

Ανάλυση Επικινδυνότητας Τεχνικών Έργων

Σουνδουλουνάκης Στυλιανός

Μηχανολόγος -Μηχανικός και Μεταπτυχιακός
Φοιτητής ΕΑΠ

soundou90@gmail.com std164026@ac.eap.gr

Πολύζος Δημοσθένης

Ιδιότητα 1 και Μέλος ΣΕΠ ΔΙΠ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

Email

Περίληψη -

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανάλυση της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα. Στόχος είναι η εννοιολογική αποσαφήνιση του κινδύνου και η παρουσίαση των βασικών μεθόδων ανάλυσης. Επιπροσθέτως, αποσκοπείται η μελέτη και ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την επιτυχή υλοποίηση των έργων. Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι βασισμένη στην αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση διεθνών επιστημονικών άρθρων, μονογραφιών και προτύπων. Στο πλαίσιο αυτής, ιδιαίτερη έμφαση αποδίδεται, τόσο σε παραδοσιακές όσο και σε σύγχρονες προσεγγίσεις επί του πεδίου της διαχείρισης των κινδύνων. Μέσω της παρούσας ανασκόπησης της βιβλιογραφίας επιβεβαιώνεται η πολυδιάστατη φύση της επικινδυνότητας. Επίσης, αναδεικνύεται η ιδιόζουσα σπουδαιότητα της έγκαιρης αναγνώρισης και αξιολόγησης των κινδύνων. Συν τοις άλλοις, επιβεβαιώνεται ο ρόλος που διαδραματίζει αφενός η οργανωσιακή κουλτούρα και αφετέρου η τεχνολογική καινοτομία. Εκ των βασικών συμπερασμάτων, αποδεικνύεται ότι η αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα, το κόστος και τον χρόνο υλοποίησης των τεχνικών έργων. Μάλιστα, η ενσωμάτωση των ψηφιακών εργαλείων και των σύγχρονων μοντέλων ανάλυσης των κινδύνων αποτελούν στοιχεία, τα οποία δύνανται να ενισχύσουν σε σημαντικό βαθμό την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των τεχνικών έργων.

Λέξεις-Κλειδιά: Τεχνικά έργα, Ανάλυση επικινδυνότητας, Διαχείριση κινδύνου, Ασφάλεια εργοταξίων.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα αποτελεί ένα πεδίο έρευνας βαρύνουσας σημασίας και αυξημένου ενδιαφέροντος. Ο λόγος έγκειται στο ότι τα τεχνικά έργα χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας και σημαντικές οικονομικές επενδύσεις. Πέραν αυτών συνοδεύονται από αυξημένες απαιτήσεις σε επίπεδο ασφάλειας, ποιότητας και βιωσιμότητας (Aven & Renn, 2009; Flyvbjerg, 2014; Reason, 1997).

Μάλιστα, η αποτυχία της αναγνώρισης και ορθής διαχείρισης των κινδύνων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές καθυστερήσεις, αλλά και σε υπερβάσεις του κόστους. Πρόκειται για μία δυσμενή εξέλιξη, η οποία μπορεί να επιφέρει ως επιπρόσθετη απότοκο την εμφάνιση τεχνικών

αστοχιών και στη χειρότερη περίπτωση, ανθρωπίνων απωλειών (Cui et al., 2022).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και αποτύπωση της έννοιας της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα, καθώς επίσης και των μεθόδων και εργαλείων ανάλυσης και διαχείρισής της. Ο εν λόγω σκοπός επιτυγχάνεται μέσω κριτικής ανασκόπησης της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας.

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στην υφιστάμενη γνώση μέσω της ολοκληρωμένης και επικαιροποιημένης αποτύπωσης των θεωρητικών προσεγγίσεων και των μεθοδολογικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση κινδύνων τεχνικών έργων. Μέσω της αφηγηματικής σύνθεσης της βιβλιογραφίας, σκοπός είναι να κατανοηθεί η εξέλιξη του εν λόγω πεδίου.

Πρόκειται για μία εξέλιξη, η οποία αφορά τη μετάβαση του συγκεκριμένου πεδίου από παραδοσιακές και γραμμικές προσεγγίσεις προς πιο ολοκληρωμένα και δυναμικά μοντέλα ανάλυσης. Τα νέα εξελιγμένα μοντέλα, μάλιστα, λαμβάνουν υπόψιν στοιχεία, όπως είναι επί παραδείγματι η αβεβαιότητα, η διασύνδεση των κινδύνων και η σημασία του ανθρώπινου παράγοντα (Aderoju et al., 2025; Judijanto et al., 2024).

Συν τοις άλλοις, η παρούσα εργασία επιδιώκει να προάγει τη σημασία της ενσωμάτωσης των σύγχρονων τεχνολογιών στη διαδικασία ανάλυσης επικινδυνότητας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το Building Information Modeling και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης. Έτσι, αναμένεται να συμβάλλει στη μετάβαση προς πιο προληπτικές πρακτικές διαχείρισης έργων, οι οποίες είναι βασισμένες σε απτά δεδομένα (data driven) (Venter et al., 2021).

