τα αποτελέσματα του συστήματος ως εργαλείο τεκμηρίωσης και υποστήριξης.

Παράλληλα, δημιουργείται ένας συνεχής κύκλος ανατροφοδότησης, όπου τα δεδομένα από την υλοποίηση των έργων επιστρέφουν στο σύστημα, ενισχύοντας τη ακρίβεια και τη βελτίωση των μελλοντικών προβλέψεων.

5.21.6 Οφέλη από την εφαρμογή του DSS

Η εφαρμογή ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης προσφέρει σημαντικά οφέλη στη διαδικασία διαχείρισης και αξιολόγησης έργων. (Adebayo et al., 2025)

Συμβάλλει στη βελτίωση της ακρίβειας και της αντικειμενικότητας κατά την αξιολόγηση των αναδόχων, μειώνοντας την επίδραση υποκειμενικών παραγόντων. Παράλληλα, βοηθά στον έγκαιρο εντοπισμό κινδύνων, περιορίζοντας καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους. (Flyvbjerg, 2014)

Επιπλέον, δημιουργεί ένα δυναμικό σύστημα μάθησης που αξιοποιεί τα δεδομένα προηγούμενων έργων για τη βελτίωση μελλοντικών αποφάσεων. Αυτό οδηγεί σε πιο τεκμηριωμένο και αποδοτικό σχεδιασμό.

Η χρήση DSS ενισχύει επίσης τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη προς τη δημόσια διοίκηση, καθώς οι αποφάσεις βασίζονται σε σαφή και μετρήσιμα δεδομένα. Τέλος, υποστηρίζει τον στρατηγικό σχεδιασμό και τη λήψη πολιτικών αποφάσεων με μεγαλύτερη συνέπεια και αποτελεσματικότητα.

6 Κεφάλαιο : Μεθοδολογία Έρευνας

6.1 Ερευνητικός σχεδιασμός

Ο ερευνητικός σχεδιασμός αποτελεί τον κορμό της μεθοδολογίας της ΜΔΕ, καθορίζοντας το πώς θα συλλεχθούν, αναλυθούν και αξιοποιηθούν τα δεδομένα ώστε να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα και να επιβεβαιωθούν ή να απορριφθούν οι υποθέσεις της εργασίας. Στην περίπτωση της παρούσας ΜΔΕ, ο σχεδιασμός στοχεύει στην αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) για τη βελτίωση των διαδικασιών ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής. (Adebayo et al., 2025)

Η αναλυτική προσέγγιση περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

6.2 Φύση της έρευνας

Η έρευνα είναι **πολυμεθοδολογική**, συνδυάζοντας ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία:

6.2.1 Ποιοτική διάσταση:

Εστιάζει στην κατανόηση των διαδικασιών ανάθεσης και παρακολούθησης, των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι αναθέτουσες αρχές και οι ανάδοχοι, και στις αντιλήψεις των εμπλεκόμενων φορέων. Η συλλογή γίνεται μέσω:

- Συνεντεύξεων με στελέχη αναθετουσών αρχών και τεχνικών υπηρεσιών.
- Ερωτηματολογίων προς υπεύθυνους έργων και επιβλέποντες.
- Ανάλυσης εγγράφων, οδηγιών και κανονιστικών πλαισίων.

6.2.2 Ποσοτική διάσταση:

Επικεντρώνεται στην επεξεργασία και ανάλυση ιστορικών δεδομένων έργων, όπως:

- Χρόνοι ολοκλήρωσης έργων.
- Υπέρβαση προϋπολογισμού.
- Αριθμός τροποποιήσεων συμβάσεων.

- ο Απόδοση αναδόχων (KPI).

Με βάση αυτά τα δεδομένα, αναπτύσσονται μοντέλα μηχανικής μάθησης για προγνωστική ανάλυση.

Ο συνδυασμός ποιοτικής και ποσοτικής προσέγγισης διασφαλίζει την εγκυρότητα και την πληρότητα της έρευνας, καλύπτοντας τόσο την υποκειμενική εμπειρία όσο και την αντικειμενική καταγραφή των δεδομένων.

6.3 Στάδια έρευνας

6.3.1 Καταγραφή υφιστάμενης κατάστασης

Η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης αποτελεί βασικό βήμα για την ανάλυση και βελτίωση των διαδικασιών ανάθεσης και παρακολούθησης έργων. Περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των υφιστάμενων διαδικασιών, ώστε να αποτυπωθεί ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται σήμερα οι αναθέσεις και η εκτέλεση των έργων.

Παράλληλα, εξετάζεται το ισχύον θεσμικό και νομικό πλαίσιο, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, προκειμένου να εντοπιστούν οι απαιτήσεις και οι περιορισμοί που διέπουν τις διαδικασίες.

Σημαντικό στοιχείο αποτελεί η συλλογή δεδομένων από πληροφοριακά συστήματα όπως το ΕΣΗΔΗΣ, το ΚΗΜΔΗΣ, πλατφόρμες BIM και τις τεχνικές υπηρεσίες, τα οποία παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για την πραγματική λειτουργία των έργων. (Eastman et al., 2018)

Τέλος, γίνεται αναγνώριση των βασικών σημείων αποτυχίας, καθυστερήσεων και αποκλίσεων κόστους, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές που απαιτούν βελτίωση και ψηφιακή υποστήριξη

6.3.2 Προσδιορισμός προβλημάτων και ερευνητικών κενών

Στο στάδιο αυτό γίνεται συστηματική ανάλυση των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά τον κύκλο ζωής των έργων, με στόχο την κατανόηση των αιτίων τους και των

μεταξύ τους σχέσεων. Τα προβλήματα κατηγοριοποιούνται ανά φάση, όπως ανάθεση, υλοποίηση και ολοκλήρωση έργου.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση αλληλεξαρτήσεων, καθώς συχνά ένα αρχικό πρόβλημα μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτές επιπτώσεις, όπως καθυστερήσεις που οδηγούν σε τροποποιήσεις συμβάσεων και τελικά σε υπερβάσεις κόστους. (Flyvbjerg, 2014)

Παράλληλα, εντοπίζονται τα ερευνητικά κενά και οι περιοχές όπου η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να προσφέρει ουσιαστική προστιθέμενη αξία, όπως στην πρόβλεψη καθυστερήσεων, στην αξιολόγηση αναδόχων και στη βελτιωμένη διαχείριση κινδύνων. (Wang et al., 2019)

6.3.3 Σχεδιασμός και ανάπτυξη προτεινόμενου DSS

Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται οι βασικές λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, καθώς και τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την υποστήριξη των αποφάσεων.

Ακολουθεί ο σχεδιασμός των αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης για προγνωστικές αναλύσεις, όπως ταξινόμηση (classification), παλινδρόμηση (regression) και εντοπισμό ανωμαλιών (anomaly detection), με στόχο την πρόβλεψη κινδύνων και αποκλίσεων. (Adebayo et al., 2025)

Παράλληλα, πραγματοποιείται προσομοίωση της ροής δεδομένων και της λειτουργίας του συστήματος, ώστε να αξιολογηθεί η απόδοσή του σε ρεαλιστικά σενάρια.

Τέλος, σχεδιάζονται dashboards και οπτικοποιήσεις που επιτρέπουν την άμεση και εύληπτη ενημέρωση των υπευθύνων, υποστηρίζοντας τη γρήγορη λήψη αποφάσεων.

6.3.4 Πειραματική αξιολόγηση

Στο στάδιο της πειραματικής αξιολόγησης το προτεινόμενο DSS δοκιμάζεται με τη χρήση ιστορικών δεδομένων έργων, ώστε να ελεγχθεί η λειτουργικότητα και η αξιοπιστία του.

Γίνεται σύγκριση των προβλέψεων των αλγορίθμων με τα πραγματικά αποτελέσματα των έργων, προκειμένου να αξιολογηθεί η ακρίβεια των μοντέλων.

Παράλληλα, εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος τόσο στη φάση της ανάθεσης όσο και στη φάση της παρακολούθησης της υλοποίησης.

Με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, πραγματοποιείται προσαρμογή και βελτιστοποίηση των αλγορίθμων και των διαδικασιών του συστήματος.

6.4 Μεθοδολογικές αρχές

6.4.1 Αντικειμενικότητα

Η ερευνητική διαδικασία βασίζεται στη χρήση αξιόπιστων δεδομένων, τεκμηριωμένων δεικτών και αναλυτικών μεθόδων, με στόχο τη μείωση της επίδρασης υποκειμενικών εκτιμήσεων. Οι αξιολογήσεις και τα συμπεράσματα προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων και την εφαρμογή κατάλληλων αναλυτικών μοντέλων, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και αμεροληψία.

6.4.2 Συστηματικότητα

Η έρευνα ακολουθεί μια δομημένη και οργανωμένη διαδικασία, στην οποία κάθε στάδιο υλοποιείται βάσει προκαθορισμένων βημάτων και σαφών μεθοδολογικών κανόνων. Η συλλογή, η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιούνται με συνέπεια και τεκμηρίωση, διασφαλίζοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

6.4.3 Επαναληψιμότητα

Οι μέθοδοι, τα εργαλεία και τα μοντέλα που αναπτύσσονται περιγράφονται με επαρκή λεπτομέρεια, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν εκ νέου σε διαφορετικά έργα, οργανισμούς ή γεωγραφικές περιοχές. Η δυνατότητα επανάληψης της διαδικασίας επιτρέπει την επαλήθευση των αποτελεσμάτων και τη γενίκευση των συμπερασμάτων.

6.4.4 Συνδυασμός θεωρίας και πρακτικής

Η ερευνητική προσέγγιση συνδυάζει το θεωρητικό υπόβαθρο της διεθνούς βιβλιογραφίας με τις πραγματικές ανάγκες και συνθήκες εφαρμογής. Ενσωματώνονται διεθνή πρότυπα,

κανονιστικά πλαίσια και βέλτιστες πρακτικές, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται πραγματικά δεδομένα έργων και εμπειρικά ευρήματα, ώστε τα αποτελέσματα να είναι τόσο επιστημονικά τεκμηριωμένα όσο και πρακτικά αξιοποιήσιμα.

6.5 Τύπος δεδομένων

6.5.1 Πρωτογενή δεδομένα:

Τα πρωτογενή δεδομένα προκύπτουν από τη συλλογή πληροφοριών απευθείας από το πεδίο, όπως συνεντεύξεις στελεχών, ερωτηματολόγια και παρατηρήσεις κατά την υλοποίηση έργων. Τα δεδομένα αυτά αποτυπώνουν την πραγματική εμπειρία και τις πρακτικές δυσκολίες των διαδικασιών.

6.5.2 Δευτερογενή δεδομένα:

Τα δευτερογενή δεδομένα περιλαμβάνουν ιστορικά στοιχεία έργων (κόστος, χρόνος, ποιότητα, τροποποιήσεις), καθώς και επίσημη τεκμηρίωση διαδικασιών, κανονισμούς και οδηγούς καλής πρακτικής. Επιπλέον, αξιοποιούνται ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα διαχείρισης έργων υποδομής, τα οποία παρέχουν συγκριτικό και θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης. (Flyvbjerg, 2014)

6.6 Μέθοδοι ανάλυσης

6.6.1 Στατιστική ανάλυση

Χρησιμοποιείται για την επεξεργασία και διερεύνηση των δεδομένων με στόχο τον εντοπισμό τάσεων, προτύπων, αποκλίσεων και συσχετίσεων μεταξύ μεταβλητών. Μέσω περιγραφικών και επαγωγικών στατιστικών τεχνικών αξιολογούνται οι παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία και την απόδοση των έργων.

6.6.2 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Εφαρμόζεται για τη συστηματική αξιολόγηση και κατάταξη των αναδόχων ή εναλλακτικών επιλογών, συνδυάζοντας ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια. Η μέθοδος επιτρέπει τη συνεκτίμηση διαφορετικών παραγόντων, όπως το κόστος, η ποιότητα, η

εμπειρία, η αξιοπιστία και η τήρηση χρονοδιαγραμμάτων, υποστηρίζοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

6.6.3 Μηχανική μάθηση

Αξιοποιείται για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων που μπορούν να εντοπίζουν πιθανούς κινδύνους και να προβλέπουν μελλοντικές εξελίξεις. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη καθυστερήσεων στην ολοκλήρωση έργων, υπερβάσεων κόστους, καθώς και για την αξιολόγηση της απόδοσης και αξιοπιστίας των αναδόχων με βάση ιστορικά δεδομένα.

6.6.4 Ποιοτική ανάλυση περιεχομένου

Χρησιμοποιείται για τη συστηματική μελέτη συνεντεύξεων, αναφορών, θεσμικών κειμένων και λοιπών εγγράφων. Μέσω της κωδικοποίησης και της θεματικής ανάλυσης εντοπίζονται βασικά μοτίβα, αντιλήψεις, προκλήσεις και βέλτιστες πρακτικές, συμβάλλοντας στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και γνώσης για το υπό μελέτη αντικείμενο.

6.7 Σύνδεση με τους στόχους της ΜΔΕ

Ο αναλυτικός ερευνητικός σχεδιασμός συμβάλλει στη συστηματική τεκμηρίωση των προβλημάτων και των ερευνητικών κενών που εντοπίζονται στις υφιστάμενες διαδικασίες.

Παράλληλα, επιτρέπει την αξιολόγηση της Τεχνητής Νοημοσύνης ως εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων, εξετάζοντας την πρακτική της εφαρμογή σε πραγματικά σενάρια. (Adebayo et al., 2025)

Τέλος, συνδυάζει θεωρητικό υπόβαθρο, τεχνολογικές προσεγγίσεις και πρακτική εφαρμογή, διασφαλίζοντας τόσο την επιστημονική τεκμηρίωση όσο και την εφαρμοσμένη αξία της ΜΔΕ.

6.8 Συλλογή και περιγραφή δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής και περιγραφής δεδομένων αποτελεί κρίσιμο στάδιο της ΜΔΕ, καθώς η ποιότητα, η πληρότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εγκυρότητα των συμπερασμάτων και την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ). Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται τόσο από πρωτογενείς όσο και από δευτερογενείς πηγές, ενώ η περιγραφή τους στοχεύει στην αναλυτική αποτύπωση των χαρακτηριστικών κάθε έργου και των παραμέτρων που επηρεάζουν την επιτυχή υλοποίηση. (Adebayo et al., 2025)

6.9 Πρωτογενή δεδομένα

Τα πρωτογενή δεδομένα συλλέγονται απευθείας από τους φορείς και τα στελέχη που συμμετέχουν στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής. Η συλλογή τους περιλαμβάνει: (Flyvbjerg, 2014)

- **Συνεντεύξεις με υπεύθυνους έργων και τεχνικές υπηρεσίες:** Μέσω δομημένων και ημιδομημένων ερωτήσεων καταγράφονται εμπειρίες, δυσκολίες και προτάσεις βελτίωσης. Οι συνεντεύξεις δίνουν πληροφορίες για το πώς οι αποφάσεις λαμβάνονται στην πράξη, ποιες πρακτικές ακολουθούνται και ποιες αδυναμίες εντοπίζονται σε πραγματικό χρόνο.
- **Ερωτηματολόγια σε αναθέτουσες αρχές και αναδόχους:** Σκοπός είναι η ποσοτικοποίηση στοιχείων όπως η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαδικασιών, η εμπειρία με υπερβάσεις κόστους και καθυστερήσεις, και η υποστήριξη προγνωστικών εργαλείων με ποσοτικά δεδομένα. Τα ερωτηματολόγια περιλαμβάνουν κλειστές και ανοιχτές ερωτήσεις ώστε να καταγραφούν τόσο μετρήσιμα μεγέθη όσο και ποιοτικές παρατηρήσεις. (Flyvbjerg, 2014)
- **Παρατηρήσεις σε διαδικασίες υλοποίησης:** Η άμεση παρατήρηση των διαδικασιών ανάθεσης και παρακολούθησης επιτρέπει τον εντοπισμό αποκλίσεων από τις τυπικές διαδικασίες και την καταγραφή παραγόντων που συχνά δεν καταγράφονται σε έγγραφα, όπως η επικοινωνία μεταξύ εμπλεκόμενων φορέων ή η διαχείριση κρίσιμων σημείων καθυστέρησης.

Τα πρωτογενή δεδομένα είναι κρίσιμα για την κατανόηση της πραγματικής λειτουργίας του συστήματος και για τη διαμόρφωση των αλγορίθμων ΤΝ, καθώς παρέχουν πληροφορίες που δεν προκύπτουν από ιστορικά στοιχεία.

6.10 Δευτερογενή δεδομένα

Τα δευτερογενή δεδομένα περιλαμβάνουν στοιχεία που έχουν ήδη συλλεχθεί και καταγραφεί από προηγούμενες δράσεις ή επίσημες πηγές. Στην παρούσα ΜΔΕ, τα δευτερογενή δεδομένα προέρχονται από:

- **Ιστορικά στοιχεία έργων υποδομής:** Δεδομένα κόστους, χρονοδιαγράμματος, τροποποιήσεων συμβάσεων, πιστοποιήσεων εργασιών, αναφορών προόδου και δεικτών ποιότητας. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν την ανάλυση τάσεων, την εκτίμηση κινδύνων και τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων με ΤΝ. (Flyvbjerg, 2014)
- **Συμβατικά και θεσμικά έγγραφα:** Οι συμβάσεις, οι εγκύκλιοι και οι κανονισμοί παρέχουν το νομικό και λειτουργικό πλαίσιο μέσα στο οποίο υλοποιούνται τα έργα. Η ανάλυση τους βοηθά στον εντοπισμό σημείων ασαφούς εφαρμογής ή αμφισημιών στις διαδικασίες.
- **Δεδομένα από ηλεκτρονικά συστήματα διαχείρισης έργων:** Πλατφόρμες όπως το ΕΣΗΔΗΣ και το ΚΗΜΔΗΣ παρέχουν πληροφορίες για διαδικασίες ανάθεσης, υποβολή προσφορών, τροποποιήσεις και πορεία υλοποίησης. Η συλλογή τους επιτρέπει την ενοποίηση δεδομένων και τη δημιουργία μιας ενιαίας βάσης γνώσης.
- **Δημοσιευμένα διεθνή πρότυπα και οδηγίες βέλτιστων πρακτικών:** Αυτά τα δεδομένα χρησιμεύουν ως σημείο αναφοράς για τη σύγκριση και αξιολόγηση των ελληνικών διαδικασιών, καθώς και για την ενσωμάτωση διεθνών πρακτικών στο προτεινόμενο DSS.

Τα δευτερογενή δεδομένα είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων και την εξαγωγή δεικτών απόδοσης που βασίζονται σε πραγματικά, ιστορικά στοιχεία.

6.11 Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων

Η περιγραφή των δεδομένων περιλαμβάνει:

6.11.1 Κατηγοριοποίηση έργων

Τα έργα ταξινομούνται με βάση τον τύπο της υποδομής, όπως οδικά, σιδηροδρομικά, υδραυλικά ή άλλα τεχνικά έργα, καθώς και σύμφωνα με το μέγεθος, την πολυπλοκότητα και τον συνολικό προϋπολογισμό τους. Η κατηγοριοποίηση αυτή διευκολύνει τη συγκριτική ανάλυση μεταξύ έργων με παρόμοια χαρακτηριστικά και συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοσή τους.

6.11.2 Κατηγοριοποίηση αποκλίσεων

Οι αποκλίσεις καταγράφονται και αναλύονται ανάλογα με τη φύση και την έκτασή τους. Βασικές κατηγορίες αποτελούν οι χρονικές καθυστερήσεις, οι υπερβάσεις κόστους, τα προβλήματα ποιότητας, καθώς και οι τροποποιήσεις ή συμπληρώσεις συμβάσεων κατά τη διάρκεια υλοποίησης των έργων. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό των συχνότερων αιτιών απόκλισης και την ανάπτυξη κατάλληλων μηχανισμών πρόληψης και διαχείρισης (Bent Flyvbjerg, 2014).

6.11.3 Χαρακτηριστικά αναδόχων

Η αξιολόγηση των αναδόχων βασίζεται σε ένα σύνολο ποιοτικών και ποσοτικών δεικτών, όπως το ιστορικό επιδόσεων, η συνέπεια στην τήρηση χρονοδιαγραμμάτων, η οικονομική και τεχνική επάρκεια, η αξιοπιστία, καθώς και η προηγούμενη εμπειρία σε έργα αντίστοιχου αντικειμένου και κλίμακας. Η ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών συμβάλλει στην εκτίμηση της πιθανότητας επιτυχούς ολοκλήρωσης ενός έργου.

6.11.4 Χαρακτηριστικά διαδικασιών

Εξετάζονται παράγοντες που σχετίζονται με τη διοικητική και οργανωτική διάσταση της υλοποίησης των έργων, όπως οι χρόνοι έγκρισης, ο αριθμός και η συχνότητα των ελέγχων, οι διαδικασίες εποπτείας, καθώς και οι μέθοδοι παρακολούθησης και αναφοράς προόδου. Η μελέτη των διαδικασιών αυτών επιτρέπει την αξιολόγηση της

αποτελεσματικότητας του συστήματος διαχείρισης και τον εντοπισμό σημείων που ενδέχεται να προκαλέσουν καθυστερήσεις ή δυσλειτουργίες.

Η ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνει τον εντοπισμό συσχετίσεων μεταξύ διαφορετικών παραμέτρων, τη δημιουργία δεικτών απόδοσης (π.χ. CPI – Cost Performance Index, SPI – Schedule Performance Index) και τη διαμόρφωση συνόλων εκπαίδευσης για τα μοντέλα TN.

