

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-RAS 1D/2D. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΟΚΑΝΗΣ Διπλωμ. Μηχανικός Περιβάλλοντος

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ, Καθηγητής ΕΜΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Οκτώβριος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-RAS 1D/2D. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΟΚΑΝΗΣ Διπλωμ. Μηχανικός Περιβάλλοντος

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ Καθηγητής ΕΜΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ» Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή: Αναστάσιος Στάμου, Καθηγητής ΕΜΠ Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ Ηλίας Παπακωνσταντής, Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω τα άτομα που έπαιξαν ουσιαστικό ρόλο τόσο στην υλοποίηση της μελέτης όσο και σε παράγοντες που υπήρξαν πίσω από αυτήν.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αναστάσιο Στάμο, που από την πρώτη στιγμή της γνωριμίας μας με εμπιστεύτηκε και απλόχερα μου προσέφερε γνώσεις, συμβουλευτικές προτάσεις, δυνατότητες και ευκαιρίες να υλοποιήσω και να εργαστώ στο αντικείμενο που είχα στοχεύσει καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Ηλία Παπακωνσταντή και τον Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.). Συγκεκριμένα, τον Γεώργιο Μητσόπουλο (Υποψήφιος Διδάκτωρ) για την υπομονή και την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της διπλωματικής, αφού όποτε τον χρειαζόμουν ήταν εκεί για να μου μεταφέρει τις γνώσεις του και την καθοδήγησή του για τεχνικά θέματα της εργασίας, τον Αριστείδη Μπλούτσο (Διδάκτωρ) αλλά και την Ελπίδα Παναγιωτάτου (Υποψήφια Διδάκτωρ) για τις χρήσιμες συμβουλές τους. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω για τεχνικά ζητήματα και απαραίτητα δεδομένα:

- Το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) και συγκεκριμένα την επιστημονική ομάδα του Καθηγητή κ. Ευάγγελου Μπαλτά.
- Το Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος και συγκεκριμένα την επιστημονική ομάδα του Καθηγητή κ. Ευθύμιου Λέκκα
- Την Κτηματολόγιο Α.Ε.

Τέλος, αισθάνομαι ολόψυχα την υποχρέωση να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου σε αυτήν την πορεία για την αγάπη, την καίρια στήριξή τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου, αλλά και για την υπομονή τους έως ότου πετύχω τους στόχους μου. Ειλικρινά σας ευχαριστώ πολύ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣ	ΤΙΕΣi
ΠΙΝΑΚΑ	Σ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ iii
КАТАЛС	ΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝν
КАТАЛС	ΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ vi
ΚΑΤΑΛΟ	ΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ix
ΠΕΡΙΛΗ	ΨΗ xi
ABSTRA	СТ13
EXTEND	ED ABSTRACT14
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ
1.1	Αντικείμενο και στόχος της εργασίας20
1.2	Διάρθρωση της εργασίας20
1.3	Πλημμύρες21
1.4	Σχέδια Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας
1.5	Προτεινόμενα μέτρα για πλημμύρες
2	ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HEC-RAS 1D/2D
2.1	Εισαγωγή - Γενικά χαρακτηριστικά
2.2	Οι εξισώσεις του μοντέλου
2.2.1	Εξισώσεις μονοδιάστατης (1D) ροής
2.2.2	Εξισώσεις δισδιάστατης (2D) ροής
2.3	Δεδομένα εισόδου του μοντέλου
2.4	Οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου26
2.5	Μοντελοποίηση τεχνικών έρνων
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
3.1	Εισαγωγή29
3.2	Στάδιο Ι. Εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας
3.3	Στάδιο ΙΙ. Εκτίμηση τρωτότητας σε πλημμύρα
3.4	Στάδιο ΙΙΙ. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου
4	Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
4.1	Γενικά34
4.2	Το υδρογραφικό δίκτυο της Μάνδρας Αττικής
4.2.1	Ο χείμαρρος Σούρες
4.2.2	Ο χείμαρρος Αγία Αικατερίνη
4.2.3	Ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος
4.3	Οι πλημμύρες στη Μάνδρα Αττικής38
4.4	Η πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017
5	ΤΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
5.1	Γενικά - Παροχές Σχεδιασμού45
5.2	Έργο διευθέτησης χειμάρρου Σούρες45
5.3	Έργο εκτροπής χειμάρρου Αγία Αικατερίνη46
6	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

	Δεδομένα υδραυλικών υπολογισμών	47
1	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	47
2	Άξονας και διατομές	48
3	Συντελεστής τραχύτητας n, Manning	
4	Οριακές συνθήκες	
5	Καταγραφη πλημμυρας Τεχνικά έρνα	
0	Λεδομένα για την εκτίμηση του πλημιμοικού κινδύνου	
	ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	
	Χάραξη των γραμμών του άξονα και των όχθεων των ρεμάτων Σούρες & /	Αγία Αικατερίνη
	Υποβάθοου μοντέλου	
	Τεχνικά έρνα και οχετοί	
	Συντελεστής τοαχύτητας η. Manning	
		67
	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	
	Εισαγωγή	68
	Υδραυλικοί υπολογισμοί και σχολιασμός τους	70
	Παροχές	70
	Βάθος και ταχύτητα Ροής	72
	Πλημμυρική Έκταση και Χρόνοι άφιξης	80
	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	87
	Εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας	87
	Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών εκτίμησης επικινδυνότητας	87
	Εκτίμηση τρωτότητας σε πλημμύρα	88
	Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών τρωτότητας	88
	Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου	89
	Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών πλημμυρικού κινδύνου	
	Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμένου πλημμυρικού κινδύνου με αυ Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου για την περίπτωση της Μάνδρας	τά των Σχεδίων 90
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	94
	Συμπεράσματα	94
	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	94
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95
	Διεθνής Βιβλιογραφία	95
	Ελληνική βιβλιογραφία	96
	Διαδικτυακοί ιστότοποι	

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.2-1: Κλάσεις κατάταξης της επικινδυνότητας της πλημμύρας	30
Πίνακας 3.2-2: Αντιστοιχία κλάσης επικινδυνότητας – βαθμολογίας (σκορ)	30
Πίνακας 3.3-1: Αντιστοιχία κλάσης επικινδυνότητας – βαθμολογίας (σκορ)	31
Πίνακας 3.3-2: Κατηγορίες επιπτώσεων, δείκτες χρήσεων και βαθμολογία τους	31
Πίνακας 3.3-3: Αντιστοιχία κλάσης τρωτότητας – πιθανής μέγιστης επίπτωσης	33
Πίνακας 3.4-1: Αντιστοιχία κλάσης τρωτότητας – πιθανής μέγιστης επίπτωσης	33
Πίνακας 5.1-1: Παροχές σχεδιασμού των έργων	45
Πίνακας 6.1-1: Συντελεστές Manning n	49
Πίνακας 6.1-2: Χαρακτηριστικά μεγέθη τεχνικών έργων	54
Πίνακας 6.2-1: Κατηγορίες δεικτών χρήσεων γης στην περιοχή διερεύνησης	58
Πίνακας 6.2-2: Αντιστοιχία χρωμάτων με τους δείκτες χρήσεων γης	60
Πίνακας 7.3-1: Προσομοίωση τεχνικών έργων του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D	63
Πίνακας 7.5-1: Τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των τεσσάρων 2D περιοχών	67
Πίνακας 8.1-1: Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων του υδροδυναμικού μοντέλου	68
Πίνακας 8.2-2: Χαρακτηριστικά ροής για τις επιλεγμένες διατομές των ρεμάτων	72
Πίνακας 9.2-1: Καταγραφή μέγιστων τιμών τρωτότητας των χρήσεων γης	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.5-1: Τοποθεσίες διατομών σε μία γέφυρα ή Culvert
Εικόνα 4.1-1 : Η πόλη της Μάνδρας ως προς την Αθήνα, την Πελοπόννησο και την υπόλοιπη Ελλάδα
(Google Earth)
Εικόνα 4.1-2: Χάρτης τοποθεσίας της περιοχής διερεύνησης με τις λεκάνες απορροής των δύο
λεκανών απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη (Diakakis et al., 2019)35
Εικόνα 4.1-3: Ο διαχωρισμός της περιοχής διερεύνησης ως προς την οικιστική ζώνη της Μάνδρας
(μπλε χρώμα) και την βιομηχανική ζώνη (πορτοκαλί χρώμα)
Εικόνα 4.1-4: Το οδικό δίκτυο της περιοχής (Mavrogeorgos K., 2019)37
Εικόνα 4.2-1: Ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος (με γαλάζιο χρώμα)
Εικόνα 4.4-1: Ο συνολικός υετός σε χωρική απεικόνιση υψηλής ανάλυσης σύμφωνα με τις
εκτιμήσεις του ραντάρ X-POL40
Εικόνα 4.4-2 : Η χρονοσειρά του στιγμιαίου ρυθμού βροχόπτωσης στον πυρήνα της έντονης
βροχόπτωσης στο όρος Πατέρας40
Εικόνα 4.4-3: Η χρονοσειρά της συσσωρευμένης βροχόπτωσης στον πυρήνα της έντονης
βροχόπτωσης στο όρος Πατέρας41
Εικόνα 4.4-4 : Ραγδαιότητα υετού από το Ραντάρ Υμηττού της ΕΜΥ για τις 06:00 της $15^{\eta\varsigma}$ Νοεμβρίου
(Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2017)42
Εικόνα 4.4-5 : Η ξαφνική πλημμύρα στο σημείο της υπερχείλισης του ρέματος Αγία Αικατερίνη μέσα
στον οικισμό της Μάνδρας (Λέκκας κ.α.,2018)43
Εικόνα 4.4-6: Η πλημμύρα στη διασταύρωση της οδού Θηβών και Αττικής στη βιομηχανική ζώνη της
περιοχής της Μάνδρας (Λέκκας κ.α., 2018)44
Εικόνα 4.4-7: Η διέλευση του πλημμυρικού κύματος κάτω από τη γέφυρα της Αττικής Οδού (Λέκκας
к.α., 2017)
Εικόνα 5.2-1: Έργο διευθέτησης ανάντη της συμβολής του χειμάρρου Αγία Αικατερίνη (υπόγειος
αγωγός στα αριστερά) με Σούρες (δεξιά)45
Εικόνα 5.2-2: Δίδυμος ορθογωνικός αγωγός με κατεύθυνση προς τον Σαρανταπόταμο
Εικόνα 5.3-1: Η κατεύθυνση του ρέματος Αγία Αικατερίνη προς την οδό Ομήρου (με μπλε χρώμα)
και ορισμένα από τα φρεάτια της οδού46
Εικόνα 6.1-1: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από την Κτηματολόγιο Α.Ε
Εικόνα 6.1-2: Το τελικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους αφού προστέθηκε DEM 5mx5m και το DSM
ανάλυσης 1mx1m
Εικόνα 6.1-3: Τμήμα του τοπογραφικού σχεδίου για το τεχνικό έργο κοντά στο κτήριο Logistics
(ΕΤΜΕ κ.α., 2012)
Εικόνα 6.1-4: Κάλυψη γης για την περιοχή μελέτης έτους 2018, σύμφωνα με τα παραδοτέα του
προγράμματος CORINE της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ιστοσελίδα:
http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:gr_clc2018#)49
Εικόνα 6.1-5: Πλημμυρογραφήματα εισόδου ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη
Εικόνα 6.1-6: Παραδείγματα της πλημμυρικής έκτασης βασισμένα σε οπτικό υλικό απεικονίζοντας
και τα όρια της πλημμύρας (Flood boyndary) (Diakakis et al., 2019)
Εικόνα 6.1-7: Καταγραφή ορίων πλημμύρας από εναέρια βιντεοσκόπηση
Εικόνα 6.1-8: Καταγεγραμμένη έκταση πλημμύρας (σε υπόβαθρο Google Satellite)53
Εικόνα 6.1-9: Οι θέσεις των τεχνικών έργων στην περιοχή διερεύνησης
Εικόνα 6.2-1: Κατηγοριοποίηση των δεικτών χρήσεων γης ανάλογα την χρωματική τους απεικόνιση.
61
Εικόνα 7.1-1: Γραμμές αξόνων, όχθεων και διατομών των ρεμάτων Σούρες & Αγία Αικατερίνη62
Εικόνα 7.2-1: Τελικό υπόβαθρο μοντέλου63
Εικόνα 7.4-1: Κάλυψη γης για την περιοχή μελέτης έτους 2018 όπως εισήχθη στο HEC-RAS 1D/2D.66
Εικόνα 7.5-1: Οι τέσσερις 2D περιοχές του πλέγματος67

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

Εικόνα 8.2-1:	Επιλεγμένες χιλιομετρικές	θέσεις των ρ	εμάτων για τη	ν εξέλιξη του	υδρογραφήματος.
70					

Εικόνα 8.2-2: Εξέλιξη μδρογραφήματος για το ρέμα Σρύρες σε διαφορετικές θέσεις 71
$F_{\rm L}$ Είχονα 8.2-2: Εξέλιξη υδρογραφήματος για το ρέμα 200 μες θε θιαφορετικές θέσεις 71
2 E (κόνα 8.2-3. Εξελιξή υθρογραφήματος για το βεμα Αγια Αικατερινή σε σταφορετικές σεσεις71
73 Eucova 8.2-4. Μηκοτομή ρεματος 200 μες δε τρια τμηματά ανα 2000 π
74
Εικονά 8.2-6: «Παλίο εργοστάσιο» μετά το πλημμυρικό γεγονός
Εικόνα 8.2-7: Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία «Παλιό εργοστάσιο» σε σχέση με την
καταγεγραμμένη μέτρηση75
Εικόνα 8.2-8: Σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας» Ώρα: 7:13 & Βάθος ροής: 1.25m
Εικόνα 8.2-9: Κτήριο δίπλα στο σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας», καταγεγραμμένο ύψος μετά το
πλημμυρικό γεγονός76
Εικόνα 8.2-10: Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία «Γαλαξίας» σε σχέση με την κατεγραμμένη
μέτρηση. 76
Εικόνα 8.2-11: Συμβολή διευθετημένου Σούρες με κατεύθυνση προς την Αττική οδό
Εικόνα 8.2-12: Μεταβολή βάθους ροής στην συμβολή διευθετημένου Σούρες με την Αττική οδό σε
σχέση με την κατεγραμμένη μέτρηση77
Εικόνα 8.2-13: Μέγιστο βάθος ροής στην πλημμυρική έκταση
Εικόνα 8.2-14: Τμήματα διαχωρισμού της μελέτης περιοχής για τα δύο ρέματα
Εικόνα 8.2-15: Μέγιστη ταχύτητα ροής στην πλημμυρική έκταση
Εικόνα 8.2-16: Σύγκριση μεταξύ υπολογισμένης πλημμυρικής έκτασης (flood inundation area) και
καταγεγραμμένης (observed, με κίτρινο περίγραμμα)80
Εικόνα 8.2-17: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 181
Εικόνα 8.2-18: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 282
Εικόνα 8.2-19: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 382
Εικόνα 8.2-20: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 483
Εικόνα 8.2-21: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 584
Εικόνα 8.2-22: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 685
Εικόνα 8.2-23: Μένιστος χρόνος άφιξης στην πλημμυρική έκταση
Εικόνα 9.1-1: Χάοτης επικινδυνότητας της πλημιμύρας (hazard map)
Εικόνα 9.2-1: Χάρτης τοωτότητας (vulnerability map)
Eiκόνα 9.3-1: Χάστης πλημιμοικού κινδύνου (flood risk man) 89
Εικόνα 9.4-1. Σύγκοιση αποτελέσματος υπολογισμένης επικινδυνότητας με την αντίστοιχη των
Σχεδίων Λιαγείοισης
Εικόνα 9 4-2. Σύνκοιση αποτελέστιατος υπολογιστιένης τοωτότητας με την αντίστοινη των Σχεδίων
Εικόνα 9.4-3: Σύνκοισα αποτελέστιστος υπολογιστένου πλαιμμοικού κινδύνου με τον αυτίστοιχο
$T_{\rm chi}$ Σχεδίων Διαχείοιστο
των Ζχεστων Διαχειριστης

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

- IPPC International Plant Protection Convention
- DEM Digital Elevation Model (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους)
- Α.Ε. Ανώνυμη Εταιρία
- ΒΙΠΕ Βιομηχανική Περιοχή
- ΕΑΑ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
- ΕΓΣΑ 87Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
- Ε.Ε. Ετερόρρυθμη Εταιρία
- ΕΛΠΕ Ελληνικά Πετρέλαια
- ΕΜΥ Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
- ΖΔΥΠΚ Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
- ΠΕΟΑΘΠαλαιά Εθνική Οδός Αθήνας Θήβας
- ΥΠΕΝ Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας
- ΥΠΕΚΑ Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις 15 Νοεμβρίου 2017 σημειώθηκε μία από τις πιο καταστροφικές πλημμύρες στη δυτική Αττική στη περιοχή της Μάνδρας. Η πλημμύρα αυτή είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο 23^{ων} ανθρώπων και τον τραυματισμό 24^{ων} ακόμα, αλλά και την καταστροφή πολλών ιδιοκτησιών (υπόγειων & ισόγειων) αφού η πλημμύρα εξαπλώθηκε έντονα εντός της κατοικημένης περιοχής της πόλης. Η πλημμύρα στην πόλη της Μάνδρας προέκυψε από δύο λεκάνες απορροής, τη λεκάνη του ρέματος Σούρες και τη λεκάνη του ρέματος Αγία Αικατερίνη εμβαδού 23,0 και 22,0 km² αντίστοιχα, αφού η πόλη βρίσκεται στην έξοδο των λεκανών αυτών.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου διόδευσης πλημμύρας ικανού ώστε να μπορεί να προβλέψει τέτοια ακραία φαινόμενα και να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning System), δηλαδή ενός συστήματος προειδοποίησης πολιτών σε εκτιμώμενο κίνδυνο πλημμύρας. Για το λόγο αυτόν πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για τη περίπτωση της Μάνδρας με βάση αναλυτικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας στο μοντέλο HEC-RAS 1D/2D.

Για τη δόμηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε υπόβαθρο υψηλής ανάλυσης και ζώνες διαφορετικής τραχύτητας, που προσδιορίστηκαν από τους χάρτες χρήσεων γης CORINE 2018. Για τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου προσομοιώθηκε η πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017. Για τα δύο ρέματα χρησιμοποιήθηκε ως οριακή συνθήκη πλημμυρογράφημα εισόδου, που χορηγήθηκε από την ομάδα του Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά.

Η ανάλυση έγινε για συνθήκες μη μόνιμης ροής.

Τα όρια της πλημμύρας προέκυψαν από εναερία βιντεοσκόπηση καθώς και δεδομένα ερευνητικών εργασιών που πραγματεύονταν την πλημμύρα της Μάνδρας. Τα μέγιστα βάθη ροής σε επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη προσδιορίστηκαν σε επιτόπια αυτοψία της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ, και συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα βάθη ροής του αριθμητικού μοντέλου. Παρατηρήθηκε ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των δύο γεγονός που επιβεβαιώνει την εγκυρότητα της αριθμητικής προσομοίωσης. Για το ρέμα Σούρες τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής κυμάνθηκαν από 1,59 m μέχρι 6,16 m και από 0,77 m/s μέχρι 12,00 m/s αντίστοιχα, ενώ για το ρέμα Αγία Αικατερίνη από 2,18 m μέχρι 3,43 m και από 2,08 m/s μέχρι 11,00 m/s, αντίστοιχα.

Για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου (Flood Risk) χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας, κατά την οποία τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης του μοντέλου, δηλαδή τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής, χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα της πλημμύρας (Hazard). Για την εκτίμηση της τρωτότητας (vulnerability) συνδυάστηκαν κοινωνικοί, οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και πολιτισμικοί παράγοντες. Με συνδυασμό της επικινδυνότητας και της τρωτότητας της πλημμύρας προσδιορίστηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος για την περιοχή της Μάνδρας. Έπειτα καταρτίστηκαν οι χάρτες επικινδυνότητας, τρωτότητας και πλημμυρικού κινδύνου και πραγματοποιήθηκε σύγκριση με τους αντίστοιχους χάρτες των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου.

Λέξεις – Κλειδιά : Μαθηματικό μοντέλο, HEC-RAS 1D/2D, Μάνδρα, Υδροδυναμική Μοντελοποίηση, Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου, Αντιπλημμυρικά έργα

ABSTRACT

On November 15, 2017, one of the most catastrophic floods occurred in western Attica in the area of Mandra. This flood resulted in the death of 23 people and the injury of 24 more, but also the destruction of many properties (basements & ground floors) as the flood spread strongly within the residential area of the city. The flood in the city of Mandra arose from two watersheds, the basin of the stream Soures and the basin of the stream Agia Aikaterini with an area of 23.0 and 22.0 km² respectively, since the city is located at the exit of these basins.

The aim of this master's thesis was to create a flood routing model capable of being used to predict such extreme phenomena to be used in the construction of an Early Warning System, ie a system of warning citizens at an estimated flood risk. For this reason, a flood risk assessment was carried out for the case of Mandra based on detailed calculations of high accuracy in the HEC-RAS 1D / 2D model.

For the construction of the model was used high resolution background and zones of different roughness, identified from the land use maps CORINE 2018. For the calibration of the hydraulic model the flood of November 2017 was simulated. For the two streams it was used as a boundary condition input Hydrograph, issued by the team of Professor Evangelos Baltas. The analysis was performed for unsteady flow conditions.

The boundaries of the flood emerged from aerial video footage as well as research data dealing with the Mandra flood. The maximum flow depths at selected locations along the Soures and Agia Aikaterini streams were determined in an on-site autopsy by the NTUA research team, and compared with the respective flow depths of the numerical model. A satisfactory agreement was observed between the two, which confirms the validity of the numerical simulation. For the Soures stream the maximum depths and flow velocities ranged from 1.59 m to 6.16 m and from 0.77 m/s to 12.00 m/s respectively, while for the Agia Aikaterini stream from 2.18 m to 3.43 m and from 2.08 m/s to 11.00 m/s, respectively.

Flood Risk assessment used the methodology of the Flood Risk Management Plans (FRMPs), in which the results of the model hydraulic simulation, ie the maximum depths and flow velocities, were used to assess the flood hazard (Hazard). Social, economic, environmental and cultural factors were combined to assess flood vulnerability. A combination of flood hazard and vulnerability identified the flood risk for the Mandra area. The hazard, vulnerability and flood risk maps were then compiled and compared with the corresponding maps of the Risk Management Plans.

Keywords: Mathematical Model, TELEMAC-2D, Mandra, Hydrodynamic Modelling, Flood Risk Assessment, Flood Protection Works

EXTENDED ABSTRACT

1. INTRODUCTION

"Flash flood" is defined as the flood that occurs in a short period of time (in just a few hours) after heavy rainfall. In the Mediterranean, this phenomenon is observed mainly in spring and autumn, when intense and irregularly distributed rainfall occurs (Georgakakos, 1986). In Greece, the Attica region is characterized by a relatively large number of floods for a long time (Stamou, 2018). In order to effectively manage such a phenomenon, as is the case of Mandra on November 15, 2017, which is the 3rd most catastrophic flood in Attica with 23 deaths and 24 injuries, the event and its consequences must be assessed in advance.