Τέλος, η επισήμανση των κενών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία δημιουργεί ένα θεωρητικό υπόβαθρο για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες. Πρόκειται για ερευνητικές κατευθύνσεις οι οποίες μπορούν να κατευθυνθούν ιδίως στα πεδία που αφορούν τη βιωσιμότητα, την ανθεκτικότητα και τα έργα «πράσινης» μετάβασης.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα εργασία βασίζεται στην αφηγηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας, σχετικά με την ανάλυση και διαχείριση της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα. Η επιλογή της αφηγηματικής ανασκόπησης κρίθηκε η πλέον κατάλληλη, λόγω του ότι το αντικείμενο της παρούσας μελέτης χαρακτηρίζεται από εννοιολογική πολυπλοκότητα και διεπιστημονικό χαρακτήρα. Επί του εν λόγω πεδίου, μάλιστα, υπάρχει ποικιλία θεωρητικών και μεθοδολογικών προσεγγίσεων, οι οποίες δεν περιορίζονται σε ένα αυστηρά ομοιογενές ερευνητικό πλαίσιο (Grant & Booth, 2009).

Η αναζήτηση της βιβλιογραφίας πραγματοποιήθηκε σε διεθνείς επιστημονικές βάσεις δεδομένων. Αυτές συμπεριλαμβάνουν το Scopus, το Web of Science και το Google Scholar. Στο πλαίσιο της αναζήτησης χρησιμοποιήθηκαν οι λέξεις - κλειδιά, οι οποίες σχετίζονται με την ανάλυση του κινδύνου, τη διαχείριση έργων, την επικινδυνότητα στα τεχνικά έργα και τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές στο πεδίο αυτό. Επίσης, στην παρούσα μελέτη συμπεριλήφθηκαν επιστημονικά άρθρα από περιοδικά που εφαρμόζουν το σύστημα κριτών (peer-reviewed) και διεθνή πρότυπα, τα οποία θεωρούνται θεμελιώδη για την κατανόηση του αντικειμένου (ISO 31000, 2018).

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας επικεντρώθηκε, τόσο στις κλασικές θεωρητικές προσεγγίσεις, όσο και στις σύγχρονες εξελίξεις. Έμφαση αποδόθηκε στη συγκριτική παρουσίαση των μεθόδων ανάλυσης επικινδυνότητας και στην κριτική αποτίμηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους. Παράλληλα, δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στη σύνδεση της επικινδυνότητας με οργανωτικούς, τεχνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συν τοις άλλοις, δόθηκε έμφαση και στη διερεύνηση του ρόλου της ψηφιοποίησης και της τεχνητής νοημοσύνης στη σύγχρονη διαχείριση κινδύνων (Aven, 2016; Hopkin, 2018).

III. SELECTED RESULTS

A. Θεωρητικό και εννοιολογικό πλαίσιο της ανάλυσης επικινδυνότητας

Η θεωρητική θεμελίωση της έννοιας της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα αναδεικνύει τον πολυδιάστατο και δυναμικό χαρακτήρα της, ο οποίος υπερβαίνει την παραδοσιακή προσέγγιση της απλής εκτίμησης πιθανότητας και συνέπειας. Σύμφωνα με τον Aven (2016), η επικινδυνότητα δεν μπορεί να περιοριστεί σε ποσοτικούς δείκτες, αλλά συνδέεται άμεσα με την αβεβαιότητα, τις επιπτώσεις, καθώς και με το ευρύτερο οργανωσιακό και κοινωνικό πλαίσιο εντός του οποίου εκδηλώνεται. Στο ίδιο πλαίσιο, ο ISO (2018) ορίζει τον κίνδυνο ως την «επίδραση της αβεβαιότητας στους στόχους», υπογραμμίζοντας ότι η διαχείρισή του αποτελεί

μία κυκλική και επαναληπτική διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει στάδια αναγνώρισης, ανάλυσης, αξιολόγησης και παρακολούθησης.

Η πολυπλοκότητα των τεχνικών έργων ενισχύει περαιτέρω την ανάγκη για ολιστική προσέγγιση της επικινδυνότητας, καθώς αυτά χαρακτηρίζονται από υψηλό τεχνολογικό επίπεδο, σημαντικά χρηματοοικονομικά μεγέθη και πολλαπλούς εμπλεκόμενους φορείς (Gene, 2023).