6.12 Ποιότητα και αξιοπιστία δεδομένων

Η εγκυρότητα των συμπερασμάτων της ανάλυσης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται.

Αρχικά, απαιτείται πληρότητα δεδομένων, μέσω ελέγχου για ελλείποντα στοιχεία ή πιθανές ανακρίβειες. Εξίσου σημαντική είναι η συνέπεια, δηλαδή η εναρμόνιση δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, όπως συμβατικά έγγραφα και πληροφοριακά συστήματα.

Παράλληλα, διασφαλίζεται η αξιοπιστία μέσω διασταύρωσης πληροφοριών από πολλαπλές πηγές (triangulation), ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος σφαλμάτων.

Τέλος, εφαρμόζεται διαχείριση ανωμαλιών, με στόχο τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση ακραίων ή αντιφατικών δεδομένων πριν από την ανάλυση.

Η διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη αξιόπιστων προγνωστικών μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης. (Adebayo et al., 2025)

6.13 Συμπερασματική αποτίμηση

Η συλλογή και ανάλυση δεδομένων συνδυάζει εμπειρική γνώση και ιστορική τεκμηρίωση, δημιουργώντας μια ολοκληρωμένη βάση για:

- Την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων και DSS.

- Την αξιολόγηση των αναδόχων και των διαδικασιών.
- Τη βελτιστοποίηση της παρακολούθησης έργων και τη μείωση κινδύνων.
- Την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων με διαφάνεια και αντικειμενικότητα.

Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων θα αποτελέσει το θεμέλιο για τα επόμενα στάδια της ΜΔΕ: **την ανάπτυξη του μοντέλου TN, την προσομοίωση λειτουργίας και την πειραματική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.**

6.14 Προ επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων

Η προ επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων αποτελεί κρίσιμο στάδιο της ΜΔΕ, καθώς εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται – τόσο πρωτογενή όσο και δευτερογενή – είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Χωρίς σωστή προ επεξεργασία, τα δεδομένα μπορεί να περιέχουν θόρυβο, ελλείψεις ή ασυνέπειες που θα υπονομεύσουν την ακρίβεια των προβλέψεων και την εγκυρότητα της ανάλυσης. (Adebayo et al., 2025)

6.15 Προ επεξεργασία δεδομένων

Η προ επεξεργασία αποτελεί το πρώτο βήμα και περιλαμβάνει πολλές φάσεις:

6.15.1 Καθαρισμός δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορες πηγές μπορεί να είναι ανομοιογενή ή να περιέχουν σφάλματα. Ο καθαρισμός περιλαμβάνει:

- **Αντιμετώπιση ελλিপών τιμών:** Οι κενές τιμές σε πίνακες κόστους, χρονοδιαγράμματος ή ποιοτικής αξιολόγησης συμπληρώνονται με στατιστικές μεθόδους (π.χ. μέση τιμή, median imputation) ή εκτιμώνται με τεχνικές πρόβλεψης (predictive imputation).
- **Διόρθωση σφαλμάτων εισαγωγής:** Εντοπισμός ακραίων τιμών ή λογικών αντιφάσεων (π.χ. έργο που δηλώνεται ότι ολοκληρώθηκε πριν την ημερομηνία έναρξής του).

- **Κανονικοποίηση μορφής δεδομένων:** Ενοποίηση μονάδων μέτρησης (π.χ. χιλιάδες €, μέτρα μήκους) και ημερομηνιών ώστε να είναι συμβατά μεταξύ διαφορετικών πηγών.

6.15.2 Ενοποίηση δεδομένων

Τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικές πηγές: ΕΣΗΔΗΣ, ΚΗΜΔΗΣ, τεχνικές υπηρεσίες, BIM, συμβάσεις και συνεντεύξεις. Η ενοποίηση περιλαμβάνει: (Eastman et al., 2018)

- Συγχώνευση δεδομένων με βάση μοναδικούς αναγνωριστικούς δείκτες έργων.
- Κατηγοριοποίηση έργων ανά τύπο υποδομής, προϋπολογισμό και μέγεθος.
- Δημιουργία ενιαίου πίνακα δεδομένων που περιέχει όλες τις σχετικές παραμέτρους για κάθε έργο (κόστος, χρονοδιάγραμμα, τροποποιήσεις, KPI αναδόχου).

6.15.3 Μετασχηματισμός δεδομένων για TN

Για τη χρήση των δεδομένων σε μοντέλα μηχανικής μάθησης, απαιτούνται ειδικοί μετασχηματισμοί: (Russell & Norvig, 2021)

- **Κωδικοποίηση κατηγορικών μεταβλητών (categorical encoding):** π.χ. τύπος έργου, κατηγορία αναδόχου.
- **Κανονικοποίηση ή τυποποίηση αριθμητικών δεδομένων:** για τη βελτίωση της απόδοσης αλγορίθμων που ευαίσθητοι σε εύρος τιμών (π.χ. neural networks).
- **Δημιουργία δεικτών απόδοσης** (performance indices) όπως CPI (Cost Performance Index) και SPI (Schedule Performance Index).
- **Κατασκευή χαρακτηριστικών (feature engineering):** π.χ. αριθμός τροποποιήσεων ανά μήνα, ποσοστό καθυστέρησης ανά φάση έργου, συνδυασμός δεικτών κόστους και χρόνου.

Η σωστή προετοιμασία των δεδομένων αυξάνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των προγνωστικών μοντέλων TN.

6.15.4 Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση δεδομένων πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα: **εξερευνητική και προγνωστική**.

6.15.5 Εξερευνητική ανάλυση (Exploratory Data Analysis – EDA)

Στόχος είναι η κατανόηση της δομής και των σχέσεων των δεδομένων:

6.15.6 Στατιστική περιγραφή

Η αρχική διερεύνηση των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω περιγραφικών στατιστικών μεθόδων, όπως οι μέσοι όροι, οι διάμεσοι τιμές, οι τυπικές αποκλίσεις και οι διακυμάνσεις. Παράλληλα, υπολογίζονται δείκτες που αφορούν τα ποσοστά υπερβάσεων κόστους, τις χρονικές καθυστερήσεις και άλλες κρίσιμες μεταβλητές απόδοσης των έργων. Η διαδικασία αυτή παρέχει μια συνοπτική αλλά ουσιαστική εικόνα των βασικών χαρακτηριστικών του συνόλου των δεδομένων.

6.15.7 Οπτικοποίηση δεδομένων

Η οπτικοποίηση αξιοποιείται για την αποτελεσματικότερη κατανόηση και ερμηνεία των δεδομένων. Χρησιμοποιούνται διαγράμματα κατανομής για την αποτύπωση της συχνότητας εμφάνισης συγκεκριμένων τιμών, διαγράμματα διασποράς (scatter plots) για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μεταβλητών, όπως το κόστος και ο χρόνος υλοποίησης, καθώς και θερμικοί χάρτες (heatmaps) για την απεικόνιση συσχετίσεων μεταξύ δεικτών ποιότητας, χαρακτηριστικών έργων και επιδόσεων αναδόχων. Μέσω των γραφικών απεικονίσεων καθίσταται ευκολότερος ο εντοπισμός προτύπων και τάσεων.

6.15.8 Ανίχνευση σχέσεων και συσχετίσεων

Η ανάλυση εστιάζει στον εντοπισμό παραγόντων που επηρεάζουν σημαντικά την επιτυχία ή την αποδοτικότητα ενός έργου. Μέσω στατιστικών δεικτών συσχέτισης και αναλυτικών μοντέλων εξετάζονται οι σχέσεις μεταξύ μεταβλητών, όπως η εμπειρία του αναδόχου, ο αριθμός τροποποιήσεων της σύμβασης, η πολυπλοκότητα του έργου και η τελική απόδοσή του. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στην αναγνώριση κρίσιμων παραγόντων κινδύνου και επιτυχίας.

6.15.9 Ανίχνευση ακραίων τιμών (Outlier Detection)

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον εντοπισμό ακραίων ή ασυνήθιστων περιπτώσεων που αποκλίνουν σημαντικά από τη γενική συμπεριφορά των δεδομένων. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να αφορούν έργα με εξαιρετικά μεγάλες καθυστερήσεις, σημαντικές υπερβάσεις κόστους ή ασυνήθιστα υψηλές επιδόσεις. Η ανάλυση των ακραίων τιμών συμβάλλει τόσο στην καλύτερη κατανόηση των ειδικών συνθηκών που οδήγησαν στις αποκλίσεις όσο και στη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των προγνωστικών μοντέλων που αναπτύσσονται στο πλαίσιο της έρευνας.

6.15.10 Προγνωστική ανάλυση με TN

Μετά την προετοιμασία των δεδομένων, εφαρμόζονται μοντέλα μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη πιθανών αποκλίσεων: (Russell & Norvig, 2021)

6.15.11 Κατηγοριοποίηση (Classification)

Οι τεχνικές κατηγοριοποίησης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της πιθανής έκβασης ενός έργου βάσει ιστορικών δεδομένων και χαρακτηριστικών του. Ειδικότερα, τα μοντέλα εκπαιδεύονται ώστε να ταξινομήσουν τα έργα σε κατηγορίες, όπως «εντός χρονοδιαγράμματος» ή «εκτός χρονοδιαγράμματος», καθώς και «εντός προϋπολογισμού» ή «με υπέρβαση προϋπολογισμού». Με τον τρόπο αυτό παρέχεται έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους και διευκολύνεται η λήψη διορθωτικών μέτρων.

6.15.12 Παλινδρόμηση (Regression)

Οι μέθοδοι παλινδρόμησης εφαρμόζονται για την ποσοτική εκτίμηση κρίσιμων δεικτών απόδοσης των έργων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του μεγέθους των υπερβάσεων κόστους, της διάρκειας πιθανών καθυστερήσεων ή άλλων μετρήσιμων αποκλίσεων. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε απόλυτες τιμές (π.χ. ημέρες καθυστέρησης ή χρηματικό κόστος) ή σε ποσοστιαίες μεταβολές, παρέχοντας ακριβέστερη εικόνα των αναμενόμενων επιπτώσεων.

6.15.13 Ανίχνευση ανωμαλιών (Anomaly Detection)

Η ανίχνευση ανωμαλιών στοχεύει στον εντοπισμό έργων που παρουσιάζουν ασυνήθιστα

χαρακτηριστικά ή αποκλίσεις σε σχέση με το σύνολο των δεδομένων. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να αφορούν υπερβολικές καθυστερήσεις, σημαντικές υπερβάσεις κόστους ή μη αναμενόμενα πρότυπα απόδοσης. Η έγκαιρη αναγνώριση αυτών των περιπτώσεων συμβάλλει στη διερεύνηση των αιτίων τους και στην ενίσχυση των μηχανισμών ελέγχου και διαχείρισης κινδύνων.

6.15.14 Πολυκριτηριακή αξιολόγηση αναδόχων

Η αξιολόγηση των αναδόχων βασίζεται στη συνδυαστική ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων και ιστορικών δεδομένων από προηγούμενα έργα. Παράγοντες όπως η συνέπεια στην τήρηση χρονοδιαγραμμάτων, η διαχείριση του κόστους, η ποιότητα των παραδοτέων, η εμπειρία και η αξιοπιστία συνεκτιμώνται για τη δημιουργία σύνθετων δεικτών απόδοσης. Οι δείκτες αυτοί επιτρέπουν την αντικειμενικότερη αποτίμηση της ικανότητας των αναδόχων και την πρόβλεψη της μελλοντικής τους απόδοσης σε νέα έργα, υποστηρίζοντας αποτελεσματικότερες διαδικασίες επιλογής και ανάθεσης.

Η προγνωστική ανάλυση δίνει τη δυνατότητα στο DSS να παρέχει έγκαιρες ειδοποιήσεις, να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων και να βελτιώνει τη διαχείριση κινδύνων.

6.16 Συμπεράσματα από την ανάλυση

Η ανάλυση των δεδομένων αναδεικνύει τη σημασία της σωστής προεπεξεργασίας, καθώς διασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι καθαρά, συνεπή και κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία.

Η εξερευνητική ανάλυση συμβάλλει στον εντοπισμό σημαντικών μοτίβων και συσχετίσεων, οι οποίες επηρεάζουν καθοριστικά την επιτυχή υλοποίηση των έργων.

Η προγνωστική ανάλυση με χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης παρέχει αξιόπιστες προβλέψεις, έγκαιρες προειδοποιήσεις και τεκμηριωμένες προτάσεις βελτίωσης της διαδικασίας. (Adebayo et al., 2025)

Τέλος, ο συνδυασμός ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων οδηγεί στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου DSS, το οποίο συνδυάζει την ανθρώπινη κρίση με την τεχνολογική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων.

6.17 Επιλογή αλγορίθμων TN

Η επιλογή των κατάλληλων αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο για την ανάπτυξη του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) στη διαχείριση και παρακολούθηση έργων υποδομής. Οι αλγόριθμοι επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, τους στόχους της ανάλυσης, την απαιτούμενη ακρίβεια πρόβλεψης και τη δυνατότητα εξηγησιμότητας των αποτελεσμάτων. (Adebayo et al., 2025)

Η ανάλυση της επιλογής αλγορίθμων χωρίζεται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τη φύση του προβλήματος:

6.18 Προβλήματα κατηγοριοποίησης (Classification)

Στην περίπτωση έργων υποδομής, τα ερευνητικά ερωτήματα μπορούν να διακριθούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες πρόβλεψης και αξιολόγησης. (Flyvbjerg, 2014)

Αρχικά, εξετάζεται αν ένα έργο θα ολοκληρωθεί εντός ή εκτός του προβλεπόμενου χρονοδιαγράμματος, με βάση δεδομένα προόδου και ιστορικά πρότυπα καθυστερήσεων.

Επιπλέον, διερευνάται η πιθανότητα υπέρβασης του προϋπολογισμού πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο, λαμβάνοντας υπόψη οικονομικές αποκλίσεις και παρελθοντική συμπεριφορά παρόμοιων έργων.

Τέλος, πραγματοποιείται κατηγοριοποίηση των αναδόχων σε επίπεδα αξιοπιστίας (υψηλή, μέτρια ή χαμηλή), με στόχο την υποστήριξη πιο τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά τη διαδικασία ανάθεσης.

Για αυτά τα προβλήματα προτείνονται αλγόριθμοι όπως: (Russell & Norvig, 2021)

- **Random Forest:** Ισχυρός, ανθεκτικός σε θόρυβο, κατάλληλος για δεδομένα με πολλές μεταβλητές και κατηγορίες.
- **Support Vector Machines (SVM):** Κατάλληλος για διαχωρισμό κατηγοριών, ιδιαίτερα όταν τα δεδομένα δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα.
- **Logistic Regression:** Απλός και επεξηγήσιμος, χρήσιμος όταν απαιτείται τεκμηρίωση των παραγόντων που επηρεάζουν την απόφαση.

Η κατηγοριοποίηση επιτρέπει στο DSS να παρέχει έγκαιρες ειδοποιήσεις για έργα υψηλού κινδύνου.

6.19 Προβλήματα πρόβλεψης συνεχών τιμών (Regression)

Ορισμένες παράμετροι, όπως το τελικό κόστος ή η διάρκεια ενός έργου, είναι συνεχείς και απαιτούν εκτίμηση αριθμητικών τιμών. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν: (Russell & Norvig, 2021)

- **Linear Regression / Multiple Regression:** Κατάλληλοι για ανάλυση σχέσεων μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών.
- **Gradient Boosting Machines (GBM):** Παρέχουν υψηλή ακρίβεια και ανθεκτικότητα σε μη γραμμικές σχέσεις.
- **Neural Networks:** Ικανά να αναγνωρίζουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ μεταβλητών και να ενσωματώνουν πολλαπλά χαρακτηριστικά ταυτόχρονα.

Η πρόβλεψη συνεχών τιμών είναι κρίσιμη για την εκτίμηση πιθανών υπερβάσεων κόστους και καθυστερήσεων, επιτρέποντας την προληπτική λήψη μέτρων. (Wang et al., 2019)

6.20 Ανίχνευση ανωμαλιών (Anomaly Detection)

Η ανίχνευση ανωμαλιών βοηθά στον εντοπισμό έργων ή συμβάσεων που παρουσιάζουν αποκλίσεις από τα συνήθη μοτίβα. Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι όπως: (Russell & Norvig, 2021)

- **Isolation Forest:** Αποτελεσματικός σε μεγάλες βάσεις δεδομένων και για εντοπισμό μη φυσιολογικών περιπτώσεων.
- **One-Class SVM:** Εντοπίζει ασυνήθιστες περιπτώσεις βάσει των χαρακτηριστικών των έργων.
- **Local Outlier Factor (LOF):** Αναγνωρίζει τοπικές ανωμαλίες που μπορεί να υποδηλώνουν κινδύνους ή προβληματικές διαδικασίες.

Η ανίχνευση ανωμαλιών ενισχύει την παρακολούθηση έργων και τη διαχείριση κινδύνων, παρέχοντας πληροφορίες για ειδικές περιπτώσεις που χρειάζονται ανθρώπινη παρέμβαση.

6.21 Πολυκριτηριακή αξιολόγηση και συνδυαστικά μοντέλα

Για την αξιολόγηση αναδόχων και διαδικασιών:

6.21.1 Συνδυασμός μοντέλων κατηγοριοποίησης και παλινδρόμησης

Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης (classification) και παλινδρόμησης (regression) εφαρμόζονται συμπληρωματικά για τη δημιουργία σύνθετων δεικτών αξιοπιστίας και απόδοσης. Τα μοντέλα κατηγοριοποίησης εκτιμούν την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων γεγονότων, όπως καθυστερήσεις ή υπερβάσεις κόστους, ενώ τα μοντέλα παλινδρόμησης υπολογίζουν το αναμενόμενο μέγεθος αυτών των αποκλίσεων. Ο συνδυασμός των δύο προσεγγίσεων επιτρέπει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κινδύνων και των προοπτικών επιτυχίας κάθε έργου ή αναδόχου (Russell & Norvig, 2021).

6.21.2 Εφαρμογή μεθόδων συνόλου (Ensemble Methods)

Για τη βελτίωση της προγνωστικής ικανότητας των μοντέλων χρησιμοποιούνται μέθοδοι συνόλου (ensemble learning), οι οποίες συνδυάζουν τα αποτελέσματα πολλών αλγορίθμων. Ενδεικτικά, η αξιοποίηση τεχνικών όπως τα Random Forest και Gradient Boosting επιτρέπει τη μείωση του κινδύνου υπερπροσαρμογής (overfitting), την αύξηση της σταθερότητας των προβλέψεων και τη βελτίωση της συνολικής ακρίβειας του

συστήματος. Η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε πιο αξιόπιστα και γενικεύσιμα αποτελέσματα, ακόμη και σε σύνθετα και ετερογενή σύνολα δεδομένων.

6.21.3 Ανάλυση σημαντικότητας χαρακτηριστικών και ερμηνευσιμότητα

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των μοντέλων εφαρμόζονται τεχνικές ανάλυσης σημαντικότητας χαρακτηριστικών (feature importance). Μέσω αυτών προσδιορίζονται οι μεταβλητές που επηρεάζουν περισσότερο τις προβλέψεις, όπως η εμπειρία του αναδόχου, ο προϋπολογισμός, η πολυπλοκότητα του έργου ή ο αριθμός τροποποιήσεων της σύμβασης. Η διαδικασία αυτή ενισχύει την **ερμηνευσιμότητα** των αποτελεσμάτων και συμβάλλει στην ανάπτυξη συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης με μεγαλύτερη διαφάνεια και λογοδοσία, σύμφωνα με τις αρχές του Explainable AI (XAI). Επιπλέον, επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κατανοούν τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν στις προβλέψεις και να αξιοποιούν αποτελεσματικότερα τα παραγόμενα ευρήματα.

6.22 Κριτήρια επιλογής αλγορίθμων

Η επιλογή κάθε αλγορίθμου βασίζεται σε:

6.22.1 Φύση των δεδομένων

Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων δεδομένων. Εξετάζεται εάν τα δεδομένα είναι αριθμητικά ή κατηγορικά, πλήρη ή ελλιπή, καθώς και ο βαθμός ομοιογένειας ή ετερογένειάς τους. Παράλληλα, λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη ελλειπουσών τιμών, ακραίων παρατηρήσεων και διαφορετικών πηγών πληροφόρησης, ώστε να επιλεγούν τεχνικές που μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά την πολυπλοκότητα των δεδομένων.

6.22.2 Ακρίβεια προβλέψεων

Κεντρικό κριτήριο αποτελεί η ικανότητα των μοντέλων να παράγουν αξιόπιστες και ακριβείς προβλέψεις σχετικά με κρίσιμους δείκτες απόδοσης των έργων. Ειδικότερα, αξιολογείται η δυνατότητα πρόβλεψης καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους, προβλημάτων ποιότητας και της συνολικής απόδοσης των αναδόχων. Η υψηλή

προγνωστική ακρίβεια είναι καθοριστική για την αποτελεσματική διαχείριση κινδύνων και τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων στον τομέα των δημοσίων έργων (Flyvbjerg, 2014).

6.22.3 Ερμηνευσιμότητα και διαφάνεια

Δεδομένου ότι τα αποτελέσματα των μοντέλων ενδέχεται να επηρεάζουν κρίσιμες δημόσιες αποφάσεις, ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην ερμηνευσιμότητα των προβλέψεων. Τα μοντέλα πρέπει να παρέχουν σαφείς ενδείξεις για τους παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματά τους, επιτρέποντας στους αρμόδιους φορείς να κατανοούν και να τεκμηριώνουν τις αποφάσεις τους. Η διαφάνεια αυτή ενισχύει τη λογοδοσία, την εμπιστοσύνη των ενδιαφερόμενων μερών και τη συμμόρφωση με τις αρχές της υπεύθυνης χρήσης της Τεχνητής Νοημοσύνης.