The object of the master's thesis is the flood risk assessment based on detailed calculations of high accuracy using the hydrodynamic model HEC-RAS 1D / 2D for the case of the catastrophic flood in Mandra in November 2017. The aim of this thesis is to create a HEC-RAS 1D / 2D model capable of being used as an Early Warning System (EWS) for the Mandra area.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 The area of study and the flash flood in November 2017

The hydrographic network of the mountain Pateras consists of several converging creeks with steep slopes that form the two main streams that pass through the town of Mandra Soures and Agia Aikaterini, whose catchment area is equal to 23.0 and 22.0 km², respectively.

The flash flood in Mandra on the 15th of November 2017 was the third most disastrous "November" flood in Attica, following the floods of Western suburbs of Athens in 1961 (43 deaths) and 1977 (37 deaths), which occurred 21 years after the "warning flood" (2 deaths) in the same area in January 1996. The majority of the population was affected by the flood (23 deaths and 24 people injured), while basements and ground floors of buildings in the town were seriously impacted. Officials estimated that the 80 per cent of the town area had been affected, except for some located on the hills (Stamou, 2018).

2.2. The model HEC-RAS 1D/2D

In the present work, we perform detailed 1D/2D hydrodynamic calculations using the unsteady flow model HEC-RAS 1D/2D (Brunner, 2016). HEC-RAS 1D/2D combines 1D modeling in the cross-sections of the two main streams in Mandra with 2D modeling in the rest potentially flooded area of the computational domain. The coupled 1D and 2D solution algorithm allows for direct feedback for each computation step between 1D and 2D flow fields.

2.3. Input data

The main input data for the hydrodynamic model are (i) the Digital Elevation or Surface Model (DSM or DEM), (ii) the distribution of the Manning roughness coefficient values in the computational area, and (iii) the input hydrographs of the two streams that are the main upstream boundary conditions of the hydrodynamic model. We used a Digital Surface Model (DSM) with a very high resolution equal to 1m x 1m that captures all hydraulically important features of the area's surface, including streets, trees and buildings, which are required for detailed hydrodynamic calculations. In the two streams, we assigned values of the roughness coefficient that ranged from 0.016 for their regulated parts of concrete with float finish (typical values = 0.013-0.016) to 0.05 for their natural parts, i.e., with stones and weeds (typical values=0.045-0.060). In the rest 2D potentially flooded area, we identified 8 land cover classes based on CORINE Land Cover inventory in Greece, in which we assigned the values that are shown in Table 1 together with typical values adopted in similar works. The input hydrographs of the two streams were determined via a rainfall-runoff model.

Description	Range of typical values (s/m ^{1/3})	Values used (s/m ^{1/3})
Discontinuous urban fabric	0.08 - 0.16	0.10
Industrial or commercial units and public facilities	0.12 - 0.20	0.10
Road and rail networks and associated land	0.013 - 0.016	0.02
Non-irrigated arable land	0.02 - 0.05	0.030
Olive groves	0.03 - 0.08	0.045
Complex cultivation patterns	0.02 - 0.05	0.035
Mixed forest	0.08 - 0.20	0.12
Sclerophyllous vegetation	0.035 - 0.16	0.10
Transitional shrubby / wooded areas	0.025-0.10	0.050

2.5. Numerical Grid

We constructed the 1D numerical grid in the two streams using cross sections every approximately 50 m using the DSM that we corrected via an accurate topographic survey. The main 2D grid in the potentially flooded area consisted of orthogonal elements with dimensions 20 m x 20 m that in certain areas of interest, such as streets, were reduced to 5.0 m x 5.0 m. A part of the numerical grid is shown in Figure 1.



Figure 1: A part of the numerical grid used in computations.

2.3 Flood risk assessment

The purpose of the assessment is to assess the flood risk in the flood areas resulting from the hydraulic calculations for a specific flood, taking into account the characteristics of the flood (depths, flow velocity) with a view to the design of its containment measures and evaluating the effectiveness of these measures.

For a flood, the flood risk is related to the flood-induced impact, which depends on the recipients, depending on the uses within the High Flood Hazard Zones (APSFRs), the potential impact / damage the significance / value of these uses, the extent and intensity of the flood during the recovery period within the APSFRs, and the vulnerability of these uses to flooding, in the sense of the degree of vulnerability to flooding according to its characteristics.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-RAS 1D/2D. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

Recognizing the practical difficulty of assessing the value of recipients and their flood vulnerability based on available data, the Flood Risk Management Plans (FRMPs) propose the assessment of the four potential impacts as well as their vulnerability based on commonly agreed indicators that reflect the social whole.

The assessment methodology is carried out in the following 3 stages:

- Stage I. Flood hazard.
- Stage II. Flood vulnerability assessment.
- Stage III. Flood risk assessment.

3. Results and discussion

In Figures 2 and 3 are shown the maximum depth and flow velocity for two streams. For the Soures stream the maximum depths and flow velocities ranged from 1.59 m to 6.16 m and from 0.77 m/s to 12.00 m/s respectively, while for the Agia Aikaterini stream from 2.18 m up to 3.43 m and from 2.08 m/s up to 11.00 m/s, respectively.



Figure 2: Maximum flood flow depth.



Figure 3: Maximum flood flow velocity.

Figure 4 shows that the calculated flood area practically shows an excellent agreement with the one recorded in the city of Mandra and in the industrial area.



Figure 4: Comparison between calculated flood inundation area and observed (with yellow border).

In Figure 5 is shown the estimated arrival time values are almost the same as the actual values, while the flood wave initially reached the city of Mandra at various locations between 07:00 a.m. and 7:30 a.m. and then after 08:00 in the industrial area of the city.



Figure 5: Maximum arrival time in the flood area.

In Figure 6, from the hazard and vulnerability maps it appears that at the entrance of the flood north to the city of Mandra as well as along Koropouli Street, which led the water from the Agia Aikaterini stream to the point of intersection of the two streams, there was a high risk with values from 400 up to 1400. The same flood risk values emerged for the industrial area of Mandra at the point of extensive impact from the two Seveso industries that exist on both sides of the street. Finally,

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-RAS 1D/2D. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

upstream and downstream of the bridge on Attiki where a large volume of water was collected as downstream of the regulated part of the Soures stream up to its estuary in Sarandapotamos there is an increased risk with values from 400 to 1400 (with red color illustration).



Figure 6: Flood risk map.

4. Conclusions

In the present dissertation, a flood risk assessment was made for the case of the flood in Mandra in November 2017 with high-precision hydrodynamic calculations of the HEC-RAS 1D / 2D model. The results of the study are the following conclusions:

- i. The residential area of Mandra was flooded by the stream of Agia Aikaterini mainly through Koropouli Street, where the greatest depths and flow velocities were observed.
- ii. For the Soures stream the maximum depths and flow velocities ranged from 1.59 m to 6.16 m and from 0.77 m/s to 12.00 m/s respectively, while for the Agia Aikaterini stream from 2.18 m up to 3.43 m and from 2.08 m/s up to 11.00 m/s, respectively
- iii. The technical works along the streams did not seem to work well enough to prevent the flood event.
- iv. The maximum simulation flow depths were satisfactorily approached with the recorded maximum depths for specific locations.
- v. The calculated flood area showed an excellent fit with the observed one.
- vi. From the flood risk assessment (Food Risk) maximum values were presented mainly by the road network (provincial-national) of the study area as well as the wider areas of influence of the Seveso & IPPC industries.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως «flash flood» (ξαφνική πλημμύρα) ορίζεται η πλημμύρα που πραγματοποιείται σε μικρό χρονικό διάστημα (σε λίγες μόνο ώρες) μετά από έντονη βροχόπτωση. Στη Μεσόγειο αυτό το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, όπου συμβαίνουν έντονες και ακανόνιστα κατανεμημένες βροχοπτώσεις (Georgakakos, 1986). Στην Ελλάδα η περιοχή της Αττικής χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλο αριθμό πλημμυρών για μεγάλο χρονικό διάστημα (Stamou, 2018). Για την αποτελεσματική διαχείριση μιας ξαφνικής πλημμύρας, όπως είναι η περίπτωση της Μάνδρας στις 15 Νοεμβρίου του 2017 που αποτελεί την 3ⁿ πιο καταστροφική πλημμύρα στην Αττική με 23 θανάτους και 24 τραυματισμούς, πρέπει να εκτιμηθεί εκ των προτέρων το συμβάν καθώς και οι δυνητικές επιπτώσεις του.

Τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσαν τμήμα του έργου «Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της» (CLIMPACT). Κύριο έργο της είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον υποδειγματικό σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης (EWS) για πλημμύρες που θα εφαρμοστεί στην πόλη της Μάνδρας. Συγκεκριμένα, η παρούσα διπλωματική εργασία πήρε μέρος στα συνέδρια:

- EGU (European Geoscience Union) General Assembly 2021 (Tsokanis et al., 2021) και
- 17th International Conference on Environmental Science and Technology.

1.1 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου με βάση αναλυτικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας κάνοντας χρήση του υδροδυναμικού μοντέλου HEC-RAS 1D/2D για την περίπτωση της καταστροφικής πλημμύρας στη Μάνδρα το Νοέμβριο του 2017.

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η δημιουργία ενός μοντέλου HEC-RAS 1D/2D ικανού ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης (Early Warning System, EWS) για τη περιοχή της Μάνδρας.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 10 Κεφάλαια, τα οποία περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

- ✓ Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στο αντικείμενο και τον σκοπό της μεταπτυχιακής εργασίας καθώς και σε σημαντικές πληροφορίες για τον ορισμό της πλημμύρας, για τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας και για τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης αυτής.
- ✓ Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται το μαθηματικό μοντέλο HEC-RAS 1D/2D, αναφέρονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται, τα δεδομένα εισόδου, οι οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου και η μοντελοποίηση των τεχνικών έργων στην ευρύτερη περιοχή.
- Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, αναλύοντας τα στάδια αυτής, που είναι η εκτίμηση της επικινδυνότητας, της τρωτότητας της πλημμύρας και τελικά του πλημμυρικού κινδύνου.
- ✓ Στο Κεφάλαιο 4 δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την περιοχή διερεύνησης της Μάνδρας, όπως είναι το υδρογραφικό δίκτυο, η ιστορική αναφορά πλημμυρών για την πόλη της Μάνδρας και γίνεται η ανάλυση του πλημμυρικού φαινομένου του 2017 με την χρονική και χωρική εξέλιξη του γεγονότος.
- Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στα έργα που υπήρχαν κατά την διάρκεια της πλημμύρας στην περιοχή της Μάνδρας, δίνοντας πληροφορίες για τα έργα διευθέτησης του χειμάρρου Σούρες και εκτροπής του χειμάρρου Αγία Αικατερίνη.
- Στο Κεφάλαιο 6 περιλαμβάνονται τα απαραίτητα δεδομένα συλλογής και επεξεργασίας για τους υδραυλικούς υπολογισμούς και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

- Στο Κεφάλαιο 7 περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δόμηση του υδροδυναμικού μοντέλου.
- ✓ Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υδραυλικών υπολογισμών και γίνεται ο σχολιασμός τους.
- Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης της επικινδυνότητας, της τρωτότητας της πλημμύρας και του πλημμυρικού κινδύνου, τα οποία και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων για την περίπτωση της Μάνδρας.
- Στο Κεφάλαιο 10 δίνονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για πιθανή μελλοντική έρευνα.

1.3 Πλημμύρες

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία (Οδηγία 2007/60/ΕΚ) ως πλημμύρα ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης».

Οι πλημμύρες κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- πλημμύρες ποταμών
- ξαφνικές πλημμύρες (flash-floods)
- παράκτιες πλημμύρες λόγω μετεωρολογικών παλιρροιών
- πλημμύρες από αστοχία στην κατασκευή φραγμάτων ή από την κατάρρευση αυτών και των αναχωμάτων
- πλημμύρες από λασποροές.

Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες πλημμύρων είναι οι τρείς πρώτες για τις οποίες αξίζει να αναφερθεί ότι:

- οι πλημμύρες από υπερχειλίσεις ποταμών (river floods) συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του φυσικού ή του ανθρωπογενούς συστήματος αποστράγγισης δεν είναι επαρκής ώστε να γίνει παροχέτευση του όγκου του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση ή όταν δεν υπάρχουν τα απαραίτητα αντιπλημμυρικά έργα. Σε αυτή την κατηγορία, παρατηρείται μεγάλη διαφορά ως προς την διάρκεια και το μέγεθος της πλημμύρας. Για τους μεγάλους ποταμούς, όπως ο Δούναβης, η εμφάνιση της πλημμύρας μπορεί να γίνει μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα από τη βροχόπτωση και να διαρκέσει από μερικές ημέρες μέχρι και μήνες (Commission of the European Communities, 2004).
- οι πλημμύρες από εντατική τοπική βροχόπτωση (flash floods) όταν συμβαίνουν ταυτόχρονα με άλλα φυσικά φαινόμενα, όπως κατολισθήσεις εδάφους, μεταφορά λάσπης, μπορεί να προκαλέσουν πολύ σοβαρές καταστροφές, λόγω και της ελάχιστης ή μηδαμινής προειδοποίησης για αυτήν την κατηγορία. Οι καταστροφές αυτές προκαλούνται από τους βίαιους χείμαρρους, που δημιουργούνται μετά την έντονη βροχόπτωση. Συνήθως, η διάρκεια της βροχόπτωσης είναι λιγότερη από 6h, με αποτέλεσμα να αυξάνεται απότομα η στάθμη του νερού (Commission of the European Communities, 2004). Έτσι, οι σημαντικότερες παράμετροι σε τέτοια φαινόμενα είναι το βάθος ροής διότι επιδρά σημαντικά στην εκτίμηση των απωλειών λόγω πλημμύρων και η χρονική διάρκεια του γεγονότος όπως και ο χρόνος μεταξύ της πρώτης προειδοποίησης και του πραγματικού γεγονότος της πλημμύρας (Genovese, 2006).
- οι πλημμύρες στις παράκτιες περιοχές, μπορεί να συμβούν από την άνοδο της στάθμης του νερού που προκαλούνται από τις δυνάμεις του ανέμου και της ατμοσφαιρικής πίεσης μίας έντονης καταιγίδας ή ενός τυφώνα. Σημαντικός παράγοντας στην συγκεκριμένη κατηγορία είναι η μετεωρολογική παλίρροια κοντά στις ακτές ή στην ανοικτή θάλασσα και η επικινδυνότητά της αυξάνεται λόγω της παράκτιας διάβρωσης. Το αποτέλεσμα στην περίπτωση που οι θαλάσσιες καταιγίδες συμπέσουν με την ανύψωση της στάθμης του

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

νερού στις εκβολές των ποταμών είναι η πρόκληση εκτεταμένων ζημιών. Για την προστασία από τέτοιου είδους πλημμύρες συνίσταται ένας τρόπος συνδυαστικός και συντονισμένος σε όλο το μήκος του ποταμού, λόγω του ότι ο κίνδυνος της πλημμύρας μπορεί να αυξηθεί από την κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων στις ανάντη και κατάντη περιοχές ποταμών. Αυτό διότι η κατασκευή έργων στο ανάντη τμήμα για γρηγορότερη παροχέτευση των υδάτων, έχει ως αποτέλεσμα το νερό να φθάνει και γρηγορότερα στις κατάντη περιοχές (Commission of the European Communities, 2004).

1.4 Σχέδια Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας

Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ, ο κίνδυνος πλημμύρας είναι ο συνδυασμός της πιθανότητας να γίνει η πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών επιπτώσεων αυτής για την ανθρώπινη υγεία, τις οικονομικές δραστηριότητες, το περιβάλλον και την πολιτιστική κληρονομιά.

Έτσι, ο πλημμυρικός κίνδυνος εξαρτάται τόσο από κοινωνικές όσο και υδρομετεωρολογικές παραμέτρους. Για αυτόν το λόγο, δεν είναι όλες οι πλημμύρες καταστροφικές και με αρνητικές συνέπειες. Για παράδειγμα, όταν γίνονται σε μη κατοικημένες περιοχές όπου δεν υπάρχει κίνδυνος απωλειών ανθρώπινης ζωής ή περιουσιακών στοιχείων, μπορεί να συμβάλλουν θετικά για την τροφοδοσία των υπόγειων υδάτων και για την γονιμότητα του εδάφους στην ευρύτερη λεκάνη του ποταμού. Οι καταστροφικές πλημμύρες συμβαίνουν όταν αλληλεπιδρούν υδρολογικοί – κοινωνικοί παράγοντες, ενώ η αύξηση των αρνητικών συνεπειών από αυτές συνδέεται με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες τα τελευταία χρόνια (European Environment Agency, 2011).

Γενικότερα, ο κίνδυνος πλημμύρας (flood risk) προκύπτει από τον συνδυασμό της επικινδυνότητας (hazard) και της τρωτότητας (vulnerability) αυτής. Τα τελευταία χρόνια η τρωτότητα της πλημμύρας, η οποία εξαρτάται από κοινωνικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και πολιτιστικούς παράγοντες, παρουσιάζει ρυθμούς αύξησης λόγω των εξελίξεων του κοινωνικο-οικονομικού συστήματος (αύξηση πληθυσμού, φτώχεια) αλλά και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και άλλων παραμέτρων, όπως η κλιματική αλλαγή (European Environment Agency, 2011). Συγκεκριμένα λόγω της κλιματικής αλλαγής πιθανολογείται επιπρόσθετη αύξηση των ζημιών των πλημμυρών στις χώρες της Ευρώπης (Dankers & Feyen, 2008). Οι ζημιές που μπορεί να προκληθούν από τις πλημμύρες εξαρτώνται από την:

- ένταση των φυσικών φαινομένων
- αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος
- ένταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιοχή διερεύνησης της πλημύρας
- ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων
- ετοιμότητα του κρατικού μηχανισμού (Μαμάσης, 2012)

Για την διαχείριση κινδύνων πλημμύρας είναι αναγκαίο ένα ολοκληρωμένο σχέδιο που θα καλύπτει όλα τα στάδια, από την πρόληψη μέχρι και την αντιμετώπιση. Συγκεκριμένα, πρέπει να περιλαμβάνει:

- την πρόληψη των ζημιών που μπορεί να προκαλέσουν οι πλημμύρες
- την λήψη μέτρων για την μείωση της πιθανότητας να συμβεί η πλημμύρα και για την αντιμετώπιση των επιπτώσεών της
- την ενημέρωση του πληθυσμού για τους κινδύνους που επιφέρουν οι πλημμύρες, καθώς
 και για τον τρόπο αντίδρασης ετοιμότητα των πολιτών κατά τη διάρκεια του φαινομένου
- την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης ή ακόμα και την κατάρτιση σχεδίων αντιμετώπισης των καταστάσεων αυτών και
- αποκατάσταση του ευρύτερου συστήματος, με όσο το δυνατόν συντομότερη επιστροφή στην κανονικότητα και μείωση των κοινωνικο-οικονομικών συνεπειών στον πληθυσμό που επηρεάστηκε (Commission of the European Communities, 2004).

1.5 Προτεινόμενα μέτρα για πλημμύρες

Το φαινόμενο της πλημμύρας για να αντιμετωπιστεί επιτυχώς εξαρτάται από αρκετούς και διαφορετικούς παράγοντες, όπως είναι οι παρεμβάσεις (κατασκευαστικές και μη) για την προστασία των απειλούμενων περιοχών και μέτρα που απαιτείται να ληφθούν. Τέτοια μέτρα αφορούν την προστασία, την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντιμετώπιση και την αποκατάσταση. Τα μέτρα αυτά δύνανται να εστιάζουν σε διαφορετικές υπο-ομάδες των αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου (Karamoustou & Stamou, 2019). Συγκεκριμένα:

- μέτρα προστασίας είναι κυρίως τα κατασκευαστικά, όπως είναι τα αντιπλημμυρικά έργα,
 τα έργα διαχείρισης όμβριων υδάτων, ακόμα και η αφαίρεση τροποποίηση κτηρίων ή
 κατοικιών που είναι χτισμένα σε ρέματα
- μέτρα πρόληψης είναι μελέτες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και της τρωτότητας της πλημμύρας, με σκοπό να γίνει λεπτομερής αποτύπωση της κατάστασης και ενημέρωση των αποδεκτών. Άλλα μέτρα είναι η μείωση του πλημμυρικού κινδύνου μέσω της απομάκρυνσης των αποδεκτών από τις επικίνδυνες περιοχές και τέλος, η θέσπιση πολιτικών για τη χρήση γης ώστε να περιοριστεί η έκθεση του αριθμού αυτών στον κίνδυνο
- μέτρα ετοιμότητας είναι αυτά που περιλαμβάνουν συστήματα πρόγνωσης μετεωρολογικών συνθηκών και έγκαιρης προειδοποίησης, όπως και σχέδια για την ετοιμότητα των διαφόρων υπηρεσιών και την ανταπόκρισή τους στην περίπτωση έκτακτης πλημμύρας. Σημαντικό μέτρο ετοιμότητας είναι και οι δράσεις για την ενημέρωση των πολιτών, όπως εκδηλώσεις ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης αυτών, ενέργειες από εθελοντικές ομάδες και ασκήσεις ετοιμότητας, οι οποίες βοηθούν την τοπική κοινότητα που βρίσκεται σε κίνδυνο
- μέτρα αντιμετώπισης είναι μέτρα, τεχνικά και μη, ατομικά ή συλλογικά και αφορούν όλες
 τις κατηγορίες. Τέτοια μέτρα (Μπαλτάς & Φελώνη, χ.χ) είναι:
 - οι εκτροπές ποταμών
 - η δημιουργία αναχωμάτων και προστατευτικών τοίχων ή και η επισκευή αυτών
 - ο καθαρισμός, η εκβάθυνση και διάνοιξη ποταμών για την αύξηση της παροχετευτικότητάς τους
 - η διατήρηση των πλημμυρικών πεδίων
 - ο έλεγχος των αποχετευτικών συστημάτων στους αστικούς ιστούς και η συντήρησή τους
 - η σχεδίαση και ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και
 - η ανάπτυξη ατομικών μέτρων για τη μείωση του πλημμυρικού κινδύνου.
- μέτρα αποκατάστασης είναι ενέργειες και δράσεις για τον καθαρισμό φερτών υλικών από την πληγείσα περιοχή, αντλήσεις υδάτων από υπόγεια κτήρια, επισκευή αυτών και άλλων κρίσιμων υποδομών όπως οι δρόμοι, οι γέφυρες και το ηλεκτρικό δίκτυο. Ακόμη, στα μέτρα αποκατάστασης υπάγονται μέτρα που στοχεύουν στην υποστήριξη των πληγέντων ιατρικά, ψυχολογικά, οικονομικά καθώς και στην αποκατάσταση του περιβάλλοντος τόσο στην ποιότητα των υδάτων όσο και για τυχόν διαρροές επικίνδυνων ουσιών

2 TO MAOHMATIKO MONTEAO HEC-RAS 1D/2D

2.1 Εισαγωγή - Γενικά χαρακτηριστικά

Για την μοντελοποίηση ενός πλημμυρικού γεγονότος μπορεί να χρησιμοποιηθεί το υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS 1D/2D, το οποίο συνδυάζει περιοχές στις οποίες η επίλυση της ροής μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στην κύρια διεύθυνσή της (μονοδιάστατη ανάλυση) και άλλες περιοχές σε δύο διαστάσεις. Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου ταυτίζονται με αυτά που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου 2D. Για την ρύθμιση της γεωμετρίας του μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model, DEM) συμπληρωμένο με μετρήσεις βαθυμετρίας στο ποτάμι και για την ρύθμιση των οριακών συνθηκών απαιτούνται δεδομένα ροής και στάθμης του νερού. Η μοντελοποίηση του HEC-RAS 1D/2D μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους:

 - ο <u>πρώτος</u>, δημιουργώντας μια πλευρική σύνδεση όπου βρίσκονται οι περιοχές 2D σε συνδυασμό με διατομές 1D, με την χρήση πλευρικών δομών και

- ο δεύτερος, με μοντελοποίηση ανάντη ή κατάντη του ποταμού μόνο σε 1D και σύνδεση του με 2D περιοχή που βρίσκεται πιο ανάντη ή κατάντη αντίστοιχα (Betscholtz et al., 2017)

2.2 Οι εξισώσεις του μοντέλου

2.2.1 Εξισώσεις μονοδιάστατης (1D) ροής

Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη ροή μέσα σε ένα ρέμα είναι η αρχή διατήρησης της μάζας και η αρχή διατήρησης της ορμής. Αυτές οι αρχές εκφράζονται μαθηματικά με τη μορφή μερικών διαφορικών εξισώσεων, Συνέχειας και Ορμής αντίστοιχα (USACE, 2016c).