Παράλληλα, η επικινδυνότητα δεν περιορίζεται μόνο σε αρνητικές εκβάσεις, αλλά δύναται να περιλαμβάνει και θετικές αποκλίσεις, όπως η επιτάχυνση της υλοποίησης ή η εξοικονόμηση πόρων (Soytu et al., 2021). Η διάκριση μεταξύ αντικειμενικού και υποκειμενικού κινδύνου, όπως επισημαίνεται από τους Aven και Renn (2009), αναδεικνύει τη σημασία της αντίληψης των εμπλεκόμενων μερών, η οποία επηρεάζει καθοριστικά τις στρατηγικές διαχείρισης και καθιστά αναγκαία την υιοθέτηση ολοκληρωμένων μοντέλων διακυβέρνησης κινδύνου.

Σημαντική είναι επίσης η διαπίστωση ότι τα μεγάλα τεχνικά έργα εμφανίζουν συστηματικές υπερβάσεις κόστους και χρόνου, κυρίως λόγω της υποτίμησης της αβεβαιότητας και των κινδύνων κατά τα αρχικά στάδια σχεδιασμού (Flyvbjerg, 2014). Το Project Management Institute (2021) υπογραμμίζει ότι η διαχείριση κινδύνου διατρέχει οριζόντια όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του έργου και συνδέεται άμεσα με τον «τριπλό περιορισμό» της επιτυχίας, δηλαδή το κόστος, τον χρόνο και την ποιότητα. Ωστόσο, όπως επισημαίνει ο Atkinson (1999), η προσέγγιση αυτή είναι περιορισμένη όταν δεν λαμβάνονται υπόψη ευρύτεροι στρατηγικοί και κοινωνικοί παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την έκβαση των έργων.

Η δυναμική φύση της επικινδυνότητας αναδεικνύεται περαιτέρω από τον Hopkin (2018), ο οποίος τονίζει ότι οι κίνδυνοι μεταβάλλονται σε όλη τη διάρκεια του έργου και απαιτούν συνεχή επανεκτίμηση και προσαρμογή. Στο ίδιο πλαίσιο, οι τεχνικές αστοχίες και τα κατασκευαστικά σφάλματα συνδέονται άμεσα με ανεπαρκείς διαδικασίες διαχείρισης κινδύνου και ελλιπή έλεγχο ποιότητας (Love et al., 2011), ενώ η αλληλεξάρτηση μεταξύ χρόνου και κινδύνου οδηγεί σε έναν φαύλο κύκλο καθυστερήσεων και αυξημένου κόστους (Kerzner, 2017).

Παράλληλα, η ανάλυση της επικινδυνότητας δεν είναι δυνατόν να αποσυνδεθεί από τον ανθρώπινο και οργανωσιακό παράγοντα. Σύμφωνα με τον Reason (1997), τα ατυχήματα στα σύνθετα συστήματα προκύπτουν από τον συνδυασμό ενεργών σφαλμάτων και λανθανουσών οργανωσιακών αδυναμιών, γεγονός το οποίο καθιστά κρίσιμη την ανάπτυξη ισχυρής κουλτούρας ασφάλειας. Η αντίληψη του κινδύνου, όπως αναλύεται από τον Slovic (1987), επηρεάζεται από παράγοντες, όπως είναι επί παραδείγματι ο βαθμός ελέγχου και η οικειότητα. Από την άλλη πλευρά, η οργανωσιακή κουλτούρα (Schein, 2010) και η κουλτούρα ασφάλειας (Guldenmund, 2000)

διαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι κίνδυνοι αναγνωρίζονται και αντιμετωπίζονται.

Επιπλέον, το «κλίμα ασφάλειας» επηρεάζει άμεσα τις συμπεριφορές και τη συχνότητα των ατυχημάτων (Zohar, 2010), ενώ η ψυχολογική ασφάλεια ενισχύει την έγκαιρη αναφορά σφαλμάτων και μειώνει την πιθανότητα σοβαρών αποτυχιών (Edmondson, 1999). Ο βαθμός οργανωσιακής ωριμότητας (Teo et al., 2005), συνδυαστικά με το στυλ ηγεσίας (Turner & Müller, 2005) και τις πολιτισμικές διαφορές (Hofstede, 2001) αποτελούν επιπλέον καθοριστικούς παράγοντες στη διαμόρφωση της διαχείρισης κινδύνου.

Τέλος, οι σύγχρονες εξελίξεις αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης ψηφιακών τεχνολογιών, όπως το BIM, το οποίο επιτρέπει την προσομοίωση επικίνδυνων σεναρίων και την ενίσχυση της πρόληψης σε πραγματικό χρόνο (Venter et al., 2021). Ωστόσο, η ανεπαρκής διαχείριση κινδύνων μπορεί να διαταράξει την ισορροπία μεταξύ κόστους, χρόνου και ποιότητας, υπονομεύοντας τη συνολική επιτυχία του έργου (Hurtado-Martell & Ros, 2025).

