

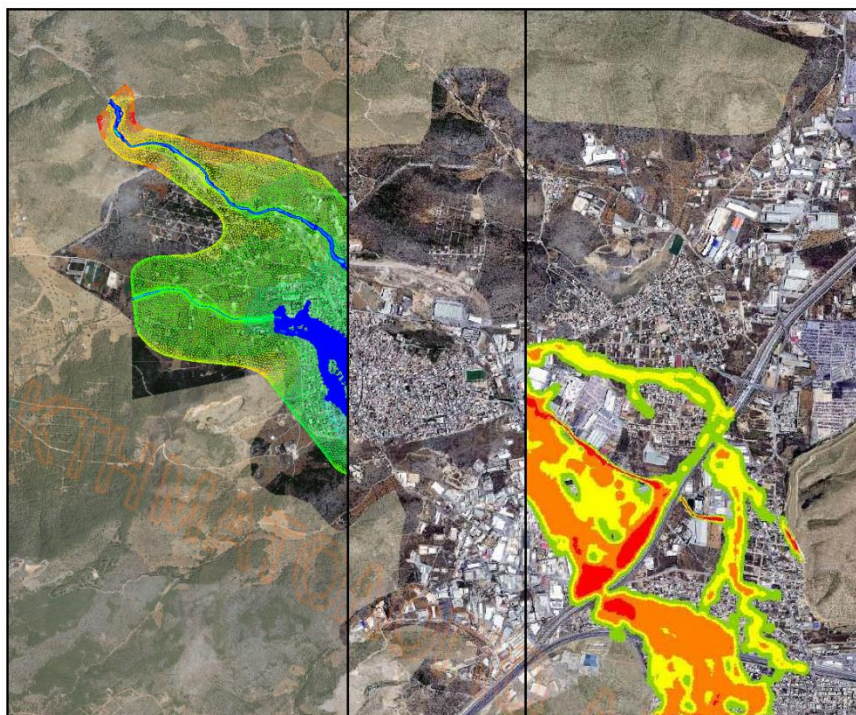


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία



ΙΩΑΝΝΑ Γ. ΖΕΡΒΑ
Διπλωμ. Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ
Καθηγητής ΕΜΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Νοέμβριος 2019

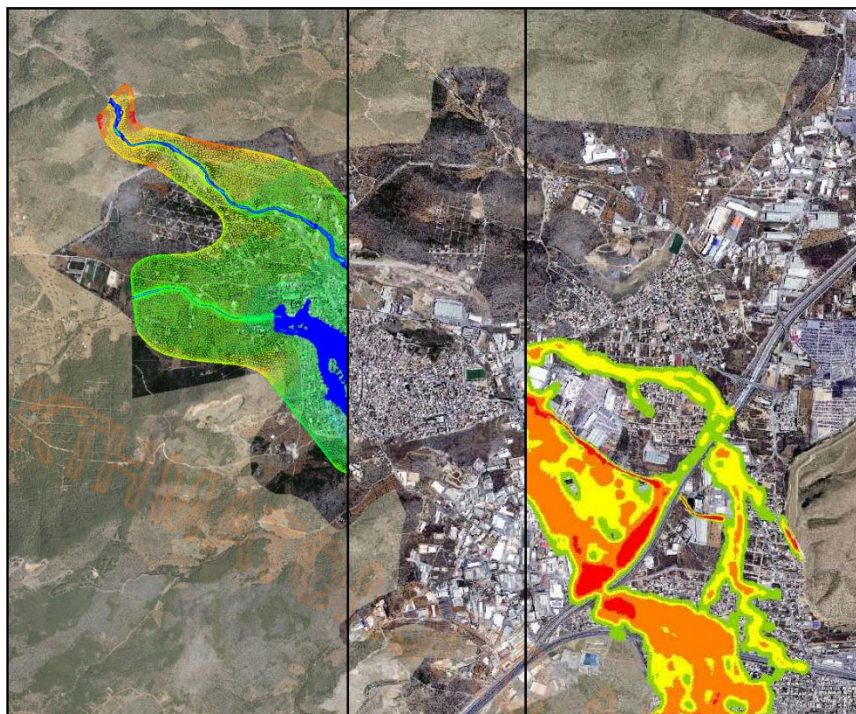


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία



ΙΩΑΝΝΑ Γ. ΖΕΡΒΑ
Διπλωμ. Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ,
Καθηγητής ΕΜΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Νοέμβριος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΙΩΑΝΝΑ Γ. ΖΕΡΒΑ
Διπλωμ. Πολιτικός Μηχανικός

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/ 11 / 2019

Αναστάσιος Στάμου, Καθηγητής ΕΜΠ

Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Αικατερίνη Νάνου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΕΜΠ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Νοέμβριος 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για αρχή φυσικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα, Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Υδραυλικής, κ. Αναστάσιο Στάμου, χάρη στον οποίο μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ με τόσο ενδιαφέροντα και επίκαιρα ζητήματα, όπως αποτελεί η πλημμύρα που έπληξε την πόλη της Μάνδρας. Ακόμα περισσότερο που με εισήγαγε στον περίφημο κόσμο της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής.

Επίσης, ευχαριστώ όλα τα άτομα που με βοήθησαν σε αυτή την εργασία. Συγκεκριμένα από το Εργαστήριο τους υποψήφιους διδάκτορες Γιώργο Μητσόπουλο, Γεωργία Παπαδονικολάκη και Γιώργο Τζάνε, και την προθυμία και την οποιαδήποτε βοήθεια που μου προσέφεραν. Ευχαριστώ τους διπλωματούχους Γιώργο Μαρκόπουλο και Κωνσταντίνο Μαυρογεώργο για τις συμβουλές και τα απαραίτητα στοιχεία που μου έδωσαν, αφού η εργασία αυτή αποτελεί συνέχεια των δικών τους.

Φυσικά δε θα μπορούσα να μην αναφέρω τον φίλο και υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Λιμενικών Αντρέα Παπαδημητρίου και την υποψήφια διδάκτορα του Εργαστηρίου Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Αιμιλία Θεοχάρη για τη πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη.

Ευχαριστώ το Μελετητικό Γραφείο Ε.Τ.ΜΕ. ΠΕΠΠΑΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Ε. για τη διάθεση όλων των απαραίτητων στοιχείων και σχεδίων των αντιπλημμυρικών έργων της Μάνδρας.

Τέλος, νιώθω ευγνώμων για τους ανθρώπους που έχω δίπλα μου και με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα, φίλους και οικογένεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
EXTENDED ABSTRACT	xxi
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 1
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ..... 1
1.2	ΔΙΑΦΘΩΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ..... 1
1.3	ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ..... 2
1.4	ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ..... 4
1.5	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ..... 4
2	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ..... 7
2.1	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ TELEMAC-2D..... 7
2.1.1	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ.....8
2.1.2	ΑΡΧΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....9
2.1.3	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ..... 10
2.2	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΧΕΤΩΝ ΣΤΟ TELEMAC-2D.....13
2.2.1	ΓΕΝΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ..... 13
2.2.2	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΡΟΗΣ..... 13
2.2.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... 19
2.2.4	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ TELEMAC..... 20
2.2.5	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ..... 21
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....25
3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....25
3.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....26
3.2.1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΑ..... 26
3.2.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ..... 28
3.2.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ..... 29
3.2.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ..... 29
4	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....31
4.1	ΓΕΝΙΚΑ.....31
4.1.1	Η ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ..... 31
4.1.2	Η ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ..... 33
4.2	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....35
4.2.1	Ο ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΤΑΜΟΣ..... 35
4.2.2	Ο ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΣΟΥΡΕΣ..... 37
4.2.3	Ο ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ..... 39

4.3	ΤΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΓΕΓΟΝΟΣ ΤΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017	40
4.3.1	ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	40
4.3.2	ΧΩΡΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ – ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΙ ΛΗΨΕΙΣ ΑΠΟ ΜΕΑ	42
5	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ	45
5.1	ΓΕΝΙΚΑ - ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	45
5.2	ΕΡΓΟ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ	46
5.2.1	ΑΞΟΝΑΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΙΤΗΣ.....	46
5.2.2	ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ.....	47
5.2.3	ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΟΧΕΤΟΙ	47
5.2.4	ΤΜΗΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ	49
5.3	ΕΡΓΟ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ	51
5.3.1	ΑΞΟΝΑΣ ΑΓΩΓΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ.....	51
5.3.2	ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ.....	51
5.3.3	ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ Χ. ΑΓΙΑΣ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ.....	52
5.3.4	ΕΡΓΟ ΚΕΦΑΛΗΣ – ΜΕΡΙΣΜΟΥ	53
5.4	ΕΡΓΟ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ	54
5.4.1	ΑΞΟΝΑΣ ΚΟΙΤΗΣ.....	54
5.4.2	ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ	54
5.4.3	ΤΜΗΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ Χ. ΑΓΙΑΣ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ.....	55
5.5	ΑΓΩΓΟΣ ΚΟΡΟΠΟΥΛΗ	56
5.5.1	ΑΞΟΝΑΣ ΑΓΩΓΟΥ	56
6	ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	57
6.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	57
6.1.1	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	57
6.1.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	59
6.1.3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	60
6.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΧΕΤΩΝ	63
6.3	ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	64
6.3.1	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ	65
6.4	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	67
6.5	ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	72
7	ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	73
7.1	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ	73
7.1.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	73
7.2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	81
7.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	82
7.3.1	ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	82
7.3.2	ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ	82
7.4	ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΑΡΧΕΙΑ	83
7.4.1	ΑΡΧΕΙΟ ΡΕΥΣΤΩΝ ΟΡΙΩΝ.....	83
7.4.2	ΑΡΧΕΙΟ ΟΧΕΤΩΝ.....	83
8	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	85
8.1	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	85
8.1.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.....	85
8.1.2	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	100

8.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ	105
8.2.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ.....	105
8.2.2	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ.....	105
8.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	106
8.3.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	106
8.3.2	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	110
8.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	111
8.4.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	111
8.4.2	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ	115
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	117
9.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
9.1.1	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	117
9.1.2	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ	118
9.1.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ TELEMAC-2D	118
9.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	119
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	125

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1:Κριτήρια κατηγοριοποίησης της ροής διαμέσου οχετού	14
Πίνακας 3.1:Κλάσεις τρωτότητας	26
Πίνακας 3.2:Κατηγορίες αποτίμησης μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας, χρήσεις και κλάσεις τρωτότητας	27
Πίνακας 3.3:Κατηγορίες σοβαρότητας τρωτότητας.....	28
Πίνακας 3.4:Κριτήριο κατάταξης της επικινδυνότητας.....	28
Πίνακας 3.5:Κλάσεις επικινδυνότητας	28
Πίνακας 3.6:Τιμή επικινδυνότητας σύμφωνα με το βάθος και την ταχύτητα ροής	29
Πίνακας 3.7:Κατηγορίες σοβαρότητας πλημμυρικού κινδύνου	29
Πίνακας 5.1:Παροχές σχεδιασμού των έργων	46
Πίνακας 5.2:Τυπικές διατομές της διευθέτησης του χ. Σούρες	47
Πίνακας 5.3:Στοιχεία τεχνικών έργων της διευθέτησης του χ. Σούρες.....	47
Πίνακας 5.4:Επιμέρους τμήματα διευθέτησης χ. Σούρες	50
Πίνακας 5.5:Επιμέρους τμήματα έργου εκτροπής χ. Αγίας Αικατερίνης.....	52
Πίνακας 5.6:Επιμέρους τμήματα διευθέτησης χ. Αγίας Αικατερίνης	55
Πίνακας 6.1:Χαρακτηριστικά οχετών	63
Πίνακας 6.2:Κάλυψη γης εντός της περιοχής μελέτης.....	64
Πίνακας 6.3:Επιλεγμένη τιμή συντελεστή τραχύτητας Manning ανάλογα με χρήσεις γης.....	66
Πίνακας 6.4:Τιμή συντελεστή τραχύτητας Manning για τους χειμάρρους	66
Πίνακας 6.5:Χρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και πηγή συλλογής δεδομένων	67
Πίνακας 6.6:Τιμή μέγιστης δυνητικής επίπτωσης ανάλογα με τη χρήση	69
Πίνακας 7.1:Χαρακτηριστικά των δομημένων πλεγμάτων	75
Πίνακας 7.2:Χαρακτηριστικά υπολογιστικού πλέγματος.....	76
Πίνακας 7.3:Σενάρια προσομοίωσης	81
Πίνακας 7.4:Τιμές των παραμέτρων του αρχείου των οχετών	84
Πίνακας 8.1:Αρίθμηση σχημάτων	85
Πίνακας 8.2:Στοιχεία διατομών.....	86

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1:	Χαρακτηριστικά της ροής διαμέσου ενός οχετού.....	14
Σχήμα 2.2:	Τύπος ροής 1	15
Σχήμα 2.3:	Τύπος ροής 2	16
Σχήμα 2.4:	Τύπος ροής 3	16
Σχήμα 2.5:	Τύπος ροής 4	17
Σχήμα 2.6:	Τύπος ροής 5	17
Σχήμα 2.7:	Τύπος ροής 6	18
Σχήμα 2.8:	Κριτήριο διαφοροποίησης των τύπων ροής 5 και 6	18
Σχήμα 2.9:	Συντελεστής απωλειών για απότομη συστολή ως συνάρτηση του λόγου της διαμέτρου μετά τη συστολή (D1) και πριν (Du).....	19
Σχήμα 2.10:	Χαρακτηριστικά για τη ροή μέσα από οχετό για το μοντέλο TELEMAC	21
Σχήμα 2.11:	Διάγραμμα ροής για την επιλογή του τύπου ροή.....	23
Σχήμα 4.1:	Το Θριάσιο Πεδίο και η Μάνδρα	32
Σχήμα 4.2:	Το Θριάσιο Πεδίο και η Μάνδρα ως προς την Αθήνα, την Πελοπόννησο και τη Δυτική Ελλάδα.....	32
Σχήμα 4.3:	Η οικιστική και η βιομηχανική ζώνη της περιοχής της Μάνδρας.....	34
Σχήμα 4.4:	Η λεκάνη του Σαρανταπόταμου	35
Σχήμα 4.5:	Ο Σαρανταπόταμος και η Μάνδρα.....	36
Σχήμα 4.6:	Η Μάνδρα χωροθετημένη στην απόληξη των φυσικών λεκανών απορροής των χειμάρρων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης.	37
Σχήμα 4.7:	Η λεκάνη απορροής και τα κυριότερα ρέματα που συμβάλλουν στο Σούρες και τελικά στον Σαρανταπόταμο. Φαίνεται επίσης και η φυσική συνέχεια του Σούρες, στην οποία συμβάλλει το ρέμα Λούτσας.....	38
Σχήμα 4.8:	Οι χειμάρροι που διατρέχουν τη Μάνδρα με ορισμένες από τις υφιστάμενες διευθετήσεις	38
Σχήμα 4.9:	Άποψη του σημείου όπου ο χειμάρρος Αγ. Αικατερίνης εισέρχεται στον οικισμό	39
Σχήμα 4.10:	Πεδίο κατάκλυσης του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνη πριν το βορειοδυτικό όριο της πόλης της Μάνδρας	40
Σχήμα 4.11:	(α) Υετογράφημα και β) Αθροιστική καμπύλη βροχόπτωσης όπως καταγράφηκαν από το ΧΡΟΛ. Ώρα UTC = τοπική ώρα – 2.....	41
Σχήμα 4.12:	Στοιχεία του ραντάρ Υμηττού της ΕΜΥ στις 6:00 π.μ. τοπική ώρα.....	42
Σχήμα 4.13:	Αποτύπωση της πλημμυρικής έκτασης.....	43
Σχήμα 5.1:	Επιμέρους τμήματα των ρεμάτων της περιοχής μελέτης.....	45
Σχήμα 5.2:	Άξονας διευθέτησης της κοίτης του χ. Σούρες.....	46
Σχήμα 5.3:	Τυπική διατομή τεχνικού έργου.....	47
Σχήμα 5.4:	Θέση των τεχνικών της διευθέτησης χ. Σούρες	48
Σχήμα 5.5:	Χιλιομετρική θέση των 42 τμημάτων του χ. Σούρες	49
Σχήμα 5.6:	Άξονας αγωγού εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνη	51
Σχήμα 5.7:	Τυπική διατομή αγωγού εκτροπής	51
Σχήμα 5.8:	Χιλιομετρική θέση των τμημάτων του έργου εκτροπής χ. Αγίας Αικατερίνης.....	52
Σχήμα 5.9:	Επιμέρους τμήματα του έργου κεφαλής μερισμού.....	53
Σχήμα 5.10:	Άξονας διευθέτησης χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης.....	54
Σχήμα 5.11:	Τυπική διατομή διευθέτησης του χ. Αγ. Αικατερίνης.....	54

Σχήμα 5.12: Χιλιομετρική θέση των τμημάτων του έργου διευθέτησης του χ. Αγίας Αικατερίνης..	55
Σχήμα 5.13: Άξονας αγωγού Κοροπούλη	56
Σχήμα 6.1: Καταγεγραμμένη έκταση της πλημμύρας	58
Σχήμα 6.2: Όρια του υπολογιστικού πεδίου	58
Σχήμα 6.3: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.....	59
Σχήμα 6.4: Υψομετρικά σημεία της περιοχής μελέτης	60
Σχήμα 6.5: Εγκάρσιες γραμμές στον άξονα της διευθέτησης (ροζ γραμμές)	61
Σχήμα 6.6: Στοιχεία τμήματος του χ. Σούρες τύπου i2s.....	62
Σχήμα 6.7: Στοιχεία του πυθμένα και των τοιχείων του έργου κεφαλής – μερισμού τύπου i3s....	62
Σχήμα 6.8: Χάρτης κάλυψης γης	65
Σχήμα 6.9: Κατηγορίες χρήσεων εντός της περιοχής μελέτης.....	71
Σχήμα 6.10: Υδρογραφήματα εισόδου	72
Σχήμα 7.1: Δομημένα πλέγματα για τη διατομή τύπου 1	74
Σχήμα 7.2: Δομημένα πλέγματα για τη διατομή τύπου 3	74
Σχήμα 7.3: Υπολογιστικό πλέγμα	76
Σχήμα 7.4: Λεπτομέρεια του υπολογιστικού πλέγματος.....	77
Σχήμα 7.5: Τοπογραφία της περιοχής μελέτης στο δισδιάστατο επίπεδο.....	78
Σχήμα 7.6: Τοπογραφία της περιοχής μελέτης στο τρισδιάστατο επίπεδο	78
Σχήμα 7.7: Γεωμετρία του έργου κεφαλής – μερισμού & κάτοψη.....	79
Σχήμα 7.8: Γεωμετρία τμήματος της διευθέτησης χ. Σούρες, διατομή τύπου 1 & εγκάρσια διατομή	79
Σχήμα 7.9: Γεωμετρία τμήματος της διευθέτησης χ. Σούρες, διατομή τύπου 2 & εγκάρσια διατομή	79
Σχήμα 7.10: Γεωμετρία τμήματος της διευθέτησης χ. Σούρες, διατομή τύπου 3 & εγκάρσια διατομή	80
Σχήμα 7.11: Κατανομή συντελεστή τραχύτητας στο υπολογιστικό πλέγμα.....	80
Σχήμα 7.12: Λεπτομέρεια κατανομής συντελεστή Manning	81
Σχήμα 7.13: Πλέγμα οριακών συνθηκών	82
Σχήμα 8.1: Θέσεις διατομών	86
Σχήμα 8.2: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε	87
Σχήμα 8.3: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ1	88
Σχήμα 8.4: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ1Ε	88
Σχήμα 8.5: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ1	89
Σχήμα 8.6: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ1Ε	89
Σχήμα 8.7: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ2 και Σ2Ε	90
Σχήμα 8.8: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ2	91
Σχήμα 8.9: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ2Ε	91
Σχήμα 8.10: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ2	92
Σχήμα 8.11: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ2Ε	92
Σχήμα 8.12: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε	93
Σχήμα 8.13: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ3	94
Σχήμα 8.14: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ3Ε	94
Σχήμα 8.15: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ3	95
Σχήμα 8.16: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ3Ε	95
Σχήμα 8.17: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε	96

Σχήμα 8.18: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ2 και Σ2Ε	97
Σχήμα 8.19: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε	98
Σχήμα 8.20: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ1Ε, Σ2Ε και Σ3Ε	99
Σχήμα 8.21: Χάρτης Τρωτότητας	105
Σχήμα 8.22: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ1	107
Σχήμα 8.23: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ1Ε	107
Σχήμα 8.24: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ2	108
Σχήμα 8.25: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ2Ε	108
Σχήμα 8.26: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ3	109
Σχήμα 8.27: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ3Ε	109
Σχήμα 8.28: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ1.....	112
Σχήμα 8.29: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ1Ε.....	112
Σχήμα 8.30: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ2.....	113
Σχήμα 8.31: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ2Ε.....	113
Σχήμα 8.32: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ3.....	114
Σχήμα 8.33: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ3Ε.....	114

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 4.1: Άποψη της πόλης της Μάνδρας	31
Εικόνα 4.2: Η πόλη της Μάνδρας - Αεροφωτογραφία	33
Εικόνα 4.3: Οι εκβολές του Σαρανταπόταμου	36
Εικόνα 4.4: Στιγμιότυπα από λήψεις ΜΕΑ όπου διαφαίνεται η έκταση της πλημμύρας	44
Εικόνα 5.1: Θέση των τεχνικών της διευθέτησης του χ. Σούρες	48

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ha	hectare
IPPC	International Plant Protection Convention
MS	Microsoft Office
st.	stream
A.E.	Ανώνυμη Εταιρία
ΕΑΑ	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
ΕΑΕΕ	Ένωση Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδος
ΕΓΣΑ 87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
E.E.	Ετερόρρυθμη Εταιρία
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΕΥΔΑΠ	Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ι.π.	ισοδύναμος πληθυσμός
ΜΕΑ	Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη
ΠΕΟΕΘ	Παλαιά Εθνική Οδός Ελευσίνας – Θήβας
χ.	χείμαρρος
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πόλη της Μάνδρα αποτελεί περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, καθότι την 15η Νοεμβρίου 2017 χτυπήθηκε από καταστροφική πλημμύρα, η οποία αποδείχτηκε φονική, στερώντας την ζωή σε 23 ανθρώπους. Η ιδιαίτερα ακραία βιαιότητα και ραγδαιότητα καταιγίδα, αλλά και το γεγονός ότι οι καταστροφές οφείλονταν σε μεγάλο βαθμό στις ανεπαρκείς διευθετήσεις και στις αλόγιστες καταπατήσεις που σημειώθηκαν στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, κάνουν την πόλη της Μάνδρας την ιδανική περίπτωση μελέτης. Η πλημμύρα του Νοεμβρίου του 2017 ανέδειξε πολλές από τις παθογένειες της κοινωνίας, την έλλειψη επιχειρησιακής ετοιμότητας των υπεύθυνων δημοσίων φορέων, τη χρόνια αμέλεια που επιδείκνυαν οι αιρετοί της τοπικής αυτοδιοίκησης, αλλά και την άγνοια των κατοίκων για τον κίνδυνο που ελλόχευε. Ταυτόχρονα όμως ανέδειξε τη σημασία των αντιπλημμυρικών έργων καθώς και των μέτρων ετοιμότητας σε περίπτωση έκτακτου γεγονότος.

Μετά τη φονική πλημμύρα επιταχύνθηκε η διαδικασία έγκρισης των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας. Η μελέτη των αντιπλημμυρικών έργων προβλέπει την εκτροπή του χειμάρρου Αγίας Αικατερίνης και τη διευθέτηση του χειμάρρου Σούρες του Θριασίου Πεδίου, των δύο χειμάρρων που συμβάλλουν στην περιοχή της Μάνδρας και οι πλημμυρικές απορροές των οποίων προκάλεσαν τις καταστροφές του Νοεμβρίου 2017.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των έργων αυτών στην αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων που μπορεί να λάβουν χώρα στην περιοχή της Μάνδρας.

Σε πρώτο στάδιο γίνεται δόμηση του υδροδυναμικού μοντέλου TELEMAC-2D, με το οποίο γίνεται η προσομοίωση της πλημμύρας για τρία διαφορετικά σενάρια παροχών. Τα σενάρια αυτά εφαρμόζονται για δύο περιπτώσεις, για την περίπτωση όπου δεν υπάρχουν αντιπλημμυρικά έργα και για την περίπτωση ύπαρξης των έργων αυτών. Στο πρώτο σενάριο προσομοίωσης ορίζεται σταθερή παροχή στα σημεία εισόδου των χειμάρρων στο υπολογιστικό μοντέλο και με τιμή ίση με τις παροχές σχεδιασμού των αντιπλημμυρικών έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν. Στο δεύτερο σενάριο εφαρμόζεται σταθερή παροχή στα όρια εισόδου, με τιμή που δεν προκαλεί πλήρωση των τεχνικών έργων – οχετών μεγαλύτερη από το 80%. Στο τρίτο σενάριο εφαρμόζονται στα σημεία εισόδου του μοντέλου οι παροχές που υπολογίστηκαν για το πλημμυρικό γεγονός του Νοεμβρίου 2017.

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των έργων προστασίας γίνεται μέσω της εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου. Αρχικά γίνεται εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής που κατακλύζεται για κάθε σενάριο προσομοίωσης και στη συνέχεια εκτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας, καθώς επίσης γίνεται κατάρτιση των αντίστοιχων χαρτών. Η τρωτότητα υπολογίζεται σύμφωνα με την αποτίμηση των μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων για τις διάφορες χρήσεις της περιοχής μελέτης. Η πλημμυρική επικινδυνότητα, η οποία εκφράζει την ένταση του πλημμυρικού φαινομένου, υπολογίζεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης των διαφορετικών σεναρίων. Τέλος υπολογίζεται ο πλημμυρικός κίνδυνος, ο οποίος αποτελεί το γινόμενο των δύο αυτών παραγόντων και καταρτίζονται οι χάρτες πλημμυρικού κινδύνου για όλα τα σενάρια προσομοίωσης.

Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί της παρούσας εργασίας είναι προκαταρκτικοί, σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας, οπότε η χρήση των αποτελεσμάτων και των σχετικών συμπερασμάτων πρέπει να γίνεται με κάθε επιφύλαξη.

Λέξεις – Κλειδιά : Μαθηματικό μοντέλο, TELEMAC-2D, Μάνδρα, Υδροδυναμική ανάλυση, Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου, Αντιπλημμυρικά έργα

ABSTRACT

THE EFFECT OF FLOOD PROTECTION WORKS ON THE FLOOD RISK OF THE MANDRA ΑΤΤΙΚΙ AREA

The city of Mandra is an area of particular interest as it was hit by a devastating flood on November 15, 2017, which proved to be deadly, killing 23 people. The extreme violence and thunderstorms, as well as the fact that the disasters were largely due to inadequate settlements and reckless encroachments on the region's hydrographic network, prove the city of Mandra to be the ideal case study. The flood of November 2017 highlighted many of the pathogens of society, the lack of operational readiness of the responsible public authorities, the chronic negligence shown by local elected officials, and the ignorance of the residents about the imminent danger. At the same time, however, it has highlighted the importance of flood protection works as well as emergency preparedness measures.

After the flood, the process of approving flood protection works was accelerated. The study of flood protection works predicts the divergence of the Agia Aikaterini stream and the arrangement of the Soures stream. The runoff of these two streams that contribute to the Mandra area caused the November 2017 disaster.

The purpose of this work is to evaluate the effectiveness of these works in addressing the flooding phenomena that may occur in the Mandra area.

As a first step, the TELEMAC-2D hydrodynamic model is constructed, which simulates the flood for three different discharge scenarios. These scenarios apply in two cases, where no flood protection projects exist and where such works exist.

In the first simulation scenario, a fixed flow at the entry points of the streams into the computational model is set at a value equal to the design discharges of the flood protection works to be constructed. In the second scenario, a constant discharge is applied at the entry limits, with a value so that the culverts work less than 80% full. In the third scenario, the discharges calculated for the November 2017 flood event apply to the model entry points.