Η αρχή διατήρησης μάζας για ένα όγκο ελέγχου δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ροής στον όγκο είναι ίσος με το ρυθμό μεταβολής της αποθήκευσης στον όγκο αυτόν. Η τελική μορφή της εξίσωσης συνέχειας (continuity equation) είναι:

$$\frac{\partial A\tau}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_{\rm L} = 0 \tag{2.2.1}$$

Όπου:

- Q= η συνολική ροή συναρτήσει απόστασης x και χρόνου t (m³/s)
- q_L= η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους (m²/s)

Η αρχή διατήρησης ορμής για έναν όγκο ελέγχου εκφράζεται από το 2° νόμο του Newton και δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ορμής που εισέρχεται στον όγκο συν το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν στον όγκο είναι ίσα με το ρυθμό συσσώρευσης της ορμής. Η τελική μορφή της εξίσωσης ορμής (momentum equation) είναι:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q * V}{\partial x} + g * A\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_{f}\right) = 0$$
(2.2.2)

Όπου:

- Q= η συνολική ροή συναρτήσει απόστασης x και χρόνου t (m³/s)
- V= ο όγκος ελέγχου (m³)
- g= η επιτάχυνση της βαρύτητας (m²/s)
- Α= η συνολική πλημμυρική επιφάνεια (m²)
- dz/dx= η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού
- $S_f = o \rho u \theta \mu o c a \pi w λ ει w v τριβής (USACE, 2016c)$

2.2.2 Εξισώσεις δισδιάστατης (2D) ροής

Για την επίλυση της ροής που μετακινείται στο υπολογιστικό πλέγμα του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D χρησιμοποιούνται δύο εξισώσεις (USACE, 2016c):

- οι εξισώσεις Saint Venant (ή αλλιώς ρηχών υδάτων) και

- οι εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave)

Στην περίπτωση που η ροή είναι μη μόνιμη, ασυμπίεστη, ομοιόμορφης πυκνότητας και υδροστατικής πίεσης, για την δισδιάστατη μορφή της διαφορικής εξίσωσης Saint Venant ισχύει η αρχή διατήρησης Μάζας – Συνέχειας:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h*u)}{\partial x} + \frac{\partial (h*v)}{\partial y} + q = 0$$
(2.2.3)

Οι εξισώσεις Saint Venant για τη x και y διεύθυνση, αντίστοιχα είναι:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f * u + f * v$$
(2.2.4)

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{u}\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial x} + \mathbf{v}\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial y} = -g\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial y} + \mathbf{v}_t \left(\frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{v}}{\partial y^2}\right) - \mathbf{c}_f * \mathbf{v} + \mathbf{f} * \mathbf{u}$$
(2.2.5)

Όπου:

- t= ο χρόνος,
- Η (x,y,t)= το υψόμετρο της στάθμης του ύδατος (m),
- h(x,y,t)= το βάθος του ύδατος (m),
- u, v= οι συνιστώσες της ταχύτητας στην διεύθυνση x και y αντίστοιχα (m/s),
- q= η εισερχόμενη ροή (m³/s),
- g= η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²) ,
- v_t = ο συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους (m²/s),
- $c_f = o \sigma v \tau \epsilon \lambda \epsilon \sigma \tau \eta c \tau \rho c \beta \eta c \sigma \tau o v \pi v \theta \mu \epsilon v \alpha (s^{-1}) κα c s^{-1}$
- f= η παράμετρος Coriolis (s⁻¹) (USACE, 2016c)

Για τις εξισώσεις ορμής Diffusion Wave χρησιμοποιούνται οι 2D εξισώσεις Saint Venant, από τις οποίες απαλείφονται: το ιξώδες, η παράμετρος Coriolis, η μεταγωγική επιτάχυνση και η τοπική επιτάχυνση και κυριαρχούν οι όροι της επιτάχυνσης της βαρύτητας και του συντελεστή τριβής στον πυθμένα. Οπότε, οι 2D εξισώσεις Diffusion Wave έχουν την μορφή:

$$-g\frac{\partial H}{\partial x} = c_{f} * u$$
 (2.2.6)

$$-g\frac{\partial H}{\partial v} = c_{f} * v \tag{2.2.7}$$

Για την σταθερότητα του μοντέλου τα χρονικά βήματα εκτιμώνται με την εξίσωση του Αριθμού Courant – Friedrichs – Lewy (Patel et al., 2017; Brunner, 2016; Manual, 2016). Στις εξισώσεις Diffusion Wave μπορούν να χρησιμοποιηθούν χρονικά βήματα μεγαλύτερα από αυτά των εξισώσεων Saint Venant, με αποτέλεσμα να προκύπτουν αριθμητικά ακριβείς και σταθερές λύσεις (USACE, 2016b).

<u>Εξισώσεις Saint Venant</u>:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta x} \le 1.0 \; (\mu \epsilon \; \text{Cmax} = 3.0) \tag{2.2.8}$$

$$\Delta T \le \frac{\Delta x}{v} \ (\mu \varepsilon \ C = 1.0)$$
 (2.2.9)

Όπου:

- $C = o \alpha \rho \iota \theta \mu \delta \varsigma$ Courant
- V = η ταχύτητα του κύματος (m/s)

- ΔT = το υπολογιστικό χρονικό βήμα (s)
- Δx = το μέσο μέγεθος κελιού (m)

Εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave):

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta x} \le 2.0 \ (\mu \epsilon \ Cmax = 5.0)$$
 (2.2.10)

$$\Delta T \le \frac{2*\Delta x}{V} \ (\mu \epsilon \ C = 1.0)$$
 (2.2.11)

2.3 Δεδομένα εισόδου του μοντέλου

Τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την έναρξη του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D είναι:

- Στοιχεία διατομών ή ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) για τη γεωμετρία του εδάφους
- Δεδομένα εισόδου προσομοίωσης, όπως είναι το Πλημμυρογράφημα
- Συντελεστές n Manning για τις χρήσεις γης (Land Cover)
- Τεχνικά έργα κατά μήκος του ρέματος

2.4 Οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου

> Οριακές συνθήκες μοντέλου (Boundary conditions)

Το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να προσθέσει διαφορετικούς τύπους οριακών συνθηκών (USACE, 2016a). Οι οριακές συνθήκες είναι οι εξής:

- <u>Flow Hydrorgaph</u> (υδρογράφημα ροής), το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως ως ανάντη όριο αλλά και ως κατάντη οριακή συνθήκη.
- <u>Stage Hydrograph</u> (υδρογράφημα στάθμης ελεύθερης επιφάνειας), το οποίο χρησιμοποιείται είτε ως ανάντη είτε ως κατάντη όριο.
- Συνδυασμός <u>Stage and Flow Hydrograph</u>, πρόκειται για μία μικτή οριακή συνθήκη στην οποία το ανάντη όριο είναι το Stage Hydrograph μέχρι να ολοκληρωθεί το τρέξιμο. Σε αυτό το σημείο το πρόγραμμα αυτόματα μετατρέπει ως οριακή συνθήκη το υδρογράφημα ροής. Αυτός ο τύπος οριακής συνθήκης χρησιμοποιείται κυρίως για μοντέλα πρόβλεψης συνδυάζοντας τα δύο παραπάνω.
- <u>Rating Curve</u> (καμπύλη στάθμης παροχής), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατάντη οριακή συνθήκη. Σε αυτήν την κατηγορία, για κάθε μία τιμή παροχής αντιστοιχεί μία τιμή ελεύθερης επιφάνειας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα για τις ροές με ήπιες κλίσεις επιφάνειας νερού, διότι δεν είναι αρκετά απότομη ώστε να αμβλύνει τα σφάλματα σε σχετικά μικρή απόσταση. Για αυτό τον λόγο ο χρήστης θα πρέπει να βεβαιωθεί κατά τη χρήση αυτού του τύπου οριακής συνθήκης να υπάρχει και επαρκής απόσταση κατάντη από την περιοχή μελέτης.
- Normal Depth (ομοιόμορφο βάθος), το οποίο χρησιμοποιείται μόνο ως κατάντη οριακή συνθήκη. Από το χρήστη απαιτείται να εισάγει τη κλίση γραμμή ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του ομοιόμορφου βάθους (εξίσωση Manning) στην συγκεκριμένη θέση. Για την εκτίμηση της κλίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κλίση της επιφάνειας του νερού, ωστόσο αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί εκ των προτέρων. Για αυτό τον λόγο γίνεται χρήση της μέσης κλίσης του πυθμένα. Τέλος, για την επιλογή αυτού του τύπου οριακής συνθήκης, θα πρέπει η εφαρμογή του να γίνεται αρκετά μακριά κατάντη της περιοχής μελέτης, ώστε οποιαδήποτε σφάλματα προκύψουν να μη επηρεάσουν τα αποτελέσματα της μελέτης.

Αρχικές συνθήκες μοντέλου (Initial Conditions)

Εκτός από τις οριακές συνθήκες στο μοντέλο πρέπει να προστεθούν και οι αρχικές συνθήκες στην αρχή της προσομοίωσης στην περίπτωση ασταθούς ροή (unsteady flow) (USACE, 2016). Οι αρχικές συνθήκες χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να μην ξεκινήσει το μοντέλο την υδραυλική προσομοίωση με εντελώς ξηρό υπόβαθρο, ενώ τα αποτελέσματά της δεν εξαρτώνται από αυτές.

2.5 Μοντελοποίηση τεχνικών έργων

Για την μοντελοποίηση των τεχνικών έργων ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει γέφυρες και οχετούς (Bridges & Culverts) που παρατηρούνται στη περιοχή μελέτης, ώστε το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D να υπολογίσει τις απώλειες ενέργειας που προκαλούνται από τις δομές αυτές. Ένα μέρος αποτελείται από απώλειες που συμβαίνουν στο αμέσως κατάντη σημείο από τη δομή, λόγω της διαστολής της ροής. Το δεύτερο μέρος είναι οι απώλειες στην ίδια τη δομή και το τρίτο αποτελείται από απώλειες που συμβαίνουν στο πεδίο πρόσβασης ανάντη του τεχνικού, λόγω της συστολής της ροής για να περάσει από το άνοιγμά του. Γενικά, οι απώλειες κατηγοριοποιούνται σε απώλειες συστολής και διαστολής (**Contraction and Expansion Losses**), οι οποίες περιγράφονται ως απόλυτη τιμή της μεταβολής του ύψους κινητικής ενέργειας αυξάνεται χρησιμοποιείται ο συντελεστής συστολής, ενώ ο συντελεστής διαστολής όταν μειώνεται κατάντη.

Τα βασικά σημεία διατομών (Cross sections) φαίνονται στην Εικόνα 2.5-1 (USACE, 2016).



Εικόνα 2.5-1: Τοποθεσίες διατομών σε μία γέφυρα ή Culvert.

Συγκεκριμένα:

Η διατομή 1, Cross Section 1, βρίσκεται αρκετά κατάντη του τεχνικού ώστε η ροή να μην επηρεάζεται από το αυτό, δηλαδή να είναι πλήρως ανεπτυγμένη. Αυτή η απόσταση διαστολής ποικίλει ανάλογα το βαθμό στένωσης, το σχήμα της στένωσης, το μέγεθος κι την ταχύτητα ροής. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν λεπτομερείς πληροφορίες μία συνηθισμένη εκτίμηση του λόγου διαστολής που λαμβάνεται είναι 2:1, ως μία πρώτη

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

εκτίμηση του μήκους συστολής. Όταν επιλεγεί από κατάλληλο πίνακα ο λόγος διαστολής, η απόσταση Le (απόσταση στο κατάντη άκρο της εμβέλειας διαστολής) υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό του λόγου διαστολής με το μέσο μήκος απόφραξης (είναι το μισό της συνολικής μείωσης πλάτους πλημμυρικού χώρου που προκαλείται από τα αναχώματα δύο γεφυρών, δηλαδή ο μέσος όρος αποστάσεων Α μέχρι Β και Γ μέχρι Δ).

- Η διατομή 2, <u>Cross section 2</u>, βρίσκεται σε κοντινή απόσταση κατάντη του τεχνικού η οποία πρέπει να αντιπροσωπεύει το φυσικό έδαφος κατάντη της γέφυρας ή του οχετού. Η διατομή αυτή συνήθως βρίσκεται στον πόδα κατάντη στο ανάχωμα του δρόμου. Στην περίπτωση που μία γέφυρα δεν έχει ανάχωμα η διατομή πρέπει να τοποθετηθεί αρκετά μακριά κατάντη αυτής, ώστε να επιτρέψει τη διαστολή της ροής σε μεγάλη απόσταση. Για την μοντελοποίηση των οχετών η διατομή 2 πρέπει να βρίσκεται αρκετά μακριά κατάντη του οχετού για να συλλάβει την άμεση επέκταση της εξερχόμενης ροής κατά την οποία προκύπτουν απώλειες. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του ανοίγματος της γέφυρας ή του οχετού.
- Η διατομή 3, <u>Cross section 3</u>, πρέπει να βρίσκεται σε μικρή απόσταση ανάντη του τεχνικού η οποία απόσταση αντικατοπτρίζει μόνο το απαιτούμενο μήκος για την απότομη επιτάχυνση και τη συστολή της ροής στην περιοχή ανοίγματος. Η διατομή 3 αντιπροσωπεύει το φυσικό έδαφος του καναλιού και της παρόχθιας ζώνης (overbank area) ακριβώς ανάντη του οδικού αναχώματος. Η διατομή αυτή δεν πρέπει να τοποθετηθεί αμέσως πριν από το άνοιγμα του καταστρώματος της γέφυρας ή του οχετού. Ενδιάμεσα των διατομών 2 και 3 η διόδευση του νερού στα τεχνικά αντιπροσωπεύουν τις απώλειες συστολής ανάντη αυτών, για αυτό τον λόγο η διατομή 3 πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς ανάντη της περιοχής όπου γίνεται απότομη συστολή της ροής ώστε να εισέλθει στο άνοιγμα του τεχνικού, σε μία απόσταση που εξαρτάται από αυτό μέγεθος του ανοίγματος αυτού. Και στις δύο διατομές θα υπάρχουν περιοχές, στις οποίες προσμετρείται ο όγκος του νερού με την ταχύτητα όμως να ισούται με μηδέν (ineffective areas).
- Η διατομή 4, <u>Cross section 4</u>, βρίσκεται ανάντη του τεχνικού στο σημείο που οι γραμμές ροής είναι παράλληλες. Η απόσταση μεταξύ των διατομών 3 και 4 (δηλαδή το μήκος επίτευξης συστολής, Lc) θα πρέπει να καθορίζεται ανά πεδίο έρευνας κατά τη διάρκεια υψηλών ροών. Ως λόγος συστολής συνηθίζεται να επιλέγεται ίσο με 1:1, δηλαδή ο εντοπισμός της ανάντη διατομής να γίνεται σε απόσταση ίση με το μέσο μήκος της πλευρικής συστολής που προκαλείται από τα στηρίγματα του τεχνικού, ένας λογικός λόγος συστολής όταν δεν υπάρχουν άλλες λεπτομερείς πληροφορίες ή δεδομένα του πεδίου. Η απόσταση της συστολής ποικίλλει ανάλογα με το βαθμό και το σχήμα της στένωσης καθώς και με το μέγεθος και την ταχύτητα ροής.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζουμε τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου βασίζεται στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας (ΥΠΕΚΑ).

Στόχος της εκτίμησης είναι η αξιολόγηση του **πλημμυρικού κινδύνου (flood risk**) στις περιοχές κατάκλυσης που προκύπτουν από τους υδραυλικούς υπολογισμούς για συγκεκριμένη πλημμύρα, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας (βάθη, ταχύτητα ροής) με στόχο

- το σχεδιασμό των μέτρων περιορισμού του, και
- την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων αυτών.

Για μια πλημμύρα, ο πλημμυρικός κίνδυνος συναρτάται με την **προκαλούμενη από την πλημμύρα** επίπτωση Επ(Τ), η οποία εξαρτάται από:

- τους αποδέκτες, ανάλογα με τις χρήσεις μέσα στη ΖΔΥΚΠ (παράμετρος ανεξάρτητη της πλημμύρας)
- τις δυνητικές επιπτώσεις/ζημίες την σημασία/αξία των χρήσεων αυτών
- την έκταση και ένταση της πλημμύρας περιόδου επαναφοράς p μέσα στη ΖΔΥΚΠ, και
- την τρωτότητα των χρήσεων αυτών στη πλημμύρα, με την έννοια του βαθμού ευπάθειας στη πλημμύρα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της.

Οι κύριες κατηγορίες χρήσεων είναι:

- οικιστική
- βιομηχανική
- αγροτική
- τουριστική
- περιβαλλοντική, και
- πολιτιστική.

Οι δυνητικές επιπτώσεις από την πλημμύρα μπορεί να αφορούν στα εξής:

- επιπτώσεις στην ασφάλεια και υγεία των πολιτών: πέραν του κινδύνου για την ανθρώπινη
 ζωή, περιλαμβάνουν κοινωνικές επιπτώσεις από την πλημμύρα και ζημίες στην λειτουργία
 σημαντικών κοινωφελών υποδομών (π.χ. δίκτυα κοινής ωφέλειας, νοσοκομεία, γηροκομεία,
 σχολεία και Πανεπιστήμια), εφόσον αυτά είναι ευπαθή στη πλημμύρα
- οικονομικές επιπτώσεις: στην αξία ακινήτων (οικισμοί, πόλεις, οικίες στον περιαστικό χώρο)
 και κινητών ιδιοκτησιών (π.χ. αυτοκίνητα, βαρέα οχήματα μεταφοράς), σε εμπορικές,
 τουριστικές, βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες και σε υποδομές μεταφορών
 (οδικών, σιδηροδρομικών, αεροδρομίων)
- περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δηλαδή επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και τους
 οικοτόπους από τη πλημμύρα ή από ρύπανση λόγω της πλημμύρας, και
- πολιτιστικές επιπτώσεις: επιπτώσεις στα μνημεία, εφόσον αυτά είναι ευπαθή στη πλημμύρα.

Στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων αναγνωρίζοντας την πρακτική δυσκολία αποτίμησης της αξίας των αποδεκτών και της τρωτότητάς τους στη πλημμύρα με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, προτείνεται η αποτίμηση των τεσσάρων δυνητικών επιπτώσεων καθώς και της τρωτότητάς τους με βάση κοινά συμφωνημένους δείκτες που θα αντανακλούν τη σημασία των επιπτώσεων στο κοινωνικό σύνολο. Η μεθοδολογία εκτίμησης πραγματοποιείται στα ακόλουθα 3 στάδια:

- Στάδιο Ι. Εκτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας.
- Στάδιο ΙΙ. Εκτίμηση τρωτότητας σε πλημμύρα .
- Στάδιο ΙΙΙ. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου.

Στα Σχέδια Διαχείρισης η αποτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στις κατακλυζόμενες περιοχές πραγματοποιήθηκε σε κελιά μεγέθους 500 m x 500m που οριοθετούνται μέσα στην μέγιστη έκταση κατάκλυσης (που αντιστοιχεί σε πλημμύρα 1000ετίας για πλημμύρα) και στο εσωτερικό του κάθε κελιού οι συνθήκες πλημμύρας μπορεί να θεωρηθούν σταθερές. Στην παρούσα εργασία, οι υπολογισμοί των παραπάνω 3 σταδίων πραγματοποιούνται στα κελιά του υπολογιστικού πλέγματος του υδροδυναμικού μοντέλου που έχουν διαστάσεις 6.30 m x 6.60 m και καλύπτουν την περιοχή υπολογισμών που περιλαμβάνει τη μέγιστη έκταση κατάκλυσης.

3.2 Στάδιο Ι. Εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας

Η εκτίμηση της έντασης της πλημμύρας και του βαθμού επιρροής της ποσοτικοποιείται με τον όρο «επικινδυνότητα πλημμύρας». Για τον προσδιορισμό του μεγέθους αυτού χρησιμοποιούνται τα κύρια χαρακτηριστικά της ροής, και πιο συγκεκριμένα:

- το βάθος ροής, και
- η ταχύτητα ροής.

Θεωρούμε τις ακόλουθες 5 κλάσεις επικινδυνότητας της πλημμύρας (Flood Hazard) που φαίνονται στον Πίνακα 3.2-1:

- VL: Very Low (πολύ χαμηλή)
- L: Low (χαμηλή)
- Μ: Medium (μέτρια)
- Η: High (υψηλή)
- VH: Very High (πολύ υψηλή)

Σε κάθε κλάση επικινδυνότητας αποδίδεται ένα σκορ (βαθμολογία), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.2-2, με βάση το οποίο προσδιορίζονται η κλάση επικινδυνότητας και η βαθμολογία της επικινδυνότητας.