B. Μέθοδοι και εργαλεία ανάλυσης και αξιολόγησης της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα

Η FMEA αποτελεί κυρίως ποιοτική τεχνική με ημιποσοτική ιεράρχηση μέσω του δείκτη RPN και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πιθανών τρόπων αστοχίας, των αιτιών τους και των επιπτώσεών τους, ιδίως στα στάδια σχεδιασμού και κρίσιμων κατασκευαστικών διαδικασιών (Stamatis, 2003; Liu et al., 2012). Η FTA συνιστά αναλυτική μέθοδο που μπορεί να εφαρμοστεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά, εξετάζοντας λογικές σχέσεις και συνδυασμούς σφαλμάτων που οδηγούν σε ένα ανεπιθύμητο γεγονός, ενώ είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε έργα υψηλής αξιοπιστίας και σύνθετα τεχνικά συστήματα (Vesely et al., 2002; Ericson, 2015).

Αντίστοιχα, η HAZOP αποτελεί κατεξοχήν ποιοτική, δομημένη διεργασιακή τεχνική, η οποία αναγνωρίζει αποκλίσεις από την κανονική λειτουργία, μέσω λέξεων-οδηγών (guide words) και ενδείκνυται για έργα με σύνθετες διαδικασίες και λειτουργικά συστήματα (Kletz, 2001· Crawley & Tyler, 2015).

Η προσομοίωση Monte Carlo αποτελεί καθαρά ποσοτική, πιθανοκρατική προσέγγιση για την εκτίμηση της αβεβαιότητας σε κόστος, χρόνο και απόδοση, παρέχοντας κατανομή πιθανών αποτελεσμάτων και δυνατότητα ανάλυσης ευαισθησίας (Vose, 2008· Hillson, 2017). Τέλος, η SWOT λειτουργεί ως ποιοτική στρατηγική μέθοδος αρχικής χαρτογράφησης κινδύνων, αναδεικνύοντας εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία ενός έργου (Helms & Nixon, 2010· Pickton & Wright, 1998).

Κατόπιν, εξετάζονται μοντέλα αξιολόγησης και ιεράρχησης κινδύνων, τα οποία διαφοροποιούνται από τις

προηγούμενες τεχνικές, λόγω του ότι δεν εστιάζουν πρωτίστως στην αναγνώριση των κινδύνων, αλλά στη συγκριτική αποτίμηση και την προτεραιοποίησή τους. Η Risk Matrix συνιστά ημιποσοτικό εργαλείο που κατατάσσει τους κινδύνους με βάση τον συνδυασμό πιθανότητας και σοβαρότητας, διευκολύνοντας την αρχική αξιολόγηση και την επικοινωνία των αποτελεσμάτων (Cox, 2008; Koulinas et al., 2021).

Η AHP αποτελεί πολυκριτηριακή μέθοδο που επιτρέπει τη δομημένη ιεράρχηση κινδύνων μέσω συγκρίσεων ανά ζεύγη και υπολογισμού βαρών προτεραιότητας, συνδυάζοντας ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια (Saaty, 1980; Saaty & Vargas, 2001). Αντίστοιχα, τα Bayesian Networks αποτελούν πλήρως πιθανοκρατικά μοντέλα, ικανά να αποτυπώνουν δυναμικές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ κινδύνων και να ενημερώνουν τις πιθανότητες με βάση νέα δεδομένα, προσφέροντας ισχυρό εργαλείο για σύνθετα έργα υψηλής τεχνικής και οργανωσιακής πολυπλοκότητας (Fenton & Neil, 2012; Kabir, 2017).

Τέλος, παρουσιάζονται καινοτόμες μέθοδοι διαχείρισης κινδύνου, οι οποίες βασίζονται σε ψηφιακές και δεδομενοκεντρικές προσεγγίσεις. Η BIM-based Risk Analysis αξιοποιεί ολοκληρωμένα ψηφιακά μοντέλα για την πρόβλεψη συγκρούσεων, αποκλίσεων και κινδύνων σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου, ενισχύοντας την πρόληψη και τη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών (Azhar, 2011; Bryde et al., 2013).

Η Μηχανική Μάθηση ενισχύει την προγνωστική ικανότητα της διαχείρισης κινδύνου μέσω ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων και πρόβλεψης καθυστερήσεων, υπερβάσεων κόστους, ατυχημάτων και τεχνικών αστοχιών (Goodfellow et al., 2016; Gondia et al., 2020; Zhu et al., 2021). Παράλληλα, τα GIS προσφέρουν χωρική αποτύπωση και χαρτογράφηση της επικινδυνότητας, υποστηρίζοντας τη λήψη αποφάσεων σε έργα με έντονη γεωγραφική, περιβαλλοντική και γεωτεχνική διάσταση (Longley et al., 2015; Chen et al., 2018).

