



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Κατανομή Χρηματοδότησης για την Αναβάθμιση Μέτρων Αντιπλημμυρικής Προστασίας

Μεταπτυχιακός Φοιτητής: **Βασίλειος Θωμάς**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Νικόλαος Λαγαρός, Καθηγητής ΕΜΠ**

Ημερομηνία: **Ιούνιος 2025**

Περίληψη

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα με αρνητικές συνέπειες για τη ζωή των ανθρώπων, τις υποδομές και το φυσικό περιβάλλον. Εκτονώνονται όταν τα αποστραγγιστικά δίκτυα δεν είναι ικανά να παροχετεύσουν τους εκάστοτε πλημμυρικούς όγκους. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους διακρίνονται σε διάφορους τύπους.

Στην ανθρώπινη ιστορία καταγράφονται διαρκώς όλο και περισσότερα φαινόμενα πλημμυρών με μερικά από αυτά να εμφανίζουν καταστροφικές επιπτώσεις για την ανθρώπινη ύπαρξη. Η μεθοδική καταγραφή τους και η αποτίμηση των ζημιών που προκαλούν, μπορεί να αποτελέσει πηγή γνώσης για την εφαρμογή μεθόδων πρόληψης και αντιμετώπισής τους.

Πλημμύρες άξιες αναφοράς, όπως οι πλημμύρες της Κεντρικής Ευρώπης το 2002, της Δυτικής Ευρώπης το 2021, καθώς και οι πρόσφατες πλημμύρες της Ισπανίας, το 2024, προκάλεσαν τον χαμό εκατοντάδων ανθρώπων, ενώ οι οικονομικές ζημιές ήταν της τάξης δισεκατομμυρίων ευρώ. Αντίστοιχα, η χώρα μας έχει πληγεί κατά καιρούς από σημαντικά τέτοια φαινόμενα, με πιο χαρακτηριστικά αυτά της Μάνδρας το 2017 και της Θεσσαλίας το 2023 αντίστοιχα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει κατανοήσει από νωρίς την ανάγκη εφαρμογής μέτρων για την προστασία της από τις πλημμύρες και για τον λόγο αυτό έχει θεσπίσει ήδη από το 2007 την Οδηγία 2007/60/EC, η οποία πραγματεύεται τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Στην Οδηγία αυτή, δίνονται οι κατευθύνσεις σε όλα τα κράτη μέλη της σχετικά με τη λήψη μέτρων για την προστασία τους από τέτοια φαινόμενα. Στην Ελλάδα, η Οδηγία αυτή εφαρμόζεται μέσω των 14 Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας που αντιστοιχούν στα 14 υδατικά διαμερίσματα και αυτή τη στιγμή βρίσκονται στον δεύτερο κύκλο αναθεώρησης.

Παρά την ύπαρξη της παραπάνω Οδηγίας, ήδη από το 2007, οι συνεχώς καταγεγραμμένες συνέπειες των πλημμυρικών φαινομένων υποδηλώνουν την ελλιπή εφαρμογή των αντιπλημμυρικών μέτρων, την απουσία ενός δομημένου σχεδίου βελτίωσης αυτών, καθώς και τη δύναμη της κλιματικής κρίσης που έρχεται να ανατρέψει τα υφιστάμενα δεδομένα. Παράλληλα, υπό το πρίσμα των αλλαγών που έχει επιφέρει η κλιματική κρίση σε συνδυασμό με το πρόβλημα της αστικοποίησης, η ενίσχυση της ανθεκτικότητας των



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

πόλεων έναντι των πλημμυρικών φαινομένων αποτελεί πρωταρχική μέριμνα του πολεοδομικού σχεδιασμού και των προγραμμάτων διαχείρισης κινδύνων.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός μοντέλου, ικανού να αποτελέσει πρότυπο, για τη βέλτιστη κατανομή των χρηματοοικονομικών πόρων με στόχο την βελτίωση του επιπέδου αντιπλημμυρικής προστασίας των αστικών περιοχών. Σε αυτό το πλαίσιο παρουσιάζεται μια μεθοδολογία που συνδυάζει την Πολυκριτηριακή Ανάλυση (MCDA), χρησιμοποιώντας την Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο (ΑΗΡ), με ένα σύνολο μεταερευνητικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης, συμπεριλαμβανομένων του Γενετικού Αλγορίθμου (GA) και του αλγόριθμου Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (PSO), στους οποίους θα δοθεί επιπλέον έμφαση. Η Ιεραρχική Μέθοδος θέτει τις βάσεις με σκοπό τα εμπλεκόμενα μέρη, αξιοποιώντας τις γνώσεις τους, να ιεραρχήσουν τα μέτρα που θα εφαρμοστούν και θα συμπεριληφθούν στην αντιπλημμυρική προστασία των πόλεων. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε τρία επίπεδα: (α) επίπεδο πολιτικής, (β) επίπεδο στόχων και (γ) επίπεδο μέτρων. Ως βασικός στόχος ορίζεται η ανθεκτικότητα των πόλεων έναντι πλημμυρών. Οι επιμέρους στόχοι που υποστηρίζουν αυτόν τον σκοπό είναι: η προστασία των πολιτών, των υποδομών, των ομάδων διάσωσης, η διατήρηση της λειτουργίας των δραστηριοτήτων και η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών. Κάθε μέτρο που εφαρμόζεται συνεισφέρει με διαφορετικό βάρος σε αυτούς τους στόχους, όπως καθορίζεται από συντελεστές βαρύτητας μέσω συγκριτικής αξιολόγησης.