	Ταχύτητα ροής, ν (m/s)			
Βάθος ροής d (m)	v<0.5	0.5 <v<2.0< th=""><th>2.0<v<4.0< th=""><th>v>4.0</th></v<4.0<></th></v<2.0<>	2.0 <v<4.0< th=""><th>v>4.0</th></v<4.0<>	v>4.0
d<0.2	VL	VL	VL	L
0.2 <d<0.5< td=""><td>L</td><td>L</td><td>М</td><td>М</td></d<0.5<>	L	L	М	М
0.5 <d<1.0< td=""><td>L</td><td>М</td><td>Н</td><td>Н</td></d<1.0<>	L	М	Н	Н
1.0 <d<1.5< td=""><td>M</td><td>М</td><td>Н</td><td>VH</td></d<1.5<>	M	М	Н	VH
1.5 <d<2.0< td=""><td>Н</td><td>Н</td><td>VH</td><td>VH</td></d<2.0<>	Н	Н	VH	VH
d>2	VH	VH	VH	VH

Πίνακας 3.2-1: Κλάσεις κατάταξης της επικινδυνότητας της πλημμύρας

Πίνακας 3.2-2: Αντιστοιχία κλάσης επικινδυνότητας – βαθμολογίας (σκορ)

Hazard Class	Περιγραφή	Score
VL	Very Low (πολύ χαμηλή)	0.2
L	Low (χαμηλή)	0.4
М	Medium (μέτρια)	0.6
Н	High (υψηλή)	0.8
VH	Very High (πολύ υψηλή)	1.0

3.3 Στάδιο ΙΙ. Εκτίμηση τρωτότητας σε πλημμύρα

Πραγματοποιούμε την αποτίμηση των μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων από πλημμύρα σε κάθε κελί c μέσω ενός συστήματος δεικτών για κάθε κατηγορία επίπτωσης. Θεωρούμε τις 4 κατηγορίες επιπτώσεων που φαίνονται στον Πίνακα 3.3-1 μαζί με τους αντίστοιχους βαθμούς που ορίζουμε στη συνέχεια.

and sis 1. Artistotatia Masily charter of the pastoria (of			
Κατηγορία επιπτώσεων	Βαθμός κατηγορίας επιπτώσεων		
Στον πληθυσμό	ΕκΑ ^c		
Στην οικονομία	ΕκΟ ^ς		
Στο περιβάλλον	ΕκΠε ^ς		
Στην πολιτιστική κληρονομιά	ΕκΠο ^ς		
Μέγιστη δυνητική επίπτωση	$E\kappa^{c} = E\kappa A^{c} + E\kappa O^{c} + E\kappa \Pi \varepsilon^{c} + E\kappa \Pi o^{c}$		

Πίνακας 3.3-1: Αντιστοιχία κλάσης επικινδυνότητας – βαθμολογίας (σκορ)

Για την αποτίμηση της μέγιστης πιθανής επίπτωσης της πλημμύρας, που αφορά τη σημασία, τη τρωτότητα και την έκθεση των χρήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη βάση του WISE για την αναφορά των ιστορικών πλημμυρών στο πλαίσιο της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης που γίνεται ανά 6ετία από τα Κράτη Μέλη και τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος, ορίζονται οι ακόλουθες 5 κλάσεις τρωτότητας:

- Very Low (πολύ χαμηλή).
- Low (χαμηλή).
- Medium (μέτρια).
- Σημαντική. *High (υψηλή).*
- Πολύ σημαντική. Very High (πολύ υψηλή).

Για κάθε κατηγορία επιπτώσεων ορίζονται δείκτες χρήσεων με τη βαθμολογία του καθένα που φαίνεται στον Πίνακα 3.3-2.

Κατηγορίες	Δείκτες	Βαθμός
Επιπτώσεων	Χρήσεων	
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ha	500
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ha και σε «εξωαστικές συγκεντρώσεις» (ανεξαρτήτου βαθμού)	250
	Νοσοκομεία (λόγω πιθανής κατάκλυσης υποδομών λειτουργίας τους)	250
Επιπτώσεις στον πληθυσμό, ΕκΑ ^ς	Άλλες κοινωνικές υποδομές π.χ. νηπιαγωγεία, σχολεία, πανεπιστήμια, Μονάδες Φροντίδας Ηλικιωμένων	150
	Υποδομές κοινής ωφέλειας π.χ. ΕΕΝ, κοινοτικές γεωτρήσεις ύδρευσης, τα σημαντικότερα αντλιοστάσια ύδρευσης (στοιχεία από ΔΕΥΑ), σταθμοί – υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας	100
	Υποδομές μηχανισμού πολιτικής προστασίας π.χ. αστυνομία ή πυροσβεστική και κεντρικές εγκαταστάσεις ΕΚΑΒ	250
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ha	250
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ha και σε «εξωαστικές συγκεντρώσεις»	100

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-RAS 1D/2D.

Οικονομικές επιπτώσεις, ΕκΟ ^ς	Αγροτικές περιοχές με θερμοκήπια	150
	Αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες	
	(περιλαμβανομένων ρυζοκαλλιεργειών σε	100
	πλημμύρες από τη θάλασσα και εκτός	
	ρυζοκαλλιεργειών σε όλες τις άλλες περιπτώσεις)	
	Αγροτικές περιοχές με ρυζοκαλλιέργειες (σε όλες τις	
	περιπτώσεις πλημμυρών	0
	πλην θαλάσσιας)	
	Κτηνοτροφικές μονάδες (σταυλικές εγκαταστάσεις	50
	στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ)	50
	Αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με το	
	Ειδικό Πλαίσιο για τον	250
	Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009)	
	Αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με	
	το Ειδικό Πλαίσιο για τον	50
	Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 B/2009)	
	«Βιομηχανικές συγκεντρώσεις» (θεσμοθετημένες	
	ΒΙΠΕ και άλλες «άτυπες	250
	βιομηχανικές συγκεντρώσεις»)	
	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών	150
	συγκεντρώσεων	
	Λοιπές μεμονωμένες βιομηχανικές μονάδες εκτός	50
	βιομηχανικών συγκεντρώσεων	50
	Διακοπή διευρωπαϊκού και πρωτεύοντος εθνικού	
	οδικού δικτύου (σε αυτοκινητόδρομους), ενεργούς	
	σιδηροδρομικούς άξονες και αεροδρόμια	150
	Διακοπή δευτερεύοντος εθνικού και επαρχιακού	100
	οδικού δικτύου	100
	Βιομηχανικές εγκαταστάσεις IPPC ή Seveso, στον	
	βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτες σε	500
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ΕκΠε ^ς	πλημμύρες	
	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με	150
	δυναμικότητα > 100.000 ι.π.:	150
	Μέσες ΕΕΛ με δυναμικότητα 10.000 – 100.000 ι.π.	100
	Μέσες ΕΕΛ με δυναμικότητα < 10.000 ι.π.	50
	Χώροι διαχείρισης και διάθεσης στερεών αστικών	100
	αποβλήτων	
	Προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων	
	(Παράρτημα IV, σημείο νi της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ),	50
	στον βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτοι σε	50
	πλημμύρες	
Επιπτώσεις στου	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς διεθνούς	150
πολιτιστικό	σημασίας (UNESCO κλπ.)	100
	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και	50
κλημονομία, εκπο	περιφερειακής σημασίας	50

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

Σε κάθε κελί:

 για κάθε κατηγορία επιπτώσεων υπολογίζονται οι βαθμοί των δεικτών χρήσεων και αθροίζονται, και
- για το σύνολο των κατηγοριών επιπτώσεων υπολογίζεται ο ολικός βαθμός ως το άθροισμα των επιμέρους αθροισμάτων των 5 κατηγοριών επιπτώσεων, ο οποίος αποτελεί τη μέγιστη πιθανή επίπτωση.
- προσδιορίζουμε την κλάση τρωτότητας (KT) σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 3.3-3.

Πίνακας 3.3-3: Αντιστοιχία κλάσης τρωτότητας – πιθανής μέγιστης επίπτωσης

Μέγιστη δυνητική επίπτωση (ΕκΑ [°])	Κλάση τρωτότητας (KT)
< 50 Very Low (πολύ χαμ	
50-125	Low (χ <mark>αμηλή</mark>)
125-200	Medium (μέτρια)
200-400	High (υψηλή)
>400	Very High (πολύ υψηλή)

3.4 Στάδιο ΙΙΙ. Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου

Υπολογίζουμε τον πλημμυρικό κίνδυνο σε κάθε κελί με βάση την εξίσωση:

200-400 >400

Risk = Vulnerability x Hazard $\dot{\eta}$ E π Ac = E κ c x BAc

(3.4.1)

δηλ. πολλαπλασιάζοντας την τιμή της υπολογισθείσας μέγιστης δυνητικής επίπτωσης από πλημμύρα (ΕκΑc) με το βαθμό επιρροής επικινδυνότητας πλημμύρας.

Ο χαρακτηρισμός του κινδύνου δεικνύεται στον Πίνακα 3.4-1.

<u> </u>	<u> </u>
Μέγιστη δυνητική επίπτωση	Χαρακτηρισμός
(ЕкА ^с)	κινδύνου
<50	Πολύ χαμηλός
50-125	Χαμηλός
125-200	Μέτριος

Υψηλός

Πολύ υψηλός

Πίνακας 3.4-1: Αντιστοιχία κλάσης τρωτότητας – πιθανής μέγιστης επίπτωσης

4 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

4.1 Γενικά

Η περιοχή διερεύνησης που θα αναλυθεί σε αυτό το κεφάλαιο, είναι η πόλη της Μάνδρας που βρίσκεται στη δυτική Αττική (Εικόνα 4.1-1) και η οποία αποτελεί έδρα του δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας. Η πόλη αυτή είναι κτισμένη στο Θριάσιο Πεδίο στους πρόποδες του όρους Πατέρα και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων της πόλης είναι 11.327. Τα ρέματα που προκάλεσαν την πλημμύρα του 2017 είναι το ρέμα Σούρες και το ρέμα Αγία Αικατερίνη όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1-2, όπου στην έξοδο των λεκανών των ρεμάτων αυτών είναι χωροθετημένη η Μάνδρα.



Εικόνα 4.1-1 : Η πόλη της Μάνδρας ως προς την Αθήνα, την Πελοπόννησο και την υπόλοιπη Ελλάδα *(Google Earth).*



Εικόνα 4.1-2: Χάρτης τοποθεσίας της περιοχής διερεύνησης με τις λεκάνες απορροής των δύο λεκανών απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη (Diakakis et al., 2019).

Η Μάνδρα, η οποία αποτελεί πρωτεύουσα του Καλλικρατικού δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας (Νόμος 3852 ΦΕΚ Α' 87/7.6.2010) του μεγαλύτερου δήμου σε έκταση της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ενός εκ των μεγαλύτερων κέντρων μεταφορών και διακίνησης αγαθών της Ελλάδας (Logistics), αποτελεί τοποθεσία με μεγάλη σημασία. Συγκεκριμένα, η ευρύτερη περιοχή διερεύνησης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο ζώνες (Εικόνα 4.1-3): μία οικιστική και μία βιομηχανική, ενώ παρατηρούνται και αρκετές γεωργικές εκτάσεις περιφερειακά αυτής.



Εικόνα 4.1-3: Ο διαχωρισμός της περιοχής διερεύνησης ως προς την οικιστική ζώνη της Μάνδρας (μπλε χρώμα) και την βιομηχανική ζώνη (πορτοκαλί χρώμα).

Το βασικό οδικό δίκτυο της περιοχής διερεύνησης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1-4. Η κυριότερη οδική αρτηρία της περιοχής είναι η Αττική Οδός, η οποία αποτελεί και ένα υδραυλικό έργο μεγάλης κλίμακας εκτός από ένα μεγάλο συγκοινωνιακό έργο. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι είναι ένας τεχνητός υδροκρίτης ο οποίος διακόπτει τη φυσική συνέχεια των ρεμάτων. Στην περιοχή μελέτης, η Αττική Οδός διαχωρίζει την βιομηχανική περιοχή (ΒΙΠΕ) της Μάνδρας με την Άνω Ελευσίνα. Η ΒΙΠΕ της Μάνδρας εξυπηρετείται στο σύνολο, όπως και οι οικισμοί της πόλης προς τα όρη Πατέρα, Πάστρα και Κιθαιρώνας, από την παλαιά Εθνική Οδό Αθηνών – Θηβών (ΠΕΟΑΘ), μία εξίσου σημαντική οδική αρτηρία της περιοχής. Η ΠΕΟΑΘ διασχίζει την κοιλάδα του ρέματος Σούρες, με το οποίο και διασταυρώνεται σε πολλά σημεία. Συγκεκριμένα:

- ξεκινάει από την ανατολική είσοδο της Ελευσίνας
- διασχίζει την πόλη, τέμνοντας την Ολύμπια και την Αττική οδό διαδοχικά
- περνά ανάμεσα από την BI.ΠΕ της Μάνδρας
- διέρχεται από το δυτικό όριο αυτής, στη συνέχεια κινείται βόρεια και
- τέλος κατευθύνεται προς τα ορεινά της περιοχής.

Εσωτερικά στο οδικό δίκτυο της Μάνδρας υπάρχουν 4 βασικοί οδοί που την διασχίζουν:

- η οδός Αγίας Αικατερίνης, που κινείται παράλληλα με το ομώνυμο ρέμα
- η οδός Στρατηγού Νικόλαου Ρόκκα, που ξεκινά στο σημείο εισόδου της Μάνδρας κοντά στην ΠΕΟΑΘ, όπου και τελικά καταλήγει

- η οδός Βαγγέλη Κοροπούλη, που και αυτή ξεκίνα από το ίδιο σημείο με την οδό Στρατηγού
 Ρόκκα και καταλήγει σε αυτήν αφού διασχίσει την πόλη και
- η οδός Λεωνίδα Στάμου, που συνδέει την Μάνδρα με τον οικισμό της Μαγούλας.



Εικόνα 4.1-4: Το οδικό δίκτυο της περιοχής (Mavrogeorgos K., 2019).

4.2 Το υδρογραφικό δίκτυο της Μάνδρας Αττικής

Σύμφωνα με την Εικόνα 4.1-2 , η πόλη της Μάνδρας επηρεάστηκε από τον χείμαρρο του Σούρες και Αγία Αικατερίνη (Αποστολίδης κ.α., 2017).

4.2.1 Ο χείμαρρος Σούρες

Το ρέμα Σούρες ξεκινώντας βόρεια της Μάνδρας φτάνει στον οικισμό της πόλης στο ανατολικό του όριο και αφού τον διασχίσει ενώνεται με το ρέμα Αγία Αικατερίνη στο νοτιοανατολικό του άκρο. Η ένωση των δύο ρεμάτων βρίσκεται κοντά στην ΠΕΟΑΘ, την οποία και διανύουν κάθετα μέχρι να φτάσουν και να παροχετευθούν στον αγωγό, που έχει κατασκευαστεί από την Αττική Οδό. Η λεκάνη απορροής του ρέματος Σούρες προέρχεται από την συμβολή δύο άλλων χειμάρρων, τον χείμαρρο Σκυλόρεμα (από την περιοχή Κοκκιναριά) και τον χείμαρρο Αγίου Σωτήρα (από την περιοχή Πάχη Σωτήρος), η ένωση των οποίων γίνεται στην θέση Άγιος Χαράλαμπος (κοντά στην οδό Ελευσίνας -Θηβών). Η λεκάνη αυτή είναι στενόμακρη με ομαλό ανάγλυφο και συνολικό εμβαδόν 22.985 στέμματα . Τα υψόμετρα στα οποία κυμαίνεται είναι μεταξύ 62 μέχρι 780 μέτρων, στο σημείο ένωσης με το ρέμα Σούρες νοτιοανατολικά του οικισμού της Μάνδρας και στην περιοχή Χούνια βορειοδυτικά της πόλης στην κορυφή Παλιά Κορυφή, αντιστοίχως.

4.2.2 Ο χείμαρρος Αγία Αικατερίνη

Η είσοδος του ρέματος στην πόλη της Μάνδρας γίνεται από δυτικά, διασχίζει νότια την πόλη μέσω της οδού Κοροπούλη και τελικά φτάνει στο νοτιοανατολικό άκρο του οικισμού της Μάνδρας όπου και ενώνεται με το ρέμα Σούρες. Ο χείμαρρος αυτός προκύπτει από την συμβολή του χειμάρρου Κατσιμήδι και Οσίου Μελετίου, οι οποίοι συλλέγουν και διαρρέουν νερά της ευρύτερης λεκάνης απορροής. Η λεκάνη του ρέματος της Αγία Αικατερίνη έχει ομαλό ανάγλυφο με συνολικό εμβαδόν 22.282 στρέμματα, έχοντας υψόμετρα που ξεκινούν από τα 63 μέτρα και φτάνουν μέχρι και τα 659 μέτρα, στο σημείο ένωσης με τον χείμαρρο Σούρες και στα δυτικά της πόλης στην κορυφή Κατακάλι, αντίστοιχα.

4.2.3 Ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος

Ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος προέρχεται από την συμβολή δύο ρεμάτων, του ρέματος Πέλκες και του ρέματος Αγίου Γεωργίου. Το ρέμα Πέλκες πηγάζει από το όρος Κιθαιρώνας και διασχίζει την κοιλάδα της Οινόης και το ρέμα Αγίου Γεωργίου πηγάζει από την ανατολική πλαγιά του όρους Πατέρα και διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα κοντά στην κοιλάδα της Οινόης. Μετά τη συμβολή ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος διατρέχει το Θριάσιο πεδίο και εκβάλλει στον κόλπο της Ελευσίνας στην περιοχή της Χαλυβουργικής (Εικόνα 4.2-1). Οι κυριότεροι χείμαρροι που συμβάλλουν σε αυτόν είναι ο Άγιος Βλάσιος, το Ξηρόρεμα και το Μεγάλο Κατερίνι (Μιχαηλίδη, 2013).



Εικόνα 4.2-1: Ο χείμαρρος Σαρανταπόταμος (με γαλάζιο χρώμα).

4.3 Οι πλημμύρες στη Μάνδρα Αττικής

Στο Δήμο Μάνδρας – Ειδυλλίας έχουν καταγραφεί άλλα 3 σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα πριν την καταστροφική πλημμύρα του 2017. Αυτά είχαν γίνει στις 27/01/1996, στις 24/10/2014 και στις 27/02/2015 (ΥΠΕΝ, 2017, «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής», σελ. 243-246)

- Η πλημμύρα της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996 είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο 2 ανθρώπων, παρουσιάζοντας σχετικά μικρό ύψος βροχόπτωσης (17,30 mm). Επίσης, στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου προκλήθηκαν σοβαρές καταστροφές, τόσο σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις (εκατοντάδες στρέμματα) όσο και σε εργοστάσια στα οποία κατέληξαν ροές με λάσπη από τα Γενάρια όρη, εξαιτίας παλαιότερων φωτιών σε αυτήν την περιοχή (Ιστοσελίδα: http://dytikhattiki.blogspot.com/2014/01/2711996-2.html).
- Στις 24 Οκτώβρη 2014 στο δυτικό διαμέρισμα του νομού της Αττικής σημειώθηκαν σφοδρές
 βροχοπτώσεις, κατά τις οποίες καταγράφηκαν 67 mm στον βροχομετρικό σταθμό στη Μάνδρα

από το υδρομετεωρολογικό δίκτυο ΜΕΤΕΟΝΕΤ (Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ). Σημαντικά προβλήματα παρουσιάστηκαν στην Π.Ε.Ο. Αθηνών - Θηβών στο ύψος της Μάνδρας και στην Ε.Ο. Αθηνών – Κορίνθου στο ύψος του Σκαραμαγκά και της Χαλυβουργικής, εξαιτίας της συσσώρευσης υδάτων που είχε ως αποτέλεσμα την ακινητοποίηση αυτοκινήτων λόγων περιορισμένης ορατότητας (Κοψιδά, 2019).

Ισχυρή βροχόπτωση στις 27 Φεβρουαρίου 2015 στην πόλη της Μάνδρας είχε ως αποτέλεσμα σοβαρά προβλήματα για τους κατοίκους της, αφού το Πυροσβεστικό Σώμα δέχτηκε εκείνη την ημέρα δεκάδες κλήσεις τόσο για άντληση υδάτων όσο και για παροχή βοήθειας, όπως τον απεγκλωβισμό 2 ηλικιωμένων ανθρώπων από τα σπίτια τους και ενός ατόμου από το αυτοκίνητό του. Οι πόλεις της Μάνδρας, της Ελευσίνας, του Ασπρόπυργου και η ευρύτερη περιοχή τέθηκε σε «κόκκινο συναγερμό», αφού οι δρόμοι τους είχαν μετατραπεί σε ορμητικοί χείμαρροι (Ιστοσελίδα: <u>https://www.newsbomb.gr/ellada/story/561243/plimmyres-sti-mandraattikis</u>).

4.4 Η πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017

Η πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017 στην πόλη της Μάνδρας επηρέασε μεγάλο μέρος του πληθυσμού, αφού προκάλεσε τον θάνατο 23 ανθρώπων και τον τραυματισμό 24 ακόμα. Έτσι, αποτέλεσε τη τρίτη πιο καταστροφική πλημμύρα στην Αττική, ύστερα από τις πλημμύρες: του 1961 στα Δυτικά προάστια της Αθήνας με 43 θανάτους και του 1977 με 37 θανάτους. Εκτός από τις ανθρώπινες απώλειες που αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα, προκλήθηκαν και σοβαρές επιπτώσεις σε υπόγεια και ισόγεια κτήρια, αφού υπολογίσθηκε πως το 80% της πόλης τελικά είχε επηρεαστεί (Stamou, 2018). Συγκεκριμένα, στις πλαγιές του όρους Πατέρα ξεκίνησε μια αρκετά ισχυρή καταιγίδα, που προκάλεσε ξαφνικές πλημμύρες στις λεκάνες:

- του χειμάρρου Γιώργη, που καταλήγει στη Νέα Πέραμο και
- των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη, που καταλήγουν στην πόλη της Μάνδρας.

Χρονική εξέλιξη του κύματος

Οι σημαντικές καταστροφές στην Μάνδρα όπως και ορισμένες επιπτώσεις στις γειτονικές περιοχές αυτής, Μαγούλα και Ελευσίνα, προκλήθηκαν κυρίως από τον όγκο της καταιγίδας που έπεσε στις λεκάνες των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) κατέγραψε μέσω κινητού μετερεολογικού ραντάρ Χ-POL το καταστροφικό αυτό γεγονός. Οι εκτιμήσεις του ραντάρ δίνουν βασικές λεπτομέρειες και στοιχεία για την χρονική – χωρική εξέλιξη του επεισοδίου, ενώ αυτές για το ύψος του συνολικού υετού μπορούν να χαρακτηριστούν αβέβαιες. Οι σημαντικές λεπτομέρειες (Καλόγηρος κ.α., 2017) ήταν:

- αρκετά περιορισμένο το μήκος της ζώνης βροχόπτωσης ίσο με 19 km, με πλάτος 4 km και νοτειοδυτική προς βορειοανατολική κατεύθυνση
- το βράδυ της Τρίτης 14 Νοεμβρίου 2017 στις 20:00 ξεκίνησε η καταιγίδα με ένα σύντομο επεισόδιο
- η βροχόπτωση όμως συνεχίστηκε τα μεσάνυκτα και διήρκησε για 8 ώρες περίπου
- μεταξύ 05:00 και 08:00 τοπική ώρα σημειώθηκε ο πυρήνας της καταιγίδας και
- σε διάστημα 6 ωρών το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης ξεπέρασε τα 200 mm.