The effectiveness of protection works is assessed through flood risk assessment.

Initially, the vulnerability of the flooded area for each simulation scenario is assessed, followed by the flood hazard assessment, and the corresponding maps are compiled. Vulnerability is calculated by estimating the maximum potential impacts for the various uses of the study area. Flood hazard, which expresses the intensity of the flood phenomenon, is calculated according to the results of the hydraulic simulation of the different scenarios. Finally, the flood risk is calculated, which is the product of these two factors, and the flood risk maps are compiled for all simulation scenarios.

It is noted that the calculations of the present study are preliminary, for the purpose of a Master Thesis; thus, the use of the results and the relevant conclusions should be performed with the required reservation.

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

EXTENDED ABSTRACT

THE EFFECT OF FLOOD PROTECTION WORKS ON THE FLOOD RISK OF THE MANDRA ΑΤΤΙΚΙ AREA

1. INTRODUCTION

The town of Mandra was hit by a catastrophic flood in November 2017, causing the death of 23 people. Following this event, the process of approving flood protection works was accelerated. The study of flood protection works predicts the divergence of the Agia Aikaterini stream and the arrangement of the Soures stream, the two streams that contribute in the area of Mandra.

The purpose of this thesis is to evaluate the flood protection works to be constructed in the Mandra area, as well as to assess their effectiveness in reducing the flood risk of the area.

Three different flood scenarios are examined for both cases, with or without the flood protection works. The simulation and analysis of the flood characteristics for each of these scenarios is conducted using the two-dimensional hydrodynamic model TELEMAC-2D. Based on the results of the hydraulic simulations, flood risk maps, which are product of hazard and vulnerability maps, are created. According to the flood risk maps, the negative impacts of the flood are assessed and the effectiveness of the flood protection works is evaluated for each individual scenario, including a scenario simulating the November 2017 flood event.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. MATHEMATICAL MODEL TELEMAC-2D

The mathematical model used for this thesis is the two-dimensional hydrodynamic model TELEMAC-2D, which solves the shallow-water equations (Saint-Venant equations), using the finite element method or differential volumes in a triangular grid.

The files required for the hydrodynamic simulation are: (1) The steering file, which contains the parameters necessary for the calculation, (2) the geometry file, containing the computational grid and (3) the boundary conditions file, describing the type of each boundary. Moreover, additional files can be given, such as files for technical works that exist in the study area.

In this study, a culvert data file is given, which contains all the required information for the culverts in the domain. The discharge that flows through the culvert is calculated for five different types of flow: (1) Flow type 2- critical depth at outlet, (2) flow type 3 – tranquil flow, (3) flow type 4 – submerged outlet, (4) flow type 5 – rapid flow at inlet and (5) flow type 6 – full flow with free outfall, according to Smolders et al. (2016).

2.2. FLOOD RISK ASSESSMENT

Flood risk assessment within floodplains constitutes a criterion for the design of protective measures, as well as a criterion for evaluating the effectiveness of such measures (Ministry of Environment and Energy, Special Secretariat for Water, n.d.).

All calculations were made in 5m x 5m cells, which are delimited by the boundaries of the study area. The basic stages of the methodology are:

- Stage 1: Assessment of the vulnerability of the flooded area, depending on the assessment of the maximum potential impacts of the various uses occurring in the area.
- Stage 2: Flood hazard assessment, i.e. the intensity of the phenomenon, according to the hydraulic characteristics of the flood (depth, flow velocity).

- Stage 3: Flood Risk Assessment, which is a product of vulnerability and hazard factors, according to the relation $Risk = Vulnerability \times Hazard$, and preparation of Flood Risk Maps.

2.3. STUDY AREA

The city of Mandra is the capital of the municipality of Mandra - Eidyllia, the largest municipality of the Regional Unit of West Attica according to Kallikratis Law (L. 3852, OGG A' 87/7.6.2010) and has 12792 inhabitants.

The city is located on the foot of Mount Father. Its location is neuralgic for the interconnection of the capital with the Peloponnese and the whole of Western Greece. The area is divided into two zones, one residential and one industrial zone, with many warehouses and large distribution centers.

The two main streams that contribute in the city of Mandra are stream Soures and stream Agia Aikaterini. Stream Soures drains the eastern side of Mount Father and flows on the east side of the city of Mandra. Due to the construction of the Attica Road, the stream is diverted and ends up in st. Sarantapotamos.

The stream of Ag. Aikaterini drains a significant basin, approximately 25 km², on the southeastern slopes of Mount Patera, which are noted to have been deforested in the great fire of 1985, thereby significantly reducing basin absorption. Then, heading East, the stream enters the city of Mandra from the West.

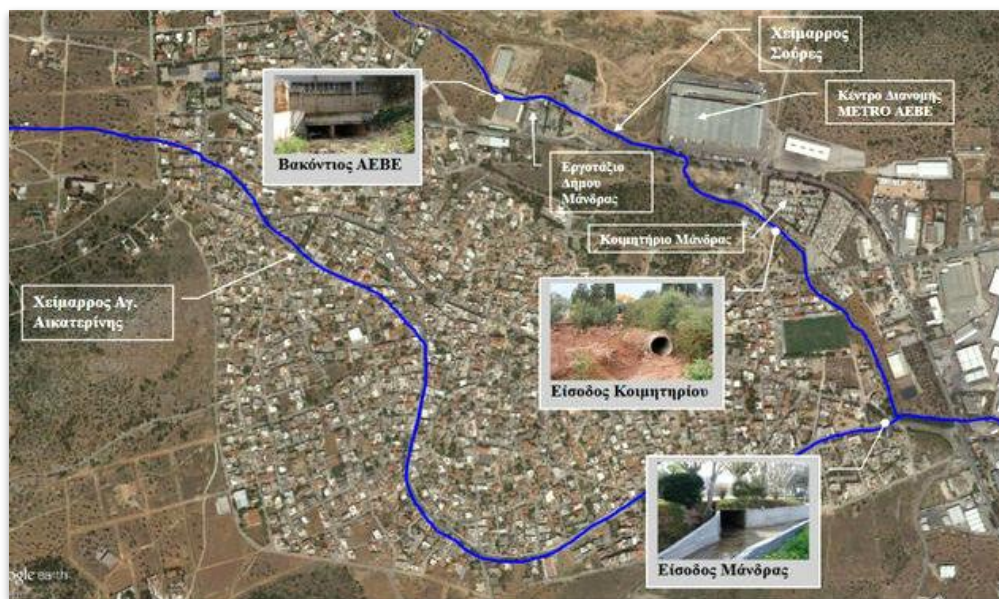


Figure 2.1: The streams contributing in the city of Mandra (article: «Μαζί πνιγήκαμε», 2017)

2.4. DESIGN OF THE FLOOD PROTECTION WORKS

According to the study of the diversion of st. Ag. Aikaterini and arrangement of st. Soures of the Thriassio Pedio (Attica Prefecture / Directorate of Hydraulic Works. Consultant: ETME Pepas & Associates), the following works are included:

1. Stream Soures arrangement with a length of approximately 1.7km with coated cross-sections and culverts at road junctions.
2. Diversion of the stream Ag. Aikaterini to stream Soures, with a pipeline, with a double closed rectangular cross-section, of approximately 1.50km.
3. Arrangement of the natural bed of stream Ag. Aikaterini approximately 940m long, ending in the Koropouli conduit.

2.5. STRUCTURE OF THE HYDRODYNAMIC MODEL

The geometry file contains all the information needed for the grid. The two-dimensional grid constructed is hybrid, as it is a combination of structured and unstructured grid and consists of triangular elements. The stream beds, natural and arranged, were constructed with a structured grid, while the rest of the domain was created with unstructured grid.

The elevation of each node of the mesh is defined. Roughness data were derived from the type of land cover. The elevation and the roughness coefficient was set at the nodes of the grid using the linear and the nearest neighbor interpolation method, respectively.

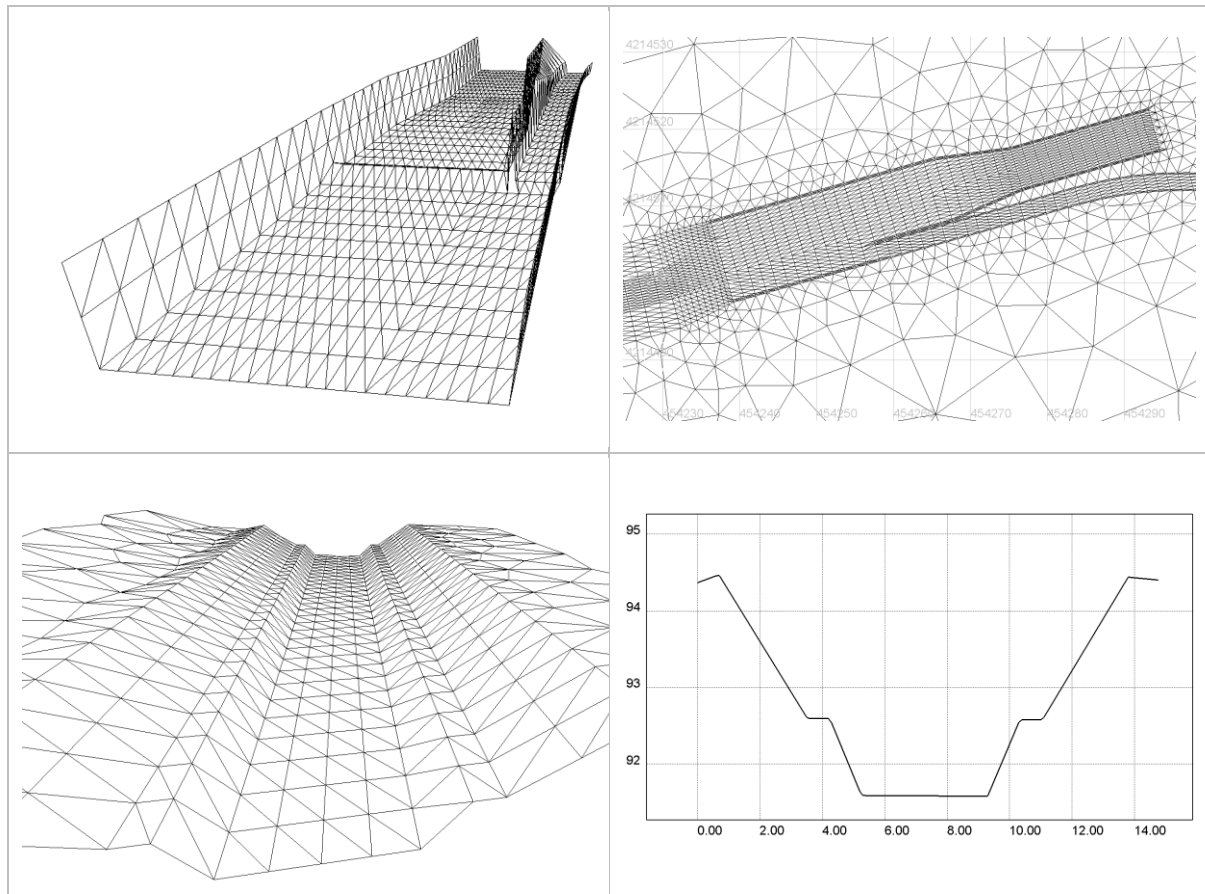


Figure 2.2: Details of the flood protection works in the computational grid

The open boundaries selected and noted in the boundary conditions file are (1) the entry boundary at the upstream point of st. Soures, (2) the entry boundary at the upstream point of st. Ag. Aikaterini, (3) the exit boundary at the outfall of st. Soures to st. Sarantapotamos and (4) the exit boundary at the southern point of the study area towards the city of Eleusina. At the entry boundaries the discharge is known, where for the exit boundaries the elevation of free surface is known.

The parameters that consist the steering file are the following. The finite element method is chosen as the discretization method. The k-epsilon model was chosen for turbulence calculation and kinematic coherence was set at 10^{-6} . The roughness coefficient is defined by Manning's equation and the values for the computational grid are given by the geometry file. The initial condition was chosen as a constant depth equal to 0.01 m for the entire computational domain and the choice of dry areas was also defined because of the flood plains that appear. Variable time step was selected and the criterion for the Courant number was set to 0.9. The duration of the simulations was set at 8 hours.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The hydrodynamic model was applied for three scenarios. These scenarios are the following:

1. Scenario S1 – Design discharges. For this scenario, the design discharges of the flood protection works were applied, equal to $44 \text{ m}^3/\text{s}$ and $57 \text{ m}^3/\text{s}$ for the entrance points of st. Soures and st. Ag. Aikaterini, respectively.
2. Scenario S2 – Partial completion discharges. In this scenario the discharge at the entry boundaries is equal to $70 \text{ m}^3/\text{s}$ respectively, calculated so that the flow does not exceed the 80% of the completion of the technical works.
3. Scenario S3 - Hydrograph. In the third scenario, the inflow discharge is variable over time and equal to the hydrograph calculated according to the thesis of Mavroyioryos (2019) for the flood event of November 2017.

The scenarios for the existence of the flood protection works are noted as S1E, S2E, S3E.

In Figures 3.1 to 3.3 the inundation areas for all the scenarios simulated are shown. Also the maximum water depths and flow velocities were calculated.

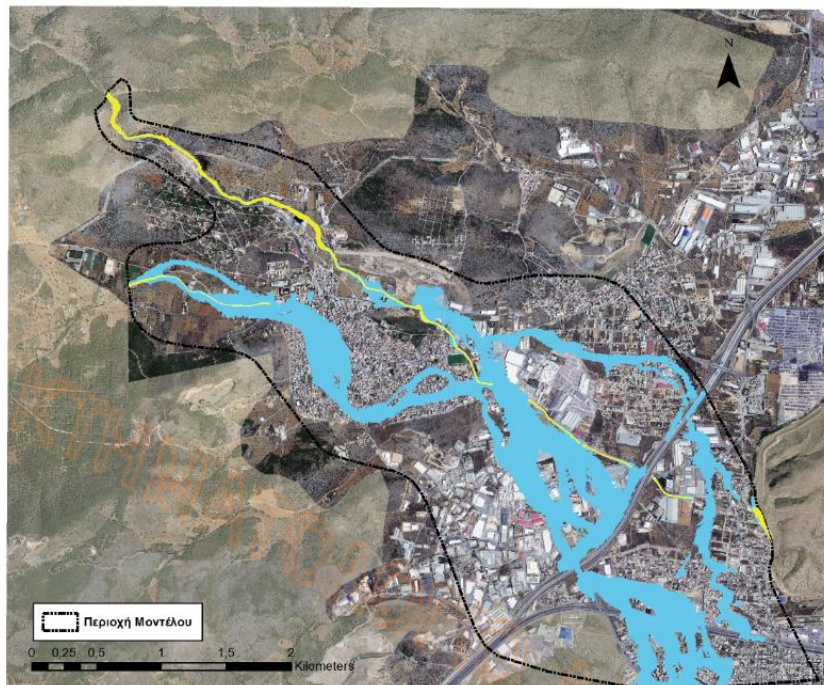


Figure 3.1: Comparison of the inundation area of scenarios S1 and S1E (yellow area: with the presence of technical works, blue and yellow area: without works) (Background: Ktimatologio S.A.)

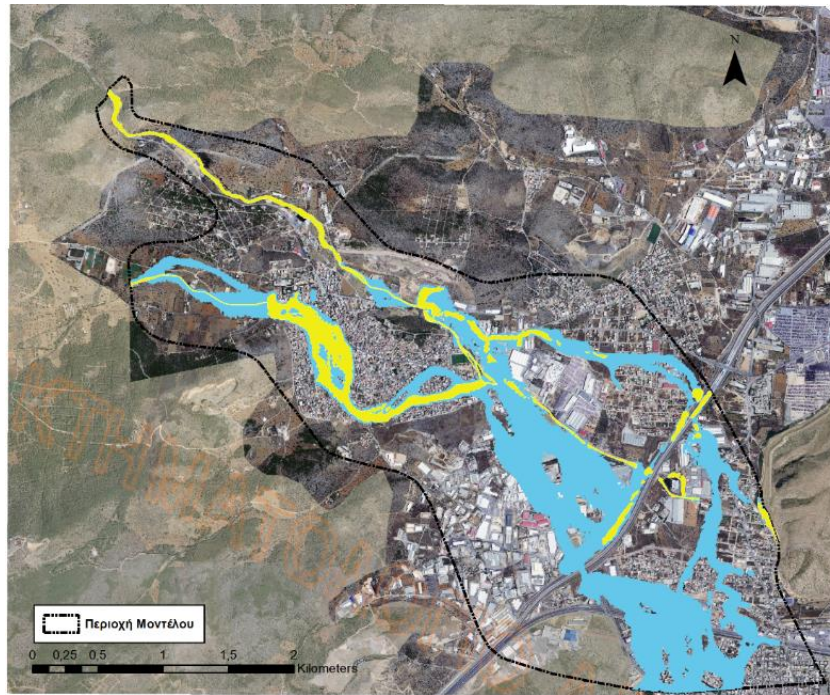


Figure 3.2: Comparison of the inundation area of scenarios S1 and S1E (yellow area: with the presence of technical works, blue and yellow area: without works) (Background: Ktimatologio S.A.)

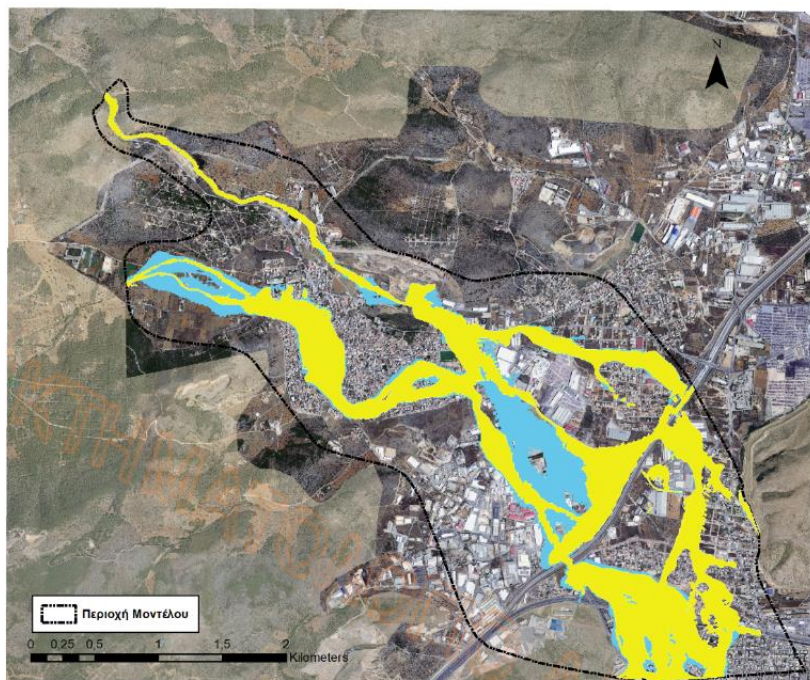


Figure 3.3: Comparison of the inundation area of scenarios S1 and S1E (yellow area: with the presence of technical works, blue and yellow area: without works) (Background: Ktimatologio S.A.)

1. In scenario S1, the lack of flood protection works is evident. The discharge of the st. Ag. Aikaterini flows through the city of Mandra and also st. Soures overflows, which results to the flooding of the urban and industrial areas upstream and downstream the Attiki Road.
2. In scenario S1E, the technical works seem to be working well. The closed pipe of st. Ag. Aikaterini diverges part of the discharge to st. Soures. The rest discharge flows through the arranged bed of

- st. Ag. Aikaterini and is received by the Koropouli conduit, located at the west boundary of the city. The flooded area for S1 is 2.30 km², where in scenario S1E is equal to 0.04 km².
3. In the case of scenario S2, the inundation area is similar to scenario S1. The discharge from st. Ag. Aikaterini flows through the town and falls into st. Soures, at the junction with Koropouli street. The technical works downstream of the contribution are unable to receive the discharge, resulting in the flooding of the industrial zone. At the same time, the culverts in the st. Soures overflow and the flow is directed to the lateral areas.
 4. In the case of S2E scenario, despite the presence of flood protection works, flooded area is observed. Specifically, the Koropouli conduit overflows, and also some areas upstream and downstream the culverts in the arranged st. Soures are overflowed. The flood area for the S2 scenario is equal to 2.69 km², much bigger than the 0.46 km², that corresponds to the S2E scenario.
 5. The inundation area for scenario S3E is similar to scenario S3. Despite the presence of technical works, the flood discharge enters the city and the industrial areas. The Koropouli conduit overflows and the town of Mandra is flooded. Also the culverts in the arranged st. Soures overflow. The culvert, which passes under Attiki Road, fails to receive the total discharge, thereby guides the flood to the industrial areas upstream and downstream of the Attiki Road. The maximum flooded area for S3 is 3.13 km². For scenario S3E the flooded area is clearly larger than scenarios S1E and S2E and equal to 2.46 km².

In Figures 3.4 to 3.6 the Flood Risk Maps for the three different scenarios are shown, which are result of the vulnerability and hazard maps.

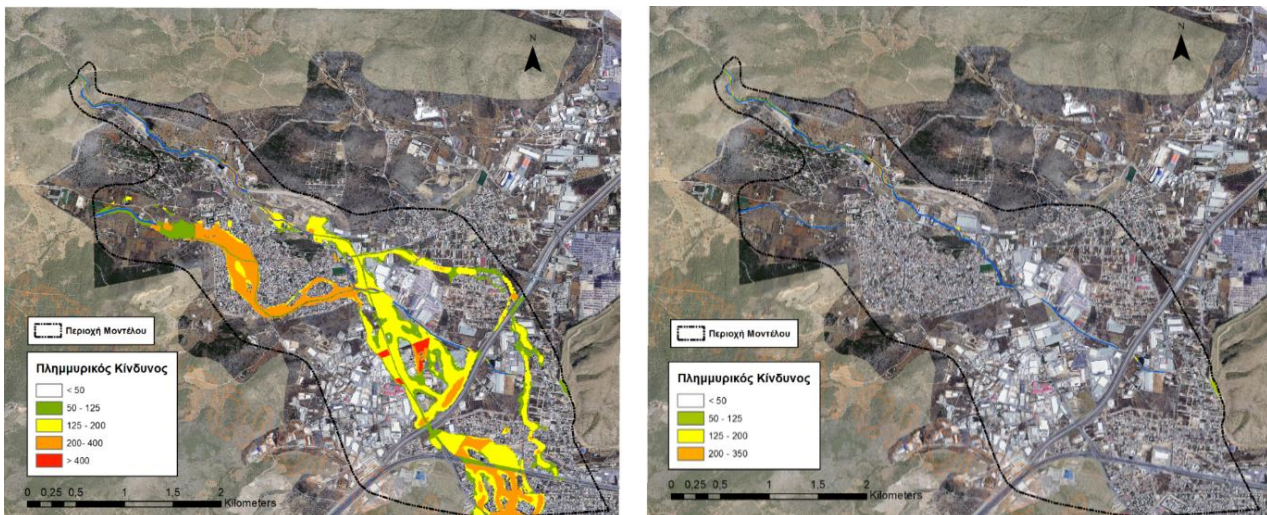


Figure 3.4: Flood Risk Maps for scenarios S1 (left) and S1E (right) (Background: Ktimatologio S.A.)

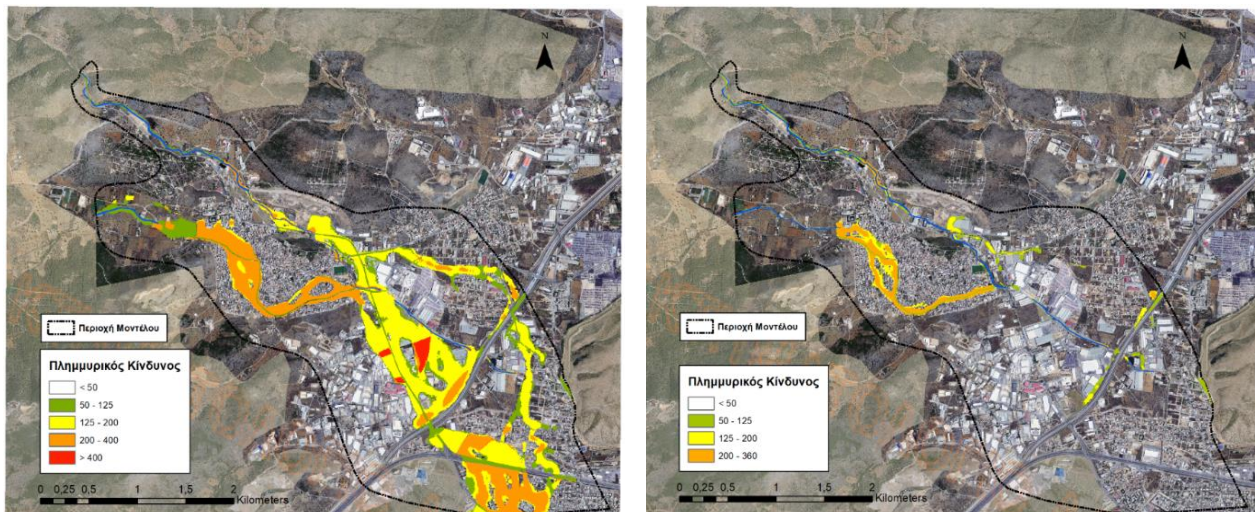


Figure 3.5: Flood Risk Maps for scenarios S2 (left) and S2E (right) (Background: Ktimatologio S.A.)

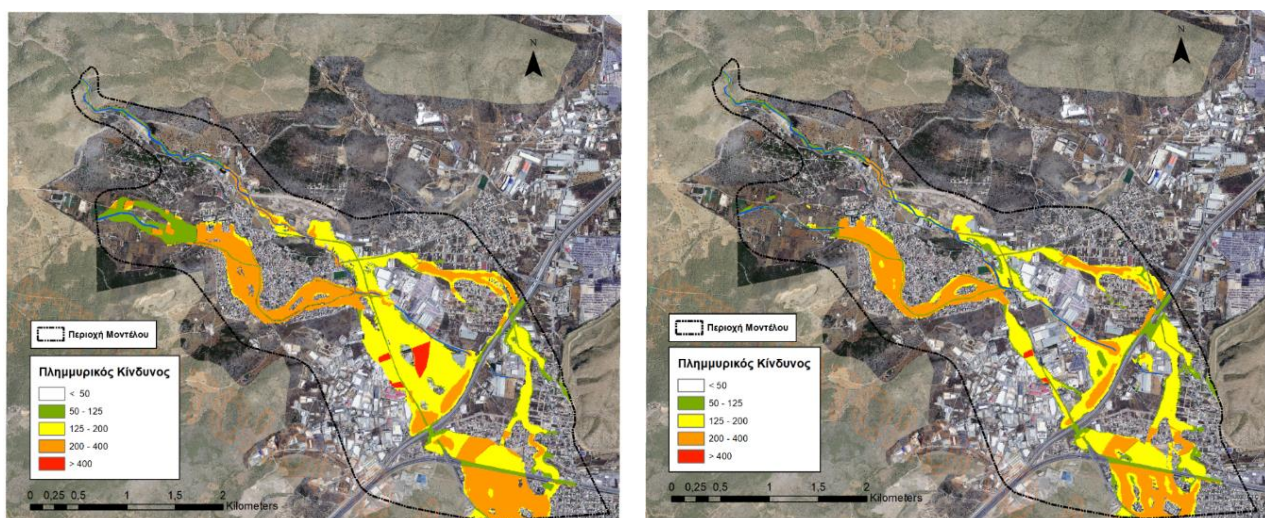


Figure 3.6: Flood Risk Maps for scenarios S3 (left) and S3E (right) (Background: Ktimatologio S.A.)