6.22.4 Υπολογιστική απόδοση και κλιμάκωση

Τα επιλεγμένα μοντέλα οφείλουν να διαχειρίζονται αποτελεσματικά μεγάλους όγκους δεδομένων που προέρχονται από πλήθος έργων, συμβάσεων και διοικητικών διαδικασιών. Για τον λόγο αυτό αξιολογούνται η ταχύτητα επεξεργασίας, οι απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους και η δυνατότητα κλιμάκωσης σε ευρύτερα πληροφοριακά περιβάλλοντα. Η υψηλή υπολογιστική απόδοση διασφαλίζει την έγκαιρη παραγωγή αποτελεσμάτων και την πρακτική αξιοποίηση των μοντέλων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Η συνδυαστική χρήση αλγορίθμων, ανάλογα με τον τύπο προβλήματος, διασφαλίζει ότι το DSS μπορεί να υποστηρίζει αποτελεσματικά τις αποφάσεις στη διαχείριση έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

6.22.5 Συμπερασματική αξιολόγηση

Η επιλογή αλγορίθμων TN αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμη γνώση. Με τη σωστή αντιστοίχιση αλγορίθμου σε κάθε τύπο προβλήματος (κατηγοριοποίηση, πρόβλεψη, ανίχνευση ανωμαλιών) και τη χρήση τεχνικών εξηγησιμότητας, το DSS αποκτά τη δυνατότητα:

- Να παρέχει έγκαιρες και τεκμηριωμένες ειδοποιήσεις για έργα υψηλού κινδύνου.
- Να βελτιώνει τη διαφάνεια και την αντικειμενικότητα στις διαδικασίες ανάθεσης.
- Να ενισχύει την πρόβλεψη αποκλίσεων κόστους και χρόνου. (Wang et al., 2019)
- Να δημιουργεί δείκτες απόδοσης αναδόχων για μακροπρόθεσμη χρήση.

6.22.6 Ανάπτυξη προτεινόμενου μοντέλου / πλαισίου

Η ανάπτυξη του προτεινόμενου μοντέλου στοχεύει στη δημιουργία ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS), το οποίο αξιοποιεί την Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, τη διαφάνεια και την αξιοπιστία στη διαχείριση και παρακολούθηση έργων υποδομής. Το πλαίσιο ενσωματώνει διαδικασίες, δεδομένα και αλγορίθμους TN σε ένα συνεκτικό σύστημα που καλύπτει όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των έργων. (Flyvbjerg, 2014)

6.22.6.1 Κεντρική βάση δεδομένων και ενοποίηση πληροφοριών

Η βάση δεδομένων αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του μοντέλου, συγκεντρώνοντας πληροφορίες σχετικά με τα έργα, τους αναδόχους, τις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης, καθώς και ιστορικά δεδομένα. Η ενοποίηση διασφαλίζει συνοχή και πληρότητα, παρέχει μια ενιαία πηγή για όλα τα υποσυστήματα και επιτρέπει την εκτέλεση αναλύσεων χωρίς να υπάρχουν ασυνέπειες ή διπλοκαταχωρήσεις. Μέσω της βάσης, το DSS μπορεί να αξιοποιεί τα δεδομένα για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων και την παρακολούθηση δεικτών απόδοσης.

6.22.6.2 Ενσωμάτωση αλγορίθμων TN

Το μοντέλο εφαρμόζει αλγορίθμους classification για να προβλέπει αν έργα ενδέχεται να παρουσιάσουν καθυστερήσεις ή υπερβάσεις κόστους, regression για την εκτίμηση ακριβούς ύψους καθυστέρησης ή υπέρβασης και anomaly detection για τον εντοπισμό έργων με ασυνήθιστες αποκλίσεις. Η συνδυαστική χρήση των αλγορίθμων αυτών εξασφαλίζει ότι καλύπτονται τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές παράμετροι, προσφέροντας ολοκληρωμένη και αξιόπιστη προγνωστική υποστήριξη. (Flyvbjerg, 2014)

6.22.6.3 Διαδραστική διεπαφή χρήστη (dashboard)

Η διεπαφή παρέχει σε πραγματικό χρόνο εικόνα της προόδου των έργων, των αποκλίσεων από τον προγραμματισμό, των υπερβάσεων κόστους και των δεικτών απόδοσης αναδόχων. Οι χρήστες μπορούν να βλέπουν συνοπτικές πληροφορίες ή να πραγματοποιούν λεπτομερή ανάλυση (drill-down) σε μεμονωμένα έργα ή παραμέτρους. Η διεπαφή είναι σχεδιασμένη για να είναι φιλική και κατανοητή, χωρίς να απαιτείται ειδική γνώση TN, διασφαλίζοντας την ευρεία αξιοποίησή της από όλες τις εμπλεκόμενες υπηρεσίες.

6.22.6.4 Προληπτική διαχείριση κινδύνου

Το DSS μπορεί να προβλέψει πιθανές καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους και προβληματικές διαδικασίες, επιτρέποντας στους υπεύθυνους έργων να προβαίνουν σε έγκαιρη παρέμβαση. Η δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης μειώνει τον παράγοντα αβεβαιότητας, ενισχύει τη διαφάνεια και διευκολύνει στρατηγικές αποφάσεις, όπως η ανακατανομή πόρων ή η προσαρμογή χρονοδιαγραμμάτων. (Flynbjerg, 2014)

6.22.6.5 Κύκλος ανατροφοδότησης και συνεχούς μάθησης

Κάθε ολοκληρωμένο έργο τροφοδοτείται εκ νέου στη βάση δεδομένων, επιτρέποντας στα μοντέλα TN να ενημερώνονται και να βελτιώνονται συνεχώς. Η συνεχής ανατροφοδότηση αυξάνει την ακρίβεια των προβλέψεων, μειώνει τα λάθη και βελτιώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα του DSS, δημιουργώντας ένα δυναμικό σύστημα μάθησης που προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες των έργων υποδομής. (Flynbjerg, 2014)

6.22.6.6 Συνδυασμός θεωρίας, πρακτικής και τεχνολογίας

Το πλαίσιο ενσωματώνει διεθνή πρότυπα διαχείρισης έργων, βέλτιστες πρακτικές και την ελληνική νομοθεσία, διασφαλίζοντας ότι οι αποφάσεις βασίζονται σε τεκμηριωμένες διαδικασίες. Η σύνδεση θεωρίας και πρακτικής με σύγχρονες τεχνολογίες TN καθιστά το μοντέλο ένα ολοκληρωμένο εργαλείο υποστήριξης,

ικανό να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, να μειώσει τους κινδύνους και να ενισχύσει την αντικειμενικότητα στις διαδικασίες ανάθεσης και παρακολούθησης έργων.

6.22.6.7 Προσαρμοστικότητα και επεκτασιμότητα

Το πλαίσιο έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους έργων, διαφορετικές περιοχές και διαφορετικά μεγέθη αναθέσεων. Η επεκτασιμότητα επιτρέπει τη συνεχή ενσωμάτωση νέων δεδομένων, τη δοκιμή νέων αλγορίθμων ΤΝ και τη βελτίωση των προγνωστικών δυνατοτήτων του DSS, χωρίς να απαιτούνται σημαντικές τροποποιήσεις στη βασική αρχιτεκτονική.

6.22.7 Μετρικές αξιολόγησης και διαδικασία επικύρωσης

Η αξιολόγηση του προτεινόμενου μοντέλου και η επικύρωση των αποτελεσμάτων αποτελούν κρίσιμα στάδια για την επαλήθευση της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS). Το DSS δεν εξετάζεται μόνο ως τεχνικό εργαλείο, αλλά και ως εργαλείο λήψης αποφάσεων που επηρεάζει πραγματικά έργα υποδομής. Για το λόγο αυτό, η διαδικασία αξιολόγησης συνδυάζει ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια.

6.22.7.1 Μετρικές ακρίβειας αλγορίθμων (Performance Metrics)

Οι αλγόριθμοι classification αξιολογούνται με μετρικές όπως η ακρίβεια (accuracy), η ανάκληση (recall) και η ακρίβεια πρόβλεψης θετικών περιπτώσεων (precision). Η ακρίβεια μετράει το ποσοστό σωστών προβλέψεων σε σχέση με το σύνολο των έργων, ενώ η ανάκληση επικεντρώνεται στην ικανότητα του μοντέλου να εντοπίζει όλα τα έργα υψηλού κινδύνου.

Η συνδυαστική χρήση αυτών των δεικτών διασφαλίζει ότι το μοντέλο δεν παραλείπει κρίσιμες περιπτώσεις και ταυτόχρονα περιορίζει τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα

6.22.7.2 Μετρικές για προβλέψεις συνεχών τιμών (Regression Metrics)

Στην περίπτωση πρόβλεψης υπερβάσεων κόστους ή καθυστερήσεων, χρησιμοποιούνται δείκτες όπως το **Mean Absolute Error (MAE)** και το **Root Mean Squared Error (RMSE)**, οι οποίοι εκφράζουν τη μέση απόκλιση των προβλέψεων από τις πραγματικές τιμές. Αυτές οι μετρικές επιτρέπουν την αξιολόγηση της ακρίβειας των αριθμητικών

προβλέψεων και βοηθούν στη βελτίωση των μοντέλων.

6.22.7.3 Μετρικές ανίχνευσης ανωμαλιών (Anomaly Detection)

Για τον εντοπισμό έργων με ασυνήθιστες αποκλίσεις χρησιμοποιούνται δείκτες όπως True Positive Rate (TPR) για τον εντοπισμό πραγματικών ανωμαλιών και False Positive Rate (FPR) για την εκτίμηση ψευδών συναγερμών. Η ισορροπία μεταξύ TPR και FPR είναι κρίσιμη για να αποφεύγονται περιττές επεμβάσεις ή αμελήσεις.

6.22.7.4 Συνολική αποτελεσματικότητα DSS (System Evaluation)

Η συνολική απόδοση του DSS αξιολογείται με βάση τον αντικειμενικό αντίκτυπο στις διαδικασίες έργων, όπως η μείωση καθυστερήσεων, η έγκαιρη ανίχνευση προβληματικών έργων και η υποστήριξη των υπευθύνων στην λήψη αποφάσεων. Σε αυτή τη φάση χρησιμοποιούνται και ποιοτικά κριτήρια, όπως η αξιολόγηση της φιλικότητας του dashboard, η κατανόηση των ειδοποιήσεων και η ευκολία πρόσβασης σε κρίσιμες πληροφορίες.

6.22.7.5 Διαδικασία επικύρωσης (Validation Process)

Η επικύρωση πραγματοποιείται σε τρία στάδια:

1. Δοκιμές με ιστορικά δεδομένα: Το DSS εφαρμόζεται σε ολοκληρωμένα έργα που έχουν ήδη καταγραφεί, και τα αποτελέσματα των αλγορίθμων συγκρίνονται με τις πραγματικές εκβάσεις έργων. Αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων και την αναγνώριση αδυναμιών των μοντέλων.
2. Σενάρια προσομοίωσης (Simulation): Το σύστημα δοκιμάζεται σε υποθετικά έργα ή σε σενάρια “τι-εάν” για να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του υπό διαφορετικές συνθήκες, όπως μεγάλες καθυστερήσεις ή σημαντικές υπερβάσεις κόστους.
3. Αξιολόγηση από χρήστες (User Acceptance Testing): Στελέχη αναθέτουσας αρχής και διαχειριστές έργων χρησιμοποιούν το DSS σε πραγματικές ή προσομοιωμένες διαδικασίες και παρέχουν ανατροφοδότηση σχετικά με την ακρίβεια, την ευχρηστία και τη χρησιμότητα των προτεινόμενων ειδοποιήσεων και προγνωστικών

6.22.7.6 Συνδυαστική εκτίμηση αποτελεσματικότητας

Τα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα συνδυάζονται για να εκτιμηθεί συνολικά η απόδοση του DSS. Αυτό επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των αλγορίθμων, την προσαρμογή των thresholds για ειδοποιήσεις και την ενίσχυση των εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων, εξασφαλίζοντας ότι το σύστημα παρέχει έγκαιρες και αξιόπιστες

πληροφορίες. (Yu et al., 2018)

Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας αξιολόγησης και επικύρωσης διασφαλίζει ότι το DSS δεν είναι απλώς ένα τεχνικό εργαλείο, αλλά ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, ικανό να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, να μειώσει τους κινδύνους και να αυξήσει τη διαφάνεια σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

7 Κεφάλαιο : Υλοποίηση και Μελέτη Περίπτωσης

7.1 Περιβάλλον υλοποίησης και εργαλεία

Η υλοποίηση του προτεινόμενου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) βασίστηκε σε ένα ολοκληρωμένο τεχνολογικό οικοσύστημα, το οποίο καλύπτει όλο τον κύκλο επεξεργασίας δεδομένων: από τη συλλογή και αποθήκευση, έως την ανάλυση, την εφαρμογή αλγορίθμων TN και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων στους τελικούς χρήστες. Η επιλογή των εργαλείων έγινε με κριτήρια τη διαλειτουργικότητα, την επεκτασιμότητα, τη διαφάνεια του κώδικα και τη δυνατότητα εφαρμογής σε περιβάλλον δημόσιας διοίκησης.

7.2 Υπολογιστική Υποδομή

7.2.1 Περιβάλλον ανάπτυξης (Development Environment)

Η ανάπτυξη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Python μέσω ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης (IDE), το οποίο υποστηρίζει έλεγχο

εκδόσεων, debugging και διαχείριση βιβλιοθηκών. Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει γρήγορη δοκιμή διαφορετικών αλγορίθμων και παραμετροποιήσεων.

7.2.2 Υπολογιστικοί πόροι

Χρησιμοποιήθηκε σύστημα με επαρκή μνήμη RAM και πολυπύρηνο επεξεργαστή για την επεξεργασία μεγάλων ιστορικών συνόλων δεδομένων έργων. Σε περιπτώσεις αυξημένων απαιτήσεων (π.χ. εκπαίδευση σύνθετων μοντέλων), προβλέπεται δυνατότητα αξιοποίησης cloud υποδομών.

7.2.3 Δυνατότητα Cloud Deployment

Το σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί είτε σε τοπικό διακομιστή δημόσιου φορέα (on-premise) είτε σε περιβάλλον cloud. Αυτό επιτρέπει ευελιξία σε θέματα κόστους, ασφάλειας και κλιμάκωσης.

7.3 Γλώσσες Προγραμματισμού και Βιβλιοθήκες TN

7.3.1 Python ως βασική γλώσσα ανάπτυξης

Επιλέχθηκε λόγω της εκτεταμένης χρήσης της στη μηχανική μάθηση, της απλότητας σύνταξης και της μεγάλης κοινότητας υποστήριξης. Η Python διευκολύνει την ταχεία ανάπτυξη πρωτοτύπων (prototyping) και την ενσωμάτωση νέων αλγορίθμων.

7.3.2 Βιβλιοθήκες επεξεργασίας δεδομένων (π.χ. Pandas, NumPy)

Χρησιμοποιήθηκαν για τον καθαρισμό, τη μετατροπή και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων έργων. Επιτρέπουν τη διαχείριση μεγάλων πινάκων δεδομένων και την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών.

7.3.3 Βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης (π.χ. Scikit-learn)

Αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη μοντέλων classification και regression, όπως Random Forest, Gradient Boosting και Logistic Regression. Παρέχουν έτοιμες συναρτήσεις για εκπαίδευση, αξιολόγηση και βελτιστοποίηση υπερπαραμέτρων.

7.3.4 Βιβλιοθήκες οπτικοποίησης (π.χ. Matplotlib, Seaborn)

Χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία γραφημάτων που απεικονίζουν τάσεις κόστους, καθυστερήσεις και δείκτες απόδοσης έργων. Τα γραφήματα αυτά ενσωματώνονται στο dashboard.

7.4 Διαχείριση Δεδομένων και Βάση Δεδομένων

7.4.1 Σχεσιακή Βάση Δεδομένων (SQL)

Η αποθήκευση των δεδομένων πραγματοποιείται σε σχεσιακή βάση δεδομένων, η οποία επιτρέπει οργάνωση σε πίνακες (έργα, ανάδοχοι, συμβάσεις, οικονομικά στοιχεία, χρονοδιαγράμματα).

7.4.2 Δομή δεδομένων

Η βάση περιλαμβάνει πρωτεύοντα και ξένα κλειδιά για τη σύνδεση έργων με αναδόχους και συμβάσεις, διασφαλίζοντας ακεραιότητα και συνέπεια των δεδομένων.

7.4.3 Διαλειτουργικότητα

Προβλέπεται δυνατότητα διασύνδεσης με υφιστάμενα πληροφοριακά συστήματα δημοσίων συμβάσεων, επιτρέποντας αυτοματοποιημένη εισαγωγή δεδομένων.

7.5 Ανάπτυξη Διεπαφής Χρήστη (User Interface)

7.5.1 Διαδραστικό Dashboard

Αναπτύχθηκε διαδικτυακή διεπαφή (web-based dashboard), προσβάσιμη μέσω φυλλομετρητή, η οποία υποστηρίζει την παρακολούθηση και ανάλυση των έργων σε πραγματικό χρόνο.

Το dashboard επιτρέπει την απεικόνιση βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs), την οπτικοποίηση αποκλίσεων κόστους και χρόνου, καθώς και την άμεση εμφάνιση προειδοποιήσεων για περιπτώσεις υψηλού κινδύνου.

Παράλληλα, παρέχεται δυνατότητα φιλτραρίσματος των έργων ανά κατηγορία, περιοχή ή άλλα κριτήρια, διευκολύνοντας την στοχευμένη ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων.

7.5.2 Ρόλοι χρηστών

Το σύστημα υποστηρίζει διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης (π.χ. διαχειριστής, επιβλέπων μηχανικός, διοικητικό στέλεχος), ώστε κάθε χρήστης να έχει πρόσβαση μόνο στα δεδομένα που τον αφορούν.

7.5.3 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η διαχωρισμένη αυτή αρχιτεκτονική επιτρέπει ανεξάρτητη αναβάθμιση κάθε επιπέδου χωρίς να επηρεάζεται η συνολική λειτουργία του συστήματος.

7.5.4 Επίπεδο Δεδομένων (Duty Layer)

Το επίπεδο δεδομένων αποτελεί τη θεμελιώδη υποδομή του συστήματος και περιλαμβάνει τις βάσεις δεδομένων, τις αποθήκες δεδομένων (data warehouses) και τους μηχανισμούς συλλογής πληροφοριών από διαφορετικές πηγές. Στο επίπεδο αυτό υλοποιούνται οι διαδικασίες εξαγωγής, μετασχηματισμού και φόρτωσης δεδομένων (Extract, Transform, Load – ETL), μέσω των οποίων τα δεδομένα καθαρίζονται, ενοποιούνται και προετοιμάζονται για ανάλυση. Επιπλέον, διασφαλίζεται η ποιότητα, η ακεραιότητα και η συνέπεια των δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τα αναλυτικά μοντέλα.

7.5.5 Επίπεδο Ανάλυσης (Analytics Layer)

Το επίπεδο ανάλυσης αποτελεί τον πυρήνα της νοημοσύνης του συστήματος. Σε αυτό εκτελούνται οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, οι διαδικασίες εκπαίδευσης και αξιολόγησης των μοντέλων, καθώς και η παραγωγή προβλέψεων και αναλυτικών δεικτών. Το επίπεδο αυτό αξιοποιεί ιστορικά και τρέχοντα δεδομένα για την πρόβλεψη καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους, πιθανών κινδύνων και της αναμενόμενης απόδοσης των αναδόχων. Παράλληλα, εφαρμόζονται τεχνικές ερμηνευσιμότητας ώστε τα αποτελέσματα να είναι κατανοητά και αξιοποιήσιμα από τους φορείς λήψης αποφάσεων.

7.5.6 Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer)

Το επίπεδο παρουσίασης αποτελεί το σημείο αλληλεπίδρασης μεταξύ του συστήματος και των τελικών χρηστών. Παρέχει τα αποτελέσματα των αναλύσεων μέσω δυναμικών

πινάκων ελέγχου (dashboards), διαγραμμάτων, αναφορών και αυτοματοποιημένων ειδοποιήσεων. Οι πληροφορίες παρουσιάζονται με τρόπο κατανοητό και εύχρηστο, επιτρέποντας στους διαχειριστές έργων και στα αρμόδια στελέχη να παρακολουθούν την πρόοδο των έργων, να εντοπίζουν έγκαιρα πιθανούς κινδύνους και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις βασισμένες σε δεδομένα.

7.6 Ασφάλεια και Κανονιστική Συμμόρφωση

Η ασφάλεια των πληροφοριών και η συμμόρφωση με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζονται μηχανισμοί προστασίας δεδομένων, ελέγχου πρόσβασης και παρακολούθησης ενεργειών, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα, τη διαθεσιμότητα και τη νομιμότητα της διαχείρισης των πληροφοριών.

7.7 Έλεγχος πρόσβασης και ταυτοποίησης χρηστών

Η πρόσβαση στο σύστημα πραγματοποιείται μέσω μηχανισμών ταυτοποίησης χρηστών (authentication), οι οποίοι διασφαλίζουν ότι μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα μπορούν να χρησιμοποιούν τις διαθέσιμες λειτουργίες. Παράλληλα, εφαρμόζεται έλεγχος πρόσβασης βάσει ρόλων (Role-Based Access Control – RBAC), μέσω του οποίου τα δικαιώματα κάθε χρήστη καθορίζονται ανάλογα με τη θέση, τις αρμοδιότητες και το επίπεδο εξουσιοδότησής του. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα και κρίσιμες λειτουργίες του συστήματος.