Στην Εικόνα 4.4-1, 4.4-2 & 4.4-3 σύμφωνα με το Δελτίο Τύπου του ΕΑΑ (Καλόγηρος κ.α., 2017) παρουσιάζονται: ο συνολικός υετός, η χρονοσειρά του στιγμιαίου ρυθμού βροχόπτωσης και η χρονοσειρά της συσσωρευμένης βροχόπτωσης στον πυρήνα της έντονης βροχόπτωσης στο όρος Πατέρας. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της βροχόπτωσης από δορυφορικά δεδομένα (NASA, GPM IMERG product), αυτή συμφωνεί αρκετά με τον υπολογισμό της βροχόπτωσης όταν τα αποτελέσματά της αναχθούν στη χωρική ανάλυση των δορυφόρων αυτών (CCN Greece, 2017).



Εικόνα 4.4-1: Ο συνολικός υετός σε χωρική απεικόνιση υψηλής ανάλυσης σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ραντάρ X-POL.



Εικόνα 4.4-2 : Η χρονοσειρά του στιγμιαίου ρυθμού βροχόπτωσης στον πυρήνα της έντονης βροχόπτωσης στο όρος Πατέρας.



Εικόνα 4.4-3: Η χρονοσειρά της συσσωρευμένης βροχόπτωσης στον πυρήνα της έντονης βροχόπτωσης στο όρος Πατέρας.

Σύμφωνα με την Εικόνα 4.4-3, στο χρονικό διάστημα μεταξύ 05:00 με 08:00 το πρωί στις 15 Νοεμβρίου το συνολικό ύψος βροχής που καταγράφηκε ήταν πάνω από 200 mm και ο ρυθμός της βροχόπτωσης να φτάνει και τα 120-140 mm/h (Εικόνα 4.4-2). Λόγω του ότι το ραντάρ XPOL κατέγραψε το φαινόμενο με διαφορετική χωρική και χρονική ακρίβεια (150 m και 2 min αντίστοιχα) τα μέγιστα της βροχόπτωσης υποεκτιμήθηκαν και η έκταση αυτής υπερεκτιμήθηκε, αφού οι δορυφόροι έχουν περιορισμένη χωρική (περίπου με 10 km) και χρονική ανάλυση (30 min).

Η πλημμύρα της Μάνδρας καταγράφηκε και από το μετεωρολογικό ραντάρ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) (Εικόνα 4.4-4), το οποίο είναι παλαιότερης τεχνολογίας με χαμηλή χωρική και χρονική ανάλυση και βρίσκεται στην περιοχή του Υμηττού. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε περίπου 80 mm αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης, όταν το μέσο ύψος της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης της περιοχής είναι 373 mm (εκ των οποίων τα 59 mm πέφτουν το Νοέμβριο), από το απόγευμα της 14^{ης} έως και το απόγευμα της 15^{ης}. Από αυτά τα 80 mm, τα 60 mm κατακρημνίστηκαν από τις 05:00 έως 08:00 το πρωί, που ήταν το εντονότερο διάστημα. Ακόμη, σημειώθηκαν 300 mm/h τοπικά μέγιστα ρυθμού βροχόπτωσης.



Εικόνα 4.4-4 : Ραγδαιότητα υετού από το Ραντάρ Υμηττού της ΕΜΥ για τις 06:00 της 15^{ης} Νοεμβρίου (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2017).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, εφόσον στο Όρος Πατέρας το μήκος της ζώνης βροχόπτωσης ήταν 19 km και το πλάτος 4 km, φαίνεται πως το ραντάρ του Υμηττού και οι δορυφόροι δεν θα μπορούσαν να προβλέψουν τη δριμύτητα της καταιγίδας (CNN Greece, 2017). Σύμφωνα με τον Prof. Αναστάσιο Στάμο, αναφέρεται ότι η έγκαιρη προειδοποίηση των κατοίκων θα μπορούσε να προφυλάξει την ακεραιότητα τους, έστω και ορισμένα λεπτά πριν την καταιγίδα ώστε να μην βρεθούν εντελώς απροετοίμαστοι (Stamou, 2018). Αυτό συμπληρώνεται έπειτα από τον Νικόλαο Καντερέ, ο οποίος τονίζει πως το υπερσύγχρονο μετεωρολογικό ραντάρ στην Αίγινα θα μπορούσε να προβλέψει το πλημμυρικό γεγονός εγκαίρως και να αποτρέψει έτσι την απώλεια ζωής των ανθρώπων, εάν λειτουργούσε πλήρως (Καντερές, 2019).

Χωρική εξέλιξη του κύματος

Το πλημμυρικό κύμα στο ρέμα Σούρες εξαπλώθηκε κατά κύριο λόγο εξαιτίας των μορφολογικών αλλαγών από τις έντονες κατασκευαστικές δραστηριότητες στην ευρύτερη περιοχή, που είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει αρκετά το διαθέσιμο εμβαδόν της διατομής του ρέματος. Έπληξε όλες τις παρακείμενες εγκαταστάσεις, όπως ήταν το κτήριο Βακόντιος ΑΕΒΕ (όπου τα θεμέλιά του βρίσκονταν επάνω στο ρέμα), το κτήριο Logistics της ΜΕΤΡΟ ΑΕ, το κοιμητήριο της πόλης και συνέχισε στον άξονα της ΠΕΟΑΘ. Τμήμα του όγκου του νερού πέρασε στην περιοχή της Μαγούλας από την οδό Λεωνίδα Στάμου. Στο ρέμα Αγία Αικατερίνη από το σημείο αφανισμού της κοίτης του και ύστερα, δημιουργήθηκε ένα πολύ μεγάλου πλάτους πλημμυρικό κύμα (Εικόνα 4.4-5), το οποίο αρχικά διαπέρασε την πεδινή περιοχή ανάντη της πόλης και έπειτα έπληξε τον αστικό ιστό της Μάνδρας (Stamou, 2018).



Εικόνα 4.4-5 : Η ξαφνική πλημμύρα στο σημείο της υπερχείλισης του ρέματος Αγία Αικατερίνη μέσα στον οικισμό της Μάνδρας (Λέκκας κ.α.,2018).

Το κύμα υπερχείλισε από την κοίτη και ακολούθησε σε όλο το μήκος της από την είσοδο της πόλης βορειοδυτικά έως και την συμβολή στη διασταύρωση των οδών Στρατηγού Ρόκκα και Β. Κοροπούλη. Εξαιτίας του ανεπαρκούς τεχνικού έργου στο σημείο της συμβολής στο νοτιοανατολικό σημείο της πόλης, υπερχείλισε το δίκτυο και μετέτρεψε την ΠΕΟΑΘ σε χείμαρρο (Stamou, 2018). Επειδή, η κοίτη του ρέματος υπερχείλισε σε συνδυασμό με τη μικρή διατομή του οχετού που βρίσκεται κάτω από την ΠΕΟΑΘ, οι συνολικές απορροές του κύματος δεν ήταν εφικτό να διοχετευτούν στο διευθετημένο τμήμα του ρέματος Σούρες, το οποίο εκβάλλει στον Σαρανταπόταμο, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος της παροχής που έρχεται στην συμβολή (Κοροπούλη-Ρόκκα) να κατευθυνθεί προς την Εθνική Οδό. Έτσι, στη συνέχεια πλημμύρισε η βιομηχανική περιοχή της πόλης (Εικόνα 4.4-6), η πλημμύρα εγκλωβίστηκε στα πρανή της Αττικής Οδού (η οποία λειτούργησε ως φράγμα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4-7), πλήττοντας την ΠΕΟΑΘ, και τελικά πέρασε κάτω από την γέφυρα. Τελικά, το πλυμμηρικό κύμα έφτασε στους οικισμούς Παπακώστα και Εργατικές Κατοικίες βορειοδυτικά της Ελευσίνας πλήττοντας την ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 4.4-6: Η πλημμύρα στη διασταύρωση της οδού Θηβών και Αττικής στη βιομηχανική ζώνη της περιοχής της Μάνδρας (Λέκκας κ.α., 2018).



Εικόνα 4.4-7: Η διέλευση του πλημμυρικού κύματος κάτω από τη γέφυρα της Αττικής Οδού (Λέκκας κ.α., 2017).

5 ΤΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

5.1 Γενικά - Παροχές Σχεδιασμού

Σύμφωνα με την μελέτη «Εκτροπής χειμάρρου Αγίας Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες του Θριασίου Πεδίου» (ΕΤΜΕ κ.α., 2012) πριν από την καταστροφική πλημμύρα το Νοέμβριο του 2017 στη Μάνδρα υπήρχαν:

- ο υπόγειος αγωγός Κοροπούλης για την εκτροπή του χειμάρρου Αγία Αικατερίνη και
- δύο έργα για τη διευθέτηση του χειμάρρου Σούρες, το ένα ανάντη της συμβολής του ρέματος με τον αγωγό Κοροπούλης και το άλλο ένας δίδυμος ορθογωνικός αγωγός που ξεκινούσε από την εταιρεία DHL μέχρι τον Σαρανταπόταμο.

Οι παροχές σχεδιασμού των υπαρχόντων έργων δίδονται στον Πίνακα 5.1-1.

Έργα	Παροχή Σχεδιασμού (m³/s)
Αγωγός Κοροπούλη	10,00
Δίδυμος ορθογωνικός αγωγός για το χείμαρρο Σούρες	125,00

Πίνακας 5.1-1: Παροχές σχεδιασμού των έργων

5.2 Έργο διευθέτησης χειμάρρου Σούρες

Για το χείμαρρο Σούρες τα έργα που υπήρχαν πριν το πλημμυρικό γεγονός ήταν:

 Μία μικρή διευθέτηση του χειμάρρου ανάντη της συμβολής του με τον αγωγό Κοροπούλης, το οποίο έργο φαίνεται στην Εικόνα 5.2-1, με ύψος 60 cm μέχρι 130 cm και πλάτος κατά μέσο όρο 2,5 m.



Εικόνα 5.2-1: Έργο διευθέτησης ανάντη της συμβολής του χειμάρρου Αγία Αικατερίνη (υπόγειος αγωγός στα αριστερά) με Σούρες (δεξιά).

 Δίδυμος ορθογωνικός αγωγός ύψους 3m και πλάτους 4m, ο οποίος ξεκινούσε από την εταιρεία DHL, περνούσε κάτω από την Αττική Οδό με εκβολή στον Σαρανταπόταμο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2-2.



Εικόνα 5.2-2: Δίδυμος ορθογωνικός αγωγός με κατεύθυνση προς τον Σαρανταπόταμο.

5.3 Έργο εκτροπής χειμάρρου Αγία Αικατερίνη

Για τον χείμαρρο Αγία Αικατερίνη δεν προϋπήρχε κάποιο έργο για την διευθέτησή του. Το ρέμα Αγία Αικατερίνη σταματά στην είσοδο της πόλης της Μάνδρας, από εκεί και ύστερα είχε κατασκευαστεί ο υπόγειος αγωγός Κοροπούλης 2mx1,80m από οπλισμένο σκυρόδεμα, στον οποίο εισρέουν ύδατα από φρεάτια της οδού Ομήρου και τους δρόμους που συναντά η όδευση του (βλ. Εικόνα 5.3-1). Ο αγωγός Κοροπούλη φτάνει στην συμβολή και εκβάλλει στο χείμαρρο Σούρες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2-1.



Εικόνα 5.3-1: Η κατεύθυνση του ρέματος Αγία Αικατερίνη προς την οδό Ομήρου (με μπλε χρώμα) και ορισμένα από τα φρεάτια της οδού.

6 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

6.1 Δεδομένα υδραυλικών υπολογισμών

Τα απαραίτητα δεδομένα που χρειάζονται για την εκκίνηση και την επιτυχημένη λειτουργία του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D, προσδιορίζονται σε αυτό το υποκεφάλαιο.

6.1.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Το υπόβαθρο του μοντέλου πρόεκυψε από τη συρραφή:

 Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρου (DEM, Digital Elevation Model) ανάλυσης 5mx5m που χορηγήθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε. (Εικόνα 6.1-1), στο οποίο διορθώθηκαν οι περιοχές που ήταν χωρίς υψόμετρο μέσω χρήσης του προγράμματος QGIS.



Εικόνα 6.1-1: Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από την Κτηματολόγιο Α.Ε.

 Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DSM, Digital Surface Model) ανάλυσης 1m x 1m (Εικόνα 6.1-2) που προστέθηκε για την ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας στο DEM της Εικόνας 6.1-1.



Εικόνα 6.1-2: Το τελικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους αφού προστέθηκε DEM 5mx5m και το DSM ανάλυσης 1mx1m.

6.1.2 Άξονας και διατομές

Αρχικά, φορτώθηκε το υπόβαθρο της περιοχής στο QGIS και χαράχθηκαν οπτικά οι άξονες και οι όχθες των ρεμάτων. Στη συνέχεια, αφού χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικό σχέδιο για να διορθωθούν οι άξονες και οι όχθες, χαράχθηκαν σε οριζοντιογραφία οι διατομές ανά 50 m και εισήχθηκαν ως shape files στη γεωμετρία του HEC-RAS 1D/2D οι άξονες (main Channel) και οι όχθες των ρεμάτων (bank lines). Τέλος, οι διατομές που βρίσκονταν στα κατάντη στο διευθετημένο κομμάτι (από τη χιλιομετρική θέση 2037,53 στη 1086,22 με τη χιλιομέτρηση να ξεκινά στον Σαρανταπόταμο) διορθώθηκαν με βάση το τοπογραφικό. Στην Εικόνα 6.1-3, παρουσιάζεται τμήμα του τοπογραφικού σχεδίου (ETME κ.α., 2012), στο οποίο απεικονίζονται με πράσινο χρώμα οι όχθες του ρέματος, με κόκκινο χρώμα το πόδι του πρανούς και ο κεντρικός άξονας του ρέματος.



Εικόνα 6.1-3: Τμήμα του τοπογραφικού σχεδίου για το τεχνικό έργο κοντά στο κτήριο Logistics (ΕΤΜΕ κ.α., 2012).

6.1.3 Συντελεστής τραχύτητας n, Manning.

Για τις ζώνες διαφορετικής τραχύτητας της περιοχής διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν χάρτες χρήσεων γης Corine 2018 (Εικόνα 6.1-4).



Εικόνα 6.1-4: Κάλυψη γης για την περιοχή μελέτης έτους 2018, σύμφωνα με τα παραδοτέα του προγράμματος CORINE της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ιστοσελίδα: <u>http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:gr_clc2018#</u>).

Από την Εικόνα 6.1-4 χρησιμοποιήθηκαν οι κατηγορίες χρήσεων γης που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτη με τους αντίστοιχους κωδικούς που αναγράφονται στον Πίνακα 6.1-1. Για κάθε κατηγορία χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες τιμές από τα εύρη των τυπικών τιμών του Manning, n σύμφωνα με το βιβλίο «Open channel Hydraulics» (Chow V. T., 1950), καθώς και το Manual του HEC-RAS 2D (HEC-RAS 2D User's Manual, n.d.)

Κωδικός	Περιγραφή	Εύρος τυπικών τιμών (s/m ^{1/3})	Χρησιμοποιούμενη τιμή (s/m ^{1/3})
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0.08 - 0.16	0.10
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες και δημόσιες εγκαταστάσεις	0.10 - 0.20	0.10
122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και associated land	0.013 - 0.020	0.02
211	Μη αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη	0.02 - 0.05	0.030
223	Ελαιώνες	0.03 - 0.08	0.045
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.02 - 0.05	0.035
313	Μικτό δάσος	0.08 - 0.20	0.12
323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	0.035 - 0.16	0.10
324	Μεταβατικές θαμνώδης / δασώδης εκτάσεις	0.025 - 0.10	0.050

Πίνακας 6.1-1: Συντελεστές Manning n.

6.1.4 Οριακές συνθήκες

Ο καθορισμός των οριακών συνθηκών αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την υδραυλική προσομοίωση της πλημμύρας. Οι οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.

Ανάντη:

- σε συνθήκες μόνιμης ροής, θεωρήθηκε σταθερή παροχή για το ρέμα Σούρες, με σκοπό να γίνει επιβεβαίωση της λειτουργίας του μοντέλου
- σε συνθήκες μη μόνιμης ροής για τα δύο ρέματα χρησιμοποιήθηκαν πλημμυρογραφήματα εισόδου, που χορηγήθηκαν από την ομάδα του Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά (Εικόνα 6.1-5), αφού τροποποιήθηκε κατάλληλα ως προς την ώρα αιχμής.



Εικόνα 6.1-5: Πλημμυρογραφήματα εισόδου ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη.

- Κατάντη χρησιμοποιήθηκε ομοιόμορφο βάθος (Normal Depth).
- Στις 2D Flow Areas χρησιμοποιήθηκε ομοιόμορφο βάθος, ενώ εκεί που δεν υπήρχε τιμή ομοιόμορφου βάθους θεωρήθηκε τοίχος με το κάθετο διάνυσμα της ταχύτητας να ισούται με 0.
- Στις συνδέσεις των 2D περιοχών χρησιμοποιήθκαν 2D Connection Areas για τη συνέχεια του πλέγματος.

6.1.5 Καταγραφή πλημμύρας

Για την καταγραφή της πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε οπτικό υλικό υψηλής ανάλυσης (έγχρωμες φωτογραφίες και βίντεο, Εικόνα 6.1-6) από την επιστημονική έρευνα των Diakakis et al., 2019.



Εικόνα 6.1-6: Παραδείγματα της πλημμυρικής έκτασης βασισμένα σε οπτικό υλικό απεικονίζοντας και τα όρια της πλημμύρας (Flood boyndary) (Diakakis et al., 2019)

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν στιγμιότυπα από εναέρια βιντεοσκόπηση μέσω Drones (Εικόνα 6.1.7) (Ιστοσελίδα: <u>https://www.youtube.com/watch?v=q n0fPa 2Jg</u>) προκειμένου να ανιχνευτούν τα όρια που έπρεπε να μπουν στο μοντέλο για την προσομοίωση της καταστροφικής πλημμύρας στη Μάνδρα.

Συγκεκριμένα, στην Εικόνα 6.1-7 φαίνονται: τα όρια της πλημμύρας, καθώς κατεβαίνει από το ρέμα Σούρες βόρεια των οικισμών της Μάνδρας, Εικόνα 6.1-7 (α), η κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι πρώτες βιομηχανίες της βιομηχανικής περιοχής αλλά και η κατοικημένη περιοχή της Μάνδρας, Εικόνα 6.1-7 (β) & (γ). Ακόμη, απεικονίζονται τα όρια της πλημμύρας: στη συμβολή των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη, στην Παλαιά Εθνική Οδό Αθηνών-Θηβών και στην πόλη της Μαγούλας, Εικόνα 6.1-7 (δ) & (ε). Τέλος, φαίνεται η ροή της πλημμύρας προς την Αττική οδό κατάντη του διευθετημένου τμήματος του ρέματος Σούρες, Εικόνα 6.1-7 (στ).





(ε) (στ) Εικόνα 6.1-7: Καταγραφή ορίων πλημμύρας από εναέρια βιντεοσκόπηση.

Στην Εικόνα 6.1-8 παρουσιάζεται η καταγεγραμμένη έκταση της πλημμύρας σε υπόβαθρο Google Satellite του προγράμματος QGIS.



Εικόνα 6.1-8: Καταγεγραμμένη έκταση πλημμύρας (σε υπόβαθρο Google Satellite).

6.1.6 Τεχνικά έργα

Στην περιοχή διερεύνησης κατά μήκος του ρέματος Σούρες, από την είσοδο του μοντέλου έως και την εκβολή του καναλιού στον Σαρανταπόταμο, υπάρχουν 15 οχετοί, ο υπόγειος αγωγός της Κοροπούλη και η γέφυρα του ανισόπεδου κόμβου της Αττικής Οδού με την ΠΕΟΑΘ. Αυτά τα τεχνικά έργα απεικονίζονται στην Εικόνα 6.1-9 με τις θέσεις τους στην περιοχή, ενώ στον Πίνακα 6.1-5 δίνονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά τους μεγέθη.



Εικόνα 6.1-9: Οι θέσεις των τεχνικών έργων στην περιοχή διερεύνησης.

Θέση	Τοποθεσία	Απεικόνιση	Στοιχεία Προσομοίωσης
Σ1	Κατάντη εισόδου μοντέλου		Πλάτος οχετού: 3.00m Ύψος οχετού: 1.27m Μήκος οχετού: 15.00m Διατομή: Ορθογωνικός
Σ2	Κατάντη του 1ου τεχνικού		Πλάτος οχετού: 2.00m Ύψος οχετού: 1.50m Μήκος οχετού: 15.00m Διατομή: Ορθογωνικός
Σ3	Πίσω από το πρατήριο AVIN		Πλάτος οχετού: 3.70m Ύψος οχετού: 1.00m Μήκος οχετού: 12.00m Διατομή: Ορθογωνικός
Σ4	Εγκαταστάσεις ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ		Πλάτος οχετού: 4.00m Ύψος οχετού: 1.25m Μήκος οχετού: 50.70m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός
Σ5	Αμαξοστάσιο Δήμου Μάνδρας		Διάμετρος οχετού: 0.80m Μήκος οχετού: 27.30m Διατομή: Δίδυμος Κυκλικός

Πίνακας 6.1-2: Χαρακτηριστικά μεγέθη τεχνικών έργων.

Σ6	Κτήριο Logistics ΜΕΤΡΟ		Πλάτος οχετού: 3.00m Ύψος οχετού: 2.25m Μήκος οχετού: 10.26m Διατομή: Ορθογωνικός
Σ7	Πριν το Κοιμητήριο	Theorem and the second se	Διάμετρος οχετού: 0.70m Μήκος οχετού: 5.80m Διατομή: Κυκλικός
Σ8	Κοιμητήριο - Οδός Βασιλείου Δούκα		Διάμετρος οχετού: 1.20m Μήκος οχετού: 38.70m Διατομή: Κυκλικός
Σ9	Οδός Λούκα		Πλάτος οχετού: 5.00m Ύψος οχετού: 1.90m Μήκος οχετού: 6.50m Διατομή: Ορθογωνικός
Σ10	ΠΕΟΑΘ		Πλάτος οχετού: 5.50m Ύψος οχετού: 1.20m Μήκος οχετού: 10.00m Διατομή: Ορθογωνικός

Σ11	Κανάλι 1 - Στρατηγού Δεληγιάννη	Πλάτος οχετού: 4.00m Ύψος οχετού: 3.00m Μήκος οχετού: 184.00m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός
Σ12	Κανάλι 2	Πλάτος οχετού: 4.00m Ύψος οχετού: 3.00m Μήκος οχετού: 14.00m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός
Σ13	Κανάλι 3 - Οδός Ψηλορείτη	Πλάτος οχετού: 4.00m Ύψος οχετού: 3.00m Μήκος οχετού: 192.00m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός
Σ14	Κανάλι 4 - Αττική Οδός	Πλάτος οχετού: 4.00m Ύψος οχετού: 3.00m Μήκος οχετού: 120.00m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός
Σ15	Κανάλι 5	Πλάτος οχετού: 3.00m Ύψος οχετού: 1.00m Μήκος οχετού: 15.00m Διατομή: Δίδυμος Ορθογωνικός

AA1	Υπόγειος αγωγός Κοροπούλη	Πλάτος οχετού: 3.80m Ύψος οχετού: 1.00m Μήκος οχετού: 15.00m Διατομή: Ορθογωνικός
Αττική Οδός 1	Διασταύρωση ΠΕΟΑΘ με Αττική Οδό	Πλάτος οχετού: 30.00m Ύψος οχετού: 6.00m Μήκος οχετού: 15.00m Διατομή: Ορθογωνικός

6.2 Δεδομένα για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου

Στην περιοχή διερεύνησης καταγράφηκαν συνολικά οι δείκτες χρήσεων γης που φαίνονται στον Πίνακα 6.2-1.