Εν κατακλείδι, λοιπόν, προκύπτει ότι η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνου στα τεχνικά έργα απαιτεί τον συνδυασμό παραδοσιακών τεχνικών, μοντέλων ιεράρχησης και σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων, ώστε να επιτυγχάνεται πληρέστερη αναγνώριση, αξιολόγηση και πρόβλεψη της επικινδυνότητας (Aven, 2016).

Γ. Οι παράγοντες επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα

Πρωτίστως, οι ανθρώπινοι και οργανωτικοί παράγοντες επηρεάζουν άμεσα την πιθανότητα ατυχημάτων, τεχνικών αστοχιών και λειτουργικών αποκλίσεων, καθώς τα σοβαρά συμβάντα δεν αποδίδονται μόνο σε ατομικά λάθη, αλλά και σε λανθάνουσες οργανωτικές αδυναμίες, όπως ανεπαρκείς διαδικασίες, ελλιπής εκπαίδευση, ασάφεια ρόλων και αδύναμη

κουλτούρα ασφάλειας (Cooper & Phillips, 2004; Hollnagel, 2014). Παράλληλα, οι τεχνικοί και σχεδιαστικοί κίνδυνοι συνδέονται με σφάλματα μελέτης, αστοχίες σχεδιασμού, ανεπαρκή γεωτεχνική διερεύνηση, ελλιπή έλεγχο ποιότητας και κακή διαχείριση αλλαγών, στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν τη δομική ακεραιότητα, τη λειτουργικότητα και τη μακροχρόνια βιωσιμότητα του έργου (Aven, 2016; Upadhyaya & Malek, 2023).

Συν τοις άλλοις, ιδιαίτερη βαρύτητα αποδίδεται και στους οικονομικούς και συμβατικούς κινδύνους, καθώς οι υπερβάσεις κόστους, οι αισιόδοξες προβλέψεις, οι μεταβολές στις τιμές υλικών, οι αβεβαιότητες χρηματοδότησης και οι ασάφειες στους συμβατικούς όρους μπορούν να υπονομεύσουν σοβαρά τη βιωσιμότητα ενός έργου και να οδηγήσουν σε συγκρούσεις ή επαναδιαπραγματεύσεις (Plebankiewicz & Wieczorek, 2020; Jung et al., 2016). Αντίστοιχα, οι περιβαλλοντικοί και γεωτεχνικοί κίνδυνοι χαρακτηρίζονται από υψηλή αβεβαιότητα και εξωγενή φύση. Ο λόγος έγκειται στο ότι σχετίζονται με γεωλογικές συνθήκες, σεισμικότητα, πλημμύρες, ακραία καιρικά φαινόμενα και γενικότερα τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη χρήση πιθανοκρατικών μοντέλων, χωρικής ανάλυσης και προσεγγίσεων ανθεκτικότητας (IPCC, 2022; Wang et al., 2019).

Τέλος, οι νομικοί και διοικητικοί κίνδυνοι αφορούν μεταβολές του κανονιστικού πλαισίου, καθυστερήσεις αδειοδότησης, συμβατικές διαμάχες, ελλιπή διοικητικό συντονισμό και χαμηλή θεσμική ποιότητα, παράγοντες που επηρεάζουν καθοριστικά το χρονοδιάγραμμα, τη χρηματοδότηση και τη συνολική διακυβέρνηση του έργου (Yescombe, 2014; Thomas & Wright, 2020; Klakegg et al., 2010).

Δ. Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές στη διαχείριση κινδύνου στα τεχνικά έργα

Επί του σημείου τούτου, επισημαίνεται ότι η ψηφιοποίηση και η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης μετασηματίζουν τη διαχείριση κινδύνου, μετατοπίζοντάς την από μία αντιδραστική λογική σε μία προληπτική και δυναμική προσέγγιση. Η χρήση εργαλείων όπως το BIM, τα ψηφιακά δίδυμα, οι αισθητήρες IoT, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και η υπολογιστική όραση επιτρέπει την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, την έγκαιρη αναγνώριση αποκλίσεων και την πρόβλεψη τεχνικών αστοχιών ή επικίνδυνων συμπεριφορών σε πραγματικό χρόνο (Lu et al., 2022; Tao et al., 2019; Fang et al., 2020; Sacks et al., 2020). Ωστόσο, η αξιοπιστία αυτών των εργαλείων εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων, ενώ παράλληλα ανακύπτουν νέοι κίνδυνοι που σχετίζονται με την κυβερνοασφάλεια, την προστασία δεδομένων και τη διαφάνεια των αλγοριθμικών αποφάσεων (Rudin, 2019; Kim, 2025).