7.7.1 Καταγραφή ενεργειών (Audit Trail)

Όλες οι ενέργειες που πραγματοποιούνται στο σύστημα καταγράφονται συστηματικά σε μηχανισμούς καταγραφής συμβάντων (audit logs). Οι καταγραφές περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις προσβάσεις χρηστών, τις τροποποιήσεις δεδομένων, τις διαδικασίες έγκρισης και κάθε άλλη κρίσιμη ενέργεια. Η ύπαρξη πλήρους ιστορικού ενεργειών ενισχύει τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και τη δυνατότητα ελέγχου, ενώ

παράλληλα υποστηρίζει τη διερεύνηση πιθανών περιστατικών ασφάλειας ή κακόβουλων ενεργειών.

7.7.2 Προστασία δεδομένων

Η προστασία των δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής κατάλληλων τεχνικών και οργανωτικών μέτρων ασφάλειας. Ενδεικτικά, χρησιμοποιούνται μηχανισμοί κρυπτογράφησης για την ασφαλή αποθήκευση και μεταφορά δεδομένων, διαδικασίες δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και πολιτικές διαχείρισης πρόσβασης. Παράλληλα, το σύστημα σχεδιάζεται με γνώμονα τη συμμόρφωση προς το ισχύον θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο προστασίας προσωπικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του General Data Protection Regulation (GDPR), διασφαλίζοντας τη νόμιμη, ασφαλή και διαφανή διαχείριση των πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.

7.7.3 Συνολική αποτίμηση

Το περιβάλλον υλοποίησης συνδυάζει σύγχρονες τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων, εργαλεία μηχανικής μάθησης και διαδικτυακές εφαρμογές, δημιουργώντας ένα τεχνικά ώριμο και επεκτάσιμο σύστημα. Η επιλογή ανοικτών και ευρέως διαδεδομένων εργαλείων διασφαλίζει βιωσιμότητα, δυνατότητα συντήρησης και μελλοντική προσαρμογή στις ανάγκες της δημόσιας διοίκησης και των έργων υποδομής. (Flynbjerg, 2014)

7.8 Περιγραφή μελέτης περίπτωσης ή σεναρίου εφαρμογής

Η μελέτη περίπτωσης σχεδιάστηκε με στόχο να προσομοιώσει ρεαλιστικά την εφαρμογή του προτεινόμενου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) σε ένα σύνθετο έργο υποδομής, εξετάζοντας ολιστικά τόσο τη φάση ανάθεσης όσο και τη φάση υλοποίησης και ελέγχου. Η ανάλυση δεν περιορίζεται σε περιγραφικό επίπεδο, αλλά αποτυπώνει τη ροή δεδομένων, τις αποφάσεις που υποστηρίζονται και τον πρακτικό αντίκτυπο του συστήματος.

7.8.1 Αναλυτική Περιγραφή Έργου

Τεχνική Φύση και Πολυπλοκότητα

- Το έργο αφορά την κατασκευή νέου περιφερειακού οδικού άξονα 18 km με:
 - 2 ανισόπεδους κόμβους
 - 1 γέφυρα 120 μέτρων
 - έργα αποστράγγισης και αντιπλημμυρικής προστασίας
 - δίκτυο παράπλευρων οδών
- Ιδιαίτερες τεχνικές προκλήσεις:
 - γεωτεχνικά ασταθή εδάφη
 - ανάγκη απαλλοτριώσεων
 - περιβαλλοντικοί περιορισμοί
 - διαχείριση κυκλοφορίας κατά την κατασκευή (Abioye et al., 2021)

Το επίπεδο πολυπλοκότητας αυξάνει την πιθανότητα αστοχιών προγραμματισμού και υπερβάσεων κόστους.

7.8.2 Οικονομικά και Συμβατικά Χαρακτηριστικά

- Αρχικός προϋπολογισμός: 32.000.000 €
- Συμβατική διάρκεια: 30 μήνες
- Τύπος σύμβασης: Μειοδοτικός διαγωνισμός
- Δυνατότητα:
 - αναθεώρησης τιμών
 - συμπληρωματικών συμβάσεων
 - παράτασης προθεσμιών

Ιστορικά δεδομένα παρόμοιων έργων δείχνουν:

- Μέση υπέρβαση κόστους: 9–15%
- Μέση καθυστέρηση: 4–8 μήνες

7.8.3 Εφαρμογή DSS στη Φάση Ανάθεσης (Αναλυτική Ροή)

7.8.4 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων Υποψηφίων

Το σύστημα συγκεντρώνει ιστορικά δεδομένα δεκαετίας για κάθε υποψήφιο ανάδοχο, με στόχο την αποτύπωση της συνολικής του απόδοσης σε προηγούμενα έργα.

Τα δεδομένα περιλαμβάνουν ποσοστά καθυστερήσεων, μέσο όρο υπερβάσεων κόστους, συχνότητα εμφάνισης συμπληρωματικών συμβάσεων και στοιχεία σχετικών ποινικών ρητρών.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται κανονικοποίηση των δεδομένων, υπολογισμός βασικών στατιστικών δεικτών και ανίχνευση ακραίων τιμών, ώστε να διασφαλιστεί η ομοιογένεια και η αξιοπιστία των εισροών για περαιτέρω ανάλυση.

7.8.5 Δημιουργία Δείκτη Αξιοπιστίας Αναδόχου

Το DSS υπολογίζει έναν σύνθετο δείκτη αξιοπιστίας για κάθε υποψήφιο ανάδοχο, ο οποίος βασίζεται σε πολλαπλά κριτήρια απόδοσης και συμπεριφοράς.

Ο δείκτης περιλαμβάνει την οικονομική σταθερότητα (20%), την τεχνική εμπειρία σε αντίστοιχα έργα (25%), το μέσο ποσοστό υπέρβασης κόστους (20%), τη μέση καθυστέρηση έργων (20%) και τον βαθμό συμμόρφωσης σε προηγούμενες συμβάσεις (15%).

Με βάση τα παραπάνω, παράγεται συνολικός Risk Score σε κλίμακα 0 έως 100, ο οποίος αποτυπώνει το επίπεδο αξιοπιστίας και επιχειρησιακού κινδύνου κάθε αναδόχου. (Zhang et al., 2020)

7.8.6 Προγνωστική Ανάλυση Κινδύνου

Με την εφαρμογή μοντέλων ταξινόμησης (classification), το σύστημα εκτιμά την πιθανότητα εμφάνισης κρίσιμων κινδύνων σε κάθε έργο ή ανάδοχο.

Συγκεκριμένα, υπολογίζεται η πιθανότητα υπέρβασης κόστους άνω του 10%, καθώς και η πιθανότητα καθυστέρησης μεγαλύτερης των 6 μηνών. Τα αποτελέσματα αυτά αποτυπώνονται και οπτικά μέσω heatmap κινδύνου, διευκολύνοντας τη γρήγορη κατανόηση των περιοχών υψηλού ρίσκου. (Zhang et al., 2020)

Ενδεικτικά, μια εταιρεία με χαμηλή οικονομική προσφορά μπορεί να εμφανίζει υψηλή πιθανότητα υπέρβασης (π.χ. 38%), ενώ μια άλλη με πιο μέτρια προσφορά να παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερο κίνδυνο (π.χ. 12%).

Με αυτόν τον τρόπο, η διοίκηση αποκτά μια πιο ολοκληρωμένη και τεκμηριωμένη εικόνα, που υπερβαίνει το απλό οικονομικό κριτήριο και ενσωματώνει την εκτίμηση πραγματικού επιχειρησιακού κινδύνου.

7.8.7 Εφαρμογή DSS στη Φάση Υλοποίησης (Λειτουργία σε Πραγματικό Χρόνο)

7.8.7.1 Μηνιαία Συλλογή Δεδομένων

Σε μηνιαία βάση συλλέγονται κρίσιμα δεδομένα που αποτυπώνουν την πραγματική εξέλιξη του έργου.

Καταγράφεται το πραγματικό κόστος ανά κατηγορία εργασιών, το ποσοστό φυσικής προόδου, καθώς και ο χρόνος ολοκλήρωσης επιμέρους δραστηριοτήτων.

Παράλληλα, παρακολουθούνται οι τροποποιήσεις της σύμβασης και τα προβλήματα στην εφοδιαστική αλυσίδα, ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα της πορείας και των αποκλίσεων του έργου.

7.8.7.2 Ανάλυση Earned Value

Στο πλαίσιο της παρακολούθησης της προόδου του έργου εφαρμόζεται η μεθοδολογία Earned Value Management (EVM), μέσω της οποίας υπολογίζονται βασικοί δείκτες απόδοσης.

Συγκεκριμένα, υπολογίζονται το Planned Value (PV), το Earned Value (EV) και το Actual Cost (AC), καθώς και οι δείκτες Cost Performance Index (CPI) και Schedule

Performance Index (SPI), οι οποίοι αποτυπώνουν την οικονομική και χρονική απόδοση του έργου.

Ενδεικτικά, στον 9ο μήνα, τιμές όπως $CPI = 0,89$ και $SPI = 0,87$ υποδηλώνουν τόσο υπέρβαση κόστους όσο και καθυστέρηση σε σχέση με τον αρχικό προγραμματισμό.

7.8.8 Προγνωστικό Μοντέλο Κόστους και Χρόνου

Το DSS εφαρμόζει μοντέλα παλινδρόμησης (regression models) για την πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης του έργου.

Συγκεκριμένα, εκτιμά το τελικό κόστος ολοκλήρωσης (Estimate at Completion – EAC), προβλέπει την τελική ημερομηνία παράδοσης και υπολογίζει το εύρος αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων.

Με βάση την ανάλυση των δεδομένων, προκύπτουν ενδεικτικά αποτελέσματα όπως εκτιμώμενη υπέρβαση κόστους της τάξης του 12% και καθυστέρηση περίπου 5 μηνών έως την ολοκλήρωση του έργου.

7.8.9 Ανίχνευση Ανωμαλιών

Το σύστημα ενεργοποιεί αυτόματες ειδοποιήσεις (alerts) όταν εντοπίζονται κρίσιμες αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό του έργου.

Ενδεικτικά, ενεργοποίηση συμβαίνει όταν η αύξηση κόστους υπερβαίνει το 5% σε δύο διαδοχικούς μήνες, όταν παρατηρείται καθυστέρηση άνω του 10% σε κρίσιμες δραστηριότητες ή όταν καταγράφονται επαναλαμβανόμενες τροποποιήσεις στο ίδιο αντικείμενο της σύμβασης.

Τα alerts αποστέλλονται στους αρμόδιους φορείς, όπως τον επιβλέποντα μηχανικό, τη διοίκηση του έργου και την οικονομική υπηρεσία, ώστε να επιτρέπεται άμεση παρέμβαση και λήψη διορθωτικών μέτρων.

7.8.10 Σενάριο Διορθωτικών Ενέργειών

Μετά την ενεργοποίηση των ειδοποιήσεων, δρομολογούνται διορθωτικές παρεμβάσεις για τη σταθεροποίηση της πορείας του έργου.

Περιλαμβάνεται ανακατανομή συνεργείων, επαναδιαπραγμάτευση προμηθειών, ενίσχυση του ελέγχου ποιότητας και αναθεώρηση της κρίσιμης διαδρομής (critical path), ώστε να βελτιωθεί ο συνολικός προγραμματισμός.

Σε επόμενο τρίμηνο παρατηρείται βελτίωση των δεικτών απόδοσης, με CPI να φτάνει στο 0,96 και SPI στο 0,95, ενώ η τελική υπέρβαση κόστους περιορίζεται στο 6%, δείχνοντας σαφή ανάκαμψη της απόδοσης του έργου.

7.8.11 Συγκριτική Αποτίμηση (Με και Χωρίς DSS)

Παράμετρος	Χωρίς DSS	Με DSS
Χρόνος εντοπισμού προβλήματος	5–6 μήνες καθυστέρηση	1–2 μήνες
Τελική υπέρβαση	12–15%	5–7%
Διαφάνεια αποφάσεων	Χαμηλή	Υψηλή
Τεκμηρίωση κινδύνου	Ποιοτική	Ποσοτικοποιημένη

7.8.12 Στρατηγική Σημασία της Μελέτης Περίπτωσης

Η αναλυτική εφαρμογή καταδεικνύει ότι:

- Η TN λειτουργεί προληπτικά και όχι απλώς καταγραφικά.
- Η διοίκηση αποκτά εργαλείο έγκαιρης προειδοποίησης.
- Οι αποφάσεις βασίζονται σε δεδομένα και όχι σε εμπειρική κρίση.
- Η πιθανότητα δημοσιονομικής απόκλισης μειώνεται σημαντικά.

7.9 Συνολικό Συμπέρασμα

Η εκτενής μελέτη περίπτωσης επιβεβαιώνει ότι η ενσωμάτωση TN στη διαχείριση έργων

υποδομής μπορεί να μετασχηματίσει τον τρόπο λήψης αποφάσεων, εισάγοντας μετρήσιμη πρόβλεψη κινδύνου, δυναμική παρακολούθηση και τεκμηριωμένη διοικητική παρέμβαση. Το DSS δεν αντικαθιστά τη διοίκηση, αλλά ενισχύει τη στρατηγική και επιχειρησιακή της ικανότητα. (Flyvbjerg, 2014)

7.10 Αποτελέσματα μοντέλων TN

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκπαίδευση και την αξιολόγηση των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης που εφαρμόστηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς επιτρέπει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων και τη σύγκριση της απόδοσής τους. (Adebayo et al., 2025)

Μέσα από τη διαδικασία αυτή γίνεται δυνατό να διαπιστωθεί κατά πόσο τα μοντέλα μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα μέσα στα δεδομένα και να πραγματοποιήσουν αξιόπιστες προβλέψεις ή ταξινομήσεις. Παράλληλα, τα αποτελέσματα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε αλγορίθμου.

7.11 Συνολική απόδοση των μοντέλων

Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα απόδοσης των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης που χρησιμοποιήθηκαν. Κάθε μοντέλο εκπαιδεύτηκε χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και στη συνέχεια αξιολογήθηκε στο σύνολο δοκιμής, το οποίο περιλαμβάνει δεδομένα που το μοντέλο δεν έχει δει κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. (Adebayo et al., 2025)

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση συγκεκριμένων μετρικών, όπως η ακρίβεια (accuracy), η ακρίβεια πρόβλεψης (precision), η ανάκληση (recall) και ο δείκτης F1-score. Οι μετρικές αυτές επιτρέπουν την ποσοτική αποτίμηση της απόδοσης του μοντέλου και δίνουν μια συνολική εικόνα της ικανότητάς του να πραγματοποιεί σωστές προβλέψεις.

Μέσα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι ορισμένα μοντέλα παρουσιάζουν υψηλή ακρίβεια στις προβλέψεις τους, ενώ άλλα εμφανίζουν καλύτερη ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και ανάκλησης. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στον

τρόπο με τον οποίο κάθε αλγόριθμος επεξεργάζεται τα δεδομένα και αναγνωρίζει τα πρότυπα που υπάρχουν σε αυτά. (Russell & Norvig, 2021)

7.12 Σύγκριση απόδοσης μεταξύ διαφορετικών αλγορίθμων

Για την καλύτερη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μοντέλων πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη. Όλοι οι αλγόριθμοι εκπαιδεύτηκαν με το ίδιο σύνολο δεδομένων και αξιολογήθηκαν με τις ίδιες μετρικές, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. (Russell & Norvig, 2021)

Μέσα από τη διαδικασία αυτή κατέστη δυνατό να εντοπιστούν οι διαφορές στην απόδοση των μοντέλων. Ορισμένοι αλγόριθμοι παρουσίασαν υψηλή ακρίβεια αλλά μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων προβλέψεων σε συγκεκριμένες κατηγορίες δεδομένων. Αντίθετα, άλλα μοντέλα εμφάνισαν πιο ισορροπημένη συμπεριφορά, παρουσιάζοντας καλύτερη απόδοση σε διαφορετικές κατηγορίες του συνόλου δεδομένων. (Russell & Norvig, 2021)

Η σύγκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επιτρέπει την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζεται. Επιπλέον, συμβάλλει στην κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών κάθε αλγορίθμου.

7.13 Ανάλυση πίνακα σύγχυσης (Confusion Matrix)

Για την πιο λεπτομερή κατανόηση της συμπεριφοράς των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας σύγχυσης (confusion matrix). Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τον αριθμό των σωστών και λανθασμένων προβλέψεων που πραγματοποιεί το μοντέλο για κάθε κατηγορία δεδομένων.

Συγκεκριμένα, ο πίνακας σύγχυσης περιλαμβάνει τέσσερις βασικές κατηγορίες αποτελεσμάτων: τα αληθώς θετικά (true positives), τα αληθώς αρνητικά (true negatives), τα ψευδώς θετικά (false positives) και τα ψευδώς αρνητικά (false negatives). Μέσα από την ανάλυση αυτών των κατηγοριών μπορεί να εντοπιστεί σε ποια σημεία το μοντέλο πραγματοποιεί λάθη και σε ποιες περιπτώσεις αποδίδει καλύτερα.

Η μελέτη του πίνακα σύγχυσης βοηθά επίσης στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων στο σύνολο δεδομένων, όπως η ανισορροπία μεταξύ των κατηγοριών ή η ύπαρξη δεδομένων που είναι δύσκολο να ταξινομηθούν.

7.14 Αξιολόγηση της ικανότητας γενίκευσης των μοντέλων

Ένα από τα βασικά ζητήματα στην ανάπτυξη μοντέλων μηχανικής μάθησης είναι η ικανότητά τους να γενικεύουν τη γνώση που αποκτούν από τα δεδομένα εκπαίδευσης σε νέα δεδομένα. Για τον λόγο αυτό εξετάστηκε η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων στο σύνολο εκπαίδευσης και στο σύνολο δοκιμής. (Russell & Norvig, 2021)

Εάν ένα μοντέλο παρουσιάζει πολύ υψηλή απόδοση στο σύνολο εκπαίδευσης αλλά σημαντικά χαμηλότερη στο σύνολο δοκιμής, τότε είναι πιθανό να έχει παρουσιαστεί το φαινόμενο της υπερπροσαρμογής (overfitting). Σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο έχει μάθει πολύ καλά τα συγκεκριμένα δεδομένα εκπαίδευσης αλλά δεν μπορεί να προσαρμοστεί σε νέα δεδομένα.

Αντίθετα, όταν τα αποτελέσματα μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων είναι παρόμοια, αυτό υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει καταφέρει να μάθει γενικά μοτίβα από τα δεδομένα και μπορεί να πραγματοποιεί αξιόπιστες προβλέψεις και σε νέες περιπτώσεις.

7.15 Οπτικοποίηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορες μέθοδοι οπτικοποίησης. Τα γραφήματα και τα διαγράμματα επιτρέπουν την πιο εύκολη σύγκριση των μοντέλων και βοηθούν στην καλύτερη ερμηνεία των δεδομένων.

Ενδεικτικά χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα σύγκρισης της ακρίβειας των μοντέλων, καμπύλες ROC καθώς και γραφήματα που απεικονίζουν την εξέλιξη της απόδοσης κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης. Μέσω αυτών των οπτικών αναπαραστάσεων καθίσταται ευκολότερη η κατανόηση της συμπεριφοράς των μοντέλων και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους.

7.16 Επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την επίλυση του προβλήματος. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στη συνολική απόδοση των μοντέλων και όχι μόνο σε μία μετρική αξιολόγησης.

Λήφθηκαν υπόψη παράγοντες όπως η ακρίβεια των προβλέψεων, η ισορροπία μεταξύ των μετρικών αξιολόγησης, καθώς και η ικανότητα του μοντέλου να γενικεύει σε νέα δεδομένα. Το μοντέλο που παρουσίασε την καλύτερη συνολική απόδοση θεωρήθηκε το πλέον κατάλληλο για την εφαρμογή στο συγκεκριμένο σενάριο.

7.17 Συγκριτική αξιολόγηση με παραδοσιακές μεθόδους

Η συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης και των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης και παρακολούθησης έργων αποτελεί κρίσιμο στάδιο της παρούσας μελέτης. Μέσα από τη διαδικασία αυτή επιχειρείται να διερευνηθεί κατά πόσο η αξιοποίηση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης μπορεί να προσφέρει ουσιαστικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα στη διαχείριση έργων υποδομής. (Adebayo et al., 2025)

Οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης έργων βασίζονται κυρίως σε εργαλεία προγραμματισμού, εμπειρικές εκτιμήσεις και χειροκίνητη επεξεργασία δεδομένων από τους υπεύθυνους έργου. Αν και οι μέθοδοι αυτές έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές σε μεγάλο βαθμό, παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για σύνθετα έργα υποδομής που χαρακτηρίζονται από μεγάλο όγκο δεδομένων, πολλούς εμπλεκόμενους φορείς και υψηλό βαθμό αβεβαιότητας.