Δείκτες Χρήσεων	Καταγραφή	Βιβλιογραφικές Αναφορές
Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ha και σε «εξωαστικές συγκεντρώσεις» (ανεξαρτήτου βαθμού)	 Μάνδρα: 62,77 α.α./ha Μαγούλα: 32,24 α.α./ha Νέα Ζωή: 9,98 α.α./ha Ελευσίνα: 41,20 α.α./ha 	 Google Stats Αποτελέσματα της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοίκων 2011, Καλλικράτης Πυκνότητα πληθυσμού Καλλικρατικών Δήμων (Απογραφή 2011, ΕΛΣΤΑΤ), ΥΠΕΝ
Νοσοκομεία (λόγω πιθανής κατάκλυσης υποδομών λειτουργίας τους)	 Attica – Κέντρο Αποκατάστασης Θριάσιο Γενικό Νοσοκομείο Ελευσίνας 	Google Maps
Άλλες κοινωνικές υποδομές π.χ. νηπιαγωγεία, σχολεία, πανεπιστήμια, Μονάδες Φροντίδας Ηλικιωμένων	 - 13 Σχολεία (Νηπιαγωγεία, Δημοτικά Λύκεια) - ΚΑΠΗ Μάνδρας - Κοιμητήριο Μάνδρας - Δημαρχείο Μάνδρας - Δημαρχείο Μάνδρας - 10 Εκκλησίες - Φράγκειο Δημοτικό Γήπεδο - Δημοτικό Κλειστό Ελευσίνας - Άνδρέας Δασκαλάκης' 	Google Maps
Υποδομές κοινής ωφέλειας π.χ. ΕΕΝ, κοινοτικές γεωτρήσεις ύδρευσης, τα σημαντικότερα αντλιοστάσια ύδρευσης (στοιχεία από ΔΕΥΑ), σταθμοί – υποσταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας	Μετασχηματιστές Δ.Ε.Η. στην διασταύρωση ΠΕΟΑΘ με Αττική Οδό	- Στατιστικά Σύνδεσης ΑΠΕ, ΑΔΜΗΕ - Google Maps
Υποδομές μηχανισμού πολιτικής προστασίας π.χ. αστυνομία ή πυροσβεστική και κεντρικές εγκαταστάσεις ΕΚΑΒ	- Αστυνομικό Τμήμα Μάνδρας - Διαχείριση Υλικού Πυροσβεστικού Σώματος	Google Maps
Αγροτικές περιοχές με θερμοκήπια	Θερμοκήπια Μαγούλας 'Green Houses'	Google Maps
Αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες	-Ελαιώνες (Μόνιμες Καλλιέργειες) -Ετερογενείς Γεωργικές Περιοχές (Σύνθετες Καλλιέργειες)	Κάλυψη γης - Corine Land Cover 2018, ΥΠΕΝ
Κτηνοτροφικές μονάδες (σταυλικές εγκαταστάσεις στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ)	22 Σταβλικές εγκαταστάσεις	ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ

Πίνακας 6.2-1: Κατηγορίες δεικτών χρήσεων γης στην περιοχή διερεύνησης.

		ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (GR06), ΥΠΕΚΑ
Αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο για τον Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009)	Αρχαιολογικό Μουσείο Ελευσίνας	Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009
Αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές, σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο για τον Τουρισμό (Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009)	Οικία ιδιοκτησίας Μελέτη Στάθη	Άρθρο 4 του ΦΕΚ 1138 Β/2009
«Βιομηχανικές συγκεντρώσεις» (θεσμοθετημένες ΒΙΠΕ και άλλες «άτυπες βιομηχανικές συγκεντρώσεις»)	- Θεσμοθετημένη Βιομηχανική Περιοχή - Ελληνικά Πετρέλαια (ΕΛΠΕ)	 Διεύθυνση Σχεδιασμού Μητροπολιτικών, αστικών και περιαστικών περιοχών, Γενικό πολεοδομικό σχέδιο, ΥΠΕΝ Κάλυψη γης - Corine Land Cover 2018, ΥΠΕΝ
Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	 - 3 Seveso: ELLAGRET (Φυτοπροσταυτευτικά προϊόντα), ECOLAB (Χημικά προϊόντα), LINDE (Βιομηχανικά και Ιατρικά προϊόντα) - 16 IPPC - 2 Seveso & IPPC 	 Βιομηχανίες Seveso, ΥΠΕΝ ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (GR06), ΥΠΕΚΑ
Λοιπές μεμονωμένες βιομηχανικές μονάδες εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	17 Λοιπές μεμονωμένες βιομηχανικές μονάδες	ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (GR06), ΥΠΕΚΑ
Διακοπή διευρωπαϊκού και πρωτεύοντος εθνικού οδικού δικτύου (σε αυτοκινητόδρομους), ενεργούς σιδηροδρομικούς άξονες και αεροδρόμια	NAI	 Greece ArcGIS Shapefile Map Layers, MapCruzin.com Σιδηροδρομικό δίκτυο Ελλάδας, GEODATA.gov.gr
Διακοπή δευτερεύοντος εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου	NAI	Digitize από Google Maps
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις για Βιομηχανικές	- 3 Seveso (ELLAGRET, ECOLAB,	Ακτίνες επιρροής: - Seveso ίση με 500m, IPPC & Seveso ίση με

εγκαταστάσεις IPPC ή	LINDE)	200m (Masseroni et al.,
Seveso και Μνημεία, στον	- 2 Seveso & IPPC	2017; World Health
βαθμό που κρίνεται ότι		Organization, 2018)
είναι ευάλωτες σε		
πλημμύρες		
Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και περιφερειακής σημασίας	- Οικία ιδιοκτησίας Μελέτη Στάθη - Αρχαιολογικό Μουσείο Ελευσίνας	 ΚΗΡΥΓΜΕΝΑ ΝΕΩΤΕΡΑ ΜΝΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟΥ 2001 [Υπουργείο Πολιτισμού - Διεύθυνση Αρχείου Μνημείων & Δημοσιευμάτων] Google Maps

Στον Πίνακα 6.2-2 φαίνονται όλοι οι δείκτες χρήσεων με τα αντίστοιχα χρώματα που απεικονίζονται στην Εικόνα 6.2-1.

Χρώματα των layers	Δείκτες χρήσεων γης
	IPPC & SEVESO
	SEVESO
	IPPC
	Άλλες Βιομηχανίες
	ΕΛΠΕ
	Μετασχηματιστές ΔΕΗ
	Αστυνομικό Τμήμα & Πυροσβεστικό Σώμα
	Δημαρχείο Μάνδρας
	Κοιμητήριο Μάνδρας
	Σταβλικές Εγκαταστάσεις
	Βιομηχανική Περιοχή
	Σχολεία
	Εκκλησίες
	Γήπεδο Μάνδρας & Ελευσίνας
	Νοσοκομεία & Κλινικές
	Οικία Μελέτη Στάθη (εντός Μάνδρας)
	Αρχαιολογικό Μουσείο (νότια Ελευσίνας)
	Στρατιωτικό Αεροδρόμιο
	ΚΑΠΗ (κέντρο Μάνδρας)
	Θερμοκήπια (άνω της Μαγούλας)
	Μάνδρα
	Ελευσίνα
	Μαγούλα
	Νέα Ζωή
	Καλλιέργειες
	Οδικό Δίκτυο
	Περιοχή Μελέτης

Πίνακας 6.2-2: Αντιστοιχία χρωμάτων με τους δείκτες χρήσεων γης.



Εικόνα 6.2-1: Κατηγοριοποίηση των δεικτών χρήσεων γης ανάλογα την χρωματική τους απεικόνιση.

7 ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση της διόδευσης της πλημμύρας στο μοντέλο HEC-RAS 1D/2D για την περίπτωση της Μάνδρας είναι τα ακόλουθα.

7.1 Χάραξη των γραμμών του άξονα και των όχθεων των ρεμάτων Σούρες & Αγία Αικατερίνη

Στο πρόγραμμα QGIS φορτώθηκε το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και χαράχθηκαν οπτικά οι άξονες (reach line) και οι όχθες (banks) των χείμαρρων. Οι γραμμές που δημιουργήθηκαν διορθώθηκαν από τοπογραφικό σχέδιο (όπου αυτό περιείχε τιμές). Με το διορθωμένο άξονα χαράχθηκαν γραμμές διατομών (σε οριζοντιογραφία) ανά 50 m και αφού μετατράπηκαν σε shape files εισήχθηκαν στο RAS Mapper του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D και παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.1-1. Το μοντέλο έδωσε στις διατομές αυτές τιμές υψομέτρου από το τελικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Για την επεξεργασία των διατομών της Αγίας Αικατερίνης αλλά και για ένα τμήμα του ρέματος Σούρες ανάντη του διευθετημένου, χρειάστηκε η διόρθωσή τους στο Autocad μέσω χρήσης τοπογραφικού σχεδίου από τη σύνταξη της μελέτης «Εκτροπής χειμάρρου Αγίας Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες του Θριασίου Πεδίου» (ΕΤΜΕ κ.α., 2012).

Για το παλιό διευθετημένο τμήμα Σούρες (από τη χιλιομετρική θέση Ο μέχρι την 2200) δεν υπήρχαν πληροφορίες υψομέτρου και για αυτό το λόγο γνωρίζοντας ότι ο διευθετημένος αγωγός είναι δίδυμος ορθογωνικός 4m x 3m και διατηρώντας την ελάχιστη στάθμη ελεύθερης επιφάνειας (min elevation channel) από το DEM, προσαρμόστηκαν με τέτοιο τρόπο οι διατομές ώστε να είναι δίδυμος ορθογωνικός 4m x 3m. Αυτό επιβεβαιώθηκε αργότερα με επιτόπια αυτοψία έχοντας διαφορά που κυμαινόταν στα 15cm.



Εικόνα 7.1-1: Γραμμές αξόνων, όχθεων και διατομών των ρεμάτων Σούρες & Αγία Αικατερίνη.

7.2 Υποβάθρου μοντέλου

Για τη δημιουργία του υποβάθρου του μοντέλου χρειάστηκε να γίνει συρραφή του DEM ανάλυσης 5mx5m που χορηγήθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε με το DSM υψηλής ανάλυσης 1mx1m και το υπόβαθρο των διατομών (XS). Έτσι, πρόεκυψε το τελικό υπόβαθρο (Terrain) που απεικονίζεται στο Εικόνα 7.2-1.



Εικόνα 7.2-1: Τελικό υπόβαθρο μοντέλου.

7.3 Τεχνικά έργα και οχετοί

Για τα τεχνικά έργα και τους οχετούς αφού ακολουθήθηκε η μεθοδολογία μοντελοποίησης τους, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφαλαίου 2.5, χρησιμοποιήθηκαν τα χαρακτηριστικά τους, όπως το πλάτος, το ύψος και το μήκος του οχετού (Πίνακας 6.1-2) και δημιουργήθηκε ο Πίνακας 7.3-1 στον οποίο συμπεριλαμβάνονται οι προσομοιώσεις των τεχνικών από το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D.

Θέση	Τοποθεσία	Στοιχεία Προσομοίωσης	Προσομοίωση τεχνικού (HEC-RAS 1D/2D)
Σ1	Κατάντη εισόδου μοντέλου	Χωμάτινο έδαφος & Συντελεστής Manning, n=0.05	
Σ2	Κατάντη του 1ου τεχνικού	Χωμάτινο έδαφος & Συντελεστής Manning,	

Πίνακας 7.3-1 : Π	οοσομοίωση τ	τεχνικών έρνων τ	του μοντέλου Η	EC-RAS 1D/2D.
110 ana 7.5 ±. 11	ροσομοιωση			LC 10/0 10/20.

		n=0.05	
Σ3	Πίσω από το πρατήριο ΑVIN	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ4	Εγκαταστάσει ς ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ5	Αμαξοστάσιο Δήμου Μάνδρας	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ6	Κτήριο Logistics ΜΕΤΡΟ	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ7	Πριν το Κοιμητήριο	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	

Σ8	Κοιμητήριο - Οδός Βασιλείου Δούκα	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ9	Οδός Λούκα	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ10	ΠΕΟΑΘ	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ11	Κανάλι 1 - Στρατηγού Δεληγιάννη	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ12	Κανάλι 2	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ13	Κανάλι 3 - Οδός Ψηλορείτη	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	
Σ14	Κανάλι 4 - Αττική Οδός	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	

Σ15	Κανάλι 5	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016		
AA1	Υπόγειος αγωγός Κοροπούλη	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, Προσομοίωση ως cul n=0.016		
Αττική Οδός 1	Διασταύρωση ΠΕΟΑΘ με Αττική Οδό	Οπλισμένο σκυρόδεμα & Συντελεστής Manning, n=0.016	Προσομοίωση ως culvert	

7.4 Συντελεστής τραχύτητας n, Manning

Για τις ζώνες τραχύτητας της περιοχής διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν χάρτες χρήσεων γης Corine 2018 και έγινε η κατηγοριοποίηση του συντελεστή η για όλη την περιοχή ανάλογα με τις τιμές που δόθηκαν στον Πίνακα 6.1-1. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.4-1 κάθε συντελεστής τραχύτητας έγινε shape file και προστέθηκε στο RAS Mapper.



Εικόνα 7.4-1: Κάλυψη γης για την περιοχή μελέτης έτους 2018 όπως εισήχθη στο HEC-RAS 1D/2D.

7.5 Πλέγμα μοντέλου

Για τη δημιουργία του πλέγματος χρειάστηκε ο διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε τέσσερις 2D flow areas με τα χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών να καταγράφονται στον Πίνακα 7.5-1. Στην εικόνα 7.5-1, φαίνονται συγκεκριμένα οι 2D flow areas σε υπόβαθρο Google Satellite στο μοντέλο.

	2d_Mandra	2D_Left	1 (AA_Connection_Area)	Mandra_sea
Ανάλυση (mxm)	20x20	20x20	20x20	20x20
Αριθμός κελιών	29955	24878	38	21600
Μέση διάσταση κελιού (m²)	230.20	135.34	376.44	370.94
Συνολική γεωμετρική διάσταση (m²)	6895768.89	3366900.76	14304.73	8012378.18

Πίνακας 7.5-1: Τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των τεσσάρων 2D περιοχών.



Εικόνα 7.5-1: Οι τέσσερις 2D περιοχές του πλέγματος.

8 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

8.1 Εισαγωγή

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ολοκλήρωση του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D είναι το μέγιστο βάθος ροής, η μέγιστη ταχύτητα ροής και οι χρόνοι άφιξης από τις χρονικές μεταβολές βάθους και παροχής. Αυτά, παρουσιάζονται στο RAS Mapper του μοντέλου με χάρτες καμπυλών ισοδιάστασης είτε για μέγιστα μεγέθη είτε για οποιοδήποτε χρονική στιγμή της πλημμύρας. Ακόμη, μέσω των τιμών που λαμβάνει το μέγιστο βάθος κατά την διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αρχείο μορφής (.vrt) στο πρόγραμμα QGIS ώστε να αποτυπωθεί η προσομοιωμένη πλημμυρική κατάκλυση (Inundation Area).

Τα διαγράμματα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του υδροδυναμικού μοντέλου αναφέρονται συνοπτικά στον Πίνακα 8.1-1.

Αρίθμηση	Περιγραφή
Εικόνα 8.2-1	Επιλεγμένες χιλιομετρικές θέσεις των ρεμάτων
	για την εξέλιξη του υδρογραφήματος
Εικόνα 8.2-2	Εξέλιξη υδρογραφήματος για το ρέμα Σούρες σε
	διαφορετικές θέσεις
Εικόνα 8.2-3	Εξέλιξη υδρογραφήματος για το ρέμα Αγία
	Αικατερίνη σε διαφορετικές θέσεις
Πίνακας 8.2-2	Χαρακτηριστικά ροής για τις επιλεγμένες
	διατομές των ρεμάτων
Εικόνα 8.2-4	Μηκοτομή ρέματος Σούρες σε τρία τμήματα ανά
	2500m
Εικόνα 8.2-5	Μηκοτομή ρέματος Αγία Αικατερίνη
Εικόνα 8.2-6	«Παλιό εργοστάσιο» μετά το πλημμυρικό
	γεγονός
Εικόνα 8.2-7	Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία «Παλιό
	εργοστάσιο» σε σχέση με την κατεγραμμένη
	μέτρηση
Εικόνα 8.2-8	Σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας» Ώρα: 7:13 & Βάθος
	ροής: 1.25m
Εικόνα 8.2-9	Σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας», καταγεγραμμένο
	ύψος μετά το πλημμυρικό γεγονός
Εικόνα 8.2-10	Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία
	«Γαλαξίας» σε σχέση με την κατεγραμμένη
	μέτρηση
Εικόνα 8.2-11	Συμβολή διευθετημένου Σούρες με κατεύθυνση
	προς την Αττική οδό
Εικόνα 8.2-12	Μεταβολή βάθους ροής στην συμβολή
	διευθετημένου Σούρες με την Αττική οδό σε
	σχέση με την κατεγραμμένη μέτρηση
Εικόνα 8.2-13	Μέγιστο βάθος στην πλημμυρική έκταση
Εικόνα 8.2-14	Τμήματα διαχωρισμού της μελέτης περιοχής για
	τα δύο ρέματα
Εικόνα 8.2-15	Μέγιστη ταχύτητα ροής στην πλημμυρική
	έκταση
Εικόνα 8.2-16	Σύγκριση μεταξύ υπολογισμένης πλημμυρικής

Πίνακας 8.1-1: Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων του υδροδυναμικού μοντέλου.
	έκτασης (flood inundation area) και
	καταγεγραμμένης (observed, με κίτρινο
	περίγραμμα)
Εικόνα 8.2-17	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 1
Εικόνα 8.2-18	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 2
Εικόνα 8.2-19	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης – Τμήμα 3
Εικόνα 8.2-20	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 4
Εικόνα 8.2-21	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 5
Εικόνα 8.2-22	Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης
	πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 6
Εικόνα 8.2-23	Μέγιστος χρόνος άφιξης στην πλημμυρική
	έκταση

8.2 Υδραυλικοί υπολογισμοί και σχολιασμός τους

8.2.1 Παροχές

Στην Εικόνα 8.2-1 παρουσιάζονται οι χιλιομετρικές θέσεις (Χ.Θ.) των διατομών και για τα δύο ρέματα (Σούρες & Αγία Αικατερίνη) που επιλέχθηκαν ώστε να παρατηρηθεί η εξέλιξη του υδρογραφήματος, όπως αυτή φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 8.2-1: Επιλεγμένες χιλιομετρικές θέσεις των ρεμάτων για την εξέλιξη του υδρογραφήματος.

Στην Εικόνα 8.2-2, αρχικά στις καμπύλες των Χ.Θ. παρατηρείται μικρή αύξηση της τιμής παροχής εξαιτίας των αρχικών συνθηκών, έπειτα μία «ουρά» μέχρι να ξεκινήσει η απότομη αύξησή της και τελικά να προκύψουν οι μέγιστες τιμές της παροχής. Επίσης, το άνοιγμα των καμπυλών καθώς περνάμε στις κατάντη διατομές φαίνεται πως πλαταίνει, εξαιτίας της εξάπλωσης της πλημμύρας εκτός του ρέματος.

Συγκεκριμένα, για τη Χ.Θ. 6603 η παροχή αιχμής του ρέματος Σούρες είναι ίση με 172,47 m³/s, με το υδρογράφημα να είναι όμοιο με το πλημμυρογράφημα εισόδου του μοντέλου. Για τη Χ.Θ. 4540 παρατηρείται μέγιστη τιμή μικρότερη της πιο ανάντη και ίση με 168,28 m³/s. Για τη Χ.Θ. 3000 η παροχή αιχμής είναι μικρότερη των υπολοίπων και ίση με 151,85 m³/s, όπου στη διατομή αυτή η ροή του ρέματος εξαπλώνεται αριστερά του, πλήττοντας το κτήριο Logistics. Για τη Χ.Θ. 2226 η μέγιστη παροχή είναι ίση με 316,10 m³/s και σημαντικά μεγαλύτερη των υπολοίπων, γιατί στη διατομή αυτή στη ροή περιλαμβάνεται και αυτή του ρέματος Αγία Αικατερίνη που έχει ακολουθήσει την οδό Κοροπούλη, μετά την συμβολή του με το ρέμα Σούρες. Τέλος, για τη Χ.Θ. 20 παρατηρήθηκε παροχή αιχμής ίση με 140,28 m³/s μικρότερη των πιο ανάντη, ενώ το σύνολο της ροής στη διατομή αυτή αυτή αυτή ακολουθά το ρέμα μέχρι αυτό να εκβάλει στον Σαρανταπόταμο.



Εικόνα 8.2-2: Εξέλιξη υδρογραφήματος για το ρέμα Σούρες σε διαφορετικές θέσεις.

Στην Εικόνα 8.2-3, για τη Χ.Θ. 705 η παροχή αιχμής του ρέματος Αγία Αικατερίνη είναι ίση με 150,51 m³/s, ενώ για τη Χ.Θ. Ο όπως αναμενόταν παρατηρήθηκε ελαφρώς μειωμένη μέγιστη παροχή ίση με 150,46 m³/s και μετατοπισμένο πλάτος του υδρογραφήματος, διότι στη διατομή αυτή η ροή του ρέματος εξαπλώνεται εκατέρωθέν του κατευθυνόμενη προς την κατοικημένη περιοχή της Μάνδρας. Τέλος, για τη διατομή στην οδό Κοροπούλη εντός της πόλης η παροχή αιχμής που σημειώθηκε ήταν αρκετά μεγάλη και ίση με 146,59 m³/s, γεγονός που οφείλεται στο ότι ο κύριος όγκος νερού από το ρέμα Αγία Αικατερίνη έφτασε μέσω της οδού αυτής στην συμβολή με το ρέμα Σούρες.



Εικόνα 8.2-3: Εξέλιξη υδρογραφήματος για το ρέμα Αγία Αικατερίνη σε διαφορετικές θέσεις.

Για κάθε χιλιομετρική θέση της Εικόνας 8.2-2 & 8.2-3 από τις παροχές αιχμής αλλά και από τα μέγιστα βάθη προκύπτει ο Πίνακας 8.2-2.