Παράλληλα, η σύγχρονη διαχείριση κινδύνου ενσωματώνεται πλέον σε ευρύτερα πλαίσια βιωσιμότητας και ανθεκτικότητας, υπερβαίνοντας την παραδοσιακή έμφαση στην αποφυγή ατυχημάτων και στις οικονομικές αποκλίσεις. Η ενσωμάτωση των αρχών της βιωσιμότητας, της ανθεκτικότητας, των ESG κριτηρίων, της ανάλυσης κύκλου ζωής και των κλιματικών σεναρίων επιφέρει ως απότοκο τη διαμόρφωση μίας ολιστικής προσέγγιση. Επ' αυτής, τα τεχνικά έργα αντιμετωπίζονται ως σύνθετα κοινωνικοτεχνικά συστήματα που πρέπει να αντέχουν, να προσαρμόζονται και να ανακάμπτουν από διαταραχές (Aven, 2016; Sesana & Dell'Oro, 2024; Buyle et al., 2013).

Στο ίδιο πλαίσιο, η προληπτική συντήρηση και η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενισχύουν την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα των υποδομών, καθώς επιτρέπουν την έγκαιρη πρόβλεψη βλαβών (Lee et al., 2014; Prajapati et al., 2012).

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στους κινδύνους των έργων πράσινης μετάβασης και ενεργειακών υποδομών, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή τεχνολογική, περιβαλλοντική, ρυθμιστική και κοινωνική αβεβαιότητα, καθώς και από αυξημένη έκθεση σε κινδύνους κυβερνοασφάλειας και μεταβολών της ενεργειακής πολιτικής (World Economic Forum, 2020; ENISA, 2021).

IV. CONCLUSIONS

Εκ της ανάλυσης που διεξήχθη στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας προκύπτει ότι η διαχείριση της επικινδυνότητας στα τεχνικά έργα αποτελεί μία πολυδιάστατη, δυναμική και στρατηγικής σημασίας διαδικασία, η οποία υπερβαίνει τα όρια της στενά τεχνικής αξιολόγησης και ενσωματώνει οργανωτικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές και θεσμικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα ανάλυση έδειξε ότι ο κίνδυνος δεν ταυτίζεται απλώς με την πιθανότητα ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, αλλά αποτελεί σύνθετη συνάρτηση αβεβαιότητας, συνεπειών και συστημικών αλληλεξαρτήσεων, που εκτείνεται σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου, από τον αρχικό σχεδιασμό έως τη λειτουργία και την αποξήλωση.

Ιδιαίτερη βαρύτητα αποδόθηκε στους ανθρώπινους και οργανωτικούς παράγοντες, στους τεχνικούς και σχεδιαστικούς κινδύνους, αλλά και στις οικονομικές, συμβατικές, περιβαλλοντικές και διοικητικές διαστάσεις της επικινδυνότητας. Πρόκειται για συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την επιτυχία, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα των έργων.

Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι καμία μεμονωμένη μέθοδος δεν επαρκεί από μόνη της για την ολοκληρωμένη διαχείριση των κινδύνων, γεγονός που καθιστά αναγκαίο τον συνδυασμό ποιοτικών, ποσοτικών και υβριδικών εργαλείων, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στα ειδικά χαρακτηριστικά που διαθέτει το εκάστοτε έργο.

Η παρούσα ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, συν τοις άλλοις, ανέδειξε ουσιαστικά κενά στη διεθνή έρευνα. Τα σημαντικότερα εξ αυτών αφορούν την περιορισμένη ενσωμάτωση κοινωνικών και οργανωσιακών παραγόντων στα ποσοτικά μοντέλα, αλλά και τη δυσκολία διαχείρισης βαθιάς αβεβαιότητας σε έργα μεγάλης χρονικής διάρκειας ή υψηλής τεχνολογικής καινοτομίας, καθώς και την έλλειψη επαρκούς εμπειρικής τεκμηρίωσης για τη μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα των ψηφιακών τεχνολογιών στη μείωση κόστους, χρόνου και ατυχημάτων.

Τέλος, διαπιστώθηκε η απουσία πλήρως ενοποιημένων πλαισίων που να συνδέουν συστηματικά τη διαχείριση κινδύνου με τη βιωσιμότητα, την ανθεκτικότητα και τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παράλληλα με αυτό, διαπιστώθηκε και έλλειψη μακροχρόνιων μελετών που να εξετάζουν την επικινδυνότητα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής των έργων. Επιπροσθέτως, η βιβλιογραφία δεν έχει ακόμη αναπτύξει επαρκώς σαφή πλαίσια για τη διαφάνεια, την ηθική και τη λογοδοσία των αλγοριθμικών μοντέλων σε έργα υψηλής διακινδύνευσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το χρονικό διάστημα μεταξύ του Σεπτεμβρίου 2025 έως το Μάιο 2026 στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, με τίτλο «Διαχείριση Τεχνικών Έργων». Με την ολοκλήρωσή της, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν για την πραγματοποίησή της με το παρόν κείμενο.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον επιβλέποντα καθηγητή μου Πολύζου Δημοσθένη, για την υποστήριξη και καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