Αντίθετα, τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται μεγάλους όγκους δεδομένων, να εντοπίζουν πρότυπα και συσχετίσεις που δεν είναι εύκολα αντιληπτές από τον άνθρωπο και να παρέχουν προβλέψεις με βάση ιστορικά δεδομένα. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση μεταξύ των δύο προσεγγίσεων, με στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους σε βασικές λειτουργίες της διαχείρισης έργων. (Adebayo et al., 2025)

7.18 Σύγκριση ως προς την ακρίβεια των προβλέψεων

Ένα από τα βασικά κριτήρια σύγκρισης αφορά την ακρίβεια των προβλέψεων που πραγματοποιούνται σχετικά με την εξέλιξη ενός έργου. Στις παραδοσιακές μεθόδους, οι εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος, τη διάρκεια και τους πιθανούς κινδύνους ενός έργου βασίζονται κυρίως στην εμπειρία των μηχανικών και στη χρήση ιστορικών δεδομένων με σχετικά απλές αναλυτικές μεθόδους.

Παρόλο που η εμπειρία των ειδικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιτυχίας, οι προβλέψεις αυτές συχνά επηρεάζονται από υποκειμενικούς παράγοντες και περιορισμένη ανάλυση δεδομένων. Αντίθετα, τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν μεγάλο αριθμό μεταβλητών ταυτόχρονα και να εντοπίσουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ τους. (Adebayo et al., 2025)

Στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε ότι τα μοντέλα μηχανικής μάθησης παρουσίασαν μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις καθυστερήσεων και πιθανών αποκλίσεων από το αρχικό χρονοδιάγραμμα του έργου. Η ικανότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα μοντέλα εκπαιδεύονται σε ιστορικά δεδομένα έργων και μπορούν να αναγνωρίζουν μοτίβα που σχετίζονται με την εμφάνιση προβλημάτων κατά την υλοποίηση ενός έργου. (Russell & Norvig, 2021)

7.19 Σύγκριση ως προς την ταχύτητα ανάλυσης δεδομένων

Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο σύγκρισης αφορά την ταχύτητα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων. Στις παραδοσιακές διαδικασίες διαχείρισης έργων, η συλλογή και ανάλυση πληροφοριών πραγματοποιείται συχνά με χειροκίνητες διαδικασίες ή με τη χρήση απλών εργαλείων λογισμικού, όπως υπολογιστικά φύλλα.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλα έργα υποδομής που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων και εμπλεκόμενων φορέων. Επιπλέον, η ανάγκη συνεχούς ενημέρωσης των δεδομένων μπορεί να δημιουργήσει καθυστερήσεις στη λήψη αποφάσεων. (Flyvbjerg, 2014) Αντίθετα, τα συστήματα που βασίζονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη μπορούν να επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να παρέχουν άμεσα αποτελέσματα. Μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών ανάλυσης είναι δυνατό να εντοπίζονται έγκαιρα πιθανά προβλήματα ή αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό, επιτρέποντας στους υπεύθυνους έργου να λάβουν γρήγορα διορθωτικά μέτρα.

7.20 Σύγκριση ως προς την υποστήριξη λήψης αποφάσεων

Ένα ακόμη σημαντικό πεδίο σύγκρισης αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι δύο προσεγγίσεις υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στα παραδοσιακά μοντέλα διαχείρισης έργων, οι αποφάσεις λαμβάνονται κυρίως από τους διαχειριστές έργου με βάση την εμπειρία τους, την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων και την αξιολόγηση των κινδύνων.

Αν και η ανθρώπινη εμπειρία παραμένει καθοριστικής σημασίας, η διαδικασία αυτή μπορεί να επηρεαστεί από γνωστικές προκαταλήψεις ή από την περιορισμένη δυνατότητα ανάλυσης μεγάλου όγκου πληροφοριών.

Τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να λειτουργήσουν ως εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων, παρέχοντας προτάσεις και προβλέψεις βασισμένες σε δεδομένα. Μέσα από τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης είναι δυνατό να αξιολογούνται διαφορετικά σενάρια εξέλιξης ενός έργου και να προτείνονται οι βέλτιστες επιλογές. (Adebayo et al., 2025)

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης δεν αντικαθιστούν τον ρόλο του διαχειριστή έργου, αλλά λειτουργούν συμπληρωματικά, ενισχύοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. (Adebayo et al., 2025)

7.21 Σύγκριση ως προς τη διαχείριση κινδύνων

Η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνων αποτελεί βασικό παράγοντα επιτυχίας για κάθε έργο υποδομής. Στις παραδοσιακές μεθόδους, η αναγνώριση και αξιολόγηση των κινδύνων πραγματοποιείται συνήθως μέσω ποιοτικών αναλύσεων, συναντήσεων ειδικών και χρήσης πινάκων αξιολόγησης κινδύνων.

Αν και οι μέθοδοι αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, ενδέχεται να μην λαμβάνουν υπόψη όλους τους πιθανούς παράγοντες κινδύνου, ιδιαίτερα όταν τα διαθέσιμα δεδομένα είναι μεγάλα και πολύπλοκα.

Τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη βελτίωση της διαδικασίας αυτής, καθώς έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν ιστορικά δεδομένα έργων και να εντοπίζουν πρότυπα που συνδέονται με την εμφάνιση συγκεκριμένων κινδύνων.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να προβλέπονται πιθανά προβλήματα πριν αυτά εμφανιστούν, επιτρέποντας τη λήψη προληπτικών μέτρων. (Adebayo et al., 2025)

7.22 Περιορισμοί και προκλήσεις της χρήσης Τεχνητής Νοημοσύνης

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης, υπάρχουν και ορισμένοι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ένας από τους βασικούς περιορισμούς αφορά την ανάγκη ύπαρξης μεγάλου όγκου αξιόπιστων δεδομένων για την εκπαίδευση των μοντέλων. (Adebayo et al., 2025)

Σε πολλές περιπτώσεις, ιδιαίτερα στον τομέα των δημοσίων έργων, τα διαθέσιμα δεδομένα μπορεί να είναι ελλιπή, μη τυποποιημένα ή δύσκολα προσβάσιμα. Επιπλέον, η ανάπτυξη και η εφαρμογή συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης απαιτεί εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και κατάλληλη τεχνολογική υποδομή. (Adebayo et al., 2025)

Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα αφορά τη διαφάνεια των αλγορίθμων και την εμπιστοσύνη των χρηστών στα αποτελέσματα που παράγονται από αυτά τα συστήματα. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης να σχεδιάζονται με τρόπο που να επιτρέπει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους. (Adebayo et al., 2025)

7.23 Συνολική αξιολόγηση των δύο προσεγγίσεων

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της συγκριτικής αξιολόγησης, προκύπτει ότι τα μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, ιδιαίτερα όσον αφορά την ανάλυση μεγάλων δεδομένων, την ακρίβεια των προβλέψεων και την ταχύτητα επεξεργασίας πληροφοριών. (Adebayo et al., 2025)

Παράλληλα, οι παραδοσιακές μέθοδοι εξακολουθούν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς βασίζονται στην εμπειρία και τη γνώση των ειδικών του κλάδου. Για τον λόγο αυτό η πιο αποτελεσματική προσέγγιση φαίνεται να είναι ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, όπου τα εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης λειτουργούν υποστηρικτικά προς τους διαχειριστές έργου. (Adebayo et al., 2025)

Η αξιοποίηση μιας τέτοιας υβριδικής προσέγγισης μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης έργων υποδομής, οδηγώντας σε καλύτερο προγραμματισμό, μείωση καθυστερήσεων και πιο αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. (Flyvbjerg, 2014)

8 Κεφάλαιο : Συζήτηση Αποτελεσμάτων

8.1 Ερμηνεία ευρημάτων

Η ενότητα αυτή επικεντρώνεται στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης και του προτεινόμενου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Στόχος δεν είναι απλώς η περιγραφή των ευρημάτων, αλλά η ουσιαστική κατανόηση της σημασίας τους σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα και το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. (Adebayo et al., 2025)

Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η αξιοποίηση προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της διαχείρισης έργων υποδομής, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα. (Flyvbjerg, 2014)

8.2 Ερμηνεία της βελτιωμένης ακρίβειας προβλέψεων

Η αυξημένη ακρίβεια των μοντέλων αποδίδεται κυρίως στην ικανότητά τους να επεξεργάζονται ταυτόχρονα μεγάλο αριθμό μεταβλητών, οι οποίες στις παραδοσιακές μεθόδους είτε αγνοούνται είτε αξιολογούνται αποσπασματικά. Στην πράξη, τα μοντέλα αξιοποίησαν ιστορικά δεδομένα έργων (κόστος, διάρκεια, τροποποιήσεις συμβάσεων, επιδόσεις αναδόχων) και εντόπισαν μη προφανείς συσχετίσεις μεταξύ αυτών των παραμέτρων.

Για παράδειγμα, διαπιστώθηκε ότι συνδυασμοί παραγόντων, όπως χαμηλή οικονομική προσφορά σε συνδυασμό με ιστορικό καθυστερήσεων, αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα υπέρβασης κόστους. Τέτοιες σύνθετες σχέσεις δύσκολα εντοπίζονται με

παραδοσιακές μεθόδους. Συνεπώς, η βελτιωμένη ακρίβεια δεν είναι απλώς αποτέλεσμα καλύτερων υπολογισμών, αλλά κυρίως βαθύτερης κατανόησης των δεδομένων.

8.3 Ερμηνεία της έγκαιρης ανίχνευσης κινδύνων

Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ότι το σύστημα μπορεί να εντοπίζει αποκλίσεις σε πρώιμο στάδιο, πριν αυτές εξελιχθούν σε κρίσιμα προβλήματα. Η δυνατότητα αυτή βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση δεδομένων και στη χρήση αλγορίθμων που εντοπίζουν μεταβολές στη «συμπεριφορά» του έργου.

Συγκεκριμένα, μικρές αλλά επαναλαμβανόμενες αποκλίσεις (π.χ. καθυστερήσεις σε επιμέρους δραστηριότητες ή σταδιακή αύξηση κόστους) αναγνωρίζονται ως ενδείξεις μελλοντικού κινδύνου. Η ερμηνεία αυτού του ευρήματος δείχνει ότι η αξία του συστήματος δεν περιορίζεται στην πρόβλεψη του τελικού αποτελέσματος, αλλά επεκτείνεται στη συνεχή παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου. Αυτό μετασχηματίζει τη διαχείριση έργων από παθητική (καταγραφή προβλημάτων μετά την εμφάνισή τους) σε ενεργητική και προληπτική. (PMI, 2021)

8.4 Ερμηνεία της ενίσχυσης της λήψης αποφάσεων

Το DSS συνέβαλε στη σημαντική ενίσχυση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, κυρίως μέσω της παροχής ποσοτικοποιημένων και αντικειμενικών πληροφοριών. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές πρακτικές, όπου οι αποφάσεις βασίζονται σε εμπειρία και διαισθητική εκτίμηση, το σύστημα παρέχει συγκεκριμένους δείκτες, προβλέψεις και σενάρια.

Η ερμηνεία αυτού του ευρήματος υποδηλώνει ότι η αξία του συστήματος έγκειται όχι μόνο στην ακρίβεια των προβλέψεων, αλλά και στη δυνατότητα τεκμηρίωσης των αποφάσεων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο πλαίσιο των δημοσίων έργων, όπου η διαφάνεια και η λογοδοσία αποτελούν βασικές απαιτήσεις.

Παράλληλα, το σύστημα λειτουργεί υποστηρικτικά και όχι αντικαταστατικά, επιτρέποντας στους χρήστες να συνδυάζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την εμπειρία τους.

8.5 Ερμηνεία της μείωσης αποκλίσεων κόστους και χρόνου

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα είναι η μείωση των αποκλίσεων από τον αρχικό προγραμματισμό. Η μείωση αυτή προκύπτει ως αποτέλεσμα τριών βασικών παραγόντων:

- (α) της έγκαιρης πρόβλεψης,
- (β) της συνεχούς παρακολούθησης,
- (γ) της δυνατότητας άμεσης παρέμβασης.

Η ερμηνεία δείχνει ότι η διαχείριση έργων δεν είναι στατική διαδικασία, αλλά δυναμική. Τα έργα εξελίσσονται και επηρεάζονται από πολλούς εξωτερικούς παράγοντες. Το DSS επιτρέπει την προσαρμογή του σχεδιασμού σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες σημαντικών αποκλίσεων. (PMI, 2021)

Επομένως, η συμβολή του συστήματος δεν περιορίζεται στον εντοπισμό προβλημάτων, αλλά επεκτείνεται στη διαμόρφωση ενός πιο ευέλικτου και προσαρμοστικού πλαισίου διαχείρισης.

8.6 Ερμηνεία της σημασίας της ποιότητας των δεδομένων

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων κατέδειξε ότι η ποιότητα των δεδομένων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την απόδοση των μοντέλων. Όταν τα δεδομένα είναι πλήρη, συνεπή και καλά δομημένα, τα μοντέλα παρουσιάζουν υψηλή ακρίβεια και σταθερότητα.

Αντίθετα, σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα είναι ελλιπή ή περιέχουν σφάλματα, παρατηρείται μείωση της αξιοπιστίας των προβλέψεων. Αυτό το εύρημα αναδεικνύει ένα σημαντικό πρακτικό ζήτημα: η επιτυχία της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων δεν εξαρτάται μόνο από τους αλγορίθμους, αλλά και από την ποιότητα των πληροφοριών που εισάγονται.

Συνεπώς, η ερμηνεία οδηγεί στο συμπέρασμα ότι απαιτείται οργανωμένη στρατηγική διαχείρισης δεδομένων στους φορείς υλοποίησης έργων.

8.7 Σύνδεση ευρημάτων με τα ερευνητικά ερωτήματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης συνδέονται άμεσα με τα αρχικά ερευνητικά ερωτήματα και επιβεβαιώνουν τις βασικές υποθέσεις της εργασίας. Συγκεκριμένα:

- επιβεβαιώνεται ότι η χρήση TN βελτιώνει την ακρίβεια προβλέψεων,
- αποδεικνύεται ότι ενισχύεται η διαχείριση κινδύνων,
- τεκμηριώνεται η συμβολή στη λήψη αποφάσεων.

Η ερμηνεία των ευρημάτων δείχνει ότι η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική καινοτομία, αλλά μια ουσιαστική αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

Συνολικά, τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης οδηγεί σε μια πιο ορθολογική, διαφανή και αποτελεσματική προσέγγιση στη διαχείριση έργων. Η μετάβαση από εμπειρικές σε δεδομενοκεντρικές πρακτικές αποτελεί το βασικότερο συμπέρασμα της ενότητας. (Adebayo et al., 2025)

Ωστόσο, η πλήρης αξιοποίηση των δυνατοτήτων αυτών προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής, οργανωμένων δεδομένων και εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Συνεπώς, η επιτυχία της εφαρμογής δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνολογία, αλλά και από το οργανωτικό και θεσμικό πλαίσιο μέσα στο οποίο αυτή εντάσσεται.

8.8 Επιπτώσεις για τη διαχείριση έργων υποδομής

8.8.1 Μετασχηματισμός της διαδικασίας λήψης αποφάσεων

Η εισαγωγή του DSS μεταβάλλει ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις στη διαχείριση έργων υποδομής. Παραδοσιακά, οι αποφάσεις βασίζονται κυρίως στην εμπειρία των στελεχών και στην περιορισμένη ανάλυση διαθέσιμων δεδομένων. (Flyvbjerg, 2014)

Με την αξιοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης, οι αποφάσεις γίνονται περισσότερο δεδομενοκεντρικές (data-driven). Οι υπεύθυνοι έργων έχουν πλέον πρόσβαση σε ποσοτικοποιημένες προβλέψεις, δείκτες κινδύνου και εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης. Αυτό οδηγεί σε: (Adebayo et al., 2025)

- μεγαλύτερη αντικειμενικότητα,
- μείωση υποκειμενικών εκτιμήσεων,
- καλύτερη τεκμηρίωση αποφάσεων.

Ως αποτέλεσμα, ενισχύεται η διαφάνεια, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα δημόσιας διοίκησης όπου η λογοδοσία είναι κρίσιμη.

8.8.2 Βελτίωση της διαχείρισης κινδύνων

Η δυνατότητα πρόβλεψης και έγκαιρης ανίχνευσης κινδύνων αποτελεί μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της εφαρμογής TN. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους, όπου οι κίνδυνοι εντοπίζονται συχνά αφού έχουν ήδη εκδηλωθεί, το DSS επιτρέπει προληπτική διαχείριση. (Zhang et al., 2020)

Συγκεκριμένα, οι φορείς διαχείρισης έργων μπορούν:

- να εντοπίζουν πιθανά προβλήματα σε πρώιμο στάδιο,
- να αξιολογούν την πιθανότητα και τον αντίκτυπο κινδύνων,
- να λαμβάνουν έγκαιρα διορθωτικά μέτρα.

Η μετατόπιση αυτή από την αντιδραστική στην προληπτική διαχείριση οδηγεί σε σημαντική μείωση καθυστερήσεων και υπερβάσεων κόστους.

8.8.3 Αναβάθμιση της διαδικασίας ανάθεσης έργων

Τα ευρήματα της μελέτης δείχνουν ότι η TN μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της διαδικασίας ανάθεσης δημοσίων έργων. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων, το DSS μπορεί να αξιολογεί τους υποψήφιους αναδόχους όχι μόνο με βάση την οικονομική τους προσφορά, αλλά και με βάση την προηγούμενη απόδοσή τους.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- πιο αξιόπιστη επιλογή αναδόχων,
- μείωση κινδύνου επιλογής μη κατάλληλων προσφορών,

- περιορισμό φαινομένων «ασυνήθιστα χαμηλών προσφορών».

Συνεπώς, η διαδικασία ανάθεσης γίνεται πιο ορθολογική και συνδέεται περισσότερο με την πραγματική ικανότητα υλοποίησης ενός έργου.

8.8.4 Ενίσχυση της παρακολούθησης και ελέγχου έργων

Η χρήση του DSS επιτρέπει συνεχή και δυναμική παρακολούθηση της εξέλιξης των έργων. Σε αντίθεση με τις περιοδικές και συχνά καθυστερημένες αναφορές των παραδοσιακών μεθόδων, το σύστημα παρέχει σχεδόν σε πραγματικό χρόνο εικόνα της προόδου.

Οι επιπτώσεις αυτής της δυνατότητας περιλαμβάνουν:

- έγκαιρο εντοπισμό αποκλίσεων,
- καλύτερο συντονισμό μεταξύ εμπλεκόμενων φορέων,
- βελτιωμένη διαχείριση πόρων (ανθρώπινων και οικονομικών).

Η συνεχής ροή πληροφοριών ενισχύει τον έλεγχο και περιορίζει την αβεβαιότητα κατά την υλοποίηση.

Ανάγκη για οργανωτικό και τεχνολογικό μετασχηματισμό

Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων δεν είναι μόνο τεχνολογικό ζήτημα, αλλά απαιτεί ευρύτερες αλλαγές στη λειτουργία των οργανισμών. Οι δημόσιοι φορείς και οι εταιρείες που διαχειρίζονται έργα υποδομής καλούνται να προσαρμοστούν σε ένα νέο περιβάλλον.

Συγκεκριμένα απαιτούνται:

- ανάπτυξη υποδομών διαχείρισης δεδομένων,
- εκπαίδευση προσωπικού σε νέες τεχνολογίες,
- αναδιοργάνωση διαδικασιών λήψης αποφάσεων,
- ενίσχυση της διαλειτουργικότητας μεταξύ συστημάτων.

Η μετάβαση αυτή μπορεί να είναι απαιτητική, αλλά αποτελεί προϋπόθεση για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της TN.

8.8.5 Ενίσχυση διαφάνειας και λογοδοσίας

Η χρήση δεδομενοκεντρικών συστημάτων συμβάλλει σημαντικά στη διαφάνεια των διαδικασιών διαχείρισης έργων. Οι αποφάσεις μπορούν να τεκμηριωθούν με βάση αντικειμενικά δεδομένα και όχι μόνο με βάση υποκειμενικές εκτιμήσεις.

Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στα δημόσια έργα, όπου:

- απαιτείται έλεγχος από ελεγκτικούς μηχανισμούς,
- υπάρχει ανάγκη περιορισμού φαινομένων κακοδιαχείρισης,
- ενισχύεται η εμπιστοσύνη των πολιτών.

Η διαφάνεια αυτή αποτελεί βασικό παράγοντα βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του δημόσιου τομέα.

8.8.6 Προκλήσεις και περιορισμοί εφαρμογής

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η εφαρμογή της TN στη διαχείριση έργων συνοδεύεται και από προκλήσεις. Οι βασικότερες περιλαμβάνουν: (PMI, 2021)

- περιορισμένη διαθεσιμότητα ποιοτικών δεδομένων,
- δυσκολία ενσωμάτωσης σε υφιστάμενα συστήματα,
- ανάγκη εξειδικευμένων γνώσεων,
- πιθανή αντίσταση στην αλλαγή από τους χρήστες.

Επιπλέον, ζητήματα όπως η ερμηνευσιμότητα των μοντέλων και η εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την αποδοχή των συστημάτων αυτών.

8.8.7 Συνολική αποτίμηση επιπτώσεων

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής επιφέρει έναν ουσιαστικό μετασχηματισμό από ένα παραδοσιακό, εμπειρικό μοντέλο σε ένα σύγχρονο, δεδομενοκεντρικό σύστημα διαχείρισης. (Adebayo et al., 2025)

Οι βασικές επιπτώσεις συνοψίζονται στα εξής:

- βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας,
- ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας,
- μείωση κινδύνων και αποκλίσεων,
- αναβάθμιση της ποιότητας των αποφάσεων.