1. In the case of scenario 1, it is derived that the flood protection works have adequately protected the city of Mandra. The flood risk for scenario S1E is practically zero.
2. The flood risk computed for scenario S2E is comparatively lower than the estimated for scenario S2. However, for scenario S2E, the risk estimated within the town of Mandra is high and cannot be ignored.
3. Regarding the results from scenario 3, in both cases the flood risk is high inside the city of Mandra, as well as for the urban areas downstream of the Attiki Road. Moreover, some industries in the industrial area upstream Attiki Road have very high flood risk values, because of the high class of vulnerability. The industries are located on the Old National Road, where high flow velocities are developed.
4. The flood risk of the high vulnerability class industries is not affected by the intensity of the phenomenon.

4. CONCLUSION

Regarding to the hydraulic calculations for the various discharge scenarios, the following apply:

- The calculated flow depths and flow velocities, for the design discharges, are in good agreement with the results of the flood protection study.
- In scenario S2E, the technical works of st. Soures are capable of receiving the discharge without overflowing. Overflow is noted at the culverts area.
- In the case of the S3E scenario, the works are not capable of receiving the discharge, resulting in overflow and flooding of the urban and industrial zones.
- In any scenario, where the flood protection works do not exist, the city of Mandra is flooded. The Koropouli conduit cannot receive more than 17 m³/s discharge.

The main conclusions according to the assessment of the flood risk for each scenario are:

- In scenario S1E, where the design discharges are applied, flood protection works effectively. The arranged stream bed of st. Soures receives the discharge and outfalls directly to the st. Sarantapotamos, eliminating the flood risk.
- For scenario S2, high risk is observed inside the industry zone, where industries with high vulnerability are located.
- In the case of scenario S2E, despite the presence of flood protection works, the risk within the city of Mandra is estimated to be of a high degree, but to a much lesser extent than scenario S2.
- Finally, in the case of scenarios S3 and S3E, the flood risk within the city of Mandra is similar for both. The industrial area above Attiki Road is smaller for scenario S3E and the flood does not affect one of the industries with high class of vulnerability, thereby reducing the overall impact of the flooding.
- Therefore it is concluded that the construction of the food protection works and specifically the diversion of st. Ag. Aikaterini and the arrangement of st. Soures is essential, as without them the consequences to the locals, to the economic activity of the industrial zones and to the environment could be severe even for small flood discharges.

It is noted that the calculations of the present study are preliminary, for the purpose of a Master Thesis; thus, the use of the results and the relevant conclusions should be performed with the required reservation.

According to the above, it is proposed for future work:

1. A more detailed research on the operation of the culverts inside the TELEMAC-2D model.
2. Performance of hydraulic simulation with the representation of buildings and warehouses inside the computational grid, for a more realistic simulation of the flood.
3. Sensitivity analysis of the hydrodynamic model parameters.
4. Finally, it is proposed to simulate the flood taking into account the phenomenon of sediment transport which was quite intense in the case of the Mandra flood. Also the simulation of sediment transport can be combined with the assessment of the vulnerability of transported sediment and soil erosion.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλημμύρα είναι ένα φυσικό φαινόμενο που έχει απασχολήσει την ανθρωπότητα από τις απαρχές του χρόνου. Ανά τους αιώνες, ισχυρές πλημμύρες έχουν διαταράξει κάθε πτυχή της ανθρώπινης δραστηριότητας κι έχουν καταγραφεί από όλους τους πολιτισμούς. Οι πρώτες αναφορές για τις επιπτώσεις των πλημμυρών στις ζωές των ανθρώπων γίνονται την εποχή της Μεσοποταμίας. Στις θρησκείες, η πλημμύρα συχνά ερμηνεύεται ως Θεία τιμωρία, ενώ από πλημμύρα πολλές φορές προβλέπεται ότι θα επέλθει το “τέλος του κόσμου”.

Στην παλαιά διαθήκη, ο Θεός αποφασίζει να τιμωρήσει τους ανθρώπους στέλνοντας μια καταστροφική πλημμύρα. Ειδοποιεί όμως τον Νώε ώστε να κατασκευάσει κιβωτό, με την οποία να διασώσει την οικογένειά του αλλά και τα ζώα του κόσμου. Αργότερα ο Μωυσής χωρίζει τη θάλασσα στα δύο, επιτρέποντας στον λαό του να τη διασχίσει προτού αυτή επανέλθει με τη μορφή κύματος και πνίξει τους Αιγύπτιους, καταγραφή που μπορεί να αποτελεί πρώτη αναφορά σε κύμα τσουνάμι.

Παρά τις ιστορίες αυτές, αλλά και τη πληθώρα ιστορικών καταγραφών και επιστημονικών δεδομένων και γνώσεων που έχουμε στην διάθεσή μας σήμερα, η έπαρση του ανθρώπου συνεχίζει να τον φέρνει αντιμέτωπο με τη πλημμύρα, με αποτέλεσμα μεγάλες καταστροφές και πόνο. Σαν μελετητές καλούμαστε να κατανοήσουμε τα πλημμυρικά φαινόμενα, σαν μηχανικοί καλούμαστε να τα αντιμετωπίσουμε και σαν μέλη της κοινωνίας καλούμαστε να προστατέψουμε τους συμπολίτες μας.

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η προσομοίωση και ανάλυση πλημμυρικών φαινομένων και η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας στην αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων.

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η αξιολόγηση των αντιπλημμυρικών έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν στην περιοχή της Μάνδρας, καθώς και η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας αυτών στη μείωση του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής.

Στην εργασία αυτή εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια πλημμύρας και για τις δύο περιπτώσεις με ή χωρίς την προστασία που θα προσφέρουν τα αντιπλημμυρικά έργα που κατασκευάζονται. Η προσομοίωση και η ανάλυση των χαρακτηριστικών της πλημμύρας για καθένα από τα εν λόγω σενάρια γίνεται με χρήση του δισδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου TELEMAC-2D. Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, δημιουργούνται χάρτες κινδύνου πλημμύρας και χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας και τρωτότητας για τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων της περιοχής. Τέλος, βάσει των χαρτών αυτών, γίνεται η αξιολόγηση των αρνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας κι εκτιμάται η αποτελεσματικότητα των αντιπλημμυρικών έργων για το κάθε ξεχωριστό σενάριο, συμπεριλαμβανομένου σεναρίου όπου προσομοιώνεται το πλημμυρικό φαινόμενο του Νοεμβρίου 2017.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία χωρίζεται σε 9 κεφάλαια, καθένα από τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

- Στο **Κεφάλαιο 1** αναλύεται το αντικείμενο και ο σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας. Αναλύεται ο ορισμός της πλημμύρας, τα είδη και ο τρόπος δημιουργίας αυτών. Γίνεται αναφορά στα Σχέδια Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας και στον σκοπό τους, καθώς επίσης αναλύονται τα μέτρα που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων.
- Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου που επιλέχθηκε για την προσομοίωση της διόδευσης της πλημμύρας. Επίσης γίνεται αναλυτική περιγραφή του τρόπου

υπολογισμού των οχρών από το συγκεκριμένο πρόγραμμα, καθώς αποτελεί σημαντικό στοιχείο της συγκεκριμένης προσομοίωσης.

- Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογία εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου και δημιουργίας των αντίστοιχων χαρτών σύμφωνα με τις προτάσεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης.
- Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης, καθώς και των ρεμάτων που συμβάλλουν σε αυτή. Ακόμα γίνεται αναφορά και περιγραφή του πλημμυρικού γεγονότος που έπληξε την περιοχή τον Νοέμβριο 2017.
- Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αντιπλημμυρικών έργων που προβλέπεται να κατασκευαστούν στην περιοχή και βάσει των οποίων δομείται στη συνέχεια το υπολογιστικό μοντέλο.
- Στο **Κεφάλαιο 6** γίνεται αναφορά στα στοιχεία και δεδομένα που ήταν απαραίτητα για τη δόμηση και εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου. Επίσης περιγράφεται σύντομα ο τρόπος επεξεργασίας αυτών για τη χρησιμοποίηση αυτών στη συνέχεια.
- Στο **Κεφάλαιο 7** περιγράφεται η κατασκευή του υπολογιστικού πλέγματος και των υπόλοιπων αρχείων που είναι απαραίτητα για το μαθηματικό μοντέλο και την υδραυλική ανάλυση του γεγονότος. Επίσης αναφέρονται τα τρία σενάρια προσομοίωσης που εφαρμόστηκαν.
- Στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε δύο περιπτώσεις, στην ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων και χωρίς την ύπαρξη αυτών. Για τις δύο αυτές περιπτώσεις προσομοιώθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια παροχών εισόδου. Ακόμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου για όλα τα σενάρια προσομοίωσης. Για το κάθε σενάριο έχουν καταρτισθεί οι Χάρτες Τρωτότητας, Πλημμυρικής Επικινδυνότητας και Πλημμυρικού Κινδύνου.
- Στο **Κεφάλαιο 9** ολοκληρώνεται η εργασία με την παράθεση των συμπερασμάτων και των προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

1.3 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει μεγάλο εύρος διατυπώσεων για τον όρο Πλημμύρα. Στην Ευρωπαϊκή οδηγία (Οδηγία 2007/60/ΕΚ, 2007) 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 είναι φυσικά φαινόμενα που προκαλούνται από τον συνδυασμό συγκεκριμένων μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών, ενώ σε πολλές περιπτώσεις, η εξέλιξή τους επηρεάζεται και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι πλημμύρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους, με βάση τον τρόπο γένεσης, τον τρόπο εκδήλωσης, ακόμα και με βάση την έκταση ή τις επιπτώσεις τους. Έτσι υπάρχουν βραδείας εξέλιξης πλημμύρες πεδίου και ταχείας εξέλιξης αιφνίδιες ή αστραπιαίες πλημμύρες, τοπικές πλημμύρες κι ευρείας έκτασης, παράκτιες και χερσαίες ή ποτάμιες πλημμύρες. Ο τρόπος εκδήλωσης των πλημμυρών διαφέρει κι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τη γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής, τη ποσότητα του νερού και την έντονη ή μη ορεογραφία.

Οι Παράκτιες Πλημμύρες προκαλούνται από υπέρβαση της μέγιστης στάθμης της θάλασσας και πλήττουν παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου. Η μορφολογία της παράκτιας ζώνης είναι ένας απ' τους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την ευαλωτότητα μιας περιοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι περιοχές που βρίσκονται στις εκβολές ποταμών, οι οποίες αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο από την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Μικρής έκτασης παράκτια πλημμύρα μπορεί να προκληθεί και από έντονο κυματισμό που είναι αποτέλεσμα συνηθισμένης κακοκαιρίας, ενώ τεράστιες καταστροφές προκαλούν τα κύματα Τσουνάμι, τα οποία δημιουργούνται από κατολισθήσεις και υποθαλάσσιους σεισμούς και εισέρχονται πολλά χιλιόμετρα στη ξηρά. Τέλος, ίσως η πιο συχνή αιτία που προκαλεί παράκτια πλημμύρα είναι η μετεωρολογική παλίρροια, φαινόμενο που συνοδεύει τους τυφώνες. Η μετεωρολογική παλίρροια συνιστά αύξηση της στάθμης της θάλασσας τοπικά λόγω του χαμηλού βαρομετρικού της καταιγίδας και, σε συνδυασμό με την έντονη βροχόπτωση που συνοδεύει τον τυφώνα, προκαλεί καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα. (Χαντζή, 2018)

Οι χερσαίες πλημμύρες βραχείας εξέλιξης συνήθως συμβαίνουν από σταδιακή αύξηση των πλημμυρικών υδάτων, που μπορεί να είναι αποτέλεσμα ήπιας βροχόπτωσης μακράς διάρκειας και ευρείας έκτασης. Παραδείγματα αποτελούν οι πλημμύρες λιμνών και ποταμών, όταν ο όγκος των υδάτων σταδιακά αυξάνεται και, υπερβαίνοντας τελικά τα φυσιολογικά επίπεδα, υπερχειλίζει της φυσικής κοίτης, καταλαμβάνοντας πλημμυρικό πεδίο μεγαλύτερης έκτασης. Υπάρχουν όμως και πλημμύρες βραχείας εξέλιξης που συνδέονται με την αύξηση των στάσιμων πλημμυρικών υδάτων του υπεδάφους.

Οι αστραπιαίες ή ξαφνικές χερσαίες πλημμύρες παρουσιάζονται όταν ο όγκος απορροής αυξάνεται με τρόπο που υπερβαίνει την απορροφητική ικανότητα του εδάφους και την αποστραγγιστική ικανότητα του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Συνήθως αποτελούν συνδυασμό δύο συνθηκών, της ραγδαίας αύξησης του πλημμυρικού όγκου σε έδαφος περιορισμένης απορροφητικής ικανότητας. Αποτελούν τον πιο καταστροφικό τύπο πλημμύρας λόγω της ορμητικότητας των πλημμυρικών υδάτων αλλά και λόγω του ότι εκδηλώνονται πολύ σύντομα μετά τη βροχόπτωση, πράγμα που καθιστά δύσκολη την έγκαιρη πρόβλεψη αλλά και την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. (Καραμούστου, 2018)

Η ραγδαία αύξηση του πλημμυρικού όγκου συνήθως προκύπτει ως αποτέλεσμα σύντομων και πολύ βίαιων καταιγίδων περιορισμένης έκτασης, αλλά μπορεί να συμβεί και από αστοχία μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως τη κατάρρευση ενός φράγματος. Η απορροφητική ικανότητα μιας περιοχής μπορεί να είναι περιορισμένη είτε εκ των πραγμάτων, λόγω του ότι η έκταση της περιοχής που πλήττει η καταιγίδα είναι πολύ μικρή, είτε λόγω του ότι η περιοχή, παρότι ευρεία, βρίσκεται υπό συνθήκες που περιορίζουν την απορροφητικότητά της. Τέτοιες συνθήκες υπάρχουν όταν έχει προηγηθεί περίοδος ξηρασίας, όταν το έδαφος είναι παγωμένο ή όταν το έδαφος έχει ήδη κορεστεί από προηγούμενες βροχοπτώσεις. (Μάρης και Νάκας, 2018)

Η επιφανειακή απορροή που δημιουργείται όταν ξεπεραστεί η απορροφητική ικανότητα του εδάφους συμβάλλει στο να ξεπεραστεί η αποστραγγιστική ικανότητα του υδρογραφικού δικτύου και να δημιουργηθεί ορμητικό πλημμυρικό κύμα που μεταφέρει σημαντική ποσότητα φερτών, προκαλεί κατολισθήσεις και παρασέρνει γέφυρες, σπίτια και οχήματα (Associated Programme on Flood Management [APFM], 2008). Στις αστικές περιοχές παρουσιάζονται ιδιαίτερα έντονες επιφανειακές απορροές λόγω της εκτεταμένης κάλυψης του εδάφους. Προκειμένου να αποφευχθούν οι καταστροφικές συνέπειες των αστραπιαίων πλημμυρών σε ένα τέτοιο περιβάλλον, απαιτούνται τεχνητά αποστραγγιστικά δίκτυα ομβρίων ικανά να απορροφήσουν τις αυξημένες ροές. Λόγω της ιδιαιτερότητας του αστικού τοπίου αλλά και του γεγονότος ότι στις αστικές περιοχές ο αριθμός των αποδεκτών του πλημμυρικού κινδύνου είναι ιδιαίτερα υψηλός, έχει οριστεί και μελετάται ξεχωριστά ένα νέο είδος πλημμύρας, η Αστική πλημμύρα.

1.4 ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Η στρατηγική που προτάσσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για την προστασία από τις πλημμύρες αποτυπώνεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ (2007) για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Σύμφωνα με αυτή την οδηγία, η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των πλημμυρών χωρίζεται σε τρεις δράσεις, τη προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, την κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας και, τέλος, την κατάρτιση, για κάθε λεκάνη, σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων αυτών.

Σε κάθε λεκάνη απορροής ποταμού γίνεται προκαταρκτική μελέτη για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας προκειμένου να καταρτιστούν χάρτες επικινδυνότητας και χάρτες κινδύνου πλημμύρας. Οι χάρτες αυτοί λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό τεχνικών έργων, όπως είναι η κατασκευή ενός δρόμου, αλλά και διαδικασιών, όπως είναι τα πρωτόκολλα εκκένωσης σε περίπτωση φυσικής καταστροφής. Επίσης, επικαιροποιούνται όταν συντελείται κάποια αλλαγή στην περιοχή που επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης. Η αλλαγή μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα κάποιου καταστροφικού γεγονότος, όπως γίνεται μετά από μια πυρκαγιά που αποψιλώνει την πλαγιά ενός βουνού, αλλά και από ανθρώπινη επέμβαση, όπως για παράδειγμα από τη κατασκευή ενός φράγματος.

Η απειλή της πλημμύρας είναι πολύπλευρη και η αντιμετώπισή της συνιστά σύνθετο πρόβλημα με λύση πολυσήμαντη, καθώς αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων με διαφορετικές προτεραιότητες. Τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως το κόστος των τεχνικών έργων, τα οικονομικά οφέλη, τα φυσικά πεδία κατάκλυσης, τις οδούς και περιοχές αποστράγγισης, τις δυνατότητες συγκράτησης όγκου νερού, την απορροφητικότητα του εδάφους και τα σημεία που παρατηρείται μεγάλη διάβρωση του εδάφους με στόχο να προστατευτούν οι κάτοικοι, να γίνει σωστός χωροταξικός σχεδιασμός, να καθοριστούν οι χρήσεις γης, να διαφυλαχτεί η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής, ακόμα και να προστατευτούν η ναυσιπλοΐα και οι λιμενικές υποδομές.

Ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας καλύπτει όλο το φάσμα των δράσεων, από τη πρόληψη μέχρι την αντιμετώπιση. Στο σχέδιο συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων δράσεις όπως η ενημέρωση και η εκπαίδευση των κατοίκων, η προώθηση βιώσιμων πρακτικών χρήσης γης, η εγκατάσταση μετεωρολογικών συστημάτων πρόβλεψης πλημμυρών, η εγκατάσταση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η στελέχωση υπηρεσιών όπως η Πυροσβεστική Υπηρεσία και άλλες υπηρεσίες διάσωσης σε περίπτωση φυσικής καταστροφής, η κατασκευή και η συντήρηση τεχνικών έργων συγκράτησης υδάτων, οι δενδροφυτεύσεις, οι δομές για την ελεγχόμενη κατάκλυση περιοχών σε περίπτωση πλημμύρας.

Τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλουν να τηρούν την Ευρωπαϊκή Οδηγία και να λαμβάνουν διαρθρωτικές πρωτοβουλίες για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας, αλλά και να έχουν συγκεκριμένη στρατηγική αντιμετώπισης πλημμύρας για κάθε λεκάνη απορροής υψηλού και μεσαίου πλημμυρικού κινδύνου, με σκοπό να προστατεύουν τους πολίτες τους, το περιβάλλον, την οικονομική δραστηριότητα αλλά και την πολιτιστική κληρονομιά.

1.5 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών είναι ένα δύσκολο εγχείρημα που απαιτεί πολύπλευρο σχεδιασμό και συνέργεια πολλών και διαφορετικών παραγόντων. Οι παρεμβάσεις που γίνονται για να προστατευτεί μια περιοχή διακρίνονται σε κατασκευαστικές και μη κατασκευαστικές, ενώ τα μέτρα που εφαρμόζονται χωρίζονται σε μέτρα προστασίας, πρόληψης, ετοιμότητας, αποκατάστασης και φυσικά, μέτρα αντιμετώπισης. Δεδομένου ενός συνόλου αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου, τα διάφορα μέτρα μπορούν να εστιάζουν σε διαφορετικές υπο-ομάδες αυτού του συνόλου. (Στάμου, 2018)

Ένα ευρύ φάσμα μέτρων μπορούν να θεωρηθούν ως μέτρα πρόληψης. Τέτοια μέτρα είναι οι μελέτες εκτίμησης τρωτότητας και επικινδυνότητας, που αποσκοπούν στην ακριβή αποτύπωση της κατάστασης και στην ενημέρωση των αποδεκτών, αλλά ακόμη και μέτρα όπως η μετεγκατάσταση ή η απαγόρευση εγκατάστασης νέων αποδεκτών, που αποσκοπούν στην μείωση του πλημμυρικού κινδύνου δια της μείωσης του αριθμού των αποδεκτών με την απομάκρυνσή τους από την περιοχή κινδύνου. Μέτρο πρόληψης θεωρείται επίσης και η θέσπιση πολιτικών για τη χρήση γης, με στόχο να περιοριστεί η έκθεση αριθμού αποδεκτών στον κίνδυνο.

Τα μέτρα προστασίας είναι κατά κύριο λόγο κατασκευαστικά. Ως μέτρα προστασίας θεωρούνται τα αντιπλημμυρικά έργα, τα έργα διαχείρισης όμβριων υδάτων, αλλά ακόμα και η αφαίρεση κτιρίων που βρίσκονται χτισμένα σε κοίτες ρεμάτων, ή η τροποποίηση ήδη υπάρχοντων κτιρίων για να αποτελέσουν ασφαλή καταφύγιο σε περίπτωση πλημμύρας.

Τα μέτρα ετοιμότητας περιλαμβάνουν συστήματα μετεωρολογικής πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης, καθώς επίσης και σχέδια επιχειρησιακής ετοιμότητας των διαφόρων υπηρεσιών, που έχουν ως στόχο να επιτρέψουν την ταχεία και αποτελεσματική ανταπόκριση αυτών των υπηρεσιών στη περίπτωση έκτακτου πλημμυρικού γεγονότος. Σχέδια ετοιμότητας γίνονται τόσο σε τοπικό, όσο και σε κρατικό επίπεδο, ενώ εξίσου σημαντικές είναι και οι δράσεις ενημέρωσης του πληθυσμού, που αυξάνουν την ετοιμότητα των ατόμων και της κοινότητας που βρίσκεται σε κίνδυνο. Τέτοιες δράσεις είναι, μεταξύ άλλων, οι εκδηλώσεις ενημέρωσης κι ευαισθητοποίησης των πολιτών, η υποστήριξη ομάδων εθελοντών και οι ασκήσεις ετοιμότητας. (Καραμούστου και Στάμου, 2019)

Στα μέτρα αποκατάστασης συγκαταλέγονται ο καθαρισμός της πληγείσας περιοχής από φερτά, οι αντλήσεις υδάτων από υπόγεια,, η επισκευή κτιρίων και κρίσιμων υποδομών, όπως είναι οι γέφυρες, οι δρόμοι αλλά και το ηλεκτρικό δίκτυο, και τέλος, η οικονομική, ιατρική, φαρμακευτική και ψυχολογική υποστήριξη των πληγέντων. Σημαντικά είναι και τα περιβαλλοντικά μέτρα αποκατάστασης, στα οποία συγκαταλέγονται η αποκατάσταση της ποιότητας των υδάτων και η σφράγιση διαρροών επικίνδυνων ουσιών. Στην περίπτωση της Φουκουσίμα της Ιαπωνίας, η περιοχή χρειάστηκε μέχρι και αντιμετώπιση της ραδιενέργειας που απελευθερώθηκε όταν το πυρηνικό εργοστάσιο που λειτουργούσε στη περιοχή χτυπήθηκε από ισχυρό κύμα τσουνάμι.

Τα μέτρα αντιμετώπισης αφορούν όλες τις παραπάνω κατηγορίες και μπορούν να διακριθούν και αυτά σε τεχνικά και μη, ατομικά και συλλογικά. Ενδεικτικά μέτρα αυτού του τύπου είναι: δημιουργία ή επισκευή αναχωμάτων και προστατευτικών τοίχων, εκτροπές ποταμών, αύξηση παροχетеυτικότητας ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη διατομών, διατήρηση και επέκταση των δασών σε ορεινές περιοχές, διατήρηση των πλημμυρικών πεδίων, έλεγχος και συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων στους αστικούς ιστούς, ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, οργάνωση φορέων, ανάπτυξη των ατομικών μέτρων για τη μείωση του κινδύνου των κατοικιών όπου αυτό είναι δυνατό (π.χ. ανύψωση κατασκευών, κατασκευή τοίχου γύρω από τη κατοικία, ασφαλιστικά μέτρα κ.ά.). (Μπαλτάς & Φελώνη, χ.χ.)

2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

2.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ TELEMAC-2D

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται το δισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο TELEMAC-2D, το οποίο αποτελεί μέρος της ολοκληρωμένης πλατφόρμας λογισμικού TELEMAC – MASCARET (www.opentelemac.org). Το ελεύθερο λογισμικό TELEMAC – MASCARET αποτελείται από μοντέλα ανοικτού κώδικα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολλές μελέτες, κυρίως στο πεδίο που ασχολείται με ροές με ελεύθερη επιφάνεια. Αρχικά το λογισμικό αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Laboratoire d'Hydraulique et Environnement (LHNE), το οποίο ανήκει στο τμήμα έρευνας και ανάπτυξης της Γαλλικής Εταιρίας Ηλεκτρισμού (Electricité de France, EDF). Επί του παρόντος το λογισμικό διαχειρίζεται κοινοπραξία διαφόρων μελετητών και άλλων ερευνητικών κέντρων (TELEMAC-MASCARET Consortium).

Το δισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο TELEMAC-2D επιλύει τις εξισώσεις ρηχών υδάτων, αλλιώς ονομαζόμενες εξισώσεις Saint – Venant, με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων ή των διαφορικών όγκων σε υπολογιστικό πλέγμα τριγωνικών στοιχείων. Το μοντέλο εφαρμόζεται κυρίως σε προβλήματα θαλάσσιας και ποτάμιας υδραυλικής, μόνιμων ή μεταβλητών συνθηκών. Μερικά από τα φαινόμενα που μπορούν να ληφθούν υπόψη στην επίλυση της ροής είναι τα ακόλουθα.

1. Τριβή στον πυθμένα
2. Επίδραση της περιστροφής της γης (δύναμης Coriolis)
3. Επίδραση μετεωρολογικών παραγόντων (π.χ. ατμοσφαιρική πίεση, κατακρήμνιση, κ.ά.)
4. Τύρβη
5. Υπερκρίσιμες και υποκρίσιμες ροές
6. Ξηρές περιοχές (π.χ. πλημμυρική κοίτη)
7. Φαινόμενα πορώδους
8. Κατασκευές που διαταράσσουν την ροή, (π.χ. υπερχειλιστές, οχετοί, αναχώματα κ.ά.)
9. Διάδοση κυματισμών μεγάλου μήκους
10. Διάχυση ρύπων, κ.ά.

Επίσης μπορεί να συνδυαστεί με άλλα μοντέλα (π.χ. SISYPHE, DELWAQ), τα οποία ασχολούνται με τον υπολογισμό στερεομεταφοράς και ποιότητας υδάτων.

Στο πεδίο των ποτάμιων εφαρμογών, το λογισμικό χρησιμοποιείται σε εργασίες που αφορούν την επίδραση κατασκευών στη ροή, σε αστοχία φραγμάτων, στην προσομοίωση πλημμυρών καθώς και σε πιο ειδικές περιπτώσεις όπως θραύση βιομηχανικών δεξαμενών ή ακόμα και πτώση χιονοστιβάδας εντός ταμιευτήρα.

Τέλος σημειώνεται πως ο χρήστης έχει την ευχέρεια να προγραμματίσει κάποια λειτουργία εντός του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση, στην περίπτωση που αυτή δεν διατίθεται από την έκδοση του λογισμικού του TELEMAC – MASCARET. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, τροποποιώντας ορισμένες υπορουτίνες του προγράμματος, οι οποίες είναι γραμμένες σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran.

2.1.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ

Το μοντέλο TELEMAC-2D επιλύει ταυτόχρονα τις τέσσερις βασικές υδροδυναμικές (Galland et al., 1991. Riadh Ata, 2018).