Αποτέλεσμα των παραπάνω, είναι η ανάπτυξη του Δείκτη Πλημμυρικής Ανθεκτικότητας (FRI), ο οποίος είναι ικανός να ποσοτικοποιήσει τη συνεισφορά μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των πόλεων. Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές από 0 έως 1, βάσει του επιπέδου εφαρμογής των μέτρων που λαμβάνονται υπόψη. Μέσω της αξιοποίησης ενός συνόλου αλγορίθμων βελτιστοποίησης και εφαρμόζοντας τις κατάλληλες τεχνικές διαχείρισης περιορισμών, δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης του δείκτη αυτού με στόχο την βέλτιστη κατανομή πόρων ανά μέτρο προστασίας. Ο δείκτης αυτός, καθώς και μια συνάρτηση ικανή να εκτιμήσει το κόστος βελτίωσης και εφαρμογής μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας, αποτελούν τις συναρτήσεις που διαμορφώνουν τα δύο εξεταζόμενα προβλήματα της παρούσας εργασίας. Τα προβλήματα αυτά αφορούν: 1) τη μεγιστοποίηση του FRI με περιορισμό τον διαθέσιμο προϋπολογισμό και 2) την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου προϋπολογισμού για την επίτευξη μιας συγκεκριμένης τιμής του FRI

Στη συνέχεια, αξιολογείται η εφαρμογή πέντε μέτρων προστασίας. Αρχικά, εξετάζονται τα υφιστάμενα δίκτυα ομβρίων, μια υποδομή που συναντάται στο σύνολο των αστικών ιστών και συμβάλλει στην ομαλή παροχέτευση των πλημμυρικών ροών. Ακολουθούν, τα φορητά μέτρα αντιπλημμυρικής προστασίας, τα οποία αποτελούνται κυρίως από μπάρες τις τάξης του 1 m, τοποθετούνται επί τόπου ανά περίπτωση και συγκρατούν τα βρόχινα νερά. Έπειτα, γίνεται αναφορά στα μέτρα των πράσινων στεγών και των υδατοπερατών οδοστρωμάτων, δύο νέων τεχνολογιών των οποίων οι ιδιότητες καθυστερούν τις πλημμυρικές ροές. Τέλος, επιλέχθηκε ένα μέτρο παθητικής προστασίας, αυτό των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης, η συνεισφορά του οποίου μπορεί να είναι καθοριστική για τη μείωση των επιπτώσεων των φαινομένων που αναφέρονται.

Το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόζεται ενδεικτικά σε μια περιοχή επιφάνειας 2.72 km² του Δήμου Ηλιούπολης, στην Ελλάδα. Για την συγκεκριμένη περιοχή εξετάζεται η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»

αντιπλημμυρικής προστασίας. Επιπλέον, γίνεται αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης και αξιολόγηση του επιπέδου εφαρμογής των μέτρων αυτών. Ποσοτικοποιείται ο βαθμός εφαρμογής αυτών σε περίπτωση που υπάρχουν, και παράλληλα εξετάζεται αν γενικότερα υφίστανται αυτά στη περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, εκτιμάται το κόστος εφαρμογής και βελτίωσης των προτεινόμενων μέτρων χρησιμοποιώντας μια σειρά από δεδομένα, όπως αυτά έχουν προκύψει από διαγωνισμούς του Ελληνικού Δημοσίου, βιβλιογραφικές αναφορές καθώς και επικοινωνία με σχετικούς υπεργολάβους.

Βάσει του μοντέλου που αναπτύχθηκε και των παραπάνω δεδομένων, εξετάζονται τα δύο προβλήματα βελτιστοποίησης για ένα σύνολο σεναρίων. Σε πρώτη φάση, γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων 20 μεταερευτικών αλγορίθμων για τα δύο προβλήματα. Έπειτα, για το πρώτο πρόβλημα αναλύεται ένα σύνολο 20 διαφορετικών προϋπολογισμών με στόχο την επίτευξη του βέλτιστου δείκτη FRI εφαρμόζοντας τον Γενετικό Αλγόριθμο και τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων. Στο δεύτερο πρόβλημα, αντίστοιχα, εξετάζονται 19 διαφορετικοί στόχοι FRI και υπολογίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος προϋπολογισμός για την επίτευξη αυτών.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία προτείνει ένα ευέλικτο και εφαρμόσιμο εργαλείο στρατηγικού σχεδιασμού, το οποίο μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά την αποδοτικότητα των επενδύσεων σε αντιπλημμυρικά έργα με έμφαση στην ανθεκτικότητα των πόλεων. Επιπλέον, αναδεικνύεται η χρησιμότητα των πολυκριτηριακών μεθόδων και των αλγορίθμων βελτιστοποίησης στη λήψη αποφάσεων σε επίπεδο πολιτικής προστασίας και βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Με αυτόν τον τρόπο, τα εμπλεκόμενα μέρη μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τους μηχανισμούς με τους οποίους κατανέμονται οι διαθέσιμοι πόροι ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Η περαιτέρω εξέλιξη και αξιοποίηση του προτεινόμενου μοντέλου, με ενσωμάτωση πρόσθετων παραμέτρων και συμμετοχή ειδικών επιστημόνων, μπορεί να αποτελέσει ένα ουσιαστικό βήμα προς την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των πόλεων απέναντι στον ολοένα αυξανόμενο κίνδυνο των πλημμυρικών καταστροφών.