Ωστόσο, η επιτυχία της εφαρμογής εξαρτάται από την ικανότητα των οργανισμών να προσαρμοστούν στις νέες απαιτήσεις και να επενδύσουν σε τεχνολογία, δεδομένα και ανθρώπινο δυναμικό.

8.9 Πρακτικές προεκτάσεις για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης και Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) στη διαχείριση έργων υποδομής δεν αποτελεί μόνο μια θεωρητική προσέγγιση, αλλά δημιουργεί συγκεκριμένες πρακτικές προεκτάσεις για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Οι προεκτάσεις αυτές αφορούν τόσο τον δημόσιο τομέα (αναθέτουσες αρχές, εποπτικοί οργανισμοί) όσο και τον ιδιωτικό τομέα (τεχνικές εταιρείες, σύμβουλοι, εργολάβοι). (Adebayo et al., 2025)

Η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστικές αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας, οργάνωσης και λήψης αποφάσεων των φορέων αυτών.

8.10 Πρακτικές προεκτάσεις για δημόσιους φορείς (αναθέτουσες αρχές)

Οι δημόσιοι οργανισμοί που είναι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό και την ανάθεση έργων υποδομής μπορούν να αξιοποιήσουν τα συστήματα ΤΝ για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της διαφάνειας των διαδικασιών τους. (Flyvbjerg, 2014)

Συγκεκριμένα:

- Μπορούν να ενσωματώσουν εργαλεία αξιολόγησης αναδόχων που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα από προηγούμενα έργα, επιτρέποντας πιο αντικειμενική και αξιόπιστη επιλογή.
- Έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν προγνωστικά μοντέλα για την εκτίμηση κινδύνων πριν την ανάθεση ενός έργου, μειώνοντας την πιθανότητα αποτυχίας.
- Μπορούν να εφαρμόζουν συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα αποκλίσεις από το χρονοδιάγραμμα ή τον προϋπολογισμό.
- Ενισχύεται η τεκμηρίωση των αποφάσεων, γεγονός που συμβάλλει στη διαφάνεια και στη μείωση πιθανών αμφισβητήσεων ή ενστάσεων.

Ωστόσο, για την υλοποίηση των παραπάνω απαιτείται εκσυγχρονισμός των πληροφοριακών συστημάτων και ανάπτυξη κουλτούρας διαχείρισης δεδομένων

8.11 Πρακτικές προεκτάσεις για ιδιωτικούς φορείς (τεχνικές εταιρείες και εργολάβοι)

Οι ιδιωτικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα των κατασκευών μπορούν να αξιοποιήσουν την Τεχνητή Νοημοσύνη για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και της αποδοτικότητάς τους. (Abioye et al., 2021)

Ειδικότερα:

- Μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλεία πρόβλεψης κόστους και διάρκειας έργων για την υποβολή πιο ρεαλιστικών προσφορών. (Wang et al., 2019)
- Έχουν τη δυνατότητα να βελτιστοποιούν τον προγραμματισμό των πόρων τους (ανθρώπινο δυναμικό, εξοπλισμός, υλικά).
- Μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα προβλήματα κατά την υλοποίηση και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα.
- Βελτιώνεται η διαχείριση κινδύνων και μειώνεται η πιθανότητα οικονομικών απωλειών.

Η υιοθέτηση τέτοιων εργαλείων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε αγορές με υψηλό επίπεδο ανταγωνισμού.

8.12 Ανάγκη ανάπτυξης ψηφιακών υποδομών και δεδομένων

Μία από τις βασικότερες πρακτικές προεκτάσεις αφορά την ανάγκη δημιουργίας και διαχείρισης αξιόπιστων δεδομένων. Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων ΤΝ εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Στο πλαίσιο αυτό:

- Απαιτείται η ανάπτυξη ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων έργων.
- Πρέπει να διασφαλιστεί η τυποποίηση των δεδομένων μεταξύ διαφορετικών φορέων.
- Είναι απαραίτητη η διαλειτουργικότητα μεταξύ πληροφοριακών συστημάτων.
- Πρέπει να θεσπιστούν διαδικασίες συνεχούς ενημέρωσης και ελέγχου των δεδομένων.

Χωρίς τα παραπάνω, η εφαρμογή της ΤΝ περιορίζεται σημαντικά και δεν μπορεί να αποδώσει τα αναμενόμενα οφέλη.

8.13 Ανάπτυξη δεξιοτήτων και εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού

Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλα εκπαιδευμένου προσωπικού. Οι εργαζόμενοι τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα θα πρέπει να αποκτήσουν βασικές γνώσεις στη χρήση δεδομένων και ψηφιακών εργαλείων.

Συγκεκριμένα:

- Απαιτείται εκπαίδευση στη χρήση συστημάτων DSS.
- Χρειάζεται κατανόηση βασικών αρχών ανάλυσης δεδομένων.
- Πρέπει να αναπτυχθούν δεξιότητες ερμηνείας αποτελεσμάτων μοντέλων.

- Ενισχύεται η ανάγκη για διεπιστημονικές ομάδες (μηχανικοί, αναλυτές δεδομένων, οικονομολόγοι).

Η επένδυση στο ανθρώπινο δυναμικό αποτελεί βασικό παράγοντα επιτυχίας για την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων.

8.14 Αναδιοργάνωση διαδικασιών και θεσμικού πλαισίου

Η εφαρμογή της TN δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά χωρίς την προσαρμογή των υφιστάμενων διαδικασιών. Οι φορείς καλούνται να επανεξετάσουν τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται και υλοποιούνται τα έργα.

Ειδικότερα:

- Πρέπει να ενσωματωθούν νέα κριτήρια αξιολόγησης στις διαδικασίες ανάθεσης.
- Απαιτείται προσαρμογή των διαδικασιών ελέγχου και παρακολούθησης.
- Είναι απαραίτητη η δημιουργία πλαισίου για τη χρήση δεδομένων και αλγορίθμων.
- Πρέπει να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με κανόνες διαφάνειας και προστασίας δεδομένων.

Η θεσμική προσαρμογή αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βιώσιμη εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

8.15 Ενίσχυση συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα

Η επιτυχής εφαρμογή συστημάτων TN στη διαχείριση έργων υποδομής απαιτεί συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. Δημόσιοι και ιδιωτικοί οργανισμοί πρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα, τεχνογνωσία και καλές πρακτικές. (Flyvbjerg, 2014)

Οι πρακτικές προεκτάσεις περιλαμβάνουν:

- ανάπτυξη κοινών πλατφορμών δεδομένων,
 - συνεργασία σε πιλοτικά έργα εφαρμογής,
- ανταλλαγή εμπειρίας και τεχνογνωσίας,
δημιουργία προτύπων και κατευθυντήριων γραμμών.

Η συνεργασία αυτή μπορεί να επιταχύνει την υιοθέτηση της TN και να μεγιστοποιήσει τα οφέλη της.

8.16 Συνολική αποτίμηση πρακτικών προεκτάσεων

Συνολικά, η εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής δημιουργεί ένα νέο πλαίσιο λειτουργίας για δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Οι οργανισμοί καλούνται να μεταβούν από παραδοσιακές πρακτικές σε ένα πιο σύγχρονο, ψηφιακό και δεδομενοκεντρικό μοντέλο. (Adebayo et al., 2025)

Οι βασικές πρακτικές προεκτάσεις συνοψίζονται στα εξής:

- εκσυγχρονισμός διαδικασιών,
- αξιοποίηση δεδομένων για λήψη αποφάσεων,
- ενίσχυση διαφάνειας και αποδοτικότητας,
- ανάγκη επένδυσης σε τεχνολογία και ανθρώπινο δυναμικό.

Η επιτυχία της μετάβασης εξαρτάται από τον βαθμό προσαρμογής των φορέων και τη στρατηγική τους προσέγγιση στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών.

9 ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Συμπεράσματα και Προτάσεις

9.1 Συνοπτική αποτίμηση της έρευνας

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο τη διερεύνηση της εφαρμογής προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων στη διαδικασία ανάθεσης και παρακολούθησης έργων υποδομής, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της διαφάνειας και της ποιότητας των αποφάσεων. Η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ενός πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων (DSS), το οποίο αξιοποιεί ιστορικά δεδομένα

έργων και προγνωστικά μοντέλα για την αξιολόγηση κινδύνων και την παρακολούθηση της εξέλιξης των έργων. (Flyvbjerg, 2014)

Τα αποτελέσματα της μελέτης κατέδειξαν ότι η αξιοποίηση τέτοιων μεθόδων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην αντιμετώπιση βασικών προβλημάτων που χαρακτηρίζουν τα έργα υποδομής, όπως οι καθυστερήσεις, οι υπερβάσεις κόστους και η περιορισμένη τεκμηρίωση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μέσα από την ανάλυση δεδομένων και την εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων, καθίσταται δυνατή η έγκαιρη πρόβλεψη πιθανών αποκλίσεων και η λήψη διορθωτικών μέτρων.

9.2 Αποτίμηση επίτευξης ερευνητικών στόχων

Η έρευνα πέτυχε τους βασικούς στόχους που είχαν τεθεί. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που υποστηρίζει τόσο τη διαδικασία ανάθεσης όσο και τη φάση υλοποίησης των έργων. Το προτεινόμενο σύστημα επέτρεψε την αξιολόγηση αναδόχων με βάση αντικειμενικά κριτήρια και τη συνεχή παρακολούθηση της προόδου των έργων.

Επιπλέον, επιβεβαιώθηκε ότι η χρήση προγνωστικών μοντέλων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια των εκτιμήσεων σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους. Η δυνατότητα αυτή ενισχύει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και μειώνει την αβεβαιότητα.

9.3 Συμβολή της έρευνας σε επιστημονικό και πρακτικό επίπεδο

Σε επιστημονικό επίπεδο, η εργασία συμβάλλει στη σύνδεση της θεωρίας της ανάλυσης δεδομένων με τον τομέα της διαχείρισης έργων υποδομής, αναδεικνύοντας τη σημασία της αξιοποίησης δεδομένων στη βελτίωση των διαδικασιών. (Flyvbjerg, 2014)

Σε πρακτικό επίπεδο, προτείνεται ένα εφαρμόσιμο πλαίσιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς. Η συμβολή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς παρέχει συγκεκριμένα εργαλεία και κατευθύνσεις για την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών στη διαχείριση έργων. (PMI, 2021)

9.4 Κύρια ευρήματα της έρευνας

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψαν ορισμένα βασικά ευρήματα που επιβεβαιώνουν την αξία της αξιοποίησης δεδομένων και Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων. (Adebayo et al., 2025)

Η αξιοποίηση δεδομένων συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Η έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων οδηγεί σε πιο αποτελεσματική και προληπτική διαχείριση των έργων, μειώνοντας πιθανές αστοχίες.

Επιπλέον, η χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων ενισχύει τη διαφάνεια και τη λογοδοσία, προσφέροντας πιο τεκμηριωμένες διαδικασίες λήψης αποφάσεων. (Yu et al., 2018)

Τέλος, η συνεχής παρακολούθηση των έργων συμβάλλει στη μείωση αποκλίσεων κόστους και χρόνου, βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα.

Συνολικά, τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν τη σημασία της μετάβασης σε ένα δεδομενοκεντρικό μοντέλο διαχείρισης έργων.

9.5 Περιορισμοί της έρευνας

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, η έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Ένας βασικός περιορισμός αφορά τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των δεδομένων, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι ελλιπή ή μη τυποποιημένα.

Επιπλέον, η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου πραγματοποιήθηκε σε πλαίσιο μελέτης περίπτωσης, γεγονός που ενδέχεται να περιορίζει τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Τέλος, η ανάλυση βασίστηκε σε συγκεκριμένες παραδοχές, οι οποίες ενδέχεται να μην ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

Συνολικά, η προσέγγιση που προτάθηκε στην εργασία αποδείχθηκε αποτελεσματική και ικανή να αντιμετωπίσει βασικές αδυναμίες των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης έργων. Η ενσωμάτωση προηγμένων εργαλείων ανάλυσης δεδομένων επιτρέπει τη βελτίωση της ποιότητας των αποφάσεων και την ενίσχυση της αποδοτικότητας.

Ωστόσο, η επιτυχία της εφαρμογής εξαρτάται από παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα δεδομένων, η τεχνολογική υποδομή και η ετοιμότητα των οργανισμών να υιοθετήσουν νέες πρακτικές.

9.6 Συμπερασματική τοποθέτηση

Η συνοπτική αποτίμηση της έρευνας καταδεικνύει ότι η αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογιών στη διαχείριση έργων υποδομής δεν αποτελεί απλώς μια καινοτόμο επιλογή, αλλά μια αναγκαία εξέλιξη για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων. Η μετάβαση σε ένα μοντέλο βασισμένο σε δεδομένα μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της διαφάνειας και της βιωσιμότητας των έργων (Flyvbjerg, 2014)

9.7 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα ενότητα αποσκοπεί στη συστηματική απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν στην αρχή της εργασίας. Μέσα από τη θεωρητική ανάλυση, τη μεθοδολογική προσέγγιση και τα εμπειρικά αποτελέσματα, καθίσταται δυνατή η εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με τον ρόλο των προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων στη διαχείριση έργων υποδομής. (Flyvbjerg, 2014)

Οι απαντήσεις που ακολουθούν βασίζονται στη σύνθεση των ευρημάτων και στη συσχέτισή τους με τους αρχικούς στόχους της έρευνας.

9.8 Ερευνητικό Ερώτημα 1: Σε ποιο βαθμό μπορεί η αξιοποίηση δεδομένων να βελτιώσει τη διαδικασία ανάθεσης έργων υποδομής;

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η αξιοποίηση δεδομένων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη διαδικασία ανάθεσης. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών στοιχείων, καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση των υποψήφιων αναδόχων με πιο αντικειμενικά και πολυκριτηριακά κριτήρια.

Συγκεκριμένα, η χρήση δεικτών απόδοσης (όπως καθυστερήσεις, υπερβάσεις κόστους και συμμόρφωση με συμβατικές υποχρεώσεις) επιτρέπει την επιλογή αναδόχων όχι μόνο με βάση την οικονομική προσφορά, αλλά και με βάση την πραγματική τους ικανότητα. Αυτό οδηγεί σε πιο αξιόπιστες αναθέσεις και μειώνει τον κίνδυνο αποτυχίας των έργων.

9.9 Ερευνητικό Ερώτημα 2: Πώς επηρεάζει η εφαρμογή προγνωστικών μοντέλων την παρακολούθηση και τον έλεγχο των έργων;

Η εφαρμογή προγνωστικών μοντέλων έχει καθοριστική επίδραση στην παρακολούθηση των έργων. Τα μοντέλα επιτρέπουν την πρόβλεψη μελλοντικών αποκλίσεων από το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό, βασιζόμενα σε πραγματικά δεδομένα εξέλιξης του έργου.

Μέσα από τη συνεχή ανάλυση δεδομένων, καθίσταται δυνατός ο έγκαιρος εντοπισμός προβλημάτων, γεγονός που επιτρέπει τη λήψη διορθωτικών μέτρων πριν αυτά αποκτήσουν σημαντικές επιπτώσεις. Συνεπώς, η παρακολούθηση μετατρέπεται από μια παθητική διαδικασία καταγραφής σε ένα δυναμικό εργαλείο πρόβλεψης και παρέμβασης. (Wang et al., 2019)

9.10 Ερευνητικό Ερώτημα 3: Σε ποιο βαθμό τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων συμβάλλουν στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων;

Τα ευρήματα της μελέτης επιβεβαιώνουν ότι τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων συμβάλλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η παροχή ποσοτικοποιημένων πληροφοριών και προβλέψεων μειώνει την αβεβαιότητα και ενισχύει την τεκμηρίωση των επιλογών. (Yu et al., 2018)

Επιπλέον, τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων, δίνοντας στους υπεύθυνους έργων τη δυνατότητα να επιλέγουν τη βέλτιστη στρατηγική. Ωστόσο, διαπιστώνεται ότι ο ρόλος τους είναι υποστηρικτικός και όχι αντικαταστατικός, καθώς η ανθρώπινη κρίση παραμένει απαραίτητη.

9.11 Ερευνητικό Ερώτημα 4: Ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους;

Η συγκριτική ανάλυση ανέδειξε ότι οι σύγχρονες προσεγγίσεις παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Τα βασικότερα από αυτά περιλαμβάνουν:

- ο μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις,
- ο δυνατότητα ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων,
- ο ταχύτερη επεξεργασία πληροφοριών,
- ο ενίσχυση της διαφάνειας και της τεκμηρίωσης.

Αντίθετα, οι παραδοσιακές μέθοδοι βασίζονται περισσότερο στην εμπειρία και σε απλούστερες αναλυτικές προσεγγίσεις, γεγονός που περιορίζει την αποτελεσματικότητά τους σε σύνθετα έργα.

9.12 Ερευνητικό Ερώτημα 5: Ποιοι είναι οι βασικοί περιορισμοί και προκλήσεις της εφαρμογής τέτοιων συστημάτων;

Η έρευνα ανέδειξε ότι, παρά τα σημαντικά οφέλη, υπάρχουν και ουσιαστικές προκλήσεις στην εφαρμογή τέτοιων συστημάτων. Οι βασικότεροι περιορισμοί περιλαμβάνουν:

- ο την έλλειψη ποιοτικών και δομημένων δεδομένων,
- ο την ανάγκη για εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις,
- ο τις δυσκολίες ενσωμάτωσης σε υφιστάμενα συστήματα,
- ο την πιθανή αντίσταση στην αλλαγή από τους χρήστες.

Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής και πρέπει να αντιμετωπιστούν μέσα από κατάλληλες στρατηγικές.

9.13 Συνολική απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η αξιοποίηση προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά όλες τις βασικές φάσεις διαχείρισης έργων υποδομής, από την ανάθεση έως την παρακολούθηση και τον έλεγχο. (Flynbjerg, 2014)

Οι απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα επιβεβαιώνουν ότι:

- η μετάβαση σε δεδομενοκεντρικές προσεγγίσεις ενισχύει την αποτελεσματικότητα,
- η προγνωστική ανάλυση βελτιώνει τη διαχείριση κινδύνων,
- τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων συμβάλλουν στη λήψη πιο ορθολογικών επιλογών. (Yu et al., 2018)

Παράλληλα, αναδεικνύεται ότι η επιτυχία της εφαρμογής εξαρτάται από οργανωτικούς και τεχνολογικούς παράγοντες, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για ολοκληρωμένη προσέγγιση στην υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών.

9.14 Προτάσεις πολιτικής και εφαρμογής

Η αξιοποίηση προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων και Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων στη διαχείριση έργων υποδομής δημιουργεί την ανάγκη διαμόρφωσης συγκεκριμένων προτάσεων πολιτικής και πρακτικής εφαρμογής. Οι προτάσεις αυτές αποσκοπούν στη διευκόλυνση της υιοθέτησης τέτοιων τεχνολογιών, στη μεγιστοποίηση των ωφελειών τους και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που εντοπίστηκαν κατά την έρευνα. (Flyvbjerg, 2014)

Οι προτεινόμενες παρεμβάσεις αφορούν τόσο το θεσμικό πλαίσιο όσο και την επιχειρησιακή λειτουργία των οργανισμών.

9.15 Θεσμική ενσωμάτωση δεδομενοκεντρικών προσεγγίσεων

Η αποτελεσματική αξιοποίηση δεδομένων και προηγμένων αναλυτικών μεθόδων στη διαχείριση έργων υποδομής προϋποθέτει την ενσωμάτωσή τους στο θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο που διέπει τον σχεδιασμό, την ανάθεση και την παρακολούθηση των έργων.

Η υιοθέτηση μιας συστηματικής, τεκμηριωμένης και βασισμένης σε δεδομένα προσέγγισης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της διαφάνειας και της λογοδοσίας των δημόσιων επενδύσεων (Flyvbjerg, 2014).

Οι δημόσιοι φορείς καλούνται να διαμορφώσουν πολιτικές και κατευθυντήριες γραμμές που να ενθαρρύνουν ή, όπου κρίνεται σκόπιμο, να καθιστούν υποχρεωτική τη χρήση εργαλείων ανάλυσης δεδομένων και τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η θεσμική αυτή προσέγγιση μπορεί να ενισχύσει την αντικειμενικότητα των αξιολογήσεων και να μειώσει τον κίνδυνο σφαλμάτων ή υποκειμενικών εκτιμήσεων.

Ειδικότερα, η εφαρμογή της μπορεί να περιλαμβάνει:

- **Ενσωμάτωση δεικτών απόδοσης (Key Performance Indicators – KPIs)** στις διαδικασίες αξιολόγησης έργων και αναδόχων, με στόχο τη συστηματική

παρακολούθηση της προόδου, του κόστους, της ποιότητας και της τήρησης χρονοδιαγραμμάτων.

- **Χρήση αντικειμενικών και μετρήσιμων κριτηρίων επιλογής αναδόχων,** βασισμένων σε ιστορικά δεδομένα επιδόσεων, δείκτες αξιοπιστίας και αποδεδειγμένη εμπειρία σε αντίστοιχα έργα.
- **Καθιέρωση υποχρεωτικής συλλογής, καταγραφής και αξιοποίησης δεδομένων έργων,** ώστε να δημιουργούνται αξιόπιστες βάσεις δεδομένων που θα υποστηρίζουν τη συνεχή αξιολόγηση, τη συγκριτική ανάλυση και την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων.
- **Τυποποίηση διαδικασιών αναφοράς και διαχείρισης δεδομένων,** προκειμένου να διασφαλίζεται η ποιότητα, η συγκρισιμότητα και η διαλειτουργικότητα των πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών φορέων και έργων.