(1) Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(h) + h \operatorname{div}(\vec{u}) = S_h \quad (2.1)$$

(2) Εξίσωση ποσότητας κίνησης κατά τη διεύθυνση x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(u) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} \operatorname{div}(h v_t \vec{\nabla} u) \quad (2.2)$$

(3) Εξίσωση ποσότητας κίνησης κατά τη διεύθυνση y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(v) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} \operatorname{div}(h v_t \vec{\nabla} v) \quad (2.3)$$

(4) Αρχή διατήρησης της μάζας του ρύπου:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(T) = S_T + \frac{1}{h} \operatorname{div}(h v_T \vec{\nabla} T) \quad (2.4)$$

όπου:

h	[m]	βάθος ροής
u,v	[m/s]	συνιστώσες της ταχύτητας
T	[g/l ή °C]	παθητικός ρύπος (πχ θερμοκρασία)
t	[s]	χρόνος
x, y	[m]	συντεταγμένες στο οριζόντιο επίπεδο
g	[m/s ²]	επιτάχυνση της βαρύτητας
v _t	[m ² /s]	κινηματική συνεκτικότητα
v _T	[m ² /s]	συντελεστής διάχυσης του ρύπου
Z	[m]	υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας
S _h	[m/s]	πηγή/ απώλεια ρευστού
S _T	[g/l/s]	πηγή/ απώλεια ρύπου
S _x , S _y	[m/s ²]	όροι πηγής που αντιπροσωπεύουν την επίδραση του ανέμου, την τριβή του πυθμένα, την δύναμη Coriolis.

Οι εξισώσεις δίνονται σε καρτεσιανές συντεταγμένες, αλλά υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής σε πολικές συντεταγμένες.

Το μοντέλο επιλύει τις εξισώσεις και υπολογίζει τους αγνώστους, που είναι το βάθος ροής (h), οι συνιστώσες της ταχύτητας (u,v) και ο ρύπος (T), σε κάθε σημείο του πλέγματος.

Τέλος, στην περίπτωση που τα υδροστατικά φαινόμενα δεν είναι αμελητέα, γίνεται βελτίωση των εξισώσεων Saint Venant προσθέτοντας επιπλέον όρους. Για την θεώρηση Boussinesq, προστίθεται ο παρακάτω όρος στο δεξί μέλος των εξισώσεων Saint – Venant.

$$-\frac{H_o^2}{6} \operatorname{grad}[\operatorname{div}(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t})] + \frac{H_o}{2} \operatorname{grad}[\operatorname{div}(H_o \frac{\partial \vec{u}}{\partial t})] \quad (2.5)$$

2.1.2 ΑΡΧΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για τη λειτουργία του μοντέλου TELEMAC-2D απαιτούνται ορισμένα αρχεία, κάποια από τα οποία είναι απαραίτητα. Τα αρχεία που είναι υποχρεωτικά για τους υπολογισμούς είναι τρία και συγκεκριμένα είναι:

1. Το αρχείο παραμέτρων (steering file), το οποίο περιλαμβάνει τις απαραίτητες παραμέτρους για τη διαμόρφωση του υπολογισμού,
2. Το αρχείο της γεωμετρίας (geometry file), που περιέχει το υπολογιστικό πλέγμα,
3. Το αρχείο οριακών συνθηκών (boundary conditions file), με τη περιγραφή του τύπου κάθε ορίου του πλέγματος.

Ορισμένα από τα υπόλοιπα αρχεία που δέχεται το πρόγραμμα ως δεδομένα εισόδου, παρατίθενται περιληπτικά στη συνέχεια.

1. Αρχείο αποτελεσμάτων προηγούμενης προσομοίωσης,
2. Αρχείο ρευστών ορίων, όπου δίνονται πληροφορίες για προκαθορισμένες τιμές στα ανοιχτά όρια, όπως υψόμετρο ελεύθερης επιφάνειας νερού, παροχή κ.ά.,
3. Αρχείο σε γλώσσα Fortran, το οποίο περιέχει μετατροπές στη λειτουργία των υπορουτίνων,
4. Αρχείο με δεδομένα τραχύτητας, για περιπτώσεις που η διαμόρφωση του συντελεστή τραχύτητας πυθμένα είναι περίπλοκη,
5. Αρχείο με καμπύλες στάθμης – παροχής, στο οποίο δίνονται πληροφορίες για τα ανοιχτά όρια,
6. Αρχείο διατομών, όπου ορίζονται διατομές ελέγχου του μοντέλου και στις οποίες υπολογίζεται η παροχή,
7. Αρχείο τεχνικών έργων, στο οποίο δίνονται τα απαραίτητα δεδομένα για κατασκευές εντός του υπολογιστικού πεδίου.

Το αρχείο αποτελεσμάτων (results file) αποτελεί αρχείο εξόδου του προγράμματος και περιέχει τα αποτελέσματα σε μορφή γραφικών.

Τα αρχεία εισόδου και εξόδου του προγράμματος TELEMAC – MASCARET, που είναι σε δυαδική μορφή, μπορούν να έχουν διάφορες μορφοποιήσεις, με τη πιο διαδεδομένη τη μορφοποίηση Serafin (ή Selafin). Η μορφοποίηση Serafin μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να αποθηκεύονται τα δεδομένα με μονή ή διπλή ακρίβεια.

Στη συνέχεια δίνεται μια πιο λεπτομερής περιγραφή για ορισμένα αρχεία που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα.

2.1.2.1 Αρχείο παραμέτρων

Το **αρχείο παραμέτρων (steering file)** είναι σε μορφή αρχείου κειμένου. Μπορεί να κατασκευαστεί είτε εξ' αρχής από τον χρήστη είτε να χρησιμοποιηθούν αρχεία που βρίσκονται στη βιβλιοθήκη του προγράμματος, ύστερα από κατάλληλη τροποποίηση.

Στο αρχείο αυτό ορίζονται παράμετροι για τη διαμόρφωση του υπολογισμού. Οι παράμετροι καθορίζονται με λέξεις – κλειδιά, οι οποίες λαμβάνουν τιμή σύμφωνα με το λεξιλόγιο του μοντέλου που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Οι λέξεις – κλειδιά μπορούν να έχουν λογική, αριθμητική τιμή ή ακόμα και να είναι κείμενο. Το μοντέλο TELEMAC-2D διαβάζει το αρχείο παραμέτρων στην αρχή της προσομοίωσης.

2.1.2.2 Αρχείο γεωμετρίας

Το **γεωμετρικό αρχείο (geometry file)** είναι σε δυαδική μορφή. Το αρχείο περιέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν το υπολογιστικό πλέγμα, όπως είναι ο αριθμός των κόμβων, το πλήθος των στοιχείων, πίνακες με τις συντεταγμένες (x και y) όλων των κόμβων του πλέγματος.

Το αρχείο αυτό μπορεί επίσης να περιέχει πληροφορίες ως προς τη βαθυμετρία και τον συντελεστή τραχύτητας για κάθε σημείο του πλέγματος.

Για την δημιουργία και επεξεργασία του πλέγματος χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη περίπτωση το λογισμικό BlueKenue, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το *Canadian Hydraulics Centre* του *National Research Council of Canada (CHC – NRCC)*.

2.1.2.3 Αρχείο οριακών συνθηκών

Το **αρχείο οριακών συνθηκών (boundary conditions file)** δημιουργείται από το πρόγραμμα BlueKenue και έχει τη μορφή απλού αρχείου κειμένου. Το αρχείο αυτό περιέχει πληροφορίες για κάθε κόμβο των ορίων του υπολογιστικού πλέγματος.

2.1.2.4 Αρχείο υδραυλικών κατασκευών

Το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει την επίδραση διαφόρων κατασκευών και άλλων ιδιαιτεροτήτων στη ροή του νερού. Τα αρχεία περιέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των κατασκευών, με μορφή όπως ορίζεται από το πρόγραμμα. Τα αρχεία αυτά έχουν μορφή αρχείου κειμένου και μπορούν να δημιουργηθούν με απλό επεξεργαστή κειμένου.

Στο κεφάλαιο 2.2.5 δίνεται η μορφή που πρέπει να ακολουθεί το αρχείο των οχετών.

Συγκεκριμένα το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει την επίδραση

1. Υπερχειλιστών, δίνοντας το όνομα του αρχείου στην παράμετρο WEIRS DATA FILE,
2. Αγωγών, δίνοντας το όνομα του αρχείου στην παράμετρο αρχείου TUBES DATA FILE,
3. Οχετών, δίνοντας το όνομα του αρχείου στην παράμετρο CULVERT DATA FILE,
4. Αστοχίας κατασκευής, δίνοντας το όνομα του αρχείου στην παράμετρο BREACHES DATA FILE.

2.1.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

2.1.3.1 Ορισμός οριακών συνθηκών

Οι οριακές συνθήκες προσδιορίζονται για κάθε σημείο των ορίων του πλέγματος. Οι μεταβλητές που ορίζονται αφορούν το βάθος, τις συνιστώσες της ταχύτητας (ή την παροχή) και τον ρύπο. Οι διαφορετικοί τύποι οριακών συνθηκών μπορούν να συνδυαστούν για την περιγραφή μιας συνθήκης. Οι συνδυασμοί που μπορεί να λάβει μια οριακή συνθήκη είναι οι εξής

1. Σταθερή συνθήκη στο όριο και σταθερή στον χρόνο.
2. Η συνθήκη είναι σταθερή στο όριο, αλλά μεταβλητή στον χρόνο.
3. Συνθήκη μεταβλητή στο χώρο και σταθερή στο χρόνο.
4. Συνθήκη μεταβλητή στον χώρο και στον χρόνο.
5. Η συνθήκη είναι μεταβλητή στον χρόνο

Στις περιπτώσεις που η οριακή συνθήκη είναι σταθερή στον χρόνο, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τον τύπο και την τιμή της οριακής συνθήκης απευθείας με λέξη – κλειδί στο αρχείο των παραμέτρων. Επομένως για τα ρευστά όρια, ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα εξής.

1. Καθορισμένη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας - PRESCRIBED ELEVATIONS. Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας ορίζεται για κάθε όριο του πλέγματος.
2. Καθορισμένη παροχή - PRESCRIBED FLOWRATES. Με την παράμετρο αυτή ορίζεται η παροχή στο όριο.
3. Καθορισμένη ταχύτητα - PRESCRIBED VELOCITIES. Καθορίζεται η ταχύτητα στο όριο.

Στη περίπτωση που υπάρχουν στοιχεία για κάποιο όριο για τη παροχή συναρτήσει της στάθμης, ή αντίστοιχα της στάθμης συναρτήσει της παροχής, ο χρήστης μπορεί να δώσει αρχείο που περιέχει τις τιμές της καμπύλης στάθμης – παροχής (STAGE – DISCHARGE CURVE) για το συγκεκριμένο ρευστό όριο.

2.1.3.2 Ορισμός αρχικών συνθηκών

Για τον προσδιορισμό της κατάστασης της προσομοίωσης κατά το ξεκίνημα αυτής πρέπει να οριστούν οι αρχικές συνθήκες που επικρατούν.

Οι αρχικές συνθήκες μπορούν να λάβουν κάποια από τις παρακάτω τιμές.

1. Μηδενικό υψόμετρο. Το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας ορίζεται ίσο με μηδέν. Τα αρχικά βάθη υπολογίζονται από το υψόμετρο του πυθμένα.
2. Σταθερό υψόμετρο. Αρχικοποιείται το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας σύμφωνα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο INITIAL ELEVATION. Τα αρχικά βάθη, στην περίπτωση αυτή, υπολογίζονται από την αφαίρεση του υψομέτρου του πυθμένα από το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας. Όπου ο πυθμένας είναι υψηλότερος από την ελεύθερη επιφάνεια, το βάθος ορίζεται μηδέν.
3. Μηδενικό βάθος. Το βάθος σε ολόκληρο το πεδίο ορίζεται ίσο με μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι η προσομοίωση ξεκινάει με ξηρά στοιχεία.
4. Σταθερό βάθος. Το αρχικό βάθος σε ολόκληρο το υπολογιστικό πλέγμα ορίζεται σύμφωνα με τη τιμή που δίνεται από την λέξη-κλειδί INITIAL DEPTH.
5. Ειδική περίπτωση. Αυτή η περίπτωση επιλέγεται όταν τίποτα από τα παραπάνω δεν ισχύει. Η ειδική περίπτωση ορίζεται μέσω της υπορουτίνας CONDIN.

Οι αρχικές συνθήκες ορίζονται είτε μέσω του αρχείου παραμέτρων με τη λέξη – κλειδί INITIAL CONDITIONS, είτε από τα αποτελέσματα προηγούμενης προσομοίωσης.

2.1.3.3 Ορισμός παραμέτρου τραχύτητας

Ο τύπος του συντελεστή τραχύτητας του πυθμένα του μοντέλου ορίζεται με τη λέξη – κλειδί LAW OF BOTTOM FRICTION. Οι τιμές που μπορεί να λάβει η παράμετρος είναι από 1 μέχρι 8, σύμφωνα με τα παρακάτω

1. Χωρίς τριβή
2. Haaland 's law
3. Chezy 's law
4. Strickler 's law
5. Manning 's law
6. Nikuradse law
7. Log law of the wall
8. Colebrooke – White law

Ο συντελεστής τραχύτητας μπορεί να είναι σταθερός για όλο το υπολογιστικό πεδίο ή μπορεί να μεταβάλλεται χωρικά. Στην πρώτη περίπτωση πρέπει να οριστεί η τιμή αυτού μέσω του αρχείου παραμέτρων, ενώ στη δεύτερη δίνεται η τιμή για κάθε σημείο του πλέγματος μέσω του αρχείου γεωμετρίας.

2.1.3.4 Μοντελοποίηση της τύρβης

Τα μοντέλα της τύρβης που υπάρχουν για τον υπολογισμό της τυρβώδους ροής και διατίθενται στο μοντέλο TELEMAC-2D είναι τα παρακάτω. Ο χρήστης ενεργοποιεί την επιλογή με τη λέξη - κλειδί TURBULENCE MODEL.

1. Σταθερή συνεκτικότητα – Constant viscosity. Η τυρβώδης συνεκτικότητα είναι σταθερή σε όλο το πεδίο. Η εξ' ορισμού τιμή της συνεκτικότητας για το μοντέλο είναι ίση με 10^{-6} (η οποία αντιστοιχεί στο κινηματικό ιξώδες του νερού) και μπορεί να αλλάξει μέσω της λέξης-κλειδί VELOCITY DIFFUSIVITY.

2. Elder model.

3. K-epsilon model. Το μοντέλο k-ε αποτελεί το συνηθέστερο μοντέλο προσομοίωσης των χαρακτηριστικών της τυρβώδους ροής. Αποτελείται από δύο εξισώσεις, οι οποίες περιγράφουν την τύρβη, μέσω εξισώσεων μεταφοράς. Η πρώτη μεταβλητή περιγράφει την κινητική ενέργεια τύρβης, ενώ η δεύτερη αποτελεί τον ρυθμό απόσβεσης της κινητικής ενέργειας. Οι εξισώσεις δίνονται, για την κινητική ενέργεια τύρβης k (turbulence kinetic energy)

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(k) = \frac{1}{h} \operatorname{div} \left(h \frac{\nu_t}{1.0} \vec{\nabla} k \right) + P - \varepsilon + P_{kv} \quad (2.6)$$

για την απόσβεση ε (turbulence eddy dissipation)

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}(\varepsilon) = \frac{1}{h} \operatorname{div} \left(h \frac{\nu_t}{1.3} \vec{\nabla} \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} (1.44P - 1.92\varepsilon) + P_{\varepsilon v} \quad (2.7)$$

Όπου

u η συνιστώσα της ταχύτητας στην αντίστοιχη κατεύθυνση

$$\text{και } \nu_t = 0.09 \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.8)$$

Οι όροι του δεξιού μέλους των εξισώσεων αντιστοιχούν στην παραγωγή και την καταστροφή των ποσοτήτων της τύρβης (ενέργειας και απόσβεσης).

4. Smagorinski model. Το μοντέλο Smagorinski χρησιμοποιείται για την προσομοίωση μεγάλης κλίμακας τύρβης.

2.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΧΕΤΩΝ ΣΤΟ TELEMAC-2D

2.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΚΦΡΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ

Η ύπαρξη οχετών στην κοίτη ενός καναλιού προκαλεί αλλαγές στον τύπο ροής του νερού. Η ροή που φτάνει στην κατασκευή του οχετού είναι συνήθως ήρεμη και ομοιόμορφη. Ωστόσο ενδέχεται η ροή που περνάει μέσα από τον οχετό να μετατραπεί από ήρεμη σε γρήγορη και ο οχετός να ρέει πλήρης ή σχεδόν πλήρης. Η αλλαγή αυτή προκαλείται κυρίως από την επίδραση της επιτάχυνσης της ροής λόγω συστολής της επιφάνειας διατομής.

Η γενική έκφραση για τον υπολογισμό της παροχής που δίνεται από τον Smolders et al. (2016) και βασίζεται στο έργο του Carlier (όπως αναφέρεται στο Smolder et al., 2016) είναι

$$Q = \mu A \sqrt{2g\Delta H} \quad (2.9)$$

Όπου A είναι η υγρή επιφάνεια του οχετού, και ΔH είναι η διαφορά φορτίου μεταξύ των δύο πλευρών του οχετού. Επίσης μ είναι ο αδιάστατος συντελεστής παροχής, ο οποίος ισούται με

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{C_1 + C_2 + C_3}} \quad (2.10)$$

- C₁ συντελεστής απωλειών ενέργειας στην είσοδο του οχετού
- C₂ συντελεστής απωλειών ενέργειας λόγω τριβής μέσα στον οχετό
- C₃ συντελεστής απωλειών ενέργειας στην έξοδο του οχετού

2.2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΥΠΟΥ ΡΟΗΣ

Σύμφωνα με τον Bodhaine (1968), η ροή μέσω οχετών διαχωρίζεται σε έξι τύπους ροής. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι τύποι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

Κατηγορία 1: Κρίσιμο βάθος

Στην πρώτη κατηγορία εμφανίζεται κρίσιμο βάθος εντός του οχετού. Οι τύποι ροής χωρίζονται στον Τύπο 1 και 2. Η πρώτη κατηγορία μπορεί να ανιχνευθεί από την εμφάνιση κρίσιμου βάθους.

- Το κρίσιμο βάθος μπορεί να βρίσκεται είτε στο ανάντη είτε κατάντη άκρο του οχετού.
- Για να επιτευχθεί ροή με κρίσιμο βάθος, το βάθος του νερού στα ανάντη πρέπει να είναι 1.5 φορά μικρότερη από τη διάμετρο του οχετού.
- Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο τύπων γίνεται ανάλογα με τη στάθμη του νερού στα κατάντη και την κλίση του πυθμένα του οχετού.

Κατηγορία 2: Ροή με βάθος στα κατάντη

Οι τύποι ροής 3 και 4 προκύπτουν όταν το βάθος νερού στα κατάντη ελέγχει τη ροή του οχετού. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε

- δεν εμφανίζεται κρίσιμο βάθος
- Ο αγωγός μπορεί να ρέει είτε εν μέρει, όταν ο λόγος του βάθους νερού στα ανάντη προς τη διάμετρο είναι μικρότερος από 1.5,
- είτε πλήρης, όπου και οι δύο άκρες του οχετού είναι βυθισμένες, και ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 1.

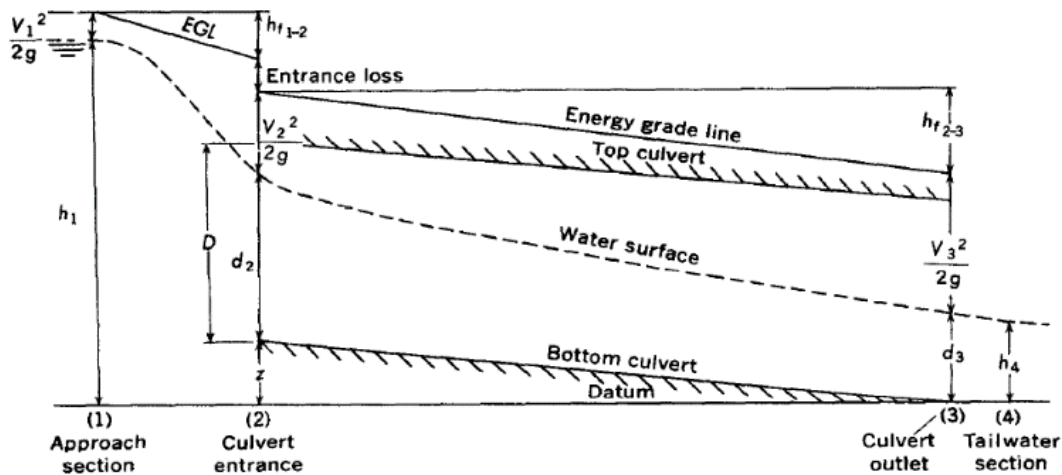
Κατηγορία 3: Ροή με μεγάλο βάθος στα ανάντη

Ένα προσεγγιστικό κριτήριο για αυτήν την κατηγορία, όπου ανήκουν οι τύποι 5 και 6, είναι ότι

- Εμφανίζεται ροή με μεγάλο βάθος στα ανάντη όταν το βάθος στα κατάντη βρίσκεται χαμηλότερα από την οροφή του άκρου του οχετού,

- ο λόγος βάθους νερού στα ανάντη προς διάμετρο είναι ίσος ή μεγαλύτερος από 1.5.
 - στον τύπο ροής 5 ο σχετός ρέει εν μέρει, αντίθετα με τον τύπο 6 όπου ρέει πλήρης.
- Οι παράγοντες που καθορίζουν τον συγκεκριμένο τύπο ροής είναι η γεωμετρία της εισόδου, το μήκος, η κλίση του οχετού και η τραχύτητα του αγωγού.

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της ροής μέσω ενός οχετού.



Σχήμα 2.1: Χαρακτηριστικά της ροής διαμέσου ενός οχετού (Bodhaine, 1968)

Το ύψος του οχετού είναι ίσο με το D . Τα h_1 και h_4 αποτελούν τα υψόμετρα της ελεύθερης επιφάνειας στα ανάντη και κατάντη του οχετού. Το υψόμετρο του πυθμένα του οχετού ορίζεται ως z από το επίπεδο αναφοράς, από την έξοδο του οχετού. Τα d_2 και d_3 είναι τα βάθη του νερού, στην είσοδο και την έξοδο του οχετού αντίστοιχα. Οι ταχύτητες στο περιοχή εισόδου, στην είσοδο και στην έξοδο του οχετού δίνονται από τα v_1 , v_2 και v_3 . Τέλος, οι απώλειες λόγω τριβής από την περιοχή εισόδου και μέσα στον οχετό δίνονται από τα hf_{1-2} και hf_{2-3} αντίστοιχα.

Οι εξισώσεις παροχής για κάθε τύπο ροής προκύπτουν από την εφαρμογή των εξισώσεων συνέχειας και ενέργειας, μεταξύ των διατομών της περιοχής εισόδου και ενός τμήματος εντός του οχετού. Η θέση του δεύτερου τμήματος εξαρτάται από την κατάσταση ροής στον οχετό.

Η σχέση στάθμης-παροχής στο τμήμα εισόδου ελέγχεται από χαρακτηριστικά όπως η εμφάνιση κρίσιμου βάθους, το βάθος στα κατάντη, η γεωμετρία της εισόδου του οχετού ή ένας συνδυασμός αυτών.

Τα κριτήρια για την κατηγοριοποίηση της ροής δίνονται στον επόμενο πίνακα.

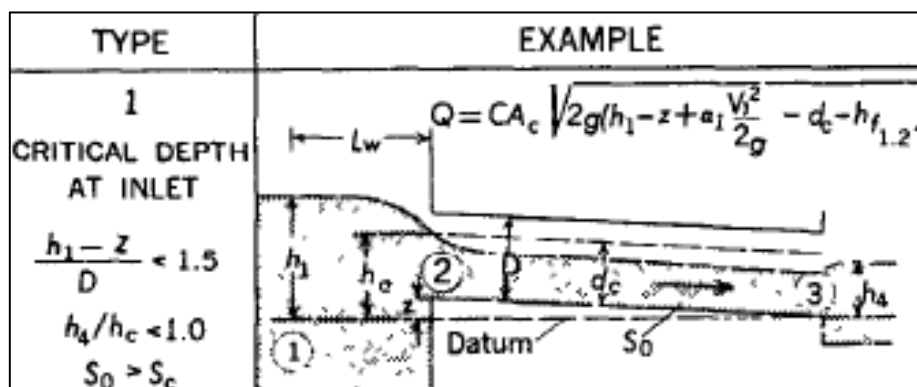
Πίνακας 2.1: Κριτήρια κατηγοριοποίησης της ροής διαμέσου οχετού (Bodhaine, 1968)

Flow type	Barrel flow	Location of terminal section	Kind of control	Culvert slope	$\frac{h_1 - z}{D}$	$\frac{h_4}{h_r}$	$\frac{h_4}{D}$
1	Partly full	Inlet	Critical depth	Steep	< 1.5	< 1.0	≈ 1.0
2	do	Outlet	do	Mild	< 1.5	< 1.0	≈ 1.0
3	do	do	Backwater	do	< 1.5	> 1.0	≈ 1.0
4	Full	do	do	Any	> 1.0		≈ 1.0
5	Partly full	Inlet	Entrance geometry	do	≈ 1.5		≈ 1.0
6	Full	Outlet	Entrance and barrel geometry	do	≈ 1.5		≈ 1.0

2.2.2.1 Τύπος ροής 1

Ο τύπος ροής 1 χαρακτηρίζεται από την υπερκρίσιμη ροή που αναπτύσσεται. Συγκεκριμένα

- το κρίσιμο βάθος εμφανίζεται κοντά στην είσοδο του οχετού,
- η ροή είναι υπερκρίσιμη εντός του οχετού,
- η κλίση του οχετού S_0 είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη κλίση S_c ,
- και το βάθος του νερού κατάντη h_4 πρέπει να είναι μικρότερο από την στάθμη της επιφάνειας του νερού στη διατομή ελέγχου h_2 .
- Ο οχετός ρέει εν μέρει γεμάτος.



Σχήμα 2.2: Τύπος ροής 1 (Bodhaine, 1968)

Οι εξισώσεις συνέχειας και ενέργειας εφαρμόζονται μεταξύ της περιοχής εισόδου και της εισόδου του οχετού, όπου και εμφανίζεται το κρίσιμο βάθος. Η παροχή υπολογίζεται από τον εξής τύπο.

$$Q = C_D A_c \sqrt{2g(h_1 - z + a \frac{v_1^2}{2g} - d_c - h_{f_{1-2}})} \quad (2.11)$$

όπου

C_D συντελεστής παροχής

A_c υγρή επιφάνεια στο κρίσιμο βάθος νερού

h_1 ελεύθερη επιφάνεια νερού στα ανάντη του οχετού

z στάθμη πυθμένα στην εισόδου του οχετού

a συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας στην περιοχή εισόδου

v_1 μέση ταχύτητα ροής στην περιοχή εισόδου του οχετού

g επιτάχυνση της βαρύτητας

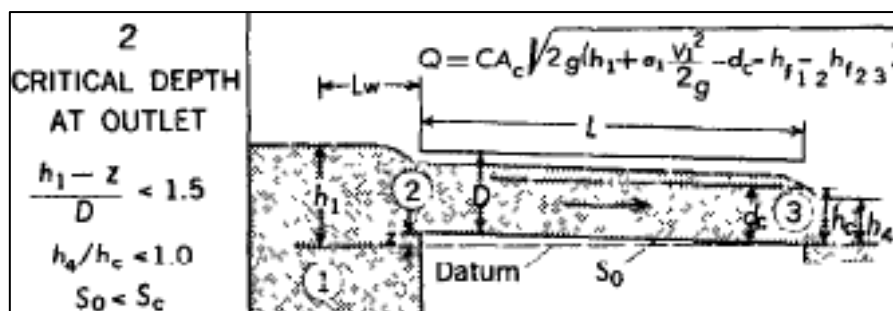
d_c κρίσιμο βάθος νερού

$h_{f_{1-2}}$ απώλειες λόγω τριβών από την περιοχή εισόδου έως την είσοδο του οχετού

2.2.2.2 Τύπος ροής 2

Στον τύπο ροής 2

- η ροή είναι υποκρίσιμη εντός του οχετού, δηλαδή η κλίση του αγωγού S_0 είναι μικρότερη από την κρίσιμη S_c
- Το βάθος ροής στην έξοδο του οχετού είναι ίσο με το κρίσιμο.
- Έτσι, η ροή ελέγχεται από την κατάντη συνθήκη, στην έξοδο του οχετού.