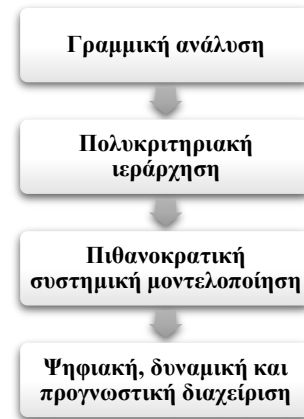
Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην σύζυγο και την οικογένεια μου για την στήριξη, την συμπαράσταση και την κατανόηση τους για όλο το διάστημα των σπουδών μου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Adepoju, A. H., Hamza, O., Collins, A., & Austin-Gabriel, B. (2025). Integrating Risk Management and Communication Strategies in Technical Research Programs to Secure High-Value Investments. *Gulf Journal of Advance Business Research*, 3(1), 105-127. <https://doi.org/10.51594/gjabr.v3i1.69>
- Atkinson, R. (1999). Project management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337-342. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00069-6)
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Aven, T., & Renn, O. (2009). *Risk management and governance: Concepts, guidelines and applications*. NY: Springer.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται το κάτωθι υβριδικό μοντέλο διαχείρισης κινδύνου για τεχνικά έργα:

Σχεδιάγραμμα 1. Προτεινόμενο υβριδικό μοντέλο διαχείρισης κινδύνου για τεχνικά έργα



- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971-980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 26, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., & Tien Bui, D. (2018). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.032>
- Cooper, M. D., & Phillips, R. A. (2004). Exploratory analysis of the safety climate and safety behavior relationship. *Journal of Safety Research*, 35(5), 497-512. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2004.08.004>
- Cox, L. A. (2008). What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497-512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- Crawley, F., & Tyler, B. (2015). *HAZOP: Guide to best practice*. NY: Elsevier.
- Cui, P., Ge, Y., Li, S., Li, Z., Xu, X., Zhou, G. G., ... & Wang, Y. (2022). Scientific challenges in disaster risk reduction for the Sichuan-Tibet Railway. *Engineering Geology*, 309, 106837. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106837>
- Edmondson, A. C. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. *Administrative Science Quarterly*, 44(2), 350-383. <https://doi.org/10.2307/2666999>
- ENISA. (2021). *Threat landscape for supply chain attacks*. European Union Agency for Cybersecurity. <https://www.enisa.europa.eu/publications/threat-landscape-for-supply-chain-attacks>
- Ericson, C. A. (2015). *Hazard analysis techniques for system safety* (2nd ed.). NY: Wiley.
- Fang, W., Ding, L., Love, P. E., Luo, H., Li, H., Peña-Mora, F., ... & Zhou, C. (2020). Computer vision applications in construction safety assurance. *Automation in Construction*, 110, 103013. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103013>
- Fenton, N., & Neil, M. (2012). *Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks*. NY: CRC Press.
- Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6-19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>