Ρέμα	Διατομή	Παροχή, Q (m³/s)	Μέγιστο βάθος ροής (m)	Χρόνος άφιξης (hr)
Σούρες	6603	172,47	1,84	8:00:00 AM
	4540	168,28	2,09	8:20:00 AM
	3000	151,85	1,33	8:30:00 AM
	2226	316,10	4,47	8:40:00 AM
	20	140,28	1,15	9:10:00 AM
Αγία Αικατερίνη	705	150,51	0,28	6:50:00 AM
	0	150,46	0,83	7:00:00 AM
	Κοροπούλη	146,59	1,35	7:18:00 AM

Πίνακας 8.2-2: Χαρακτηριστικά ροής για τις επιλεγμένες διατομές των ρεμάτων.

8.2.2 Βάθος και ταχύτητα Ροής

Με την ολοκλήρωση του μοντέλου προκύπτουν της Εικόνας 8.2-4 & 8.2-5, στα οποία παρουσιάζονται οι μηκοτομές του ρέματος Σούρες και Αγία Αικατερίνη αντίστοιχα. Από τις μηκοτομές αυτές δίνονται πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της ροής κατά μήκος των ρεμάτων. Για το ρέμα Σούρες τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής κυμάνθηκαν από 1,59 m μέχρι 6,16 m και από 0,77 m/s μέχρι 12,00 m/s αντίστοιχα, ενώ για το ρέμα Αγία Αικατερίνη από 2,18 m μέχρι 3,43 m και από 2,08 m/s μέχρι 11,00 m/s, αντίστοιχα.





Στην Εικόνα 8.2-6 φαίνεται από την επιτόπια αυτοψία της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ η τοποθεσία του «Παλιού Εργοστασίου» κατά μήκος του ρέματος Αγία Αικατερίνη μετά το πλημμυρικό γεγονός, που καταγράφηκε μέγιστο βάθος ροής ίσο με 1,35 m κοντά του κτηρίου και 1,60-1,70 m μπροστά από την είσοδο αυτού. Αντίστοιχα για την συγκεκριμένη θέση στην Εικόνα 8.2-7 η μέγιστη τιμή βάθους ροής που καταγράφηκε προσομοιώθηκε και από το μοντέλο επαρκώς, με μέγιστη τιμή ίση 1,44 m.



Εικόνα 8.2-6: «Παλιό εργοστάσιο» μετά το πλημμυρικό γεγονός.



Εικόνα 8.2-7: Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία «Παλιό εργοστάσιο» σε σχέση με την καταγεγραμμένη μέτρηση.

Στην Εικόνα 8.2-8 παρουσιάζεται το βάθος που καταγράφηκε κατά την διάρκεια της πλημμύρας στο σούπερ-μάρκετ «Γαλαξίας» ίσο με 1,25 m πάνω από το πεζοδρόμιο την ώρα 7:13 π.μ., ενώ στην Εικόνα 8.2-9 φαίνεται το σούπερ μάρκετ μετά το πλημμυρικό γεγονός κατά το οποίο εντός του διπλανού του κτηρίου καταγράφηκε μέγιστο βάθος ροής ίσο με 1,45 m. Στην Εικόνα 8.2-10, φαίνεται πως το μοντέλο προσομοίωσε αποτελεσματικά την πραγματική μέτρηση (εντός κτηρίου) έχοντας ως μέγιστη τιμή βάθους ροής ίση με 1,45m.



Εικόνα 8.2-8: Σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας» Ώρα: 7:13 & Βάθος ροής: 1.25m.



Εικόνα 8.2-9: Κτήριο δίπλα στο σούπερ μάρκετ «Γαλαξίας», καταγεγραμμένο ύψος μετά το πλημμυρικό γεγονός.



Εικόνα 8.2-10: Μεταβολή βάθους ροής στην τοποθεσία «Γαλαξίας» σε σχέση με την κατεγραμμένη μέτρηση.

Στην Εικόνα 8.2-11 απεικονίζεται η μέγιστη τιμή του βάθους ροής ίση με 3,80 m, που καταγράφηκε μετά την πλημμύρα στην συμβολή του διευθετημένου τμήματος του ρέματος Σούρες με κατεύθυνση προς την Αττική οδό. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 8.2-12 φαίνεται πως το μοντέλο HEC – RAS 1D/2D προσομοίωσε επαρκώς την καταγεγραμμένη μέγιστη τιμή του βάθους ροής του νερού για τη συγκεκριμένη τοποθεσία παρουσιάζοντας τιμή ίση με 3,88 m.



Εικόνα 8.2-11: Συμβολή διευθετημένου Σούρες με κατεύθυνση προς την Αττική οδό.



Εικόνα 8.2-12: Μεταβολή βάθους ροής στην συμβολή διευθετημένου Σούρες με την Αττική οδό σε σχέση με την κατεγραμμένη μέτρηση.

Στην Εικόνα 8.2-13, 8.2-14, 8.2-15 παρουσιάζονται το μέγιστο βάθος ροής που καταγράφηκε στην ευρύτερη περιοχή μελέτης κατά το πλημμυρικό γεγονός, ο τμηματικός διαχωρισμός της περιοχής μελέτης με τις διατομές τους και η μέγιστη ταχύτητα ροής στην πλημμυρική έκταση.



Εικόνα 8.2-13: Μέγιστο βάθος ροής στην πλημμυρική έκταση.



Εικόνα 8.2-14: Τμήματα διαχωρισμού της μελέτης περιοχής για τα δύο ρέματα.



Εικόνα 8.2-15: Μέγιστη ταχύτητα ροής στην πλημμυρική έκταση.

Αρχικά στο **Τμήμα 1** (διατομή 6603-4152) για το ρέμα Σούρες από την εισόδου του μοντέλου μέχρι και το βόρειο τμήμα της Μάνδρας που ξεκινά η κατοικημένη περιοχή φαίνεται πως δεν υπερχειλίζει το ρέμα έχοντας τιμές μέγιστου βάθους ροής από 1,50 m μέχρι 4,19 m και μέγιστες ταχύτητες από 1,63 m/s μέχρι 5,37 m/s.

Στο **Τμήμα 2** (διατομή 4152-3522) βόρεια της πόλης η περιοχή πλημμυρίζει αριστερά του ρέματος και δεξιά του συμπεριλαμβάνοντας και το νερό που έρχεται από το ρέμα Αγία Αικατερίνη έχοντας μέγιστες τιμές βάθους από 1,50 m μέχρι 3,96 m και ταχύτητα ροής από 1,41 m/s μέχρι 5,04 m/s.

Στο **Τμήμα 3** (διατομή 3522-2352) η βιομηχανία ΜΕΤΡΟ ΑΕΒΕ πλημυρίζει πριν το τεχνικό έργο κοντά στην είσοδο του κτηρίου με τιμές μέγιστου βάθους ροής από 2,10 m μέχρι και 4,30 m. Στη συνέχεια, η πλημμύρα εξαπλώνεται στις πρώτες βιομηχανίες της ΒΙΠΕ συνεχίζοντας προς την πόλη της Μαγούλας από την οδό Λεωνίδα Στάμου και προς την συμβολή των δύο ρεμάτων με τιμές μέγιστου βάθους από 2,00 μέχρι 3,88 m. Οι τιμές μέγιστης ταχύτητας ροής για το Τμήμα 3 κυμάνθηκαν από 0,77 m/s μέχρι 5,10 m/s.

Στο **Τμήμα 4** (διατομή 705-0) η ροή περιορίζεται εντός του ρέματος Αγία Αικατερίνη, παρουσιάζοντας τιμές μέγιστου βάθους ροής από 2,5 m μέχρι 3,40 m και ταχύτητα ροής από 10 m/s μέχρι 15 m/s.

Στην αρχή του **Τμήματος 5** (από τη διατομή 0 μέχρι 2421, στη συμβολή των δύο ρεμάτων) φαίνεται πως πλημμυρίζει το ρέμα εκατέρωθεν του μπαίνοντας στην κατοικημένη περιοχή της Μάνδρας παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή βάθους από 1,80 m μέχρι 2,37 m και ταχύτητα ροής από 4 m/s μέχρι 12 m/s. Ο κύριος όγκος του ρέματος περνά από την οδό Κοροπούλη, πλημμυρίζοντας την πόλη, και συνεχίζει μέχρι και την συμβολή των ρεμάτων έχοντας μέγιστες τιμές βάθους από 1,70 m μέχρι 3,40 m και ταχύτητα ροής από 7 m/s μέχρι 15 m/s. Από τη συμβολή των ρεμάτων, όπως έχει αναφερθεί, ο όγκος της πλημμύρας χωρίζεται προς τρεις κατευθύνσεις: προς το ρέμα Σούρες, προς τις βιομηχανίες της ΒΙΠΕ και προς το δρόμο της ΠΕΟΑΘ. Στο **Τμήμα 6** (διατομή 2352-20) μέρος του ρέματος που οδηγείται στο διευθετημένο τμήμα του ρέματος Σούρες, που εκβάλλει στον Σαρανταπόταμο, πλημμυρίζει προς τα δεξιά του στην ΒΙΠΕ και παρουσιάζει μέγιστες τιμές βάθους ροής από 2,00 m μέχρι 6,20 m και ταχύτητα ροής από 2,19 m/s μέχρι 9,45 m/s. Η κατεύθυνση του όγκου της πλημμύρας, που μέσω της ΠΕΟΑΘ σε τμήμα της Ελευσίνα περνάει κάτω από την γέφυρα της Αττικής Οδού, πλημμυρίζει ανάντη τις βιομηχανίες της ΒΙΠΕ παρουσιάζοντας τιμές μέγιστου βάθους ροής από 2,00 m μέχρι 3,81 m (πριν από την γέφυρα της Αττικής όπου εγκλωβίστηκε η πλημμύρα μέχρι να περάσει στις Εργατικές Κατοικίες) και ταχύτητα ροής από 5 m/s μέχρι 11 m/s. Με το πέρασμα του όγκου του νερού, πλημμυρίζει η περιοχή Παπακώστα και το βόρειο τμήμα της πόλης της Ελευσίνας, έχοντας μέγιστα βάθη ροής από 1,40 m μέχρι και 3,80 m ταχύτητας από 4 m/s μέχρι 7 m/s.

8.2.3 Πλημμυρική Έκταση και Χρόνοι άφιξης

Στην Εικόνα 8.2-16 φαίνεται πως η υπολογισμένη πλημμυρική έκταση πρακτικά εμφανίζει άριστη συμφωνία με την καταγεγραμμένη μέσα στην πόλη της Μάνδρας και στην βιομηχανική περιοχή.



Εικόνα 8.2-16: Σύγκριση μεταξύ υπολογισμένης πλημμυρικής έκτασης (flood inundation area) και καταγεγραμμένης (observed, με κίτρινο περίγραμμα).

Στο Τμήμα 1 (Εικόνα 8.2-17) για το μέρος που υπάρχει καταγραφή πλημμύρας υπάρχει σχετικά καλή συμφωνία του μοντέλου με την πραγματικότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι από τις όχθες του ρέματος υψώνονται χαμηλά βουνά, τα οποία συγκρατούν τα νερά ανάμεσα τους με αποτέλεσμα η πλημμύρα να περιορίζεται μέσα σε μια στενή λωρίδα. Τα τεχνικά έργα Σ1 & Σ2 που υπάρχουν στο τμήμα 1 σύμφωνα με το μοντέλο και με επιτόπια αυτοψία υπερχείλισαν.



Εικόνα 8.2-17: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 1.

Στο Τμήμα 2 και 3 (Εικόνα 8.2-18 & 8.2-19), για το ρέμα Σούρες τα αποτελέσματα του μοντέλου έρχονται σε αρκετά καλή συμφωνία με την πραγματικότητα. Η εξάπλωση της πλημμύρας αρχικά παρατηρείται στη μονάδα ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ και στη συνέχεια στο κτήριο Logistics της βιομηχανίας ΜΕΤΡΟ ΑΕΒΕ πλήττοντας τα γειτονικά τους κτήρια, πριν η ροή του κύματος περάσει στον οχετό που σχηματίζεται απότομη γωνία. Στο σημείο αυτό, η ροή διαχωρίζεται σε τρία μέρη: προς την κοίτη του ρέματος μέσω του οχετού, με την εκτροπή αυτού προς τα αριστερά στη μονάδα ΜΕΤΡΟ ΑΕΒΕ και προς τον άξονα της ΠΕΟΑΘ αφού πρώτα υπερπηδήσει τον οχετό. Επίσης, ένα μέρος της ροής που κινήθηκε στην ΠΕΟΑΘ επέστρεψε στην κοίτη του ρέματος και ένα άλλο μέρος οδηγήθηκε μέσω της οδού Λεωνίδα Στάμου στην περιοχή της Μαγούλας.



Εικόνα 8.2-18: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 2.



Εικόνα 8.2-19: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 3.

Στο τμήμα 4 (Εικόνα 8.2-20), από την είσοδο του μοντέλου και μετά υπάρχει αρκετά καλή συμφωνία με την πραγματικότητα για ρέμα Αγία Αικατερίνη, όπως και στο Τμήμα 5 (Εικόνα 8.2-21) που η πλημμύρα περνά βόρεια της κατοικημένης περιοχής της πόλης της Μάνδρας. Επίσης, στην οδό Κοροπούλη, όπου παρατηρούνται και τα μεγαλύτερα βάθη ροής μέχρι και την συμβολή των δυο ρεμάτων το μοντέλο προσομοίωσε αποτελεσματικά την πλημμυρική έκταση.



Εικόνα 8.2-20: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 4.



Εικόνα 8.2-21: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 5.

Στο Τμήμα 6 (Εικόνα 8.2-22), απεικονίζεται η συμβολή των δύο ρεμάτων, η οποία όπως έχει αναφερθεί είχε ως αποτέλεσμα τη διοχέτευση της πλημμύρας: προς το διευθετημένο τμήμα του Σούρες και προς τη ΒΙΠΕ της Μάνδρας. Τα αποτελέσματα του μοντέλου για την πλημμυρική έκταση βρίσκονται σε άριστη συμφωνία με την πραγματικότητα. Για τον τεχνητό αγωγό του ρέματος Σούρες παρατηρούμε ότι τα τεχνικά Σ11, Σ12 & Σ13 υπερχειλίζουν και τα πλεονάζοντα νερά οδεύουν προς την ΒΙΠΕ της Μάνδρας. Το τεχνικό Σ14 υπερχειλίζει και τα ύδατά του κινούνται προς δύο κατευθύνσεις ακολουθώντας τον δρόμο της Αττικής Οδού. Στη συνέχεια, η πλημμύρα περνάει κάτω από την γέφυρα της Αττικής που διασταυρώνεται με την ΠΕΟΑΘ και κινείται προς τους οικισμούς Παπακώστα & Εργατικές Κατοικίες βόρεια της Ελευσίνας. Για τους οικισμούς αυτούς υπάρχει αγωγού του Σούρες πριν την υπογειοποίησή του και την εκβολή του στον Σαρανταπόταμο. Τέλος, νοτιότερα των οικισμών αυτών φαίνεται πως το μοντέλο δεν αποδίδει επαρκώς εξαιτίας της ποιότητας του DEM για την συγκεκριμένη περιοχή, δείχνοντας την πλημμύρα να συνεχίζει νότια της Ελευσινάς.



Εικόνα 8.2-22: Σύγκριση υπολογισμένης & καταγεγραμμένης πλυμμηρικής έκτασης - Τμήμα 6.

Στην Εικόνα 8.2-23, αρχικά παρατηρείται ότι στην πόλη της Μάνδρα η πλημμύρα από το ρέμα Αγία Αικατερίνη έφτασε νωρίτερα (μεταξύ 07:00 και 07:30 π.μ.), ενώ από το ρέμα Σούρες έφτασε αργότερα (μετά τις 07:30 π.μ.). Στην βιομηχανική περιοχή της πόλης φαίνεται πως το κύμα της πλημμύρας φτάνει μεταξύ 07:25 και 07:30 π.μ., ενώ στην περιοχή της πόλης της Μαγούλας και στην Αττική Οδό και κατ' επέκταση στους οικισμούς Εργατικές Κατοικίες και Παπακώστα το κύμα φτάνει αργότερα μετά τις 08:00 π.μ.. Αξίζει να σημειωθεί πως οι τιμές του χρόνου άφιξης παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες τιμές με τις πραγματικές.



Εικόνα 8.2-23: Μέγιστος χρόνος άφιξης στην πλημμυρική έκταση.

9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3, γίνεται η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, αφού πρώτα εκτιμηθεί η τρωτότητα και στην συνέχεια η επικινδυνότητα της πλημμύρας.

9.1 Εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας

Στην Εικόνα 9.1-1 παρουσιάζεται ο Χάρτης Επικινδυνότητας που προέκυψε από τα μέγιστα βάθη ροής και τις μέγιστες ταχύτητες των ρεμάτων χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 3.2-1, όπως αναφέρεται και σε αντίστοιχες έρευνες (Mani P. et al, 2014;Vojtek M. & Vojteková J., 2016). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές και τα σημεία με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα (τιμή ίση με 1.0), ενώ αντίστοιχα με λευκό χρώμα αυτές με τη μικρότερη (τιμή ίση με 0.2).



Εικόνα 9.1-1: Χάρτης επικινδυνότητας της πλημμύρας (hazard map).

9.1.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών εκτίμησης επικινδυνότητας

Στην Εικόνα 9.1-1 φαίνεται πως οι μεγαλύτερες τιμές επικινδυνότητας, οι οποίες εξαρτώνται από τις μέγιστες τιμές βάθους και ταχύτητας ροής, αφορούν κυρίως το οδικό εθνικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πως από την είσοδο του μοντέλου για το ρέμα Σούρες μέχρι και την συμβολή των δύο ρεμάτων υπάρχει υψηλή επικινδυνότητα. Για το ρέμα Αγία Αικατερίνη κατά την είσοδο του μοντέλου η τιμή της επικινδυνότητας είναι ίση με 1,0, ενώ στην συνέχεια που το πλάτος της πλημμύρας ανοίχτηκε μέχρι να διοχετευθεί η πλημμύρα στην οδό Κοροπούλη εντοπίστηκαν τιμές επικινδυνότητας ίσες με 0,8. Κατά μήκος της οδού Κοροπούλη, που παρουσιάστηκαν μεγάλα βάθη και ταχύτητες ροής, υπήρξε μέγιστη επικινδυνότητα. Από την συμβολή των δύο ρεμάτων και ύστερα, το τμήμα της πλημμύρας που δεν συνέχισε κατά μήκος του ρέματος Σούρες και οδηγήθηκε στην Π.Ε.Ο.Α.Θ. είχε τιμή επικινδυνότητας ίση με 1,0 όπως και το τμήμα του οδικού δικτύου που η πλημμύρα πέρασε κάτω από την γέφυρα τη Αττικής Οδού και

έφτασε στις Εργατικές Κατοικίες. Τέλος, στο διευθετημένο τμήμα του ρέματος Σούρες μέχρι και την εκβολή του στον Σαρανταπόταμο καταγράφηκε και πάλι μέγιστη επικινδυνότητα.

9.2 Εκτίμηση τρωτότητας σε πλημμύρα

Στην Εικόνα 9.2-1 παρουσιάζεται ο Χάρτης Τρωτότητας για την ευρύτερη περιοχή μελέτης λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του Πίνακα 3.3-2 για κάθε δείκτη χρήσεων γης.



Εικόνα 9.2-1: Χάρτης τρωτότητας (vulnerability map).

9.2.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών τρωτότητας

Σύμφωνα με την Εικόνα 9.2-1, μεγαλύτερη τιμή τρωτότητας παρουσιάζεται για τις βιομηχανίες Seveso και IPPC & Seveso εντός της ΒΙΠΕ (με κόκκινο χρώμα, από 400 μέχρι 1400) καθώς και για την ευρύτερη περιοχή αυτών έχοντας περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε περίπτωση πλημμυρικού γεγονότος. Η περιβαλλοντική επίπτωση φαίνεται με τον κύκλο ακτίνας R=500 m για τις Seveso και R=200m για τις IPPC & Seveso (Masseroni et al., 2017; World Health Organization, 2018). Η επιλογή διαφορετικής ακτίνας για τις βιομηχανίες IPPC & Seveso λήφθηκε λόγω του ότι για τις IPPC προϋποτίθεται η τήρηση ορισμένων περιβαλλοντικών απαιτήσεων για την έκδοση άδειας, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να αναλαμβάνουν οι ίδιες την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης που ενδεχομένως https://eur-lex.europa.eu/legalθα προξενήσουν. (Ιστοσελίδα: content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM%3Al28045). Το οδικό επαρχιακό δίκτυο της περιοχής μελέτης παρουσιάζει μεγάλη τιμή τρωτότητας (550), όπως και αναμενόταν αφού ο κύριος όγκος νερού παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του γεγονότος στους δρόμους. Αξίζει να σημειωθεί πως η Αττική Οδός ξεχωρίζει από το σύνολο με πράσινο χρώμα (150) εξαιτίας του ότι είναι υπερυψωμένη σε σχέση με το υπόβαθρο και θεωρείται ανεξάρτητη παίρνοντας τιμές οδικού εθνικού δικτύου. Επίσης, με πορτοκαλί χρώμα (200-400) φαίνονται οι οικισμοί Μάνδρα, Νέα Ζωή, Μαγούλα και Ελευσίνα, οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη τιμή τρωτότητας εξαιτίας των επιπτώσεων που μπορεί να προκληθούν από την πλημμύρα στον πληθυσμό αλλά και στην οικονομία. Τέλος, ορισμένες βιομηχανίες που

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

βρίσκονται εκτός της ΒΙΠΕ απεικονίζονται στο χάρτη με κίτρινο χρώμα και τιμή τρωτότητας από 125 μέχρι 200, ενώ με πράσινο χρώμα οι καλλιέργειες που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης έχοντας τιμή ίση με 100 (Μόνιμες: Ελαιώνες & Σύνθετες Καλλιέργειες: Ετερογενείς Γεωργικές Περιοχές).

Αναλυτικότερα, στον Πίνακα 9.2-1 γίνεται αναφορά των κατηγοριών των χρήσεων γης που παρουσίασαν τις μεγαλύτερες τιμές τρωτότητας, οι οποίες θα παρουσιάσουν και το μεγαλύτερο κίνδυνο στην περίπτωση πλημμύρας.

Κατηγορία χρήσεων γης	Τιμή τρωτότητας	
Seveso, IPPC & Seveso	1400	
Μετασχηματιστές ΔΕΗ	950	
Αρχαιολογικό μουσείο Ελευσίνας	750	
Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙΠΕ)	700	
Λοιπές βιομηχανίες εντός ΒΙΠΕ	600	
Τμήμα των ΕΛ.ΠΕ. εντός ΒΙΠΕ	600	
Πυροσβεστικό Σώμα & Αστυνομικό Τμήμα	600	
Οδικό επαρχιακό δίκτυο περιοχής μελέτης	550	
Βιομηχανίες ΙΡΡC εντός ΒΙΠΕ	500	
13 Σχολεία, 10 Εκκλησίες & ΚΑΠΗ	500	
Γήπεδα Μάνδρας & Ελευσίνας	500	

Πίνακας 9.2-1: Καταγραφή μέγιστων τιμών τρωτότητας των χρήσεων γης.