Σχήμα 2.3: Τύπος ροής 2 (Bodhaine, 1968)

Η εξίσωση της παροχής για τον τύπο αυτό υπολογίζεται ως εξής.

h_{f2-3} απώλεια κεφαλής λόγω τριβής μέσα στον οχετό

$$Q = C_D A_c \sqrt{2g \left(h_1 + a \frac{v_1^2}{2g} - d_c - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)} \quad (2.12)$$

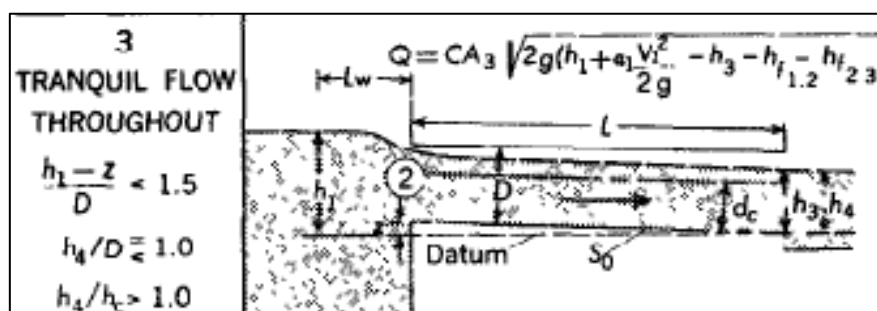
Όπου

h_{f2-3} απώλεια κεφαλής λόγω τριβής μέσα στον οχετό

2.2.2.3 Τύπος ροής 3

Στον τύπο ροής 3

- η ροή είναι υποκρίσιμη σε όλο το μήκος του οχετού.
- Ο αγωγός ρέει μερικώς γεμάτος.



Σχήμα 2.4: Τύπος ροής 3 (Bodhaine, 1968)

Η εξίσωση ενέργειας εφαρμόζεται μεταξύ της περιοχής εισόδου και εξόδου του οχετού. Η εξίσωση παροχής δίνεται παρακάτω

$$Q = C_D A_3 \sqrt{2g \left(h_1 + a \frac{v_1^2}{2g} - h_3 - h_{f1-2} - h_{f2-3} \right)} \quad (2.13)$$

όπου

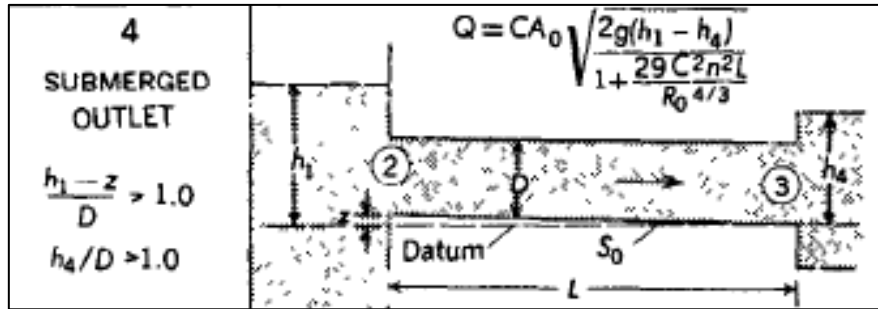
A_3 υγρή επιφάνεια στην έξοδο του οχετού

d_3 βάθος νερού στην έξοδο του οχετού

2.2.2.4 Τύπος ροής 4

Στον τύπο ροής 4

- η είσοδος και η έξοδος του οχετού είναι βυθισμένη
- συνεπώς, ο οχετός ρέει πλήρης.



Σχήμα 2.5: Τύπος ροής 4 (Bodhaine, 1968)

Ο τύπος της εξίσωσης παροχής δίνεται παρακάτω

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_4)}{1 + 29C_D^2 n^2 L / R^{4/3}}} \quad (2.14)$$

όπου:

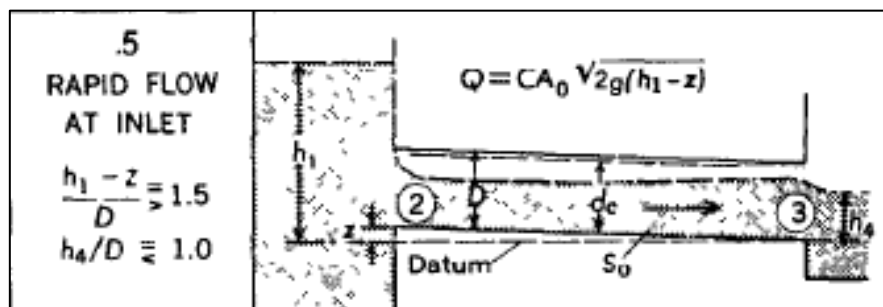
- A_0 υγρή επιφάνεια στην είσοδο του οχετού
- h_4 κατόντη βάθος νερού
- n συντελεστής τραχύτητας Manning
- L μήκος του οχετού
- R υδραυλική ακτίνα

Στην εξίσωση (2.14) ο παράγοντας 29 είναι αποτέλεσμα του αυτοκρατορικού συστήματος μονάδων μέτρησης.

2.2.2.5 Τύπος ροής 5

Για τον τύπο ροής 5 ισχύουν, ότι

- η ροή είναι υπερκρίσιμη στην είσοδο του οχετού
- Το μοτίβο ροής κατόντη της εισόδου του οχετού είναι παρόμοιο με εκείνο από ροή από θυρόφραγμα
- Ο οχετός ρέει μερικώς πλήρης και με μικρότερο βάθος από το κρίσιμο.



Σχήμα 2.6: Τύπος ροής 5 (Bodhaine, 1968)

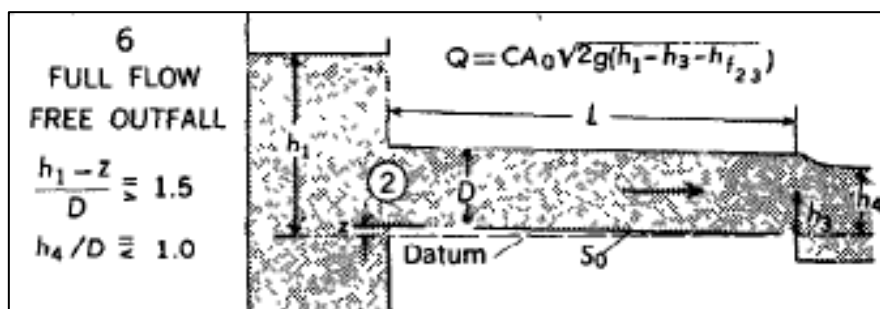
Η εξίσωση παροχής δίνεται από τον τύπο

$$Q = C_D A_0 \sqrt{2g(h_1 - z)} \quad (2.15)$$

2.2.2.6 Τύπος ροής 6

Στο τύπο ροής 6

- ο οχετός ρέει πλήρης.
- Το βάθος στα κατάντη βρίσκεται κατάντη του βάθους στο άκρο του οχετού.

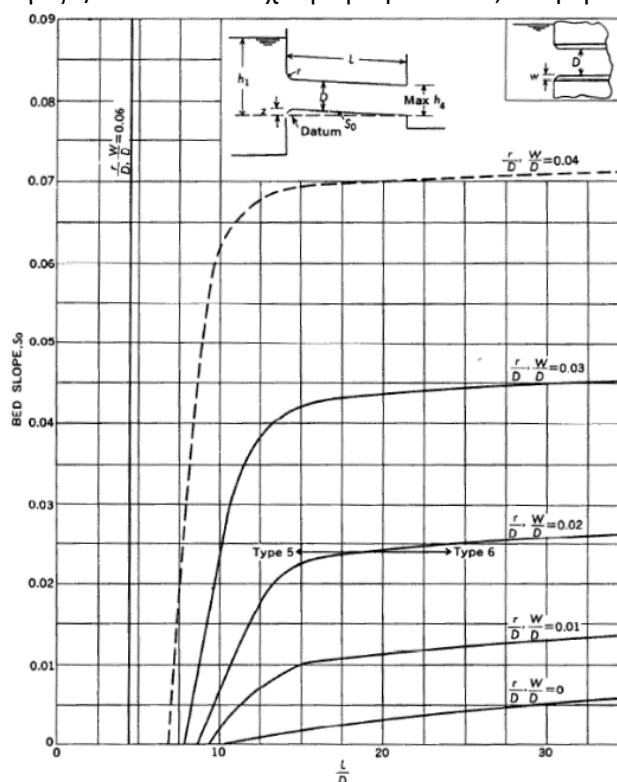


Σχήμα 2.7: Τύπος ροής 6 (Bodhaine, 1968)

Η παροχή υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση, αγνοώντας την κινητική ενέργεια και τις απώλειες φορτίου στο τμήμα εισόδου.

$$Q = C_D A_o \sqrt{2g(h_1 - h_3 - h_{f_{2-3}})} \quad (2.16)$$

Για την επιλογή ανάμεσα στον τύπο ροής 5 και 6, ο Bodhaine (1968) προτείνει τη χρήση του συντελεστή C56, η οποία εξαρτάται από την κλίση του οχετού και τον λόγο r/D ή w/D . Το r δηλώνει την ακτίνα καμπυλότητας μιας στρογγυλεμένης εισόδου και το w το πάχος μιας λοξής εισόδου. Ο συντελεστής προκύπτει από το Σχήμα 2.1. Αρχικά επιλέγεται η καμπύλη r/D , w/D . Η τετμημένη του σημείου, στο οποίο η τιμή της κλίσης του οχετού τέμνει την καμπύλη, αποτελεί την τιμή του συντελεστή C56. Εάν ο λόγος $L/D < C56$ τότε έχουμε ροή τύπου 5, διαφορετικά τύπου 6.



Σχήμα 2.8: Κριτήριο διαφοροποίησης των τύπων ροής 5 και 6 (Bodhaine, 1968)

2.2.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ο συντελεστής ολικών απωλειών ενέργειας δίνεται από τον τύπο

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{C}} \quad (2.17)$$

Ο συντελεστής C αποτελεί το άθροισμα των διαφορετικών συντελεστών απωλειών φορτίου και εκφράζεται ως

$$C = C_1 + C_p + C_2 + C_3 + C_v + C_{Trash} \quad (2.18)$$

Οι διάφοροι συντελεστές απωλειών που συνεισφέρουν στη συνολική απώλεια φορτίου αναλύονται στη συνέχεια.

- C_1 – συντελεστής απωλειών εισόδου

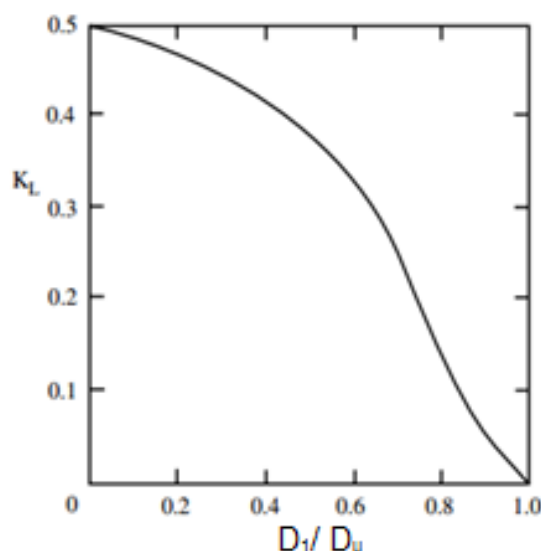
Ο συντελεστής C_1 αντιπροσωπεύει την απώλεια φορτίου λόγω συστολής της ροής στην είσοδο της υδραυλικής κατασκευής. Λόγω της απότομης συστολής στην είσοδο του οχετού, η ροή επιβραδύνεται αμέσως μετά τη φλέβα συστολής, με αποτέλεσμα την ύπαρξη απωλειών φορτίου.

Στο Σχήμα 2.2 δίνεται η τιμή του συντελεστή σε σχέση με τον λόγο της διαμέτρου μετά τη συστολή και πριν. Στην περίπτωση που ο οχετός βρίσκεται ανάμεσα σε πλημμυρική κοίτη και ενός ποταμού, η συστολή θα είναι πολύ μεγάλη. Ο λόγος των διαμέτρων πλησιάζει το μηδέν και ο συντελεστής απωλειών είναι ίσος με 0.5.

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον Bodhaine (1968) παρατηρήθηκε πως η υπολογιζόμενη παροχή υπερεκτιμάται για τον τύπο ροής 5. Για τον λόγο αυτό, στην περίπτωση εμφάνισης αυτού του τύπου ροής, προσδιορίζεται ο διορθωτικός συντελεστής C_5 , ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή C_1 , έτσι ώστε η απώλεια φορτίου να είναι ίση με

$$\Delta H_1 = C_5 \cdot C_1 \frac{v^2}{2g} \quad (2.19)$$

Ο Bodhaine (1968) προτείνει ο διορθωτικός συντελεστής να παίρνει την τιμή $4 \leq C_5 \leq 10$.



Σχήμα 2.9: Συντελεστής απωλειών για απότομη συστολή ως συνάρτηση του λόγου της διαμέτρου μετά τη συστολή (D_1) και πριν (D_u)

- C_2 – συντελεστής απωλειών λόγω εσωτερικών τριβών

Ο συντελεστής C_2 εκφράζει τις απώλειες λόγω τριβών, οι οποίες υπολογίζονται από τον τύπο

$$\Delta H_2 = C_2 \frac{v^2}{2g} = \frac{2gLn^2}{R^{4/3}} \frac{v^2}{2g} \quad (2.20)$$

όπου

L το μήκος της κατασκευής

n ο συντελεστής Manning - Strickler του υλικού της κατασκευής

R η υδραυλική ακτίνα της κατασκευής

Στον κώδικα υπολογισμού της παροχής του προγράμματος TELEMAC, γίνεται υπόθεση για την υδραυλική ακτίνα, καθώς στο πρόγραμμα δε πραγματοποιείται η πρότυπη μέθοδος βημάτων για τον ακριβή υπολογισμό των βαθών ροής εντός του οχετού.

- C_3 – συντελεστής απωλειών εξόδου

Ο C_3 είναι ο συντελεστής απώλειας φορτίου λόγω της διεύρυνσης της ροής που εξέρχεται από τον αγωγό. Η απώλεια φορτίου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta H_3 = \left(1 - \frac{A_s}{A_{s2}}\right)^2 \frac{v^2}{2g} = C_3 \frac{v^2}{2g} \quad (2.21)$$

όπου A_s , A_{s2} είναι η υγρή επιφάνεια μέσα και ακριβώς έξω από το κατάντη άκρο της κατασκευής. Συνήθως για απότομη διεύρυνση ο συντελεστής C_3 παίρνει την τιμή 1.

Οι συντελεστές C_p , C_v , C_{trash} υπολογίζονται στην περίπτωση ύπαρξης υποστυλωμάτων στην είσοδο του οχετού, βαλβίδων και προστατευτικών για σκουπίδια. Ο συντελεστής C_p , στην περίπτωση του κώδικα του TELEMAC συνυπολογίζεται στον συντελεστή C_1 .

2.2.4 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ TELEMAC

Οι εξισώσεις υπολογισμού της παροχής που εφαρμόζονται στον κώδικα του TELEMAC δίνονται παρακάτω. Σημειώνεται πως ο τύπος ροής 1 δεν συμπεριλαμβάνεται στον κώδικα, καθώς είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που εμφανίζεται ο συγκεκριμένος τύπος ροής (Smolders et al., 2016). Οι συντελεστές απωλειών που υπολογίζονται, βασίζονται στους τύπους του Bodhaine (1968).

- Τύπος ροής 2 – Κρίσιμο βάθος στην έξοδο

$$Q = \mu h_c W \sqrt{2g(S_1 - (z_2 + h_c))} \quad (2.22)$$

- Τύπος ροής 3 - Ήρεμη ροή

$$Q = \mu(S_2 - z_2)W \sqrt{2g(S_1 - S_2)} \quad (2.23)$$

- Τύπος ροής 4 - Βυθισμένη έξοδος

$$Q = \mu DW \sqrt{2g(S_1 - S_2)} \quad (2.24)$$

- Τύπος ροής 5 – Ταχεία ροή στην είσοδο

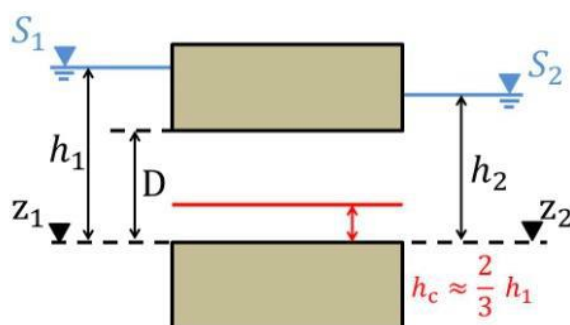
$$Q = \mu DW \sqrt{2gh_1} \quad (2.25)$$

- Τύπος ροής 6 – Πλήρης ροή με ελεύθερη εκροή

$$Q = \mu DW \sqrt{2g(S_1 - (z_2 + D))} \quad (2.26)$$

Όπου:

- Q παροχή διαμέσου του οχετού,
 W πλάτος οχετού,
 D ύψος οχετού,
 μ συντελεστές ολικών απωλειών φορτίου,
 S_1 στάθμη ύδατος στη πλευρά 1,
 S_2 στάθμη ύδατος στη πλευρά 2,
 h_1 βάθος νερού από τον πυθμένα του οχετού για την πλευρά 1,
 h_2 βάθος νερού από τον πυθμένα του οχετού για την πλευρά 2,
 h_c κρίσιμο βάθος νερού (υπολογίζεται ίσο με $2/3$ του h_1),
 z_1 στάθμη πυθμένα του οχετού στην πλευρά 1, and
 z_2 στάθμη πυθμένα του οχετού στην πλευρά 2.



Σχήμα 2.10: Χαρακτηριστικά για τη ροή μέσα από οχετό για το μοντέλο TELEMAC (Smolders et al., 2016)

Τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τον κάθε τύπο ροής φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Συνθήκες ροής για κάθε τύπο ροής εντός του μοντέλου TELEMAC

	$(S_1 - z_1)/D$	$(S_2 - z_2)/D$	$S_2 - z_2$	L/D
Τύπος ροής 2	< 1.5		h_c	
Τύπος ροής 3	< 1.5	≤ 1.0	h_c	
Τύπος ροής 4	> 1.0	1.0		
Τύπος ροής 5	≥ 1.5	≤ 1.0		C56
Τύπος ροής 6	≥ 1.5	≤ 1.0		$\geq C56$

2.2.5 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ

Οι υπολογισμοί των παροχών για τους οχετούς εφαρμόζονται στην υπορουτίνα BUSE. Για τη χρήση των εξισώσεων που αναλύθηκαν παραπάνω, ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει στο αρχείο παραμέτρων τη λέξη-κλειδί OPTION FOR CULVERTS = 2.

Στο μοντέλο του TELEMAC υπάρχει η δυνατότητα ορισμού κόμβων όπου το νερό πηγάζει ή εξέρχεται. Οι οχετοί λειτουργούν με αντίστοιχο τρόπο, όπου ορίζεται ζεύγος κόμβων ως πηγή – καταβόθρα. Για παράδειγμα, όταν η ροή πηγαινει από ποταμό σε πλημμυρική περιοχή, προστίθεται μια πηγή στην πλευρά της πλημμυρικής περιοχής (θετική παροχή) και ταυτόχρονα μια καταβόθρα στον ποταμό (αντίθετου πρόσημου παροχή). Οι οχετοί θεωρούνται κοντοί σε μήκος, και το νερό που εισέρχεται στον κόμβο εισόδου του οχετού, εξέρχεται ταυτόχρονα από τον κόμβο εξόδου.

Στο Σχήμα 2.3 δίνεται το σχήμα ροής, βάση του οποίου έχει κατασκευαστεί ο κώδικας και σύμφωνα με τον οποίο γίνεται η επιλογή του τύπου ροής.

Το αρχείο δεδομένων του οχετού, που απαιτείται από το πρόγραμμα, πρέπει να περιέχει τα παρακάτω στοιχεία. Στις παραμέτρους που δίνονται στη συνέχεια, ορίζεται με δείκτη 1 η πλευρά εισόδου του οχετού και με δείκτη 2 η πλευρά εξόδου του οχετού.

I1 I2 CE1 CE2 CS1 CS2 LARG HAUT1 CLP L RD1 RD2 CV C56 CV5 C5 TRASH HAUT2 FRIC LONG CIR

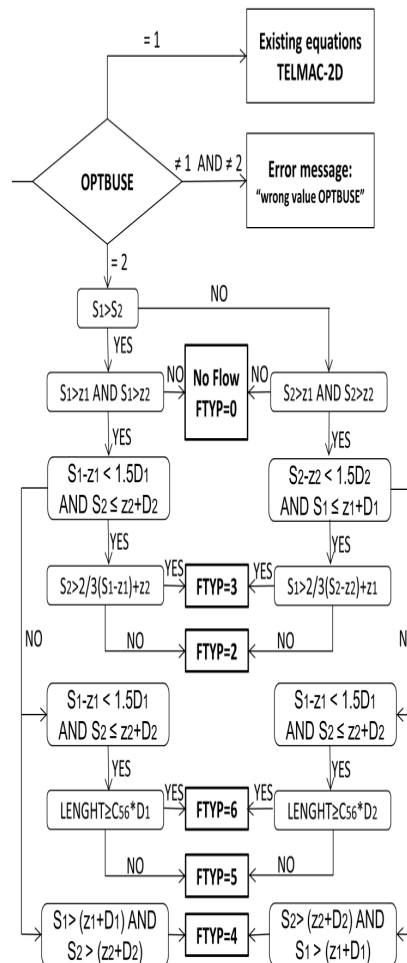
- I1* αριθμός κόμβου για την πλευρά 1 του οχετού
I2 αριθμός κόμβου για την πλευρά 2 του οχετού
CE1 συντελεστής απωλειών εισόδου για την πλευρά 1 του οχετού (αντιστοιχεί στον συντελεστή απωλειών C1)
CE2 συντελεστής απωλειών εισόδου για την πλευρά 2 του οχετού (αντιστοιχεί στον συντελεστή απωλειών C1)
CS1 συντελεστής απωλειών εξόδου για την πλευρά 1 του οχετού (αντιστοιχεί στον συντελεστή απωλειών C3)
CS2 συντελεστής απωλειών εξόδου για την πλευρά 2 του οχετού (αντιστοιχεί στον συντελεστή απωλειών C3)
LARG πλάτος του οχετού
HAUT1 ύψος του οχετού στην πλευρά 1
CLP συντελεστής που περιορίζει την διεύθυνση της ροής
0: ροή και για τις δύο διευθύνσεις,
1: ροή μόνο από την πλευρά 1 προς την πλευρά 2,
2: ροή μόνο από την πλευρά 2 προς την πλευρά 1,
3: καμία ροή
L συντελεστής γραμμικών απωλειών (για την περίπτωση OPTBUSE = 2 (OPTION FOR CULVERTS), το L υπολογίζεται εντός του κώδικα)
RD1 υψόμετρο πυθμένα του οχετού στην πλευρά 1 (z1)
RD2 υψόμετρο πυθμένα του οχετού στην πλευρά 2 (z2)
CV συντελεστής απωλειών φορτίου στην περίπτωση που υπάρχει βαλβίδα
C56 σταθερά διαφοροποίησης της ροής μεταξύ των τύπων 5 και 6
CV5 διορθωτικός συντελεστής για το CV όταν η ροή είναι τύπου 5
C5 διορθωτικός συντελεστής για τα CE1, CE2 όταν η ροή είναι τύπου 5
TRASH συντελεστής απωλειών φορτίου όταν υπάρχουν προστατευτικά σκουπιδιών
HAUT2 ύψος του οχετού στην πλευρά 2
FRIC συντελεστής Manning - Strickler
LONG μήκος του οχετού (δεν εξαρτάται απαραίτητα από την πραγματική απόσταση των κόμβων πηγής – καταβόθρας)
CIR παράμετρος για τον προσδιορισμό του τύπου διατομής του οχετού. Για ορθογωνικό οχετό (=0), για κυκλικό (=1). Στην περίπτωση κυκλικού αγωγού το ύψος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της υγρής επιφάνειας.

Η παροχή υπολογίζεται θετική, όταν η ροή του νερού πραγματοποιείται από την πλευρά 1 προς την πλευρά 2.

Τέλος η τιμή της παροχής μπορεί να διαφοροποιηθεί σύμφωνα με τις παρακάτω περιπτώσεις.

- Αρχικά υπολογίζεται ο βαθμός χαλάρωσης. Με βάση το βάρος και τη διαφορά με την παροχή στο προηγούμενο χρονικό βήμα, μπορεί να διαφοροποιηθεί η υπολογισμένη παροχή του τρέχοντος χρονικού βήματος.
- Στη συνέχεια, πραγματοποιείται δοκιμή, ώστε να ελεγχθεί εάν υπάρχει αρκετό νερό κατά το τρέχον χρονικό βήμα, για να εξαχθεί η αναμενόμενη παροχή. Το μέγιστο ποσοστό νερού που επιτρέπεται να φύγει είναι ίσο με 90% του διαθέσιμου νερού.

- Τέλος, ελέγχεται από τον κώδικα η επιλογή CLP, ώστε να επιτρέψει τη ροή του νερού ή διαφορετικά να μπλοκάρει τη ροή θέτοντας την παροχή ίση με μηδέν.



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα ροής για την επιλογή του τύπου ροής (Smolders et al., 2016)

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου μέσα στις περιοχές κατάκλυσης συνιστά κριτήριο σχεδιασμού μέτρων προστασίας, καθώς και κριτήριο αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων αυτών. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου αποσκοπεί στην αξιολόγηση των έργων που κατασκευάζονται στην περιοχή της Μάνδρας. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων [ΥΠΕΝ, ΕΓΥ], χ.χ.)

Ως πλημμυρικό κίνδυνο ορίζουμε τις επιπτώσεις που προκαλούνται σε μια περιοχή από ένα πλημμυρικό φαινόμενο. Οι επιπτώσεις εξαρτώνται από

- τους αποδέκτες που βρίσκονται εντός της περιοχής που πλήττεται,
- τις δυνητικές επιπτώσεις και τη σοβαρότητα αυτών,
- την ένταση του πλημμυρικού φαινομένου,
- την έκταση των περιοχών κατάκλυσης.

Οι κύριες κατηγορίες χρήσεων για τις οποίες υπολογίζεται η σοβαρότητα των επιπτώσεων και στη συνέχεια η τρωτότητα των χρήσεων αυτών είναι

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

Η αποτίμηση της τρωτότητας υπολογίζεται σύμφωνα με τη σοβαρότητα των επιπτώσεων στις παραπάνω χρήσεις, οι οποίες μπορεί να είναι

- επιπτώσεις στην ασφάλεια και υγεία των πολιτών: περιλαμβάνονται και κοινωνικές επιπτώσεις, όπως ζημιές στη λειτουργία κοινωφελών υποδομών (σχολεία, νοσοκομεία κ.ά.),
- οικονομικές επιπτώσεις: στην αξία ακινήτων και κινητών περιουσιών, σε εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες και σε υποδομές μεταφορών,
- περιβαλλοντικές επιπτώσεις: επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και σε οικότοπους,
- πολιτιστικές επιπτώσεις: επιπτώσεις σε μνημεία. (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Η αποτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας, δηλαδή της έντασης του φαινομένου, γίνεται με τη χρήση κριτηρίου συναρτήσεως του βάρους και της ταχύτητας του νερού. Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά της πλημμύρας και εκτιμώνται από τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης.