Η θεσμική κατοχύρωση των παραπάνω πρακτικών διασφαλίζει τη συνέπεια στην εφαρμογή τους, ενισχύει τη βιωσιμότητα των σχετικών πρωτοβουλιών και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη μετάβαση σε ένα σύγχρονο, τεκμηριωμένο και αποδοτικό μοντέλο διαχείρισης έργων υποδομής. Παράλληλα, συμβάλλει στην ανάπτυξη κουλτούρας λήψης αποφάσεων βασισμένης σε δεδομένα, η οποία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των δημόσιων πολιτικών και επενδύσεων.

9.16 Ανάπτυξη εθνικών ή οργανωτικών βάσεων δεδομένων έργων

Η δημιουργία ολοκληρωμένων και αξιόπιστων βάσεων δεδομένων αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την αποτελεσματική εφαρμογή συστημάτων ανάλυσης δεδομένων και Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής. Η ποιότητα και η πληρότητα των διαθέσιμων δεδομένων επηρεάζουν άμεσα την ακρίβεια των αναλύσεων, την αξιοπιστία των προβλέψεων και τη συνολική αποτελεσματικότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η ανάπτυξη κεντρικών αποθετηρίων δεδομένων (data repositories), στα οποία θα συγκεντρώνονται και θα οργανώνονται πληροφορίες που αφορούν όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των έργων υποδομής. Τα δεδομένα αυτά

μπορούν να περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με το κόστος, τη διάρκεια υλοποίησης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τις τροποποιήσεις συμβάσεων, τους δείκτες ποιότητας, καθώς και τις επιδόσεις των αναδόχων και των εμπλεκόμενων φορέων.

Η ύπαρξη μιας ενιαίας και οργανωμένης βάσης δεδομένων προσφέρει πολλαπλά οφέλη:

- Αξιοποίηση ιστορικών δεδομένων, επιτρέποντας τη μελέτη προηγούμενων έργων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για μελλοντικές παρεμβάσεις.
- Διευκόλυνση της συγκριτικής ανάλυσης, μέσω της σύγκρισης έργων διαφορετικών κατηγοριών, περιοχών ή αναδόχων με βάση κοινά κριτήρια αξιολόγησης.
- Ενίσχυση της διαφάνειας και του ελέγχου, καθώς παρέχεται σαφής και τεκμηριωμένη εικόνα της πορείας και των αποτελεσμάτων των έργων.
- Υποστήριξη προηγμένων αναλυτικών εφαρμογών, όπως προγνωστικά μοντέλα, συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και μηχανισμοί αξιολόγησης κινδύνου.

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία έχει η **τυποποίηση των δεδομένων**, ώστε οι πληροφορίες που συλλέγονται από διαφορετικούς οργανισμούς και έργα να είναι ομοιόμορφες, συγκρίσιμες και επαναχρησιμοποιήσιμες. Η υιοθέτηση κοινών προτύπων καταγραφής, ορισμών και δεικτών απόδοσης συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων, μειώνει τις ασυμβατότητες μεταξύ συστημάτων και ενισχύει την αξιοπιστία των αναλύσεων.

Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου οικοσυστήματος δεδομένων μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τον ψηφιακό μετασχηματισμό της διαχείρισης έργων υποδομής, υποστηρίζοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των δημόσιων επενδύσεων σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

9.17 Επένδυση σε ψηφιακές υποδομές και τεχνολογία

Η επιτυχής υιοθέτηση και αξιοποίηση συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων τεχνολογικών

υποδομών που να μπορούν να υποστηρίξουν τη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η τεχνολογία αποτελεί βασικό παράγοντα για τη λειτουργία των προτεινόμενων συστημάτων και για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους στις καθημερινές διαδικασίες των οργανισμών.

Στο πλαίσιο αυτό, οι δημόσιοι και ιδιωτικοί φορείς που εμπλέκονται στη διαχείριση έργων υποδομής καλούνται να επενδύσουν σε σύγχρονες ψηφιακές υποδομές και εξειδικευμένα εργαλεία που θα υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Ειδικότερα, απαιτείται η ανάπτυξη και αξιοποίηση:

- Σύγχρονων πληροφοριακών συστημάτων, ικανών να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται δεδομένα από πολλαπλές πηγές με ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο.
- Εργαλείων ανάλυσης δεδομένων και επιχειρηματικής ευφυΐας (Business Intelligence), τα οποία επιτρέπουν την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων, την εξαγωγή δεικτών απόδοσης και την παραγωγή χρήσιμων αναλυτικών πληροφοριών.
- Πλατφορμών διαχείρισης έργων με δυνατότητες αυτοματοποίησης, οι οποίες διευκολύνουν την παρακολούθηση της προόδου των έργων, την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων και την αυτοματοποιημένη παραγωγή αναφορών και ειδοποιήσεων.

Ωστόσο, η επένδυση στις τεχνολογικές υποδομές δεν περιορίζεται μόνο στην προμήθεια λογισμικού και εξοπλισμού. Εξίσου σημαντική είναι η διασφάλιση της **διαλειτουργικότητας** μεταξύ των διαφορετικών πληροφοριακών συστημάτων που χρησιμοποιούνται από τους εμπλεκόμενους φορείς. Η δυνατότητα ανταλλαγής και αξιοποίησης δεδομένων μέσω κοινών προτύπων και διεπαφών επικοινωνίας επιτρέπει την ενοποίηση των πληροφοριών, αποφεύγει τον κατακερματισμό των δεδομένων και βελτιώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα των διαδικασιών.

Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου και διαλειτουργικού ψηφιακού περιβάλλοντος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή εφαρμογή τεχνολογιών Τεχνητής

Νοημοσύνης και προηγμένων αναλυτικών εργαλείων. Παράλληλα, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, της διαφάνειας και της ποιότητας στη διαχείριση έργων υποδομής, συμβάλλοντας στον ευρύτερο ψηφιακό μετασχηματισμό του δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

9.18 Εκπαίδευση και ανάπτυξη ανθρώπινου δυναμικού

Η επιτυχής εφαρμογή συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης και προηγμένων αναλυτικών μεθόδων στη διαχείριση έργων υποδομής δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογία, αλλά και από την ικανότητα του ανθρώπινου δυναμικού να αξιοποιεί αποτελεσματικά τα διαθέσιμα εργαλεία. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη των κατάλληλων γνώσεων και δεξιοτήτων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες επιτυχίας για τον ψηφιακό μετασχηματισμό των οργανισμών.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η υλοποίηση στοχευμένων προγραμμάτων εκπαίδευσης και επαγγελματικής ανάπτυξης, τα οποία θα ενισχύσουν την ικανότητα των στελεχών να χρησιμοποιούν δεδομένα και αναλυτικά εργαλεία κατά τη λήψη αποφάσεων. Τα προγράμματα αυτά θα πρέπει να εστιάζουν:

- Στη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, ώστε τα στελέχη να μπορούν να αξιοποιούν αποτελεσματικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων και των προγνωστικών μοντέλων στη διαδικασία σχεδιασμού, παρακολούθησης και αξιολόγησης έργων (Yu et al., 2018).
- Στην ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, με στόχο την ανάπτυξη δεξιοτήτων που επιτρέπουν την κατανόηση δεικτών απόδοσης, στατιστικών αποτελεσμάτων και προγνωστικών εκτιμήσεων.
- Στη βασική κατανόηση της λειτουργίας των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, ώστε οι χρήστες να μπορούν να αξιολογούν τα αποτελέσματα, να κατανοούν τους περιορισμούς των μοντέλων και να χρησιμοποιούν τις προβλέψεις με τεκμηριωμένο τρόπο.

Παράλληλα, ιδιαίτερη σημασία έχει η δημιουργία διεπιστημονικών ομάδων εργασίας, οι οποίες θα συνδυάζουν διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα και επαγγελματικές εμπειρίες. Οι ομάδες αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν μηχανικούς, διαχειριστές έργων, αναλυτές δεδομένων, ειδικούς πληροφορικής και στελέχη διοίκησης, εξασφαλίζοντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση και αξιοποίηση των δεδομένων. Η συνεργασία μεταξύ τεχνικών και αναλυτικών ειδικοτήτων συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων, στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των τεχνολογικών εργαλείων και στη μετατροπή των αναλυτικών ευρημάτων σε πρακτικές και εφαρμόσιμες αποφάσεις.

Η συνεχής επένδυση στην εκπαίδευση και στην ανάπτυξη ανθρώπινου κεφαλαίου αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη βιώσιμη ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής και για τη δημιουργία οργανισμών που λειτουργούν με γνώμονα τα δεδομένα, την καινοτομία και τη συνεχή βελτίωση.

9.19 Πιλοτική εφαρμογή και σταδιακή υιοθέτηση

Η μετάβαση σε ένα νέο, δεδομενοκεντρικό μοντέλο διαχείρισης έργων υποδομής δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί άμεσα και σε πλήρη κλίμακα. Η επιτυχής ενσωμάτωση συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης και προηγμένων αναλυτικών εργαλείων απαιτεί μια σταδιακή και ελεγχόμενη διαδικασία εφαρμογής, η οποία θα επιτρέψει την αξιολόγηση της λειτουργικότητας και της αποτελεσματικότητάς τους πριν από τη γενικευμένη υιοθέτησή τους.

Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται η υλοποίηση **πιλοτικών έργων**, στα οποία τα προτεινόμενα συστήματα θα εφαρμοστούν σε πραγματικές αλλά ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας. Τα πιλοτικά έργα αποτελούν ένα ασφαλές περιβάλλον δοκιμών, όπου μπορούν να αξιολογηθούν οι τεχνικές, οργανωτικές και επιχειρησιακές πτυχές της εφαρμογής των νέων τεχνολογιών.

Μέσω της πιλοτικής εφαρμογής επιτυγχάνονται πολλαπλοί στόχοι:

- Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εργαλείων, ως προς την ακρίβεια των προβλέψεων, τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και τη συνολική συμβολή τους στην παρακολούθηση και διαχείριση των έργων.
- Εντοπισμός προβλημάτων και περιορισμών εφαρμογής, που ενδέχεται να σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων, τις τεχνολογικές υποδομές, τις διαδικασίες λειτουργίας ή την αποδοχή από τους χρήστες.
- Προσαρμογή και βελτιστοποίηση των διαδικασιών, ώστε να αντιμετωπιστούν έγκαιρα οι αδυναμίες και να διαμορφωθεί ένα αποτελεσματικότερο πλαίσιο λειτουργίας πριν από την ευρύτερη εφαρμογή.

Η σταδιακή αυτή προσέγγιση συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κινδύνου αποτυχίας, καθώς επιτρέπει τη δοκιμή και τη βελτίωση των συστημάτων σε περιορισμένη κλίμακα πριν από την πλήρη ανάπτυξή τους. Παράλληλα, ενισχύει την εμπιστοσύνη και την αποδοχή των χρηστών, καθώς τα στελέχη και οι οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να εξοικειωθούν σταδιακά με τις νέες τεχνολογίες και να διαπιστώσουν στην πράξη τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση τους (Zhang et al., 2020).

Η πιλοτική εφαρμογή μπορεί, επομένως, να λειτουργήσει ως κρίσιμο ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ του σχεδιασμού και της πλήρους υλοποίησης, διασφαλίζοντας ότι η μετάβαση σε ένα σύγχρονο μοντέλο διαχείρισης έργων βασισμένο σε δεδομένα και τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης θα πραγματοποιηθεί με τρόπο οργανωμένο, αποτελεσματικό και βιώσιμο.

9.20 Διασφάλιση διαφάνειας και ερμηνευσιμότητας

Η αξιοποίηση προηγμένων μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής συνοδεύεται από την ανάγκη διασφάλισης υψηλού επιπέδου διαφάνειας και λογοδοσίας. Ιδιαίτερα στον δημόσιο τομέα, όπου οι αποφάσεις επηρεάζουν τη διαχείριση δημόσιων πόρων και την υλοποίηση έργων σημαντικής κοινωνικής και οικονομικής αξίας, είναι απαραίτητο τα αποτελέσματα των συστημάτων να είναι κατανοητά, ερμηνεύσιμα και επαληθεύσιμα από τους χρήστες και τους αρμόδιους φορείς.

Η πολυπλοκότητα ορισμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης μπορεί να δυσχεράνει την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο παράγονται οι προβλέψεις ή οι συστάσεις. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη και εφαρμογή μηχανισμών ερμηνευσιμότητας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την υπεύθυνη χρήση των τεχνολογιών αυτών. Οι χρήστες θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν ποιοι παράγοντες επηρέασαν μια πρόβλεψη, ποια δεδομένα αξιοποιήθηκαν και ποια ήταν η σχετική βαρύτητα των επιμέρους μεταβλητών.

Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται:

- Η ανάπτυξη εργαλείων ερμηνείας των προβλέψεων, τα οποία θα παρουσιάζουν με σαφή και κατανοητό τρόπο τους παράγοντες που οδήγησαν σε μια συγκεκριμένη εκτίμηση ή απόφαση του συστήματος.
- Η συστηματική τεκμηρίωση των διαδικασιών ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων των πηγών δεδομένων, των μεθόδων επεξεργασίας, των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται και των κριτηρίων αξιολόγησης των μοντέλων.
- Η διασφάλιση δυνατότητας ελέγχου και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων, ώστε οι χρήστες και οι αρμόδιοι φορείς να μπορούν να εξετάζουν την ορθότητα των προβλέψεων και να εντοπίζουν πιθανές αστοχίες ή αποκλίσεις.

Η διαφάνεια δεν αποτελεί μόνο τεχνική απαίτηση αλλά και θεμελιώδη αρχή χρηστής διοίκησης. Η δυνατότητα κατανόησης και ελέγχου των αποτελεσμάτων ενισχύει την εμπιστοσύνη των χρηστών, περιορίζει τον κίνδυνο αδιαφανών ή αυθαίρετων αποφάσεων και διευκολύνει την αποδοχή των νέων τεχνολογιών από τους εμπλεκόμενους φορείς.

Επομένως, η ενσωμάτωση αρχών ερμηνευσιμότητας, διαφάνειας και λογοδοσίας στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βιώσιμη και υπεύθυνη αξιοποίησή τους στη διαχείριση έργων υποδομής, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα όπου η τεκμηρίωση και η δημόσια λογοδοσία αποτελούν βασικές απαιτήσεις.

9.21 Ενίσχυση συνεργασίας δημόσιου και ιδιωτικού τομέα

Η επιτυχής υιοθέτηση και αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών ανάλυσης δεδομένων και Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής προϋποθέτει τη στενή συνεργασία μεταξύ δημόσιων φορέων, ιδιωτικών επιχειρήσεων, ακαδημαϊκών ιδρυμάτων και ερευνητικών οργανισμών. Η πολυπλοκότητα των σύγχρονων έργων και η ανάγκη αξιοποίησης εξειδικευμένης γνώσης καθιστούν απαραίτητη τη δημιουργία ενός πλαισίου συνεργασίας που θα διευκολύνει την ανταλλαγή γνώσης, δεδομένων και βέλτιστων πρακτικών.

Η ανάπτυξη συνεργειών μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας των εφαρμογών, στη μείωση του κόστους ανάπτυξης και στην επιτάχυνση της υιοθέτησης καινοτόμων λύσεων. Παράλληλα, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη κοινών προσεγγίσεων και προτύπων που ενισχύουν τη διαλειτουργικότητα και τη συγκρισιμότητα των δεδομένων.

Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται:

- Η ανάπτυξη κοινών προτύπων δεδομένων, τα οποία θα καθορίζουν ενιαίες προδιαγραφές για τη συλλογή, καταγραφή, αποθήκευση και ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τα έργα υποδομής. Η τυποποίηση των δεδομένων διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών οργανισμών και βελτιώνει την ποιότητα των αναλύσεων.
- Η ανταλλαγή τεχνογνωσίας και βέλτιστων πρακτικών, μέσω δικτύων συνεργασίας, εκπαιδευτικών δράσεων, εργαστηρίων και κοινών πρωτοβουλιών.

Η διάχυση της γνώσης συμβάλλει στην ενίσχυση των δεξιοτήτων των εμπλεκόμενων φορέων και στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των διαθέσιμων τεχνολογιών.

- Η συνεργασία σε ερευνητικά και πιλοτικά έργα, τα οποία επιτρέπουν τη δοκιμή νέων εργαλείων και μεθόδων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Μέσα από τέτοιες δράσεις είναι δυνατή η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των τεχνολογικών λύσεων, η αναγνώριση περιορισμών και η προσαρμογή τους στις ανάγκες των οργανισμών.

Η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα μπορεί να λειτουργήσει ως καταλύτης για τον ψηφιακό μετασχηματισμό της διαχείρισης έργων υποδομής. Μέσα από την αξιοποίηση της συλλογικής εμπειρίας και των διαθέσιμων πόρων, καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη πιο αξιόπιστων, αποδοτικών και καινοτόμων συστημάτων, τα οποία θα υποστηρίζουν αποτελεσματικότερα τη λήψη αποφάσεων και τη βελτίωση της απόδοσης των έργων. Επιπλέον, η συνεργασία αυτή ενισχύει τη διάδοση της καινοτομίας και συμβάλλει στη δημιουργία ενός βιώσιμου οικοσυστήματος ψηφιακής διακυβέρνησης και διαχείρισης υποδομών.

9.22 Συνεχής αξιολόγηση και βελτίωση συστημάτων

Η αποτελεσματικότητα των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων δεν αποτελεί στατικό χαρακτηριστικό, αλλά εξαρτάται από τη συνεχή παρακολούθηση, αξιολόγηση και προσαρμογή τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η θεσμοθέτηση διαδικασιών συνεχούς αξιολόγησης, οι οποίες θα διασφαλίζουν ότι τα μοντέλα παραμένουν αξιόπιστα, ακριβή και κατάλληλα για τις ανάγκες των οργανισμών.

Η απόδοση των μοντέλων θα πρέπει να παρακολουθείται σε τακτική βάση μέσω κατάλληλων δεικτών αξιολόγησης, όπως η ακρίβεια των προβλέψεων, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, ο βαθμός αξιοποίησης από τους χρήστες και η συμβολή τους στη βελτίωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Παράλληλα, η ενσωμάτωση νέων δεδομένων και εμπειριών από την πραγματική εφαρμογή των συστημάτων επιτρέπει την αναθεώρηση και επανεκπαίδευση των μοντέλων, ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά σε νέες απαιτήσεις και συνθήκες.

Η διαδικασία συνεχούς ανατροφοδότησης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Διασφαλίζει την προσαρμοστικότητα των συστημάτων, επιτρέποντας την έγκαιρη προσαρμογή τους σε μεταβολές του περιβάλλοντος λειτουργίας, των διαδικασιών και των διαθέσιμων δεδομένων.

- Βελτιώνει την ακρίβεια των προβλέψεων, μέσω της τακτικής ενημέρωσης και βελτιστοποίησης των αλγορίθμων με βάση νέα δεδομένα και πραγματικά αποτελέσματα έργων.
- Ενισχύει τη μακροχρόνια αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία, καθώς διασφαλίζεται ότι τα συστήματα παραμένουν λειτουργικά, επίκαιρα και συμβατά με τους επιχειρησιακούς στόχους των οργανισμών.

Επιπλέον, η συνεχής αξιολόγηση επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων, αποκλίσεων ή φαινομένων υποβάθμισης της απόδοσης των μοντέλων (model drift), τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των προβλέψεων και τη λήψη αποφάσεων.

Μέσω της συστηματικής παρακολούθησης και της εφαρμογής μηχανισμών βελτίωσης, οι οργανισμοί μπορούν να διασφαλίσουν ότι τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης παραμένουν αποτελεσματικά και αξιόπιστα σε βάθος χρόνου.

Συνεπώς, η καθιέρωση ενός πλαισίου συνεχούς αξιολόγησης και ανατροφοδότησης αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της επιτυχημένης εφαρμογής των τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης στη διαχείριση έργων υποδομής, συμβάλλοντας στη διαρκή βελτίωση της απόδοσης, της διαφάνειας και της ποιότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

9.23 Συνολική κατεύθυνση πολιτικής

Οι προτάσεις που διατυπώθηκαν αναδεικνύουν την ανάγκη για έναν συντονισμένο και πολυεπίπεδο μετασχηματισμό στη διαχείριση έργων υποδομής. Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών δεν αποτελεί απλώς τεχνική επιλογή, αλλά στρατηγική κατεύθυνση που απαιτεί θεσμική υποστήριξη, επενδύσεις και αλλαγή νοοτροπίας. (Flyvbjerg, 2014)

Η υιοθέτηση των προτάσεων αυτών μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία ενός πιο αποτελεσματικού, διαφανούς και βιώσιμου συστήματος διαχείρισης έργων, ικανού να ανταποκριθεί στις σύγχρονες απαιτήσεις.

9.24 Κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη σημασία της αξιοποίησης προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων στη διαχείριση έργων υποδομής, ωστόσο ταυτόχρονα ανέδειξε και νέα ερευνητικά πεδία που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επεκτείνει, να εμβαθύνει και να βελτιώσει τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, συμβάλλοντας στην εξέλιξη τόσο της επιστημονικής γνώσης όσο και της πρακτικής εφαρμογής. (Flynbjerg, 2014)

Οι βασικές κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα διαμορφώνονται ως εξής:

9.24.1 Επέκταση σε μεγαλύτερα και πιο ετερογενή σύνολα δεδομένων

Η παρούσα μελέτη βασίστηκε στην ανάλυση συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων έργων υποδομής, το οποίο παρείχε επαρκή πληροφορία για την ανάπτυξη, εκπαίδευση και αξιολόγηση των προτεινόμενων μοντέλων. Ωστόσο, παρά την αξία και τη χρησιμότητα των διαθέσιμων δεδομένων, το εύρος τους δεν αποτυπώνει πλήρως την πολυπλοκότητα και την ποικιλομορφία που χαρακτηρίζει το σύνολο των έργων υποδομής σε διαφορετικά περιβάλλοντα εφαρμογής.

Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται ως προς το είδος των έργων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τις γεωγραφικές συνθήκες, τις οργανωτικές πρακτικές και τα θεσμικά πλαίσια ενδέχεται να επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των μοντέλων και τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου, τα ευρήματα της έρευνας θα πρέπει να αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που απορρέουν από τη διαθεσιμότητα και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν (Flynbjerg, 2014).

Για την περαιτέρω ενίσχυση της αξιοπιστίας και της εφαρμοσιμότητας των προτεινόμενων προσεγγίσεων, μελλοντικές έρευνες μπορούν να αξιοποιήσουν μεγαλύτερα και περισσότερο διαφοροποιημένα σύνολα δεδομένων, τα οποία να περιλαμβάνουν:

- Διαφορετικούς τύπους έργων υποδομής, όπως οδικά, σιδηροδρομικά, ενεργειακά, λιμενικά και υδραυλικά έργα.

- Έργα από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και διοικητικά περιβάλλοντα.
- Δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικά θεσμικά και κανονιστικά πλαίσια διαχείρισης έργων.
- Μεγαλύτερο χρονικό εύρος δεδομένων, ώστε να αποτυπώνονται μακροχρόνιες τάσεις και μεταβολές.

Η επέκταση αυτή αναμένεται να συμβάλει:

- **Στη βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων**, μέσω της εκπαίδευσής τους σε πλουσιότερα και αντιπροσωπευτικότερα δεδομένα.
- **Στην ενίσχυση της δυνατότητας γενίκευσης των αποτελεσμάτων**, επιτρέποντας την εφαρμογή των μοντέλων σε ευρύτερο φάσμα έργων και συνθηκών.
- **Στην καλύτερη κατανόηση των διαφορών μεταξύ έργων**, αναδεικνύοντας τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ανάλογα με το είδος, το μέγεθος ή το θεσμικό πλαίσιο υλοποίησης.

Συνολικά, η διεύρυνση της ερευνητικής βάσης και η αξιοποίηση εκτενέστερων συνόλων δεδομένων αποτελούν σημαντική κατεύθυνση για τη μελλοντική έρευνα, καθώς μπορούν να ενισχύσουν την εγκυρότητα των συμπερασμάτων και να υποστηρίξουν την ανάπτυξη πιο αξιόπιστων και προσαρμοστικών συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης για τη διαχείριση έργων υποδομής.

9.24.2 Ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time data)

Μία ιδιαίτερα σημαντική κατεύθυνση για τη μελλοντική έρευνα αφορά την αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο κατά την υλοποίηση έργων υποδομής. Η ενσωμάτωση τέτοιων δεδομένων, τα οποία μπορούν να προέρχονται από αισθητήρες, συστήματα παρακολούθησης εργοταξίων, ψηφιακές πλατφόρμες διαχείρισης έργων ή άλλες πηγές επιχειρησιακής πληροφόρησης, έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει ουσιαστικά τη λειτουργικότητα και την ακρίβεια των προγνωστικών μοντέλων.

Η μετάβαση από στατικές σε δυναμικές ροές δεδομένων επιτρέπει στα συστήματα να ανταποκρίνονται άμεσα σε αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης των έργων, όπως καθυστερήσεις, τεχνικά προβλήματα ή μεταβολές στο κόστος και στους πόρους. Με τον τρόπο αυτό, τα μοντέλα δεν περιορίζονται σε εκ των προτέρων προβλέψεις, αλλά αποκτούν προσαρμοστικό χαρακτήρα, βασισμένο στη συνεχή ενημέρωση των δεδομένων.

Στο πλαίσιο αυτό, μελλοντικές ερευνητικές προσεγγίσεις μπορούν να επικεντρωθούν σε:

- Ανάπτυξη δυναμικά ενημερούμενων μοντέλων, τα οποία ενσωματώνουν νέες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και αναπροσαρμόζουν αυτόματα τις παραμέτρους τους.
- Συνεχή αναπροσαρμογή προβλέψεων (online learning approaches), ώστε οι εκτιμήσεις να αντανakλούν την τρέχουσα κατάσταση του έργου και όχι μόνο ιστορικά δεδομένα.
- Δημιουργία συστημάτων άμεσης ειδοποίησης, τα οποία θα εντοπίζουν έγκαιρα αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό και θα ενημερώνουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για πιθανούς κινδύνους ή ανάγκη παρέμβασης.

Η ενσωμάτωση δεδομένων πραγματικού χρόνου και η ανάπτυξη προσαρμοστικών μοντέλων μπορούν να οδηγήσουν σε ένα πιο προληπτικό και αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης έργων υποδομής. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τη δυνατότητα έγκαιρης λήψης αποφάσεων, μειώνει την αβεβαιότητα και συμβάλλει στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των έργων, σύμφωνα και με τις σύγχρονες πρακτικές διοίκησης έργων (PMI, 2021).

9.24.3 Συνδυασμός με άλλες τεχνολογίες (π.χ. BIM, IoT)

Η μελλοντική έρευνα μπορεί να στραφεί προς την ενσωμάτωση και διαλειτουργική συνεργασία των μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης με άλλες σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες, όπως το Building Information Modeling (BIM) και το Internet of Things (IoT). Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών αναμένεται να ενισχύσει σημαντικά τις δυνατότητες παρακολούθησης, ανάλυσης και πρόβλεψης στη διαχείριση έργων

υποδομής, δημιουργώντας ένα πιο ολοκληρωμένο και δυναμικό ψηφιακό οικοσύστημα (Adebayo et al., 2025).

Η αξιοποίηση αυτής της διασύνδεσης μπορεί να προσφέρει πολλαπλά οφέλη:

- Πιο ολοκληρωμένη εικόνα του έργου, μέσω της ενοποίησης γεωμετρικών, χρονικών και λειτουργικών δεδομένων από τα μοντέλα BIM και τις ροές δεδομένων IoT.
- Καλύτερη διαχείριση τεχνικών και λειτουργικών δεδομένων, καθώς η συνεχής συλλογή πληροφοριών από αισθητήρες και ψηφιακά μοντέλα επιτρέπει πιο ακριβή παρακολούθηση της κατάστασης του έργου σε πραγματικό χρόνο.
- Δυνατότητα προσομοίωσης σεναρίων σε ψηφιακά περιβάλλοντα (digital twins), επιτρέποντας την αξιολόγηση διαφορετικών επιλογών σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας πριν την εφαρμογή τους στην πράξη.

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ Τεχνητής Νοημοσύνης, BIM και IoT αναδεικνύεται ως κρίσιμο πεδίο μελλοντικής έρευνας, καθώς προϋποθέτει την ανάπτυξη κοινών προτύπων δεδομένων, πρωτοκόλλων επικοινωνίας και ενοποιημένων πλατφορμών διαχείρισης. Η επιτυχής ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να οδηγήσει σε ένα νέο μοντέλο «έξυπνης» διαχείρισης έργων υποδομής, με αυξημένη ακρίβεια, αποδοτικότητα και δυνατότητες προληπτικής λήψης αποφάσεων.

9.24.4 Ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων (Explainable AI)

Ένα από τα βασικά ζητήματα που αναδείχθηκαν είναι η ανάγκη κατανόησης των αποτελεσμάτων των μοντέλων. Μελλοντικές έρευνες μπορούν να εστιάσουν στην ανάπτυξη ερμηνεύσιμων μοντέλων, τα οποία θα επιτρέπουν στους χρήστες να κατανοούν τον τρόπο με τον οποίο προκύπτουν οι προβλέψεις.

Η κατεύθυνση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για:

- ο την ενίσχυση της εμπιστοσύνης των χρηστών,
- ο τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων,

- ο τη συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια.

9.24.5 Αξιολόγηση εφαρμογών σε πραγματικά έργα (real-world validation)

Η εφαρμογή των μοντέλων σε πραγματικά έργα υποδομής αποτελεί κρίσιμο επόμενο βήμα. Μελλοντικές μελέτες μπορούν να εξετάσουν την απόδοση των συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες, πέρα από το πλαίσιο προσομοίωσης ή μελέτης περίπτωσης.

Η πρακτική αυτή θα επιτρέψει:

- ο την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας των μοντέλων,
- ο τον εντοπισμό πρακτικών δυσκολιών εφαρμογής,
- ο την προσαρμογή των συστημάτων σε πραγματικές ανάγκες.

9.24.6 Διερεύνηση οργανωτικών και κοινωνικών παραμέτρων

Εκτός από τις τεχνικές πτυχές, η μελλοντική έρευνα μπορεί να εστιάσει και σε οργανωτικούς και κοινωνικούς παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση των τεχνολογιών.

Ειδικότερα, μπορούν να εξεταστούν:

- ο η αποδοχή των συστημάτων από τους χρήστες,
- ο η αντίσταση στην αλλαγή,
- ο οι επιπτώσεις στην οργανωτική δομή και κουλτούρα.

Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή των τεχνολογιών.

9.24.7 Ανάπτυξη εξειδικευμένων μοντέλων ανά τύπο έργου

Τα έργα υποδομής παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις (οδικά έργα, ενεργειακά έργα, έργα ύδρευσης κ.λπ.). Μελλοντικές έρευνες μπορούν να

αναπτύξουν εξειδικευμένα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες κάθε κατηγορίας έργου.

Αυτό θα επιτρέψει:

- ο μεγαλύτερη ακρίβεια προβλέψεων,
- ο καλύτερη προσαρμογή στις ανάγκες κάθε έργου,
- ο εξειδικευμένη υποστήριξη λήψης αποφάσεων.

9.24.8 Συνολική κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας

Οι κατευθύνσεις που προτείνονται καταδεικνύουν ότι το πεδίο της αξιοποίησης προηγμένων μεθόδων ανάλυσης δεδομένων στη διαχείριση έργων υποδομής βρίσκεται ακόμη σε στάδιο εξέλιξης και παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης. (Flyvbjerg, 2014)

Η μελλοντική έρευνα καλείται να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης, ενισχύοντας την εφαρμογή των μοντέλων σε πραγματικές συνθήκες και ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες και προσεγγίσεις.

Μέσα από αυτή τη διαδικασία μπορεί να δημιουργηθεί ένα πιο ολοκληρωμένο και αποδοτικό πλαίσιο διαχείρισης έργων, προσαρμοσμένο στις σύγχρονες ανάγκες και προκλήσεις.

10 Βιβλιογραφία

1. Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* – 7th Edition.
2. Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*.
3. ISO 21500:2012. Guidance on Project Management.
4. Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects *and why: An overview*. Project Management Journal.
5. Morris, P. W. G. (2013). *Reconstructing Project Management*.
6. Abioye, S. O., et al. (2021). *Artificial intelligence in the construction industry: A review*. Automation in Construction.
7. Li, H., et al. (2019). *Artificial intelligence applications in civil engineering*. Journal of Civil Engineering and Management.
8. Pan, Y., & Zhang, L. (2021). *Roles of artificial intelligence in construction engineering and management*. Engineering, Construction and Architectural Management.
9. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*.
10. Tam, V. W. Y., et al. (2020). *AI-based decision support systems in construction management*. Automation in Construction.
11. Eastman, C., et al. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*.
12. Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). *BIM for existing buildings—Literature review*. Automation in Construction.
13. Chen, K., et al. (2020). *Integration of BIM and AI in construction project management*. Journal of Information Technology in Construction.
14. Zhang, J., et al. (2018). *BIM and AI-based construction project monitoring systems*. Automation in Construction.
15. GhaffarianHoseini, A., et al. (2017). *BIM adoption and integration with AI systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

16. Wuest, T., et al. (2016). *Machine learning in manufacturing and construction*. Journal of Intelligent Manufacturing.
17. Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2012). *Roadmap for BIM in construction industry*. Automation in Construction.
18. Bilal, M., et al. (2016). *Big data in construction management: review*. Automation in Construction.
19. Yu, Q., et al. (2018). *Decision support systems for infrastructure project management*. Expert Systems with Applications.
20. Cheng, J. C. P., & Lu, Q. (2015). *Construction management process reengineering with AI*. Journal of Construction Engineering and Management (ASCE).
21. Wang, X., et al. (2019). *Predictive analytics in construction project management*. Automation in Construction.
22. Zhang, S., et al. (2020). *Risk management in infrastructure projects using AI*. Safety Science.
23. Bansal, V. K. (2011). *Application of AI in construction risk analysis*. Engineering Applications of Artificial Intelligence.
24. Kim, K., & Park, H. (2018). *AI-based construction monitoring systems*. Journal of Computing in Civil Engineering (ASCE).
25. Sacks, R., et al. (2020). *Construction 4.0: Industry digital transformation*. Journal of Construction Engineering and Management.
26. Abioye, S. O. et al. (2021). *Artificial intelligence in construction engineering and management: A systematic review*. Automation in Construction
27. Pan, Y., & Zhang, L. (2021). *Roles of artificial intelligence in construction engineering and management*. Engineering, Construction and Architectural Management
28. Wang, X. et al. (2019). *Predictive analytics for construction projects*. Automation in Construction
29. Li, H. et al. (2019). *AI applications in civil engineering*. Journal of Civil Engineering and Management
30. Tam, V. W. Y. et al. (2020). *AI-based decision systems in construction*. Automation in Construction

31. Volk, R. et al. (2014). *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings*. Automation in Construction
32. Zhang, J. et al. (2018). *BIM and AI integration in construction monitoring*. Automation in Construction
33. Chen, K. et al. (2020). *AI-enabled BIM for project management*. Journal of Information Technology in Construction
34. GhaffarianHoseini, A. et al. (2017). *BIM adoption in construction industry*. Renewable and Sustainable Energy Reviews
35. Sacks, R. et al. (2020). *Construction 4.0 and digital transformation*. Journal of Construction Engineering and Management
36. Wuest, T. et al. (2016). *Machine learning in production and construction*. Journal of Intelligent Manufacturing
37. Yu, Q. et al. (2018). *Decision support systems in infrastructure projects*. Expert Systems with Applications
38. Kim, K., & Park, H. (2018). *AI-based monitoring systems*. Journal of Computing in Civil Engineering
39. Cheng, J. C. P., & Lu, Q. (2015). *AI in construction process reengineering*. Journal of Construction Engineering and Management
40. Bilal, M. et al. (2016). *Big data analytics in construction*. Automation in Construction
41. Zhang, S. et al. (2020). *AI in construction risk management*. Safety Science
42. Bansal, V. K. (2011). *Artificial intelligence in construction risk analysis*. Engineering Applications of Artificial Intelligence
43. Hwang, B. G., & Ng, W. J. (2013). *Project delay analysis using AI tools*. International Journal of Project Management
44. Zhao, X. et al. (2016). *Risk prediction in construction projects*. Journal of Management in Engineering
45. Love, P. E. D. et al. (2018). *Rework prevention using AI systems*. Automation in Construction
46. Olatunji, O. A. et al. (2010). *Decision support systems in construction*. Automation in Construction

47. El-Rayes, K., & Kandil, A. (2005). *Optimization models for construction planning*. Journal of Construction Engineering and Management
48. Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2012). *BIM implementation framework*. Automation in Construction
49. Cheng, E. W. L., & Li, H. (2002). *Construction decision-making systems*. Journal of Construction Engineering and Management
50. Hwang, B. G. et al. (2017). *AI-based project performance prediction*. Journal of Management in Engineering
51. Adebayo, Y., Udoh, P., Kamudyariwa, X. B., & Osobajo, O. A. (2025). *Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Structured Literature Review of Its Evolution in Application and Future Trends*. Digital
52. Gao, Y., Antwi-Afari, M. F., Huang, Y., & Chen, Z. S. (2026). Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Systematic Literature Review of Cost, Time, and Safety Management. Buildings.
53. Adamantiadou, D. S., & Tsironis, L. (2025). Leveraging Artificial Intelligence in Project Management: A Systematic Review of Applications, Challenges, and Future Directions. Computers.
54. Chen, K., Zhou, X., Bao, Z., Skibniewski, M. J., & Fang, W. (2025). Artificial intelligence in infrastructure construction: A critical review. Engineering Management.
55. Savaş, S. (2025). Artificial intelligence in construction project management: Trends, challenges and future directions. Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning.
56. Al-Mhdawi, M. K. S. et al. (2026). Unpacking trends in artificial intelligence research in the construction industry: a bibliographic review. Frontiers in Built Environment.
57. Li, C., et al. (2025). Generative artificial intelligence for construction: Use cases, trends, challenges, and opportunities. Journal of Building Engineering.
58. Davahli, M. R. (2020). The Last State of Artificial Intelligence in Project Management. arXiv.

59. Anghel, I., & Cioara, T. (2026). A systematic review of generative AI usage for IT project management. arXiv.
60. Assalaarachchi, L. I., Masood, Z., Hoda, R., & Grundy, J. (2025). Generative AI for Software Project Management: Insights from a Review of Software Practitioner Literature. arXiv.
61. Skibniewski, M. J. (2014). Research trends in information technology applications in construction safety engineering and management. *Automation in Construction*.
62. Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*.
63. Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*.
64. Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*.
65. Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Irani, Z. (2012). Moving beyond optimism bias and strategic misrepresentation: An explanation for social infrastructure project cost overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
66. Ogunlana, S. O. (2010). Beyond the 'iron triangle': Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*.
67. Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*.
68. El-Sayegh, S. M. (2008). Risk assessment and allocation in the UAE construction industry. *International Journal of Project Management*.
69. Doloi, H. (2013). Cost overruns and failure in project management: Understanding the roles of key stakeholders in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*.
70. Kivrak, S., Arslan, G., Dikmen, I., & Birgonul, M. T. (2008). Capturing knowledge in construction projects. *Journal of Management in Engineering*.
71. Carvalho, M. M., & Rabechini, R. (2015). Impact of risk management on project performance: The importance of soft skills. *International Journal of Production Research*.

72. Marzouk, M., & El-Rasas, T. (2014). Analyzing delay causes in Egyptian construction projects. *Journal of Advanced Research*.
73. Lee, S., Peña-Mora, F., & Park, M. (2006). Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. *Automation in Construction*.
74. Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*.
75. Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of Construction Engineering and Management*.
76. Project Management: Planning and Control Techniques — Burke, R. (2013). *Project Management: Planning and Control Techniques*. Wiley.
77. Construction Project Management — Gould, F. E., & Joyce, N. E. (2014). *Construction Project Management*. Pearson.
78. Introduction to Artificial Intelligence — Jackson, P. C. (2019). *Introduction to Artificial Intelligence*. Dover Publications.
79. Deep Learning — Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
80. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques — Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. (2016). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann.
81. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow — Géron, A. (2022). *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. O'Reilly Media.
82. Ahmad, I., Azhar, S., & Lukauskis, P. (2020). *Development of a decision support system using artificial intelligence for construction project scheduling*. *Automation in Construction*.
83. Kim, H., Kim, K., & Park, M. (2021). *Deep learning-based delay prediction model for construction projects*. *Journal of Civil Engineering and Management*.
84. Shirowzhan, S., Sepasgozar, S., & Li, H. (2020). *Digital Twin and CyberGIS for improving construction project management*. *Automation in Construction*.

85. Sepasgozar, S. M. E. (2020). *Digital Twin and web-based virtual reality for construction projects*. Smart Cities.
86. Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2019). *Collaboration in BIM-based construction networks*. Automation in Construction.
87. Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2016). A financial decision making framework for construction projects using 5D BIM. Automation in Construction.
88. Perera, S., Ruikar, K., & Coffey, V. (2016). BIM in integrated project delivery. Built Environment Project and Asset Management.
89. Motawa, I., & Almarshad, A. (2015). A knowledge-based BIM system for building maintenance. Automation in Construction.
90. Mahamadu, A. M., Mahdjoubi, L., & Booth, C. A. (2017). Challenges to BIM implementation in construction projects. Journal of Engineering, Design and Technology.
91. Tayeh, B. A., Alaloul, W. S., & Musarat, M. A. (2021). Artificial intelligence in construction management: systematic mapping study. Ain Shams Engineering Journal.
92. Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2016). Where machines could replace humans—and where they can't. McKinsey Quarterly.
93. Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial Intelligence for the Real World. Harvard Business Review.
94. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). The Business of Artificial Intelligence. Harvard Business Review.
95. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. Harvard Business Review.
96. Cao, D., Li, H., Wang, G., & Huang, T. (2017). Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects. International Journal of Project Management.
97. Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle. Automation in Construction.

98. Rezgui, Y., Beach, T., & Rana, O. (2013). A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains. *Automation in Construction*.
99. Love, P. E. D., Sing, C. P., Wang, X., Irani, Z., & Thwala, W. D. (2014). Overruns in transportation infrastructure projects. *Structure and Infrastructure Engineering*.
100. Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – 7th Edition*.
101. Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*.
102. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*.
103. Abioye, S. O., et al. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review. *Automation in Construction*.
104. Eastman, C., et al. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*.
105. Yu, Q., et al. (2018). Decision support systems for infrastructure project management. *Expert Systems with Applications*.
106. Wang, X., et al. (2019). Predictive analytics in construction project management. *Automation in Construction*.
107. Zhang, S., et al. (2020). Risk management in infrastructure projects using AI. *Safety Science*.