9.3 Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου

Στην Εικόνα 9.3-1 παρουσιάζεται η τελική εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου (flood risk), που προέκυψε από την επικινδυνότητα και την τρωτότητα της πλημμύρας (hazard x vulnerability).



Εικόνα 9.3-1: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου (flood risk map).

9.3.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων υπολογισμών πλημμυρικού κινδύνου

Από τους χάρτες επικινδυνότητας και τρωτότητας προκύπτει την Εικόνα 9.3-1, στο οποίο φαίνεται ότι κατά την είσοδο της πλημμύρας βόρεια στην πόλη της Μάνδρας και κατά μήκος της οδού Κοροπούλη, που οδηγήθηκε το νερό από το ρέμα Αγία Αικατερίνη μέχρι το σημείο της συμβολή των δύο ρεμάτων, παρουσιάστηκε υψηλός κίνδυνος με τιμές από 400 μέχρι και 1400. Ίδιες τιμές πλημμυρικού κινδύνου παρατηρήθηκαν και για την βιομηχανική περιοχή της Μάνδρας στο σημείο της εκτατικής επίπτωσης από τις δύο βιομηχανίες Seveso (ECOLAB και LINDE) που υπάρχουν εκατέρωθεν της ΠΕΟΑΘ. Τέλος, ανάντη και κατάντη της γέφυρας στην Αττική Οδό που συγκεντρώθηκε μεγάλος όγκος νερού καθώς και κατάντη του διευθετημένου τμήματος του ρέματος Σούρες μέχρι και την εκβολή του στον Σαρανταπόταμο υπάρχει αυξημένος κίνδυνος, παρουσιάζοντας τιμές από 400 μέχρι και 1400 (με κόκκινη χρωματική απεικόνιση).

9.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων υπολογισμένου πλημμυρικού κινδύνου με αυτά των Σχεδίων Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου για την περίπτωση της Μάνδρας

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας που προτείνεται από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΝ στα Σχέδια Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας, τρωτότητας και πλημμυρικού κινδύνου που απεικονίζονται στην Εικόνα 9.4-1, 9.4-2 & 9.4-3, τα οποία συγκρίνονται με τους αντίστοιχους χάρτες που υπολογίστηκαν στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή της μεθοδολογίας των Σχεδίων Διαχείρισης πραγματοποιείται για όλο το υδατικό διαμέρισμα της Αττικής (EL06) με υπόβαθρο ανάλυσης 500m x 500m και κλίμακα 1:175000, ενώ στην παρούσα εργασία οι χάρτες πλημμυρικού κινδύνου δημιουργήθηκαν για την περίπτωση της πλημμύρας της Μάνδρας, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν shape files τα οποία μεταφράζονται περίπου σε 6,30m x 6,60m. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως από τα Σχέδια Διαχείρισης επιλέχθηκαν οι χάρτες για περίοδο επαναφοράς T=1000 έτη, διότι οι χάρτες επικινδυνότητας και τρωτότητας για T=50 έτη και T=100 έτη δεν παρουσίαζαν πλημμυρική κατάκλυση.

Για το χάρτη επικινδυνότητας (Εικόνα 9.4-1) που εξαρτάται από το μέγιστο βάθος και ταχύτητα ροής παρατηρήθηκε πως στη Μάνδρα σχετικά υψηλές τιμές επικινδυνότητας εντοπίστηκαν στο οδικό επαρχιακό δίκτυο της πόλης αλλά και στον άξονα της ΠΕΟΑΘ, ο οποίος οδήγησε την πλημμύρα στους οικισμούς Παπακώστα & Εργατικές Κατοικίες βόρεια της Ελευσίνας. Επίσης πολύ υψηλή επικινδυνότητα παρατηρήθηκε στο κατάντη τμήμα του διευθετημένου του Σούρες που εκβάλλει στον Σαρανταπόταμο. Τα αποτελέσματα των Σχεδίων Διαχείρισης παρουσίασαν αρκετά καλή συμφωνία με αυτά που υπολογίστηκαν από το μοντέλο.



Εικόνα 9.4-1: Σύγκριση αποτελέσματος υπολογισμένης επικινδυνότητας με την αντίστοιχη των Σχεδίων Διαχείρισης.

Στην Εικόνα 9.4-2 ο χάρτης τρωτότητας διαφέρει αρκετά ως προ το σύνολο των κατηγοριών χρήσεων γης που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης και αυτό συμβαίνει γιατί εμφανίζονται μόνο οι κατηγορίες αυτών που παρουσίασαν πολύ υψηλή πιθανή επίπτωση από την πλημμύρα. Ωστόσο, παρατηρήθηκε πως οι περιοχές με πολύ υψηλή τρωτότητα ταυτίζονται με αυτές του μοντέλου. Πρόκειται για το οδικό δίκτυο της πόλης της Μάνδρας (κυρίως για την οδό Κοροπούλη) όπου οδήγησε τη πλημμύρα στην συμβολή των δύο ρεμάτων, για τη βιομηχανική περιοχής της Μάνδρας, για τον οικισμό της Ελευσίνας (τόσο για τις επιπτώσεις στον πληθυσμό όσο και για εκείνες στην οικονομία), αλλά και για το τελευταίο ανοιχτό τμήμα του τεχνητού αγωγού του Σούρες πριν την

υπογειοποίησή του και την εκβολή του στον Σαρανταπόταμο. Αξίζει να σημειωθεί πως στο χάρτη τρωτότητας της παρούσας εργασίας η κλιμάκωση τρωτότητας γίνεται ως εξής: από πολύ χαμηλή (τιμές <50) μέχρι πολύ υψηλή (τιμές >400), όπως αναφέρεται και στον Πίνακα 3.3-3.



Εικόνα 9.4-2: Σύγκριση αποτελέσματος υπολογισμένης τρωτότητας με την αντίστοιχη των Σχεδίων Διαχείρισης.

Σύμφωνα με την Εικόνα 9.4-3, ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου για την ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας έχει ικανοποιητική συμφωνία με αυτόν που προέκυψε από τους υπολογισμούς του μοντέλου. Αρχικά, παρατηρείται πως στην περιοχή της Μάνδρας ο κίνδυνος κατηγοριοποιείται από μέτριος μέχρι και πολύ υψηλός (στην οδό Κοροπούλη). Επίσης, φαίνεται πως μετά την συμβολή των

ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη προκύπτει υψηλός πλημμυρικός κίνδυνος, ενώ πολύ υψηλές τιμές αποδίδει το σημείο της βιομηχανικής περιοχής από τις εκτατικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από τις 2 βιομηχανίες Seveso (εκατέρωθεν της ΠΕΟΑΘ, ECOLAB και LINDE). Σημαντικές τιμές κινδύνου παρουσιάζονται και στους δύο χάρτες για την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Ελευσίνας. Τέλος, όπως και στο χάρτη τρωτότητας των Σχεδίων Διαχείρισης έτσι και στο χάρτη πλημμυρικού κινδύνου του μοντέλου παρατηρείται πως η κατηγοριοποίηση του κινδύνου είναι από υψηλή μέχρι πολύ υψηλή στο τελευταίο ανοιχτό τμήμα του τεχνητού αγωγού του Σούρες πριν την υπογειοποίησή του και την εκβολή του στον Σαρανταπόταμο, βορειοδυτικά της Ελευσίνας.



Εικόνα 9.4-3: Σύγκριση αποτελέσματος υπολογισμένου πλημμυρικού κινδύνου με τον αντίστοιχο των Σχεδίων Διαχείρισης.

10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

10.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για την περίπτωση της πλημμύρας στη Μάνδρα το Νοέμβριο του 2017 με υδροδυναμικούς υπολογισμούς υψηλής ακρίβειας του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D. Από τα αποτελέσματα της μελέτης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η κατοικημένη περιοχή της Μάνδρας πλημμύρισε από το ρέμα Αγία Αικατερίνη κυρίως μέσω της οδού Κοροπούλη, όπου και παρατηρήθηκαν τα μεγαλύτερα βάθη καθώς και οι μεγαλύτερες ταχύτητες ροής.
- 2. Για το ρέμα Σούρες τα μέγιστα βάθη και ταχύτητες ροής κυμάνθηκαν από 1,59 m μέχρι 6,16 m και από 0,77 m/s μέχρι 12,00 m/s αντίστοιχα, ενώ για το ρέμα Αγία Αικατερίνη από 2,18 m μέχρι 3,43 m και από 2,08 m/s μέχρι 11,00 m/s, αντίστοιχα.
- **3.** Τα τεχνικά έργα κατά μήκος των ρεμάτων φάνηκε πως δεν λειτούργησαν επαρκώς για την αποτροπή του πλημμυρικού γεγονότος.
- 4. Οι τιμές του χρόνου άφιξης που υπολογίστηκαν παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες τιμές με τις πραγματικές, ενώ το κύμα της πλημμύρας αρχικά έφτασε στην πόλη της Μάνδρας σε διάφορες τοποθεσίες μεταξύ 07:00 π.μ. και 07:30 π.μ. και στην βιομηχανική περιοχή της πόλης μετά τις 08:00 π.μ..
- **5.** Τα μέγιστα βάθη ροής προσομοίωσης προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα καταγεγραμμένα μέγιστα βάθη σε συγκεκριμένες θέσεις.
- 6. Η υπολογισμένη πλημμυρική έκταση παρουσίασε μικρές διαφορές σε σχέση με την παρατηρούμενη, επομένως το μοντέλο είναι ικανό να χρησιμοποιηθεί ως τμήμα Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης (EWS).
- 7. Από την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου (Flood Risk) μέγιστες τιμές παρουσίασαν κυρίως το οδικό δίκτυο (επαρχιακό και εθνικό) της περιοχής μελέτης καθώς και οι ευρύτερες περιοχές επίδρασης των βιομηχανιών Seveso & IPPC.

10.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από τα παραπάνω συμπεράσματα για μελλοντική έρευνα προκύπτουν οι εξής προτάσεις:

- Η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για την περίπτωση της Μάνδρας με την ύπαρξη των νέων τεχνικών έργων εκτροπής και διευθέτησης των ρεμάτων.
- 2. Η διερεύνηση του τρόπου λειτουργίας των οχετών με αναλυτικότερη έμφαση καθώς και η αξιολόγηση της λειτουργίας και επίδρασης αυτών στη διόδευση της πλημμύρας και στον πλημμυρικό κίνδυνο ευρύτερα.
- 3. Η προσομοίωση της πλημμύρας έχοντας υπόψη το φαινόμενο της στερεοπαροχής, που ήταν έντονο για την περίπτωση της Μάνδρας, όπως και ο συνδυασμός προσομοίωσης μεταφοράς των φερτών με την αξιολόγηση της τρωτότητας σε μεταφερόμενα ιζήματα και διάβρωσης εδαφών.

11 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

11.1 Διεθνής Βιβλιογραφία

- 1. Andreadakis, E., Diakakis, M., Nikolopoulos, E. I., Spyrou, N. I., Gogou, M. E., Katsetsiadou, N. K., ... & Kalogiros, J. (2018). Characteristics and impacts of the November 2017 catastrophic flash flood in Mandra, Greece. European Geosciences Union General Assembly, 8-13.
- 2. Betsholtz, A., & Nordlöf, B. (2017). Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS. TVVR17/5003.
- 3. Brunner, G. W. (2016). Combined 1D and 2D Modelling with HEC-RAS v. 5. US Army Corps of Engineers.
- 4. Commission of the European Communities. (2009). Communication from the commission to the council, the European parliament, the European economic and social committee, and the committee of the regions: a mid-term assessment of implementing the EC biodiversity action plan. Journal of International Wildlife Law & Policy, 12(1-2), 108-120.
- 5. Chow, V. T. (n.d.). Open channel hydraulics. Retrieved October 18, 2021, from https://scis.edu.ink/WftuxhQe_open-channel-hydraulics-chow_kM.pdf.
- 6. Dankers, R., & Feyen, L. (2008). Climate change impact on flood hazard in Europe: An assessment based on high-resolution climate simulations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D19).
- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E. I., Spyrou, N. I., Gogou, M. E., Deligiannakis, G., ... & Lekkas, E. (2019). An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. International Journal of Disaster Risk Reduction, 33, 290-309.
- 8. European Environmental Agency. (2011). EEA Annual Report 2010 and environmental statement 2011. Retrieved October 6, 2021, from https://www.eea.europa.eu/publications/annual-report-2011/download.
- 9. Genovese, E. (2006). A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study.
- 10. Georgakakos, K. P. (1986). On the design of national, real-time warning systems with capability for site-specific, flash-flood forecasts. Bulletin of the American Meteorological Society, 67(10), 1233-1239.
- 11. HEC-RAS 2D User's Manual. (n.d.). Creating land cover, Manning's N values, and % impervious layers. Retrieved October 18, 2021, from https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/latest/developing-a-terrain-model-and-geospatial-layers/creating-land-cover-mannings-n-values-and-impervious-layers.
- 12. Karamoustou, P., & Stamou, A. (2019). EARLY WARNING SYSTEMS FOR FLASH FLOODS AND THE LOCAL COMMUNITY– THE CASE STUDY OF MANDRA IN ATTICA. Retrieved October 8, 2021, from

https://www.researchgate.net/publication/346548406_EARLY_WARNING_SYSTEMS_FOR_FLASH _FLOODS_AND_THE_LOCAL_COMMUNITY-_THE_CASE_STUDY_OF_MANDRA_IN_ATTICA.

- 13. Manual H-R (2016) HEC-RAS river analysis system. Hydraulic reference manual, Version 5.0. US Army Corps of Engineers, Institute of Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA
- 14. Mani, P., Chatterjee, C., & Kumar, R. (2014). Flood hazard assessment with multiparameter approach derived from coupled 1D and 2D hydrodynamic flow model. Natural Hazards, 70(2), 1553-1574.
- 15. Masseroni, D., Cislaghi, A., Camici, S., Massari, C., & Brocca, L. (2017). A reliable rainfall–runoff model for flood forecasting: review and application to a semi-urbanized watershed at high flood risk in Italy. Hydrology Research, 48(3), 726-740.
- 16. Mavrogeorgos, K. (2019). Διερεύνηση της επίδρασης του πλημμυρογραφήματος εισροής στην υδραυλική συμπεριφορά πλημμυρών με το μοντέλο Telemac Η περίπτωση της Μάνδρας

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΤΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2017.

Aττικής. Αρχική Σελίδα. Retrieved October 22, 2021, from https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/50156.

- 17. Patel, D. P., Ramirez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M., & Han, D. (2017). Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: a case application of the new HEC-RAS 5. Natural Hazards, 89(1), 93-130.
- 18. Stamou, A. I. (2018). The Disastrous Flash Flood of Mandra in Attica-Greece and now What? https://juniperpublishers.com/cerj/pdf/CERJ.MS.ID.555677.pdf.
- 19. Tsokanis, K., Mitsopoulos, G., Bloutsos, A., & Stamou, A. I. (2021, April). Modelling the disastrous Flash Flood of November 2017 in Mandra (Attica, Greece). In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-15041).
- 20. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2016a). HEC-RAS River Analysis System: User's
- 21. Manual, Version 6.0, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Davis, CA.
- 22. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2016b). HEC-RAS River Analysis System: 2D Modeling User's Manual, Version 6.0, Hydrologic Engineering Center, CPD-68A, Davis, CA.
- 23. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2016c). HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 6.0, Hydrologic Engineering Center, CPD-69, Davis, CA.
- 24. Vojtek, M., & Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(6), 1973-1992.
- 25. World Health Organization. (2018). Chemical releases caused by natural hazard events and disasters: Information for public health authorities.

11.2 Ελληνική βιβλιογραφία

- 1.
 Αποστολίδης, Η., Βασιλόπουλος, Γ., Τσατήρης, Β., & Περλέρος, Β. (2017). Δελτίο Τύπου Έκθεση
 για
 την
 πλημμύρα
 της
 15
 Νοεμβρίου
 2017
 .

 https://www.geotee.gr/lnkFiles/20171222064946_5.pdf.
 5.pdf.
 15
 15
 16
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17
 17<
- ΒΙΒΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ 2 ΝΕΚΡΟΙ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ ΑΠΟ ΙΣΧΥΡΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ (27/1/1996). 27/1/1996--->ΒΙΒΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ 2 ΝΕΚΡΟΙ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ ΑΠΟ ΙΣΧΥΡΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ. (n.d.). Retrieved October 1, 2021, from http://dytikhattiki.blogspot.com/2014/01/2711996-2.html.
- 3. ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΜΥ ΔΕΥΤΕΡΟ ΔΕΚΑΗΜΕΡΟ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017, ΚΑΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΟΠΟΥΣ ΕΝΤΟΝΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ. (2017). http://www.hnms.gr/emy/el/pdf/flood_november.pdf.
- 4. ΕΤΜΕ: ΠΕΠΠΑΣ και ΣΥΝ/ΤΕΣ Ε.Ε, ΚΑΪΜΑΚΗ Σ., ΚΟΝΤΟΣ Ε., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Γ., ΜΑΣΤΑΘΗΣ Η.
 (2012). Μελέτη «Εκτροπής χειμάρρου Αγίας Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες του Θριασίου Πεδίου» (Διεύθυνση Υδραυλικών Έργων Περιφέρειας Αττικής, Δ10).
- Καλόγηρος, Δ. Ι., Ρετάλης, Δ. Α., Κατσανός, Δ. Δ., Αναγνώστου, Δ. Μ., & Νικολόπουλος, Δ. Ε. (n.d.). ΔΕΛΤΟ ΤΥΠΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ 20-11-2017. https://www.noa.gr/images/news/DT_2_final.pdf.
- Καντερές. (2019, May). Η τραγωδία στην Μάνδρα θα είχε αποτραπεί αν λειτουργούσε το ραντάρ της Αίγινας. Hellenic Weather. Hellenic Weather. Retrieved November 4, 2021, from https://hellenicweather.com/h-tragodia-sti-mandra-tha-eixe-apotrapei-an-leitoyrgouse-toradar-tis-aiginas/.
- 7.CCN Greece. (2015, February 27). Πλημμύρες στη Μάνδρα Αττικής Κινδύνεψαν άνθρωποι.
Newsbomb.Newsbomb.RetrievedOctober1,2021,fromhttps://www.newsbomb.gr/ellada/story/561243/plimmyres-sti-mandra-attikis.
- CCN Greece. (2017, November 21). Μάνδρα: Ξεπέρασε τα 200 χιλιοστά σε έξι ώρες η βροχόπτωση στο όρος Πατέρας. CNN.gr. https://www.cnn.gr/ellada/story/106553/mandraxeperase-ta-200-xiliosta-se-exi-ores-i-vroxoptosi-sto-oros-pateras.
- 9. ΚΗΡΥΓΜΕΝΑ ΝΕΩΤΕΡΑ Μνημεια Της Ελλαδος Μεχρι ΤΟΥ 2001[υπουργείο Πολιτισμού διεύθυνση Αρχείου μνημείων & amp; ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΆΤΩΝ]. Academia.edu. (n.d.). Retrieved September 14, 2021.

- Κοψιδά, Α. (2019). ΑΣΤΙΚΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ & amp; ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ: ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ. Αρχική Σελίδα. Retrieved October 1, 2021, from https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/49425?show=full.
- 11. Λέκκας, Ε., Βούλγαρης, Ν., & Λόζιος, Σ. (2017). Πλημμύρες στη Δυτική Αττική (Μάνδρα, Νέα Πέραμος) 15 Νοεμβρίου 2017. https://www.geotee.gr/lnkFiles/20171128013943_4.pdf.
- 12. Λέκκας, Ε., Λόζιος, Σ., Διακάκης, Μ., Κώτση, Ε., Γκούτης, Δ., Νάστος, Π., Δελακουρίδης, Ι., & Γράμπα, Α. (2018). ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΔΗΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΔΗΜΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (ΠΕΔΑ). Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΩΣ ΟΔΗΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΩΣΗ ΔΗΜΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ & ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ. https://www.pedattikis.gr/wrdp/wp-content/uploads/2018/10/1analysi-compressed.pdf.
- 13. Μαμάσης Ν. (2012), Πλημμύρες Εκτίμηση πλημμυρικών αιχμών, Διδακτικές Σημειώσεις,
- 14. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μιχαηλίδη, Ε.- Μ. (2013). Διερεύνηση προσομοίωσης πλημμύρας για το σχεδιασμό σε λεκάνες χειμαρρικής δίαιτας - Εφαρμογή στη λεκάνη του σαρανταπόταμου. ITIA. Retrieved October 1, 2021, from <u>https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1418/</u>.
- Μπαλτάς, Ε., & Φελώνη, Ε. (n.d.). Οδηγία για την Αξιολόγηση και τη διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας 2007/60/ΕΚ . Retrieved October 12, 2021, from <u>http://mycourses.ntua.gr/document/goto/?url=%2F%CF%E4%E7%E3%DF%E1_2007_60.pdf&am</u> <u>p;cidReq=PSTGR1011</u>.
- ΥΠΕΚΑ. (2018). Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Αρχική Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Retrieved October 22, 2021, from https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=11&It emid=504.

11.3 Διαδικτυακοί ιστότοποι

Google Maps Πυκνότητα πληθυσμού Καλλικρατικών Δήμων (Απογραφή 2011, ΕΛΣΤΑΤ) Αποτελέσματα της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 (δημότες) Στατιστικά Σύνδεσης ΑΠΕ, ΑΔΜΗΕ

Κάλυψη γης - Corine Land Cover 2018, YΠΕΝ

Οδηγία ΙΡΡC

ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (GR06), ΥΠΕΚΑ Βιομηχανίες Seveso, ΥΠΕΝ

Greece ArcGIS Shapefile Map Layers, MapCruzin.com Σιδηροδρομικό δίκτυο Ελλάδας, GEODATA.gov.gr Μάνδρα λήψεις Drone - Η στιγμή της Καταστροφής 15/11/2017 <u>https://www.google.com/maps</u> <u>http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:kalp</u> <u>opdensity</u> <u>https://www.kallikratis.org/apotelesmata-tis-</u> <u>apografis-plithismou-katikion-2011-dimotes/</u> <u>https://www.admie.gr/systima/syndesi/statistik</u> <u>a-syndesis-ape</u> <u>http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:gr_cl</u> <u>c2018#</u> <u>https://eur-lex.europa.eu/legal-</u> <u>content/EL/TXT/?uri=LEGISSUM%3Al28045</u> <u>https://floods.ypeka.gr/egyFloods/gr06/gr06_m</u> <u>aps_jpg_p01/GR06_P01_S7B_landuse.jpg</u> <u>http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:seve</u> <u>so_egsa87</u>

<u>https://mapcruzin.com/free-greece-arcgis-</u> <u>maps-shapefiles.htm</u> <u>https://geodata.gov.gr/dataset/siderodromiko-</u> <u>diktuo-elladas</u> https://www.youtube.com/watch?v=q_n0fPa_2

Jg