- Genc, O. (2023). Identifying principal risk factors in Turkish construction sector according to their probability of occurrences: a relative importance index (RII) and exploratory factor analysis (EFA) approach. *International Journal of Construction Management*, 23(6), 979-987. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1946901>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. NY: MIT Press.
- Gondia, A., Siam, A., El-Dakhkhni, W., & Nassar, A. H. (2020). Machine learning algorithms for construction projects delay risk prediction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1), 04019085. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001736](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001736)
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Guldenmund, F. W. (2000). The nature of safety culture: A review of theory and research. *Safety Science*, 34(1-3), 215-257. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00014-X)
- Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis - Where are we now? A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*, 3(3), 215-251. <https://doi.org/10.1108/17554251011064837>
- Hillson, D. (2017). *Practical project risk management: The ATOM methodology* (3rd ed.). NY: Management Concepts Press.
- Hofstede, G. (2001). *Culture's consequences: Comparing values, behaviors, institutions and organizations across nations* (2nd ed.). NY: Sage.
- Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management*. NY: Ashgate.
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of risk management: Understanding, evaluating and implementing effective risk management* (5th ed.). NY: Kogan Page.
- Hurtado-Martell, J. L., & Ros, A. (2025). Improving Performance in Mining and Construction Projects: An Integrated Method Based on the Triple Constraint, Change and Risk Management with Normalized Databases. *Revista ingeniería de construcción*, 40(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.7764/ric.00136.21>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management-Guidelines*. <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- Judijanto, L., Sudarmanto, E., & Gilaa, T. (2024). The Effect of Risk Management, Technological Innovation, and Human Resources Quality on Construction Project Performance in Jakarta Case Study on Government Infrastructure Projects. *Sciences du Nord Economics and Business*, 1(02), 73-82. <https://doi.org/10.58812/sneb.v1i2.32>
- Kabir, S. (2017). An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*, 77, 114-135. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.01.058>
- Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). NY: Wiley.
- Kim, J. (2025). Balancing AI generalization and specialization: Multi-domain learning for universal computer vision models in construction. *Automation in Construction*, 176, 106279. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106279>
- Klakegg, O. J., Williams, T., Magnussen, O. M., & Glasspool, H. (2010). Governance frameworks for public project development and estimation. *International Journal of Project Management*, 28(7), 722-733. <https://doi.org/10.1002/pmj.20058>
- Kletz, T. A. (2001). *Hazop and risk assessment: A guide to better practice* (3rd ed.). NY: CRC Press.
- Koulinas, G. K., Demesouka, O. E., Sidas, K. A., & Koulouriotis, D. E. (2021). A TOPSIS-risk matrix and Monte Carlo expert system for risk assessment in engineering projects. *Sustainability*, 13(20), 11277. <https://doi.org/10.3390/su132011277>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lu, W., Chen, J., & Xue, F. (2022). Using computer vision to recognize composition of construction waste mixtures: A semantic segmentation approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106022>
- Pickton, D. W., & Wright, S. (1998). What's SWOT in strategic analysis? *Strategic Change*, 7(2), 101-109. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1697\(199803/04\)7:2%3C101::AID-JSC332%3E3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1697(199803/04)7:2%3C101::AID-JSC332%3E3.0.CO;2-6)
- Plebankiewicz, E., & Wiczorek, D. (2020). Prediction of cost overrun risk in construction projects. *Sustainability*, 12(22), 9341. <https://doi.org/10.3390/su12229341>
- Prajapati, A., Bechtel, J., & Ganesan, S. (2012). Condition based maintenance: a survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 384-400. <https://doi.org/10.1108/13552511211281552>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). NY: PMI.
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. NY: Ashgate.
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206-215. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. NY: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. NY: Springer.
- Sacks, R., Girolami, M., & Brilakis, I. (2020). Building information modelling, artificial intelligence and construction safety. *Automation in Construction*, 118, 103286. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (4th ed.). NY: Jossey-Bass.
- Sesana, M. M., & Dell'Oro, P. (2024). Sustainability and resilience assessment methods: A literature review to support the decarbonization target for the construction sector. *Energies*, 17(6), 1440. <https://doi.org/10.3390/en17061440>
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. *Science*, 236(4799), 280-285. <https://doi.org/10.1126/science.3563507>
- Soytu, N. Y., Aleynikova, M. A., & Novozhilova, A. V. (2021, March). Investigation of the Technical Condition of Buildings and Structures in the Conditions of Dangerous Geological Processes. In *International Scientific Conference on Innovations and Technologies in Construction* (pp. 234-240). Cham: Springer International Publishing.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (2nd ed.). NY: ASQ Quality Press.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2019). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- Teo, E. A. L., Ling, F. Y. Y., & Chong, A. F. W. (2005). Framework for project managers to manage construction safety. *International Journal of Project Management*, 23(4), 329-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.09.001>
- Thomas, R., & Wright, M. (2020). *Construction contract claims*. NY: Bloomsbury Publishing.
- Turner, R., & Müller, R. (2005). The project manager's leadership style as a success factor on projects: A literature review. *Project Management Journal*, 36(2), 49-61. <https://doi.org/10.1177/875697280503600206>
- Upadhyaya, D., & Malek, M. (2023). Examining potential dangers and risk factors in building construction projects. In *Emerging Trends and Innovations in Industries of the Developing World* (pp. 181-185). NY: CRC Press.
- Venter, B., Ngobeni, S. P., & du Plessis, H. (2021). Factors influencing the adoption of Building Information Modelling (BIM) in the South African Construction and Built Environment (CBE) from a quantity surveying perspective. *Engineering Management in Production and Services*, 13(3). <https://reference-global.com/2/v2/download/pdf/10.2478/emj-2021-0027>
- Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (2002). *Fault tree handbook with aerospace applications*. NASA Office of Safety and Mission Assurance. https://www.mwfr.com/CS2/Fault%20Tree%20Handbook_NA_SA.pdf
- Vose, D. (2008). *Risk analysis: A quantitative guide* (3rd ed.). NY: Wiley.
- Wang, M., Wong, P., Luo, H., Kumar, S., Delhi, V., & Cheng, J. (2019, May). Predicting safety hazards among construction workers and equipment using computer vision and deep learning techniques. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on*

- Automation and Robotics in Construction* (Vol. 36, pp. 399-406). NY: IAARC Publications.
- World Economic Forum. (2020). *The global risks report 2020*. <https://www.weforum.org/publications/the-global-risks-report-2020/>
- Yescombe, E. R. (2014). *Public-private partnerships: Principles of policy and finance* (2nd ed.). NY: Butterworth-Heinemann.
- Zhu, R., Hu, X., Hou, J., & Li, X. (2021). Application of machine learning techniques for predicting the consequences of construction accidents in China. *Process Safety and Environmental Protection*, 145, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.006>
- Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. *Accident Analysis & Prevention*, 42(5), 1517-1522. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.019>