Η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και η κατάρτιση των Χαρτών Πλημμυρικού Κινδύνου έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναλύεται παρακάτω και βασίζεται στη Μεθοδολογία για την αξιολόγηση τρωτότητας και την κατάρτιση των Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας, όπως διατυπώθηκαν στα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.), με τις κατάλληλες τροποποιήσεις. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σε κελιά 5m x 5m, τα οποία οριοθετούνται από τα όρια της περιοχής μελέτης. Τα βασικά στάδια της μεθοδολογίας είναι τα εξής:

- Στάδιο 1: Εκτίμηση της τρωτότητας της κατακλυζόμενης περιοχής, ανάλογα με την αποτίμηση των μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων των διαφόρων χρήσεων που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή.
- Στάδιο 2: Εκτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας, δηλαδή της έντασης του φαινομένου, σύμφωνα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της πλημμύρας (βάθος, ταχύτητα ροής), όπως προέκυψαν από τους υδραυλικούς υπολογισμούς.

- Στάδιο 3: Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, ο οποίος αποτελεί γινόμενο των παραγόντων της τρωτότητας και της επικινδυνότητας, σύμφωνα με τη σχέση Κίνδυνος = Τρωτότητα x Επικινδυνότητα, και κατάρτιση των Χαρτών Πλημμυρικού Κινδύνου.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

3.2.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΑ

Προσδιορίζουμε την τρωτότητα ως τη μέγιστη δυνητική επίπτωση από πλημμύρα στην περιοχή μελέτης. Η αποτίμηση της μέγιστης επίπτωσης (E_k^c) για κάθε κελί του πλέγματος γίνεται με τη χρήση ενός συστήματος δεικτών, για κάθε κατηγορία επίπτωσης, σύμφωνα με την εξίσωση (3.1). Οι κατηγορίες χωρίζονται σε επιπτώσεις στον πληθυσμό, οικονομικές επιπτώσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πολιτιστικές επιπτώσεις και έχουν τους αντίστοιχους δείκτες E_{kA}^c , E_{kO}^c , $E_{kΠε}^c$, $E_{kΠο}^c$.

$$E_k^c = E_{kA}^c + E_{kO}^c + E_{kΠε}^c + E_{kΠο}^c \quad (3.1)$$

Ο δείκτης κάθε κατηγορίας είναι το άθροισμα των επιμέρους επιπτώσεων μέσα σε ένα κελί, π.χ. $E_{kA}^c = \sum E_{kA_i}^c$, όπου $E_{kA_i}^c$ είναι η επίπτωση στον πληθυσμό για κάθε επιμέρους χρήση που υπάρχει μέσα στο εξεταζόμενο κελί.

Οι κύριες κατηγορίες χρήσεων είναι η οικιστική, αγροτική, βιομηχανική, περιβαλλοντική και πολιτιστικής κληρονομιάς.

Για την αποτίμηση της μέγιστης πιθανής επίπτωσης από πλημμύρα, ορίζονται πέντε κλάσεις τρωτότητας, ανάλογα με τη σημασία της επίπτωσης για τη κάθε χρήση. Οι κλάσεις τρωτότητας για την κάθε χρήση διακρίνονται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Κλάσεις τρωτότητας (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Τιμή Τρωτότητας	Κλάση Τρωτότητας
50	Πολύ χαμηλή
100	Χαμηλή
150	Μέτρια
250	Σημαντική
500	Πολύ σημαντική

Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται οι κατηγορίες, βάσει των οποίων υπολογίζεται η επίπτωση λόγω πλημμύρας. Δίνονται επίσης οι χρήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία, καθώς και η κλάση τρωτότητας της κάθε χρήσης ανάλογα με τη σημασία της επίπτωσης.

Οι χρήσεις μπορεί να είναι είτε σημειακές είτε εκτατικές. Για την αξιολόγηση της σημειακής μέγιστης επίπτωσης η βαθμολογία πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των αντίστοιχων εγκαταστάσεων στο κάθε κελί. Ειδικά για τις επιπτώσεις για τις λοιπές μεμονωμένες βιομηχανικές μονάδες εκτός «βιομηχανικών συγκεντρώσεων» γίνεται η θεώρηση ότι η μέγιστη δυνατή επίπτωση ανά κελί είναι 500 μονάδες ανεξάρτητα από τον αριθμό των βιομηχανικών εγκαταστάσεων που υπάρχουν σε κάθε κελί. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων [ΥΠΕΝ, ΕΓΥ], 2018)

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες αποτίμησης μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων της πλημμύρας, χρήσεις και κλάσεις τρωτότητας (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Κατηγορία	Χρήσεις	Κλάση τρωτότητας
Επίπτωση στον πληθυσμό (ΕκΑ ^ο)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ ha	500
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ ha	250
	Νοσοκομεία	250
	Κλινικές και κέντρα υγείας	150
	Κοινωνικές Υποδομές (νηπιαγωγεία, σχολεία..)	150
	Υποδομές κοινής ωφέλειας	100
	Υποδομές μηχανισμού πολιτικής προστασίας	250
Οικονομική επίπτωση (ΕκΟ ^ο)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ ha	250
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ ha	100
	Αγροτικές περιοχές με θερμοκήπια	150
	Αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες (περιλαμβανομένων ρυζοκαλλιεργειών σε θαλάσσιες πλημμύρες)	100
	Αγροτικές περιοχές με ρυζοκαλλιέργειες (σε όλες τις περιπτώσεις πλημμυρών, πλην θαλάσσιας)	0
	Κτηνοτροφικές μονάδες	50
	Αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές	250
	Αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές	50
	Βιομηχανικές συγκεντρώσεις (θερμοθετημένες ΒΙΠΕ και άλλες άτυπες)	250
	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	150
	Διακοπή διευρωπαϊκού και πρωτεύοντος εθνικού οδικού δικτύου, ενεργοί σιδηροδρομικοί άξονες και αεροδρόμια	150
Διακοπή δευτερεύοντος εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου	100	
Περιβαλλοντική επίπτωση (ΕκΠε ^ο)	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων, στον βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτες σε πλημμύρες	500
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα > 100000 ι.π.	150
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα 10000-100000 ι.π.	100
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα < 10000 ι.π.	50
	Χώροι διαχείρισης και διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων	100
Προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων, στον βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτες σε πλημμύρες	50	
Επίπτωση στην πολιτιστική κληρονομιά (ΕκΠο ^ο)	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς διεθνούς σημασίας	150
	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και περιφερειακής σημασίας	50

Αρχικά γίνεται η συλλογή των στοιχείων της κάθε χρήσης, ώστε να αποτυπωθούν στον χάρτη της περιοχής. Τα αρχεία αυτά μπορεί να έχουν μορφή shapefile, είτε να δίνονται πληροφορίες για αυτά από χάρτες και φύλλα MS Excel. Στη συνέχεια η πληροφορία για κάθε χρήση μετατρέπεται σε μορφή raster, ώστε να είναι δυνατοί οι υπολογισμοί μεταξύ των διαφόρων χρήσεων.

Κάθε κελί του πεδίου παίρνει τιμή ίση με το άθροισμα της τρωτότητας για κάθε χρήση και κάθε κατηγορία, όπως εκφράστηκε στην Εξίσωση 3.1, Εκ^c, και η εκτίμηση της συνολικής τρωτότητας φαίνεται στον Χάρτη Τρωτότητας.

Το κριτήριο κατάταξης της σοβαρότητας της τρωτότητας υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.3 και αναπαρίστανται στον χάρτη με τα αντίστοιχα χρώματα.

Πίνακας 3.3: Κατηγορίες σοβαρότητας τρωτότητας (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων [ΥΠΕΝ, ΕΓΥ], 2017)

Τιμή Τρωτότητας	Κλάση Τρωτότητας
< 50	πολύ χαμηλή
50 - 125	χαμηλή
125 - 200	μέτρια
200 - 400	υψηλή
> 400	πολύ υψηλή

3.2.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Η επικινδυνότητα μιας πλημμύρας (BA^c) προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά και την ένταση της πλημμύρας. Για την απόδοση της έντασης της πλημμύρας και του βαθμού επιρροής αυτής στο μέγεθος της ζημιάς χρησιμοποιείται το κριτήριο βάθους και ταχύτητας ροής του νερού, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4. Το βάθος και η ταχύτητα ροής σε κάθε θέση της περιοχής μελέτης προκύπτουν από τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης. Σύμφωνα με το κριτήριο, η επικινδυνότητα πλημμύρας κατατάσσεται σε πέντε κλάσεις, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.4: Κριτήριο κατάταξης της επικινδυνότητας (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Βάθος d(m)	Ταχύτητα ροής v (m/s)			
	v<0.5	0.5<v<2.0	2.0<v<4.0	v>4.0
d<0.2	VL	VL	VL	L
0.2<d<0.5	L	L	M	M
0.5<d<1.0	L	M	H	H
1.0<d<1.5	M	M	H	VH
1.5<d<2.0	H	H	VH	VH
d>2.0	VH	VH	VH	VH

Πίνακας 3.5: Κλάσεις επικινδυνότητας (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Κλάση Επικινδυνότητας	Σκορ
VL - πολύ χαμηλή	0.2
L - χαμηλή	0.4
M - μέτρια	0.6
H - υψηλή	0.8
VH - πολύ υψηλή	1

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας της πλημμύρας (BA^c) προέρχονται από την υδραυλική προσομοίωση στην περιοχή μελέτης. Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υπολογίστηκε η δυσμενέστερη τιμή επικινδυνότητας, ανάλογα με την ταχύτητα και το βάθος ροής σε κάθε κελί του υπολογιστικού πλέγματος, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.6. Το αρχείο που προκύπτει, έχει

τη μορφή xyz , όπου z η τιμή της επικινδυνότητας για κάθε στοιχείο του υπολογιστικού πλέγματος. Το αρχείο αποτελεσμάτων μετατρέπεται σε μορφή raster, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του πλημμυρικού κινδύνου και η κατάρτιση των αντίστοιχων χαρτών.

Πίνακας 3.6: Τιμή επικινδυνότητας σύμφωνα με το βάθος και την ταχύτητα ροής

Βάθος d(m)	Ταχύτητα ροής v (m/s)			
	v<0.5	0.5<v<2.0	2.0<v<4.0	v>4.0
d<0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
0.2<d<0.5	0.4	0.4	0.6	0.6
0.5<d<1.0	0.4	0.6	0.8	0.8
1.0<d<1.5	0.6	0.6	0.8	0.8
1.5<d<2.0	0.8	0.8	1.0	1.0
d>2.0	1.0	1.0	1.0	1.0

3.2.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΤΑΚΛΥΣΗΣ ΛΟΓΩ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Επιπλέον γίνεται εκτίμηση της περιοχής της πλημμυρικής κατάκλυσης, καθώς ο πλημμυρικός κίνδυνος υπολογίζεται μόνο για τις περιοχές που έχουν πληγεί από την πλημμύρα. Σύμφωνα με την υδραυλική ανάλυση, οριοθετείται η περιοχή κατάκλυσης και ορίζεται συντελεστής ίσος με 1 για τα κελιά εντός των πλημμυρισμένων περιοχών και 0 για τα κελιά εκτός των περιοχών.

3.2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ο πλημμυρικός κίνδυνος ($ΕπΑ^c$) προσδιορίζεται από το γινόμενο της έκθεσης σε πλημμύρα ($Εκ^c$) και του βαθμού επιρροής της επικινδυνότητας πλημμύρας ($ΒΑ^c$), για κάθε κελί της περιοχής που εξετάζεται, σύμφωνα με την εξίσωση (3.2).

$$ΕπΑ^c = Εκ^c \times ΒΑ^c \quad (\text{Κίνδυνος} = \text{Τρωτότητα} \times \text{Βαθμός Επικινδυνότητας}) \quad (3.2)$$

Ο κίνδυνος υπολογίζεται και αποτυπώνεται στους Χάρτες Πλημμυρικού Κινδύνου μόνο για τις κατακλυζόμενες περιοχές, που έχουν προκύψει από τους υδραυλικούς υπολογισμούς. Η χρωματική διαβάθμιση και οι τιμές που προσδιορίζουν τη σοβαρότητα του κινδύνου δίνονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Κατηγορίες σοβαρότητας πλημμυρικού κινδύνου (ΥΠΕΝ, ΕΓΥ, χ.χ.)

Πιθανή επίπτωση	Κατηγορία κινδύνου
< 50	πολύ χαμηλός
50 - 125	χαμηλός
125 - 200	μέτριος
200 - 400	υψηλός
> 400	πολύ υψηλός

4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης, δηλαδή της πόλης της Μάνδρας. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η σημασία του σημείου, γίνεται αρχικά περιγραφή της ευρύτερης περιοχής, εστιάζοντας βαθμιαία στη περιοχή μελέτης. Έπειτα, γίνεται αναφορά στα γεωλογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και ειδικά στα ρέματα Σούρες και Αγ. Αικατερίνης, πάνω στα οποία είναι χωροθετημένη η πόλη. Τέλος, δίνεται το ιστορικό των πλημμυρών στη περιοχή και περιγράφεται το πλημμυρικό γεγονός του Νοεμβρίου του 2017, που στοίχησε τη ζωή σε 23 ανθρώπους («Στους 23 οι νεκροί στη Μάνδρα: Βρέθηκε ο αγνοούμενος, κατέληξε ηλικιωμένη», 2017)



Εικόνα 4.1: Άποψη της πόλης της Μάνδρας («Μάνδρα Αττικής», χ.χ.)

4.1.1 Η ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Η πόλη της Μάνδρας είναι κτισμένη στο Θριάσιο Πεδίο στους πρόποδες του όρους Πατέρα. Το πεδίο οριοθετείται από τις τρεις πλευρές με βουνά και από τη τέταρτη με θάλασσα. Στα δυτικά οριοθετείται από το όρος Πατέρα, στα βόρεια από τη Πάρνηθα, στα ανατολικά από το Ποικίλο Όρος και στα νότια από τον κόλπο της Ελευσίνας. Νοτιοανατολικά του πεδίου, πέρα από τα βουνά, βρίσκεται η μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας, της πρωτεύουσας της Ελλάδας, με πληθυσμό σχεδόν τεσσάρων εκατομμυρίων κατοίκων και ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια της Μεσογείου και της Ευρώπης, το λιμάνι του Πειραιά.

Λόγω της εγγύτητας με την Αθήνα και τον Πειραιά, της πρόσβασης σε θάλασσα, αλλά και του γεγονότος ότι αποτελεί μοναδικό πέρασμα από τα βουνά, η θέση του Θριάσιου Πεδίου είναι στρατηγικής σημασίας. Δεν εκπλήσσει λοιπόν το γεγονός ότι έχει αναπτυχθεί εκεί κι εξυπηρετεί την πρωτεύουσα μία από τις μεγαλύτερες και σημαντικότερες βιομηχανικές περιοχές της χώρας.

4.1.2 Η ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ

Από τους πρόποδες του όρους Πατέρα, η Μάνδρα ελέγχει το πέρασμα-πύλη του Θριάσιου πεδίου που περνάει δίπλα από τη θάλασσα. Η θέση είναι νευραλγική για τη διασύνδεση της πρωτεύουσας με τη Πελοπόννησο αλλά και ολόκληρη τη Δυτική Ελλάδα.

Στη πόλη της Μάνδρας διαμένουν σχεδόν δεκατρείς χιλιάδες κάτοικοι, συγκεκριμένα 12792 κάτοικοι, σύμφωνα με την εθνική απογραφή του 2011, και αποτελεί πρωτεύουσα του Καλλικρατικού (Νόμος 3852 ΦΕΚ Α' 87/7.6.2010) δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας, του μεγαλύτερου σε έκταση δήμου της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής.



Εικόνα 4.2: Η πόλη της Μάνδρας - Αεροφωτογραφία (Κτηματολόγιο Α.Ε.)

Λόγω της σημασίας της τοποθεσίας, ακριβώς δίπλα στη πόλη έχει δημιουργηθεί ένα από τα μεγαλύτερα κέντρα μεταφορών και διακίνησης αγαθών της χώρας. Έτσι, υπάρχει εμφανής διαχωρισμός της περιοχής σε δύο ζώνες, μια οικιστική και μια βιομηχανική ζώνη, με πολλές αποθήκες και μεγάλα κέντρα διανομής. Περιφερειακά της πόλης παρατηρούνται και γεωργικές εκτάσεις.



Σχήμα 4.3: Η οικιστική και η βιομηχανική ζώνη της περιοχής της Μάνδρας (Google Maps)

Γεωλογικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται πεδινή και στο μεγαλύτερο μέρος της επίπεδη, με το ανάγλυφο να γίνεται εντονότερο στους πρόποδες του όρους Πατέρα, όπου αυξάνεται η κλίση και παρατηρούνται μέχρι και απόκρημνες πλαγιές. Τα πετρώματα είναι ιζηματογενή σκληρού ασβεστόλιθου και τα εδάφη αργιλώδη και αργιλοπηλώδη, ενώ σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα διάβρωσης, ούτε σημεία που παρουσιάζουν υψηλή εδαφική απώλεια (Γενικός Επιθεωρητής Δημόσιας Διοίκησης [ΓΕΔΔ], 2018).

4.2 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

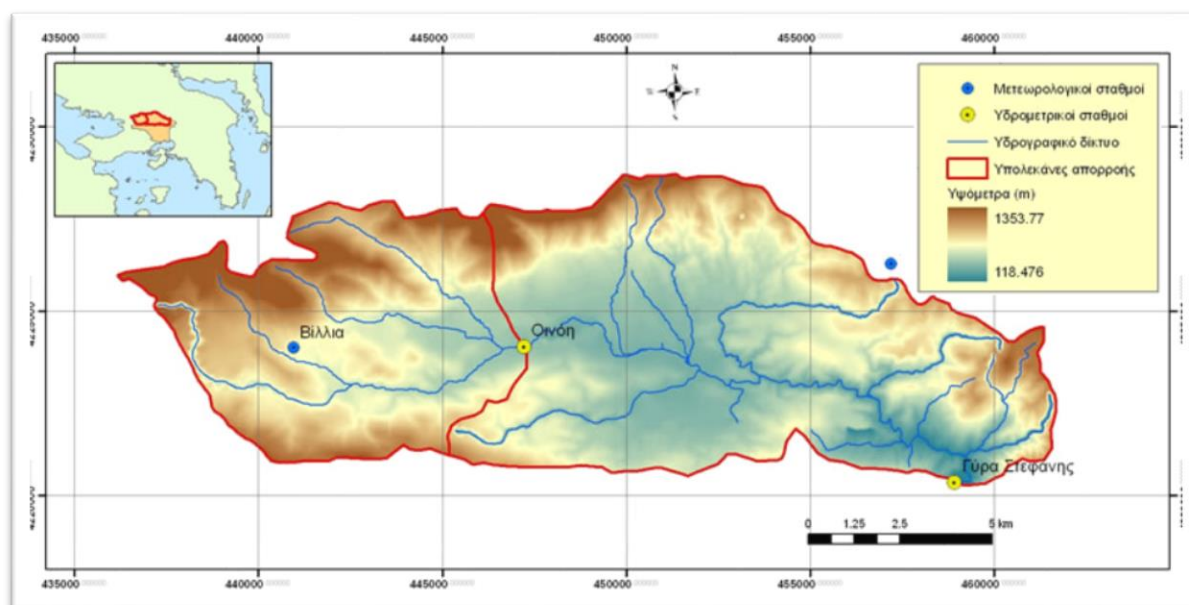
Στην ενότητα αυτή αναλύεται το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πολύ σημαντικό διότι αποτελεί τη φυσική πρόβλεψη της φύσης για την αποστράγγιση του νερού από τη περιοχή. Ο άνθρωπος επεμβαίνει στο υδρογραφικό δίκτυο άλλοτε φράσσοντας, άλλοτε εγκιβωτίζοντας και άλλοτε εκτρέποντας ποτάμια και ρέματα με τεχνικά έργα, στην προσπάθειά του να διαμορφώσει το τοπίο για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του.

Όταν η ένταση και η ποσότητα της βροχής σε μια περιοχή ξεπεράσουν την ικανότητα του εδάφους να την απορροφήσει και του υδρογραφικού δικτύου να την αποστραγγίσει, παρουσιάζονται πλημμυρικά φαινόμενα. Για την προστασία μιας περιοχής από τέτοια φαινόμενα, κατασκευάζονται έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, αλλά το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο δεν μπορεί ποτέ να αγνοηθεί χωρίς καταστροφικές συνέπειες.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Θριασίου Πεδίου λειπόν, χαρακτηρίζεται ως αρκετά πυκνό και αποτελείται κυρίως από χειμάρρους εποχιακής ροής. Ο αποδέκτης της απορροής της λεκάνης είναι ο κόλπος της Ελευσίνας και ο σημαντικότερος χείμαρρος, που διατρέχει μάλιστα το δυτικό μέρος του πεδίου και περιοχή μελέτης που εξετάζεται στην εργασία αυτή, είναι ο χ. Σαρανταπόταμος, γνωστός και ως Ελευσίνιος Κηφισός.

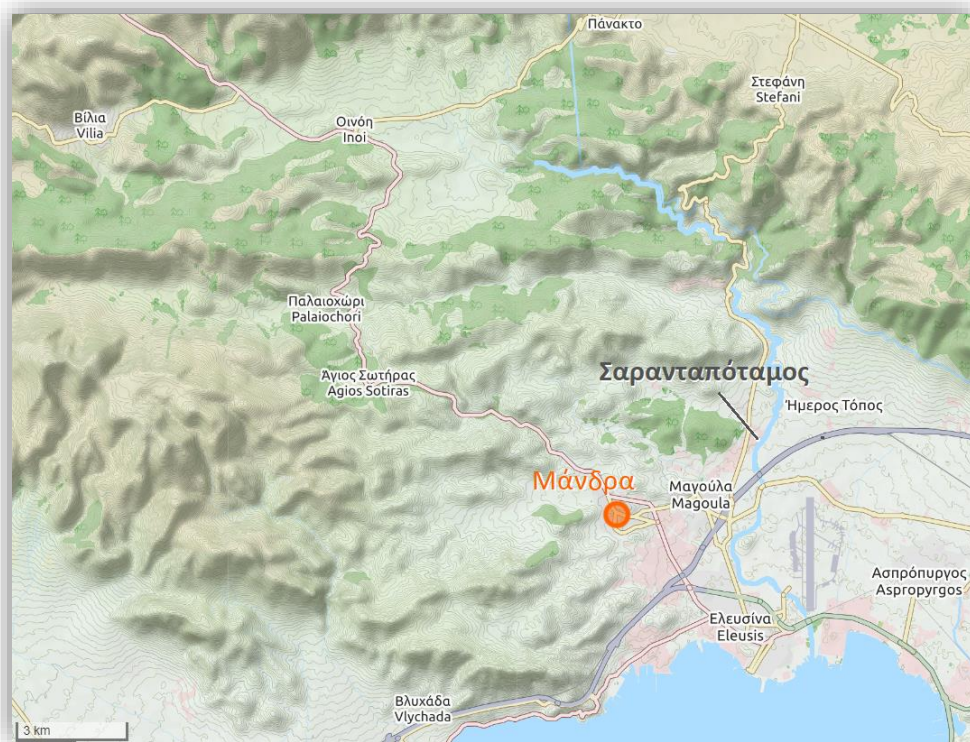
4.2.1 Ο ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΤΑΜΟΣ

Ο Σαρανταπόταμος αποτελεί τον κύριο αποστραγγιστικό αγωγό της επιφανειακής απορροής του Θριασίου Πεδίου. Η λεκάνη απορροής του έχει συνολική έκταση 310 km² και προέρχεται από δύο επιμέρους υδρογραφικά δίκτυα, εκείνο του ρέματος Πέλκης, που διασχίζει την κοιλάδα της Οινόης και εκείνο του ρέματος Αγ. Γεωργίου που διασχίζει την ομώνυμη κοιλάδα που βρίσκεται νοτιότερα.



Σχήμα 4.4: Η λεκάνη του Σαρανταπόταμου (Δίκτυο Δεδομένων Δευκαλίων)

Στη συνέχεια διατρέχει το Θριάσιο πεδίο με διεύθυνση από τον Βορρά προς τον Νότο, περνώντας στα ανατολικά της πόλης Μαγούλα, αποστραγγίζοντας έτσι και μεγάλη έκταση του πεδίου. Ενδεικτικά, το ρέμα Αγ. Ιωάννη, που αποστραγγίζει την περιοχή στα ανατολικά του Σαρανταπόταμου και συμβάλλει σε αυτόν, έχει λεκάνη απορροής 37 km². Άλλα σημαντικά συμβάλλοντα ρέματα είναι τα ρέματα Κηφισού, Αγ. Βλασίου, Μεγάλο Κατερίνι, Ξηρόρεμα, Μπογάζι, Ντασμάδι, Τζάλας και πλέον και το ρέμα Σούρες.



Σχήμα 4.5: Ο Σαρανταπόταμος και η Μάνδρα (Open Street Maps)

Ο Σαρανταπόταμος εκβάλλει στον κόλπο της Ελευσίνας, ανατολικά της πόλης της Ελευσίνας, στην περιοχή Καλυμπάκι.



Εικόνα 4.3: Οι εκβολές του Σαρανταπόταμου (Wikipedia)

4.2.2 Ο ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΣΟΥΡΕΣ

Ο χείμαρρος Σούρες αποστραγγίζει ολόκληρη την ανατολική πλευρά του Όρους Πατέρα και στη φυσική του εξέλιξη εκβάλλει στον Σαρανταπόταμο παράλληλα με τον Σαρανταπόταμο, από τη δυτική πλευρά της πόλης της Ελευσίνας. Λόγω της κατασκευής της Αττικής Οδού, ο χείμαρρος εκτρέπεται και καταλήγει στον χ. Σαρανταπόταμο. Η συνολική έκταση της λεκάνης του υπολογίζεται στα 58 km², αφού σε αυτόν συμβάλλουν οι χείμαρροι Μικρό Κατερίνι και Αγία Αικατερίνη/ Κατσιμήδι, καθώς και πολλά εποχιακά ρέματα ελάσσονος σημασίας. (Σπηλιώτης, χ.χ.)

Οι χείμαρροι Σούρες και Αγία Αικατερίνη έχουν ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα εργασία, διότι στην απόληξη των λεκανών απορροής τους χωροθετείται η πόλη της Μάνδρας. Οι απορροές των δύο αυτών χειμάρρων προκάλεσαν τη φονική πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017.



Σχήμα 4.6: Η Μάνδρα χωροθετημένη στην απόληξη των φυσικών λεκανών απορροής των χειμάρρων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης. («Μαζί πνιγήκαμε», 2017)

Η αρχή του ρέματος Σούρες βρίσκεται σε ορεινό σημείο, όπου συμβάλλει το ρέμα Σκυλόρεμα με δευτερεύοντα κλάδο προερχόμενο από τη ράχη Σωτήρος, περίπου στη περιοχή του Αγ. Χαράλαμπου. Από εκεί κινείται σε στενή κοιλάδα η οποία φιλοξενεί και την ΠΕΟΕΘ (Παλαιά Εθνική Οδό Ελευσίνας-Θήβας), κύριο οδικό άξονα της περιοχής με τον οποίο ο χείμαρρος διασταυρώνεται πολλές φορές, σχεδόν σε κάθε στροφή της φυσικής κοίτης (Λέκκας κ.ά., 2018). Η ΠΕΟΕΘ καταστράφηκε από τη φονική πλημμύρα του 2017.

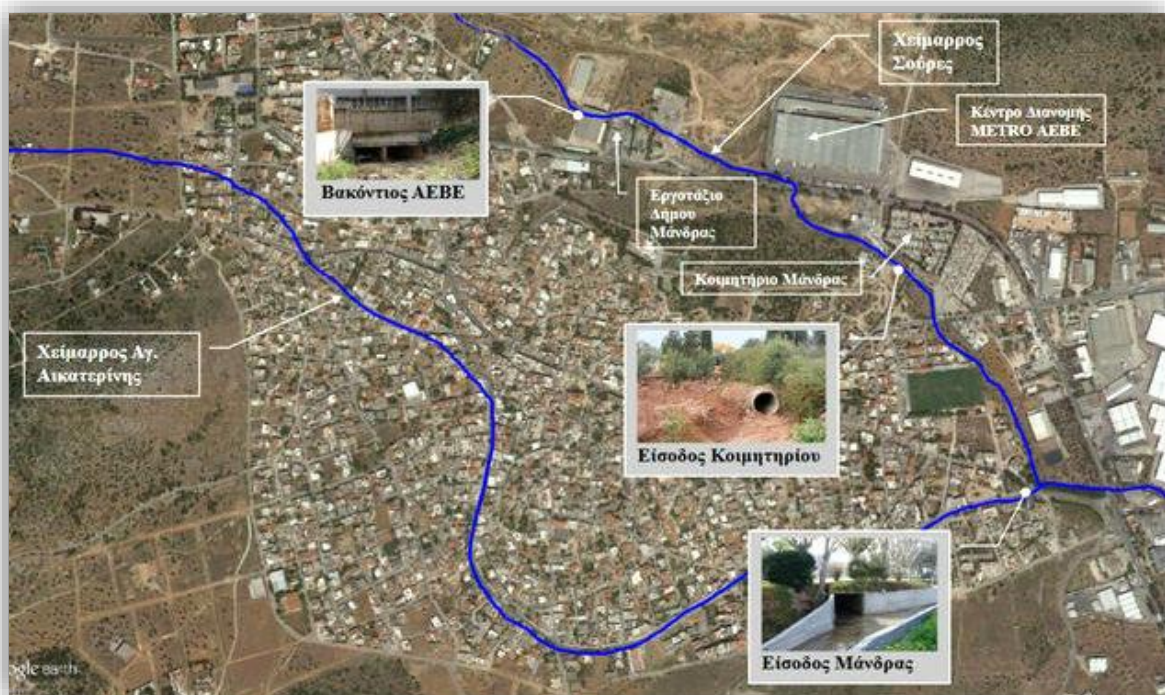
Ο χείμαρρος φτάνει στην Μάνδρα από τα βόρεια και διατρέχει ολόκληρη την ανατολική πλευρά της πόλης, μέχρι και το νοτιοανατολικό της άκρο. Πριν τη διασταύρωση με την ΠΕΟΕΘ, στον χείμαρρο Σούρες συμβάλλουν ο χείμαρρος Αγ. Αικατερίνη, ο οποίος έχει εγκιβωτιστεί και αποτελεί τον υφιστάμενο αγωγό Κοροπούλη, και άλλοι δύο αγωγοί ομβρίων που στραγγίζουν τον οικισμό.

Κατάντη της ΠΕΟΕΘ βρίσκεται η τεχνητή κοίτη του χ. Σούρες, που οδηγείται προς τον χ. Σαρανταπόταμο. Αμέσως κατάντη της Αττικής Οδού, συμβάλλει στον χ. Σούρες το ρέμα Μικρό Κατερίνι. Το ρ. Μικρό Κατερίνι έχει υπολεκάνη απορροής έκτασης 10.92 km² και τροφοδοτεί το Σούρες από τη Μαγούλα, λίγο πριν την συμβολή του με τον Σαρανταπόταμο βόρεια της Ελευσίνας.



Σχήμα 4.7: Η λεκάνη απορροής και τα κυριότερα ρέματα που συμβάλλουν στο Σούρες και τελικά στον Σαρανταπόταμο. Φαίνεται επίσης και η φυσική συνέχεια του Σούρες, στην οποία συμβάλλει το ρέμα Λούτσας (Κοντοές κ.ά., 2018)

Το ρέμα του Σούρες έχει υποστεί πολλαπλές εκτενείς διευθετήσεις, λόγω καταπατήσεων της φυσικής του κοίτης από άναρχη και παράνομη δόμηση.



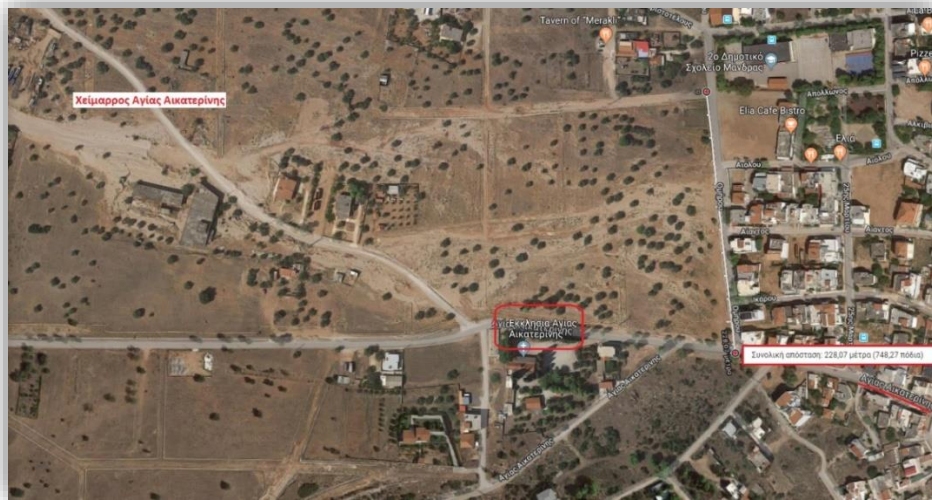
Σχήμα 4.8: Οι χείμαρροι που διατρέχουν τη Μάνδρα με ορισμένες από τις υφιστάμενες διευθετήσεις («Μαζί πνιγήκαμε», 2017)

4.2.3 Ο ΧΕΙΜΑΡΡΟΣ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Ο χείμαρρος Αγίας Αικατερίνης στραγγίζει υδρολογική λεκάνη σημαντικής έκτασης, σχεδόν 25 km², στις νοτιοανατολικές πλαγιές του όρους Πατέρα, οι οποίες σημειώνεται ότι αποψιλώθηκαν στη μεγάλη πυρκαγιά του 1985, με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά απορροφητικότητα της λεκάνης.

Στη συνέχεια, κατευθυνόμενος ανατολικά, ο χείμαρρος εισχωρεί στον οικιστικό ιστό από τα δυτικά. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι, ενώ λιγότερο από χίλια μέτρα προτού συναντήσει την πόλη η κοίτη του είναι σαφής, στη συνέχεια εκφυλίζεται, με τα νερά να διαχέονται ελεύθερα σε πλάτος που φτάνει μέχρι και τα 230 μέτρα. Αυτό συμβαίνει διότι το υπέδαφος στο σημείο είναι βραχώδες και πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, εμποδίζοντας έτσι τον χείμαρρο να δημιουργήσει βαθύτερη κοίτη (Σύλλογος Ροή, 2018).

Στην συμβολή του χειμάρρου με την οδό Ομήρου, που αποτελεί το δυτικό σύνορο της πόλης στο σημείο, υπάρχουν φρεάτια ομβρίων από τα οποία ο χείμαρρος θεωρείται ότι διευθετείται και διασχίζει ολόκληρη την πόλη. Εγκιβωτισμένος, ακολουθεί την φυσική του κοίτη, που έχει καλυφθεί πλήρως προ εικοσαετίας (Κοντοές κ.ά., 2018), από τις οδούς Αγίας Αικατερίνης, Στρατηγού Δεληγιάννη και Βαγγέλη Κοροπούλη. Μέσω του αγωγού Κοροπούλη, ο χείμαρρος Αγ. Αικατερίνης συμβάλλει τελικά στον χείμαρρο Σούρες.



Σχήμα 4.9: Άποψη του σημείου όπου ο χείμαρρος Αγ. Αικατερίνης εισέρχεται στον οικισμό (Google Maps)



Σχήμα 4.10: Πεδίο κατάκλισης του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνη πριν το βορειοδυτικό όριο της πόλης της Μάνδρας («Μαζί πνιγήκαμε», 2017)

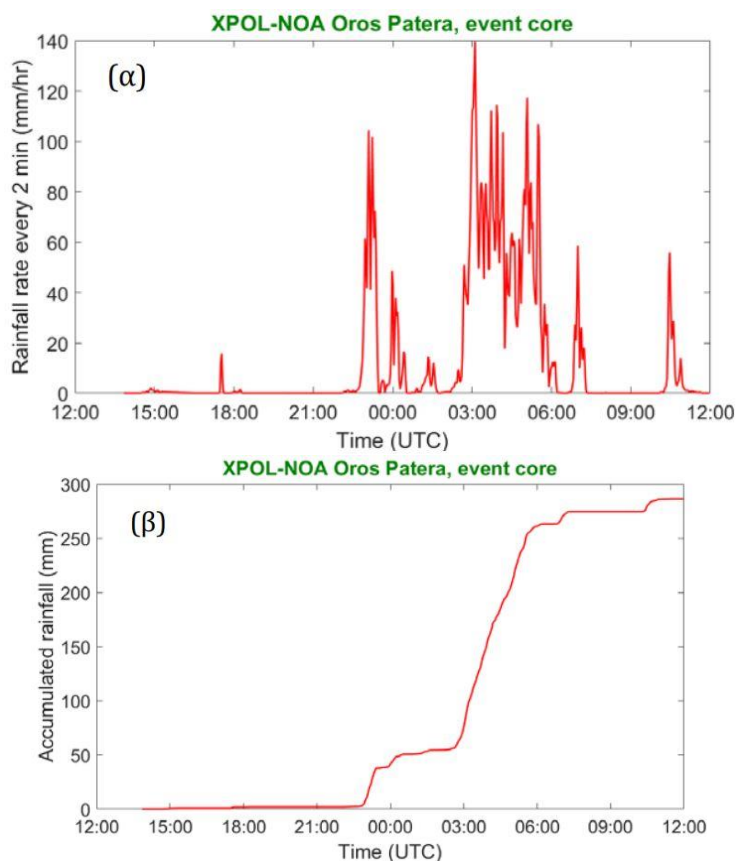
Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι κατά την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017, κατά μήκος του ρέματος εκτιμάται ότι εναποτέθηκαν φερτά (κροκαλοπαγή, αργιλοαμμώδη, αμμοχάλικο) άνω των 10.000 m³, χωρίς να συνυπολογίζονται όσα διαχύθηκαν εντός του πολεοδομικού ιστού, τα οποία δεν μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια. (ΓΕΔΔ, 2018)

4.3 ΤΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΓΕΓΟΝΟΣ ΤΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017

Στην περιοχή της Μάνδρας έχουν καταγραφεί άλλες δύο σημαντικές πλημμύρες πριν τη φονική της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017. Στη πλημμύρα της 24^{ης} Οκτωβρίου 2014, το ύψος βροχής άγγιξε τα 67 mm, σύμφωνα με στοιχεία του ΜΕΤΕΟΝΕΤ, και είχε ως αποτέλεσμα να προκληθούν ζημιές και να ακινητοποιηθούν οχήματα στην Παλαιά Εθνική Οδό Ελευσίνας – Θήβας. Στη πλημμύρα της 27^{ης} Φεβρουαρίου 2015, ολόκληρη η ευρύτερη περιοχή τέθηκε σε κόκκινο συναγερμό, αφού οι δρόμοι είχαν μετατραπεί σε χειμάρρους. Χρειάστηκαν μέχρι και 3 απεγκλωβισμοί από τη Πυροσβεστική, ενώ η υπηρεσία δέχτηκε δεκάδες κλήσεις για άντληση υδάτων και παροχή βοήθειας. Ο λόγος που οι έντονες αυτές πλημμύρες δεν αποδείχτηκαν φονικές, είναι ότι προκλήθηκαν αποκλειστικά από τον χειμάρρο Αγία Αικατερίνης, σε αντίθεση με τη πλημμύρα του Νοεμβρίου του 2017 που προκλήθηκε από ταυτόχρονες πολύ μεγάλες παροχές και από τους δύο χειμάρρους, Σούρες και Αγία Αικατερίνη. (ΓΕΔΔ, 2018)

4.3.1 ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Τη Τρίτη 14 Νοεμβρίου 2017, περίπου στις 19:30 το βράδυ, μετρήθηκε ήπια και σύντομη βροχόπτωση βορειοδυτικά της Μάνδρας στις πλαγιές του όρους Πατέρα, περιοχή εντός των υδρολογικών λεκανών των χειμάρρων Σούρες και Αγ. Αικατερίνη. Μερικές ώρες αργότερα, τις πρώτες πρωινές ώρες της 15ης Νοεμβρίου, η βροχόπτωση επανήλθε ως βίαιη διακοπτόμενη καταιγίδα, η οποία διήρκεσε μέχρι το πρωί και χαρακτηρίστηκε ως πάρα πολύ ισχυρή. Πράγματι, ο κύριος όγκος του νερού κατακρημνίστηκε σε κύματα ακολουθούμενα από διαστήματα ηρεμίας, όπως φαίνεται στο γράφημα του κινητού μετεωρολογικού ραντάρ ΧΡΟΛ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που κατέγραψε το γεγονός από τη Πεντέλη.



Σχήμα 4.11: (α) Υετογράφημα και β) Αθροιστική καμπύλη βροχόπτωσης όπως καταγράφηκαν από το XPOL. Ωρα UTC = τοπική ώρα – 2 (Κοντοές κ.ά, 2018)

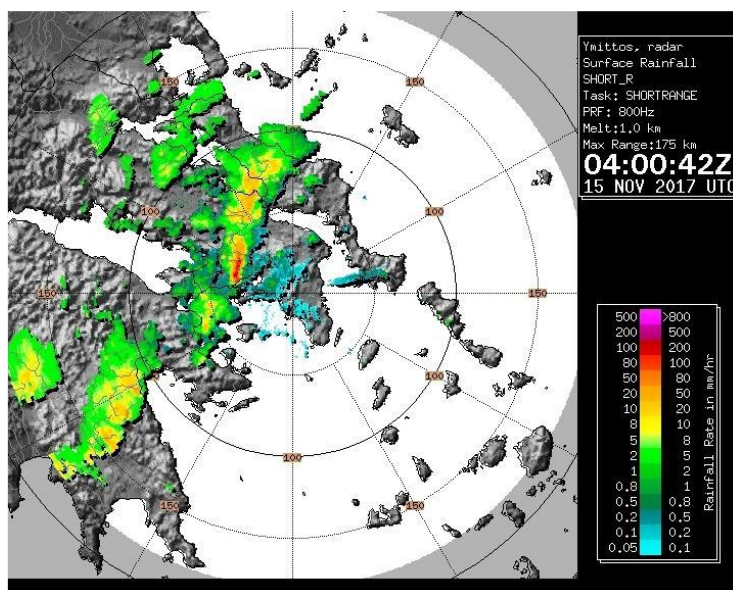
Όπως φαίνεται στην παραπάνω αθροιστική καμπύλη βροχόπτωσης, στον πυρήνα του συμβάντος που διήρκεσε μόλις 3 ώρες, μεταξύ 05:00 και 08:00 το πρωί της 15 ης Νοεμβρίου, καταγράφηκε συνολικό ύψος βροχής άνω των 200 mm, με τον ρυθμό βροχόπτωσης να αγγίζει μέχρι και τα 140 mm/h. Τα δεδομένα αυτά συμφωνούν και με δεδομένα που προέκυψαν από επεξεργασία δορυφορικών λήψεων της NASA, η οποία έγινε από τον Δρ. Ευθύμιο Νικολόπουλο του Πανεπιστημίου του Connecticut, ΗΠΑ, ενώ το συμβάν καταγράφη και από το παλαιότερης τεχνολογίας μετεωρολογικό ραντάρ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), που βρίσκεται στον Υμηττό.

Οι τιμές που κατέγραψε το ραντάρ Υμηττού αφορούν την ευρύτερη περιοχή του όρους Πατέρα, διότι το εν λόγω ραντάρ δεν έχει υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση, όμως επιβεβαιώνουν την ένταση και ραγδικότητα του πλημμυρικού επεισοδίου. Από το ραντάρ Υμηττού εκτιμήθηκε αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης περί των 80 mm, για τη περίοδο από το απόγευμα της 14ης μέχρι το απόγευμα της 15ης Νοεμβρίου, από τα οποία τα 60 mm κατακρημνίστηκαν στο εντονότερο διάστημα από τις 05:00 έως τις 08:00 το πρωί της 15ης. Επίσης καταγράφηκαν τοπικά μέγιστα ρυθμού βροχόπτωσης που ξεπέρασαν τα 300 mm/h. Για να γίνει κατανοητός ο πλημμυρικός όγκος, ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής ανέρχεται στα 59 mm.

4.3.1.1 Εικόνα ραντάρ Υμηττού

Εκτός από τη ραγδικότητα του πλημμυρικού επεισοδίου, η χρονική συγκυρία, το γεγονός δηλαδή ότι η βροχόπτωση πραγματοποιήθηκε τις πρώτες πρωινές ώρες και το πλημμυρικό κύμα χτύπησε τον οικισμό νωρίς το πρωί, ήταν που του προσέδωσε ακόμα πιο καταστροφικό και φονικό χαρακτήρα. Η λειτουργία ενός Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης θα μπορούσε να μειώσει τις αρνητικές συνέπειες. Η έγκαιρη προειδοποίηση των κατοίκων, έστω και κάποια λεπτά πριν τον ερχομό της πλημμύρας, αρκεί για προστατευτούν οι ίδιοι πηγαίνοντας σε ασφαλέστερα σημεία, από το να βρεθούν εντελώς απροετοίμαστοι (Stamou, 2018). Σύμφωνα με τον Καντερέ («Καντερές: Η τραγωδία

στην Μάνδρα θα είχε αποτραπεί αν λειτουργούσε το ραντάρ της Αίγινας! video», 2019), εάν βρισκόταν σε πλήρη λειτουργία το υπερσύγχρονο μετεωρολογικό ραντάρ της Αίγινας θα μπορούσε να είχε προβλεφθεί έγκαιρα το πλημμυρικό γεγονός κι να είχαν παρθεί μέτρα που θα έσωζαν ανθρώπινες ζωές.



Σχήμα 4.12: Στοιχεία του ραντάρ Υμηττού της ΕΜΥ στις 6:00 π.μ. τοπική ώρα (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία [ΕΜΥ], 2017)

Η υψηλή ανάλυση που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία, καθώς και η άμεση διασταύρωση στοιχείων που καταγράφονται από διαφορετικές θέσεις μπορούν να κάνουν τη διαφορά σε περιπτώσεις σαν κι αυτή. Το προηγμένης τεχνολογίας μετεωρολογικό ραντάρ ΧΡΟΛ κατέγραψε το γεγονός με χωρική ακρίβεια 150 m και χρονική ακρίβεια 2 min. Οι δορυφόροι έχουν περιορισμένη χωρική ανάλυση περίπου 10 km και χρονική ανάλυση περίπου 30 min. Αποτέλεσμα είναι να υποεκτιμούνται τα μέγιστα της βροχόπτωσης και να υπερεκτιμάται η έκτασή της. Δεδομένου του ότι η συγκεκριμένη καταιγίδα στο όρος Πατέρας είχε έκταση μήκους 19 km και πλάτους μόλις τεσσάρων, γίνεται κατανοητό πώς το ραντάρ Υμηττού και οι δορυφορικές λήψεις δεν ήταν σε θέση να προβλέψουν τη δριμύτητα του φαινομένου. («Μάνδρα: Ξεπέρασε τα 200 χιλιοστά σε έξι ώρες η βροχόπτωση στο όρος Πατέρας», 2017)

4.3.2 ΧΩΡΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ – ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΙ ΛΗΨΕΙΣ ΑΠΟ ΜΕΑ

Από την ανάλυση του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Κοντοές κ.ά., 2018) που έκανε χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης υψηλής χωρικής ανάλυσης (0,31 m), προκύπτει ότι πλημμύρισε το μεγαλύτερο μέρος της οικιστικής ζώνης αλλά και σημαντικό μέρος της βιομηχανικής ζώνης της Μάνδρας, με το πλημμυρικό κύμα να εξαπλώνεται, ως επί των πλείστων, εκατέρωθεν των φυσικών κοιτών των χειμάρρων Σούρες και Αγ. Αικατερίνη, καθώς επίσης και εκατέρωθεν του οδικού άξονα ΠΕΟΕΘ.

Τα στοιχεία αυτά επιβεβαιώνονται κι από την καταγραφή των ζημιών που έγιναν από πραγματογνώμονες κι εκτιμητές των ασφαλιστικών εταιρειών, του Δήμου και της Περιφέρειας, από τις κλήσεις που έγιναν προς την Πυροσβεστική Υπηρεσία για απεγκλωβισμούς και αντλήσεις υδάτων, αλλά και από προσωπικές μαρτυρίες μαρτύρων και στοιχεία και εικόνες που είδαν το φως της δημοσιότητας. Επίσης συμφωνούν με τις λήψεις που έγιναν με μη επανδρωμένα αεροσκάφη (ΜΕΑ ή Drones) ιδιωτών και μελετητών πριν ακόμα ολοκληρωθεί η απορροή του πλημμυρικού όγκου από

τον οικισμό, κι ενώ συνεχιζόταν με ήπια ένταση και πολλά σημεία ήταν ακόμη μη προσβάσιμα, αλλά και τις επόμενες ημέρες, όταν η απορροή είχε πλέον ολοκληρωθεί.



Σχήμα 4.13: Αποτύπωση της πλημμυρικής έκτασης (Κοντοές κ.ά., 2018)

Φάνηκε ότι οι διευθετημένες, καταπατημένες κι εγκιβωτισμένες κοίτες των χειμάρρων Σούρες και Αγ. Αικατερίνη δεν ήταν σε θέση να αποστραγγίσουν τον τεράστιο πλημμυρικό όγκο που κατέφθασε από τις πλαγιές του όρους Πατέρα, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί πλημμυρικό πεδίο που κάλυψε τις περιοχές πλησίον των φυσικών κοιτών των δύο ρεμάτων. Στην περίπτωση του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνη, του οποίου η φυσική κοίτη διατρέχει τους βασικούς οδικούς άξονες της πόλης, το πλημμυρικό πεδίο κάλυψε το μεγαλύτερο μέρος της πόλης της Μάνδρας. (Μαρκόπουλος-Σαρίκας κ.ά., 2019)

Στην περίπτωση του χειμάρρου Σούρες, τα ορμητικά νερά κατέστρεψαν και παρέσυραν αριθμό κτιρίων που είχαν χτιστεί πάνω στο ρέμα βορειοανατολικά του οικισμού και πλημμύρισαν τη βιομηχανική περιοχή δυτικά του οικισμού της Μαγούλας. Στο νοτιοανατολικό σημείο της πόλης όπου συμβάλλουν τα δύο ρέματα με εντελώς ανεπαρκές τεχνικό έργο, το δίκτυο υπερχειλίσε μετατρέποντας τη Παλαιά Εθνική Οδό Ελευσίνας-Θήβας σε χείμαρρο (Stamou, 2018). Ο νέος χείμαρρος ΠΕΟΕΘ δημιούργησε πεδίο κατάκλυσης εκατέρωθεν του οδοστρώματος που έπληξε μεγάλο μέρος της βιομηχανικής περιοχής της Μάνδρας και πλημμύρισε την Αττική οδό, καθώς επίσης και τον οικισμό Παπακώστα και τις εργατικές κατοικίες που βρίσκονται κατόντη της Αττικής οδού και βόρεια της Ελευσίνας. Ευτυχώς την καταστροφή γλίτωσαν οι πόλεις της Μαγούλας και της Ελευσίνας, χάρη σε μια σειρά τεχνικών έργων που αποδείχτηκαν επαρκή, αλλά και χάριν της Αττικής οδού, που λειτούργησε ως φράγμα.



Εικόνα 4.4: Στιγμιότυπα από λήψεις ΜΕΑ όπου διαφαίνεται η έκταση της πλημμύρας

Οι καταστροφές που προκλήθηκαν από τη πλημμύρα της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017 σε περιοχές της Δυτικής Αττικής αποτυπώνονται στις ασφαλιστικές αποζημιώσεις που καταβλήθηκαν στους κατοίκους από τις ασφαλιστικές εταιρείες. Σύμφωνα με έρευνα της Ένωσης Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδος, οι αποζημιώσεις ξεπέρασαν κατά τη πρώτη εκτίμηση το ποσό των 12.3 εκατομμυρίων ευρώ για σπίτια και αυτοκίνητα. Η Μάνδρα ήταν η περιοχή που χτυπήθηκε βιαιότερα από το πλημμυρικό κύμα, αφού της αντιστοιχεί το 88% του συνολικού ποσού που καταβλήθηκε για ζημιές σε περιουσίες. («ΕΑΕΕ: Στα 12,3 εκατ. Ευρώ οι αποζημιώσεις στη Δυτική Αττική», 2018)

5 ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ

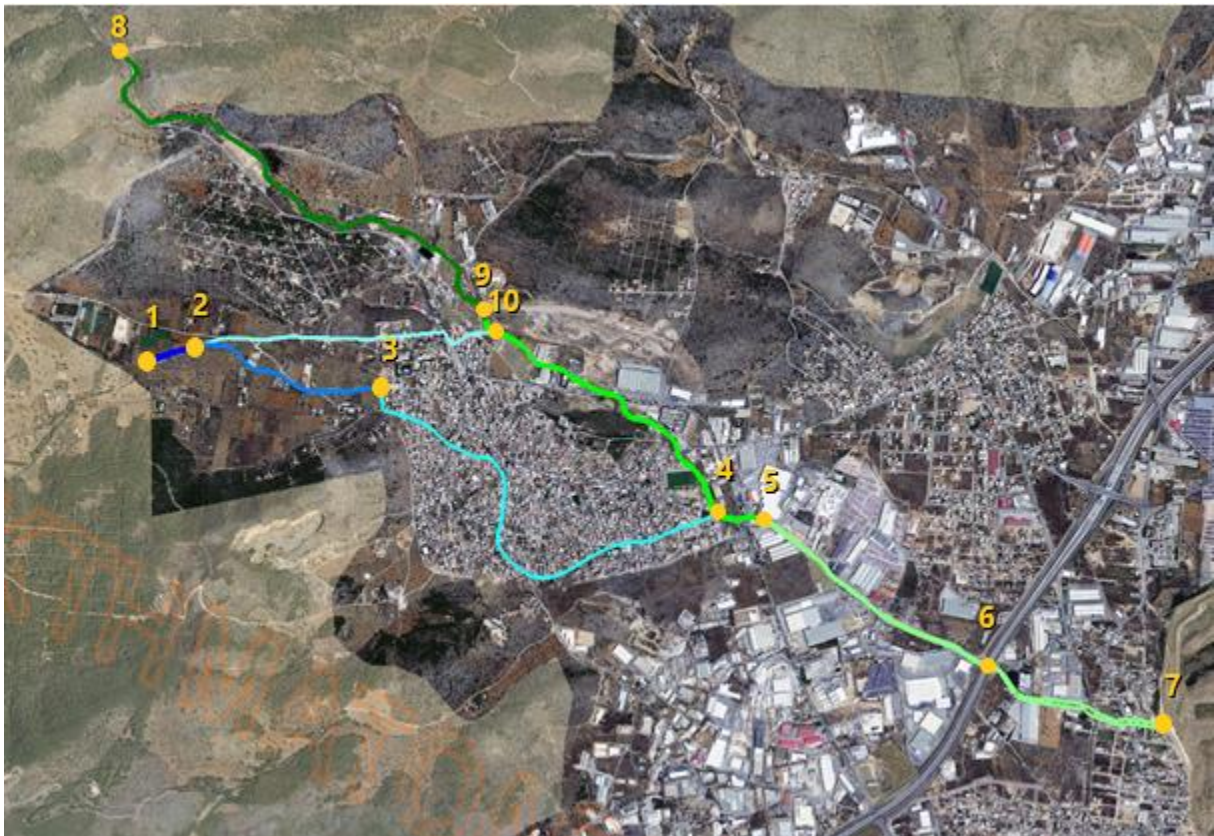
5.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Σύμφωνα με τη Μελέτη εκτροπής χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες Θριασίου Πεδίου (Διεύθυνση Υδραυλικών Έργων Περιφέρειας Αττικής (Δ10). Μελετητής: Ε.Τ.ΜΕ. Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.) τα έργα περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Έργο διευθέτησης του χειμάρρου Σούρες (από σημείο 9 έως 5, Σχήμα 5.1) σε μήκος περίπου 1.7km με επενδεδυμένες διατομές και τεχνικά έργα-οχετούς στις διασταυρώσεις με το οδικό δίκτυο.
2. Έργο εκτροπής του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης (από σημείο 2 έως 10, Σχήμα 5.1) με κλειστό ορθογωνικό αγωγό μήκους 1.50km περίπου που διέρχεται από υφιστάμενη οδό.
3. Έργο διευθέτησης του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης (από σημείο 2 έως 3, Σχήμα 5.1) μήκους 940m περίπου, που καταλήγει στον αγωγό Κοροπούλη.

Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται επίσης τμήμα της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες ανάντη των έργων διευθέτησης (από σημείο 8 έως 9), τμήμα της φυσικής κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνης (1 έως 2), ο υφιστάμενος αγωγός Κοροπούλη (3 έως 4), και τα υφιστάμενα έργα της Αττικής Οδού Α.Ε. που καταλήγουν στον χ. Σαρανταπόταμο (από 5 έως 7). Από το σημείο 6 διέρχεται η Αττική Οδός.

Τον Αύγουστο του 2018 ξεκίνησε η κατασκευή των έργων και αναμένεται άμεσα η ολοκλήρωσή τους.



Σχήμα 5.1: Επιμέρους τμήματα των ρεμάτων της περιοχής μελέτης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

Οι παροχές σχεδιασμού των έργων σύμφωνα με τη μελέτη έχουν περίοδο επαναφοράς $T=50$ και οι τιμές αυτών φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

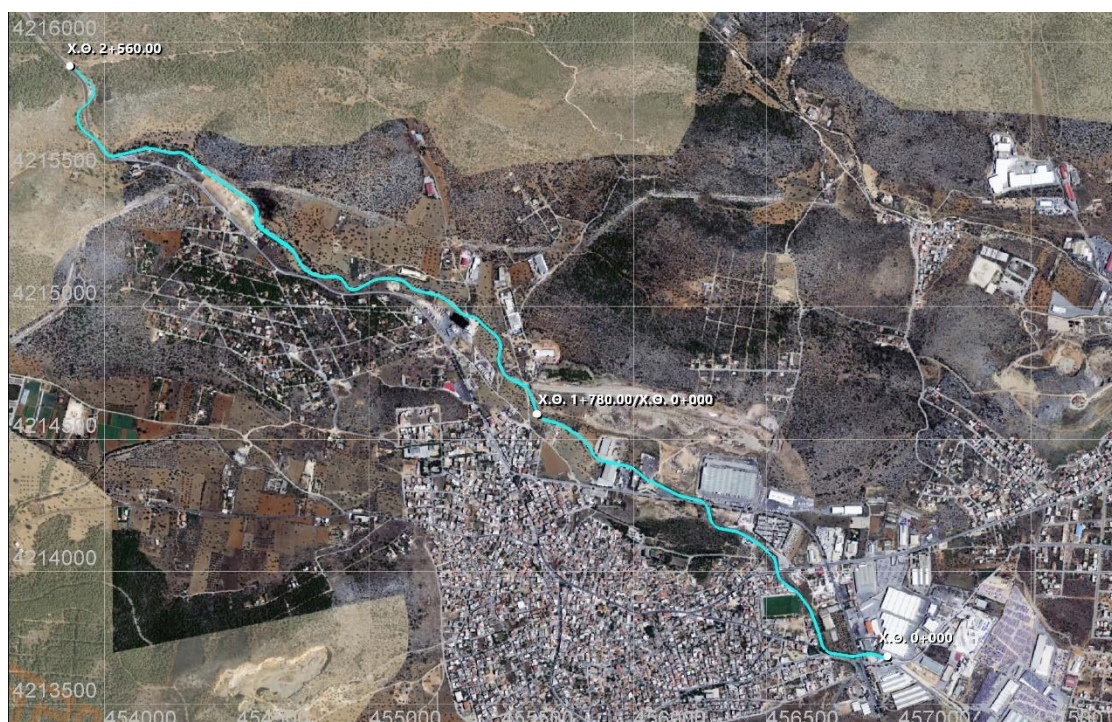
Πίνακας 5.1: Παροχές σχεδιασμού των έργων

Τμήμα	Παροχή Σχεδιασμού (m ³ /s)
χ. Σούρες	
από αρχή έργων διευθέτησης χ. Σούρες έως συμβολή με αγωγό Κοροπούλη (0+000 - 0+238.70)	125.00
από συμβολή αγωγού Κοροπούλη έως συμβολή με αγωγό εκτροπής χ. Αγ. Αικατερίνης (0+238.70 - 1+695.00)	91.00
Αγωγός εκτροπής χ. Αγ. Αικατερίνης	47.00
Αγωγός Κοροπούλη	10.00

5.2 ΕΡΓΟ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ

5.2.1 ΑΞΟΝΑΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΙΤΗΣ

Ο άξονας της διευθέτησης του χ. Σούρες κατασκευάζεται κυρίως εντός της υφιστάμενης κοίτης του χειμάρρου και έχει μήκος 1.78km. Σε ορισμένα σημεία παρατηρούνται μετατοπίσεις του άξονα, ώστε να προσαρμοστεί στις παραρεμάτιες εκτάσεις που έχουν διαμορφωθεί. Οι στροφές που έχουν χαραχθεί έχουν μεγάλη καμπυλότητα για να περιοριστούν οι υπερυψώσεις της ελεύθερης επιφάνειας. Επίσης προβλέπονται πέντε (5) μικρές πτώσεις 0.50m της στάθμης του πυθμένα της διευθέτησης. Για λόγους πληρότητας στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η διευθετημένη και η φυσική του χ. Σούρες, η οποία έχει μήκος περίπου 2.56km.

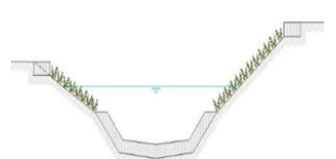

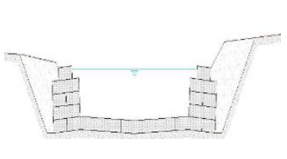


Σχήμα 5.2: Άξονας διευθέτησης της κοίτης του χ. Σούρες (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

5.2.2 ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ

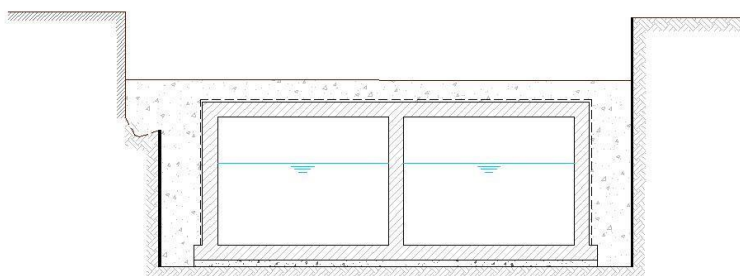
Οι διατομές διευθέτησης είναι επενδεδυμένες με συρματοκιβώτια και διακρίνονται σε 3 τύπους με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Τυπικές διατομές της διευθέτησης του χ. Σούρες (Περιφέρεια Αττικής, 2014)

Τύπος διατομής	1 Τραπεζοειδής	2 Τραπεζοειδής	3 Ορθογωνική
Σκαρίφημα διατομής			
Επενδεδυμένο τμήμα	Βάθος= 1.0 m Κλίση πρανών= 1:1 Συν. Manning = 0.025 Ταχύτητα max = 6.0 m/s	Πλάτος πυθμένα = 6.00 m Ύψος επένδυσης = 3.00–3.50 m Κλίση πρανών= 1:1 Ταχύτητα max = 8.0 m/s	Πλάτος πυθμένα = 8.00 m Ύψος επένδυσης = 3.00–3.50 m
Ανεπένδυτο τμήμα	Κλίση πρανών= 1:1.5 Συν. Manning = 0.040	-	-

5.2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - ΟΧΕΤΟΙ

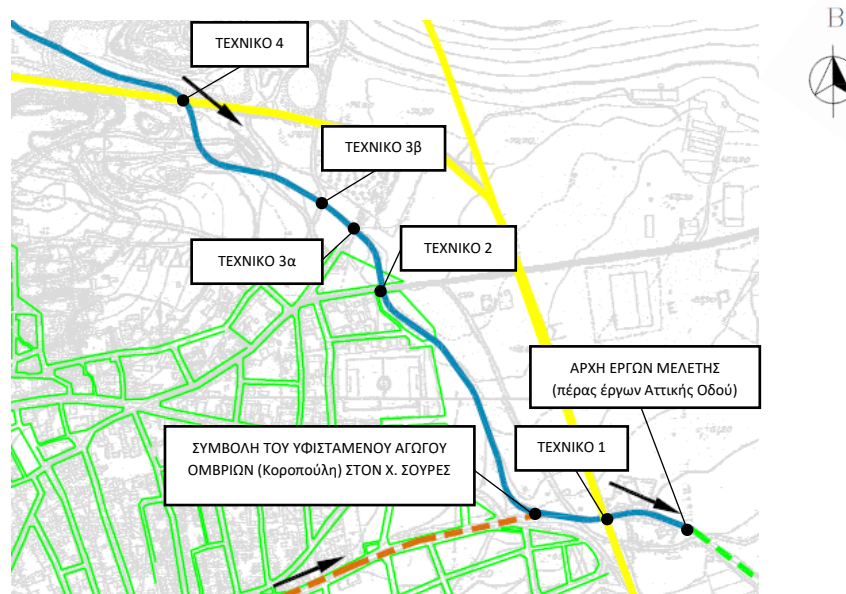
Στις θέσεις όπου ο χείμαρρος Σούρες διασταυρώνεται με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο (Εθνική οδό, τοπικές οδούς και επαρχιακούς δρόμους) προτείνεται η κατασκευή 5 τεχνικών έργων/οχητών από σκυρόδεμα στις θέσεις που φαίνονται στον Πίνακα 5.3. Η διατομή των οχητών είναι ορθογωνική και φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Η διατομή αυτή είναι κλειστή δίδυμη ορθογωνική διατομή 2 x 4.00 m x 3.00 m, από σπλισμένο σκυρόδεμα C30/ 37. Το μήκος των οχητών είναι ανάλογο με το πλάτος και τη γωνία της οδού που διασταυρώνουν. Σημειώνεται ότι αυτά τα τεχνικά έργα αντικαθιστούν τα υφιστάμενα.



Σχήμα 5.3: Τυπική διατομή τεχνικού έργου (Περιφέρεια Αττικής, 2014)

Πίνακας 5.3: Στοιχεία τεχνικών έργων της διευθέτησης του χ. Σούρες

Τεχνικό Έργο	Από Χ.Θ.	Μέχρι Χ.Θ.	Θέση
1	0+113.50	0+135.50	Διασταύρωση με ΕΟ Ελευσίνας – Θηβών
2	0+604.00	0+612.50	Διασταύρωση με τοπική οδό
3α	0+699.40	0+706.40	Διασταύρωση με τοπική οδό που οδηγεί στο Κοιμητήριο
3β	0+761.70	0+766.70	Διασταύρωση με τοπική οδό
4	1+000.80	1+020.30	Διασταύρωση με ΕΟ Ελευσίνας – Θηβών πλησίον του βιομηχανικού κτιρίου Logistics Βερόπουλος



Σχήμα 5.4: Θέση των τεχνικών της διευθέτησης χ. Σούρες (Περιφέρεια Αττικής, 2014)



Εικόνα 5.1: Θέση των τεχνικών της διευθέτησης του χ. Σούρες (Google Earth)

5.2.4 ΤΜΗΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ

Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται τα 42 επιμέρους τμήματα του χ. Σούρες με τα έργα και τις θέσεις τους. Επίσης στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η χιλιομετρική θέση του κάθε τμήματος.



Πίνακας 5.4: Επιμέρους τμήματα διευθέτησης χ. Σούρες

Τμήμα	Από Χ.Θ.	Μέχρι Χ.Θ.	Διατομή	Μήκος (m)	Κλίση (%)	Υψόμετρο (m)	
						Αρχή	Πέρας
1	0+000.00	0+093.20	Κλειστός αγωγός	93.2	1.45	53.81	55.16
2	0+093.20	0+113.50	Κλειστός αγωγός	20.30	2.02	55.16	55.57
3	0+113.50	0+135.50	Τεχνικό 1	21.80	2.02	55.57	56.01
4	0+135.30	0+154.30	Τύπου 3	19.00	2.00	56.01	56.39
5	0+154.30	0+175.00	Συναρμογή	20.70	2.32	56.89	57.37
6	0+175.00	0+238.70	Τύπου 2	65.80	2.33	57.37	58.90
7	0+238.70	0+281.30	Τύπου 2	40.50	2.32	58.90	59.84
8	0+281.30	0+300.00	Συναρμογή	18.70	2.35	59.84	60.28
9	0+300.00	0+470.00	Τύπου 1	170.00	2.32	60.28	64.23
10	0+470.00	0+549.30	Τύπου 1	79.30	2.19	64.23	65.97
11	0+549.30	0+564.30	Συναρμογή	15.00	2.20	65.97	66.30
12	0+564.30	0+604.00	Τύπου 3	39.70	2.19	66.30	67.17
13	0+604.00	0+612.50	Τεχνικό 2	8.50	2.24	67.17	67.36
14	0+612.50	0+615.40	Τύπου 3	2.90	2.07	67.36	67.42
15	0+615.40	0+699.40	Τύπου 3	84.00	2.85	67.42	69.81
16	0+699.40	0+706.40	Τεχνικό 3α	7.00	2.86	69.81	70.01
17	0+706.40	0+761.70	Τύπου 3	55.30	2.86	70.01	71.59
18	0+761.70	0+766.70	Τεχνικό 3β	5.00	2.80	71.59	71.73
19	0+766.70	0+783.40	Συναρμογή	16.70	2.87	71.73	72.21
20	0+783.40	0+849.40	Τύπου 1	39.90	2.83	72.21	73.34
21	0+849.40	0+974.50	Τύπου 1	151.20	2.27	73.34	76.77
22	0+974.50	0+989.50	Συναρμογή	15.00	2.27	76.77	77.11
23	0+989.50	1+000.80	Τύπου 3	11.30	2.21	77.11	77.36
24	1+000.80	1+020.30	Τεχνικό 4	19.50	2.41	77.36	77.83
25	1+020.30	1+045.30	Τύπου 3	25.00	2.40	77.83	78.43
26	1+045.30	1+060.00	Συναρμογή	14.70	2.45	78.43	78.79
27	1+060.00	1+150.40	Τύπου 1	90.40	2.42	78.79	80.98
28	1+150.40	1+260.00	Τύπου 1	109.60	2.59	80.98	83.82
29	1+260.00	1+295.70	Συναρμογή	35.70	2.61	83.82	84.75
30	1+295.70	1+388.40	Τύπου 3	92.70	1.59	84.75	86.22
31	1+388.40	1+440.20	Τύπου 3	51.80	1.60	86.72	87.55
32	1+440.20	1+251.30	Τύπου 3	81.10	1.59	88.05	89.34
33	1+251.30	1+541.30	Τύπου 3	20.00	1.55	89.84	90.15
34	1+541.30	1+552.20	Συναρμογή	10.90	1.38	90.65	90.80
35	1+552.20	1+669.40	Τύπου 1	117.20	1.37	90.80	92.41
36	1+669.40	1+679.60	Συναρμογή	10.20	1.37	92.41	92.55
37	1+679.60	1+695.00	Τύπου 2	15.40	1.36	92.55	92.76
38	1+695.00	1+700.00	Τεχνικό Συμβολής	5.00	1.20	92.76	92.82
39	1+700.00	1+710.00	Τεχνικό Συμβολής	10.00	6.70	92.82	93.49
40	1+710.00	1+733.90	Τεχνικό Συμβολής	23.90	2.01	93.49	93.97
41	1+733.90	1+764.50	Τύπου 2	30.60	1.99	93.97	94.58
42	1+764.50	1+780.00	Διαμόρφωση κοίτης	15.50	8.52	94.58	95.90

5.3 ΕΡΓΟ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Η παροχή του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης εκτρέπεται μερικώς προς τον χ. Σούρες, μέσω του αγωγού εκτροπής, μήκους 1.45 km περίπου. Ο αγωγός εκτροπής εκβάλλει στο ανάντη τμήμα της διευθέτησης του χ. Σούρες, στη Χ.Θ. 1+695.00. Ο μερισμός της παροχής γίνεται με το έργο κεφαλής – μερισμού. Η υπόλοιπη παροχή οδηγείται μέσω της διευθετημένης κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνης προς τον υφιστάμενο αγωγό Κοροπούλη, ο οποίος περνάει μέσα από την πόλη της Μάνδρας.

5.3.1 ΑΞΟΝΑΣ ΑΓΩΓΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Η χάραξη του άξονα του αγωγού εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνης ακολουθεί τη χάραξη που έχει προβλεφθεί στην Προμελέτη της ΕΥΔΑΠ. Συγκεκριμένα ο άξονας διέρχεται αρχικά από την οδό Κάλβου, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα. Το ένα τμήμα βρίσκεται εντός του παλαιού Σχεδίου Πόλεως, και το άλλο αποτελεί τμήμα εντός της περιοχής επέκτασης του Σχεδίου. Στη συνέχεια ο αγωγός περνάει από τις οδούς Στρατηγού Ρόκα και Ηπειρού και διαμέσου αγροτεμαχίων εκβάλλει στην διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες.

Η μέγιστη κατά μήκος κλίση της εκτροπής είναι ίση με 16%, ενώ οι μέγιστες ταχύτητες που αναπτύσσονται είναι ίσες με 7.12 m/s.

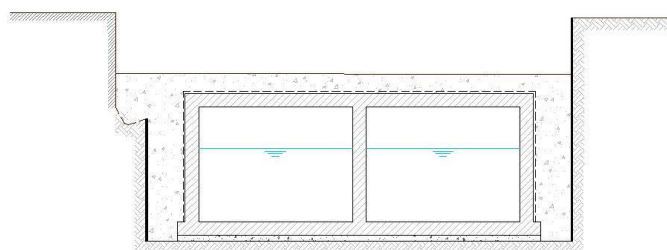
Για λόγους πληρότητας, στο Σχήμα 5.6 εμφανίζεται και ο άξονας της φυσικής κοίτης ανάντη του έργου κεφαλής – μερισμού, ο οποίος έχει μήκος περίπου 200m.



Σχήμα 5.6: Άξονας αγωγού εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνη (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

5.3.2 ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ

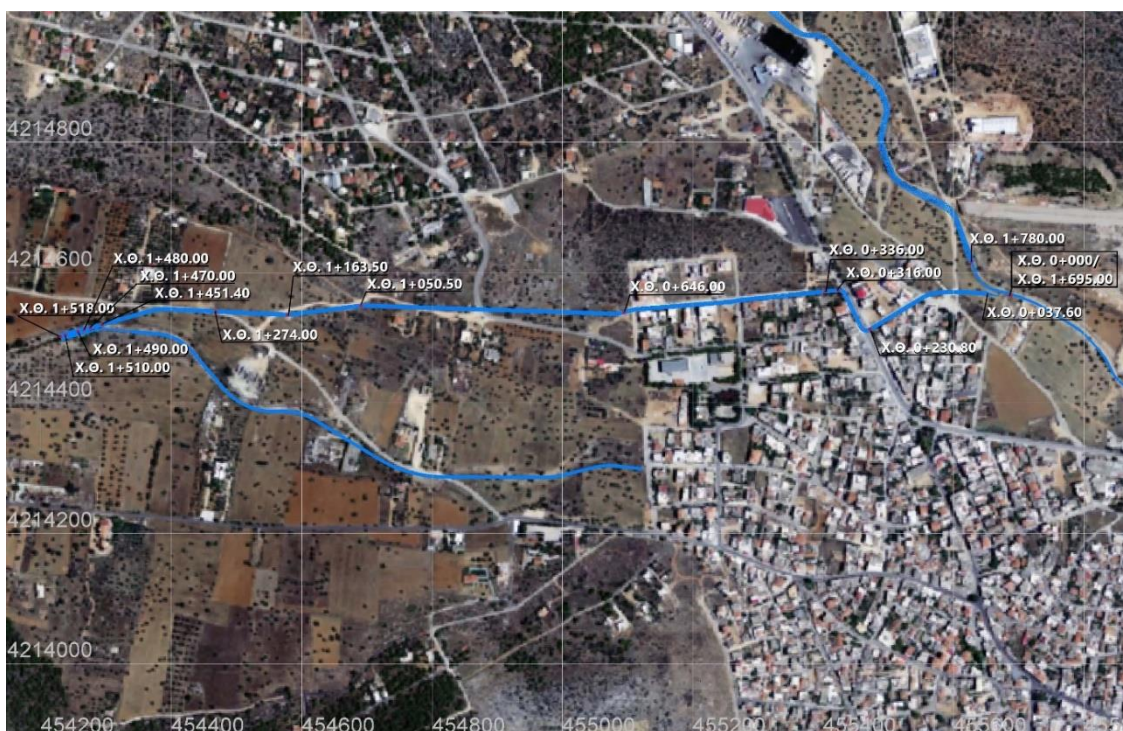
Η διατομή για τον αγωγό εκτροπής επιλέγεται δίδυμη κλειστή ορθογωνική διατομή με διαστάσεις 2 x 2.50 x 2.50 m, από σπλισμένο σκυρόδεμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7. Σε ένα τμήμα του αγωγού, λόγω της ύπαρξης απότομων στροφών, έχει επιλεγθεί διατομή με ύψος 2.80m.



Σχήμα 5.7: Τυπική διατομή αγωγού εκτροπής (Περιφέρεια Αττικής, 2014)

5.3.3 ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΡΓΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ Χ. ΑΓΙΑΣ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Στον Πίνακα 5.5 φαίνονται τα επιμέρους τμήματα του αγωγού εκτροπής. Στα τμήματα συμπεριλαμβάνεται και το έργο της κεφαλής - μερισμού.



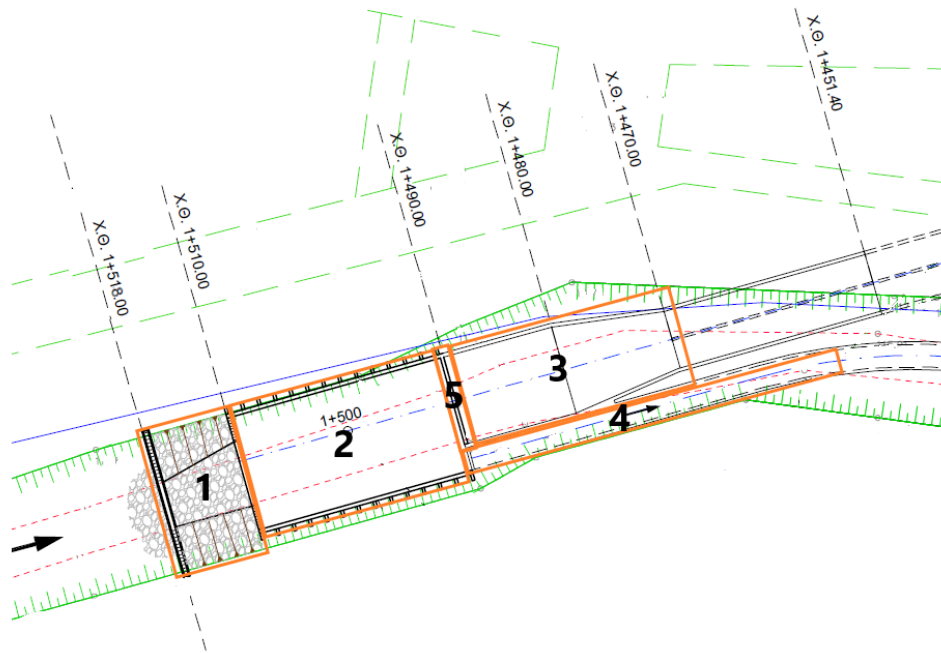
Σχήμα 5.8: Χιλιομετρική θέση των τμημάτων του έργου εκτροπής χ. Αγίας Αικατερίνης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

Πίνακας 5.5: Επιμέρους τμήματα έργου εκτροπής χ. Αγίας Αικατερίνης

Τμήμα	Από Χ.Θ.	Μέχρι Χ.Θ.	Διατομή	Μήκος (m)	Κλίση (%)	Υψόμετρο (m)	
						Αρχή	Πέρας
1	0+000	0+037.60	Συμβολή με χ. Σούρες	37.60	1.86	92.76	93.46
2	0+037.60	0+230.80	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	193.20	1.18	93.46	95.74
3	0+230.80	0+316.00	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	85.20	1.19	95.74	96.75
4	0+316.00	0+336.00	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	20.00	1.20	96.75	96.99
5	0+336.00	0+646.00	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	310.00	1.10	96.99	100.4
6	0+646.00	1+050.50	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	404.50	1.45	100.4	106.28
7	1+050.50	1+163.50	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	113.00	1.59	106.78	108.58
8	1+163.50	1+274.00	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	110.50	1.59	109.08	110.84
9	1+274.00	1+451.40	Κλειστή δίδυμη ορθογωνική	177.40	2.05	111.34	114.97
10	1+451.40	1+470.00	Ανοικτή δίδυμη ορθογωνική	18.60	2.10	114.97	115.36
11	1+470.00	1+480.00	Συναρμογή	10.00	2.00	115.36	115.56
12	1+480.00	1+490.00	Ανοικτή Ορθογωνική	10.00	2.00	115.56	115.76
13	1+490.00	1+510.00	Έργο κεφαλής	20.00	-	115.76	115.76
14	1+510.00	1+518.00	Διαμόρφωση κοίτης	8.00	6.75	116.72	117.26

5.3.4 ΕΡΓΟ ΚΕΦΑΛΗΣ – ΜΕΡΙΣΜΟΥ

Το έργο κεφαλής μερισμού κατασκευάζεται στην κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνης και μέσω αυτού γίνεται ο μερισμός της παροχής προς τον χ. Σούρες. Οι μικρές παροχές οδηγούνται μέσω τάφρου στον υφιστάμενο αγωγό Κοροπούλη, οι οποίες δε ξεπερνούν τα $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Το έργο της κεφαλής μερισμού αποτελείται από (1) συναρμογή της ανάντη κοίτης, (2) λεκάνη διαστάσεων $20.0 \text{ m} \times 10.35 \text{ m}$ και ύψος 3.00 m , (3) συναρμογή του αγωγού εκτροπής με τη λεκάνη, (4) αγωγό διαστάσεων $2.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$ προς τον αγωγό Κοροπούλη και (5) αναβαθμό ύψους 0.50 m εγκάρσια της λεκάνης, ώστε οι μικρές παροχές να οδηγούνται προς τον τελευταίο αγωγό. Η κάτοψη του έργου με τα επιμέρους τμήματα δίνεται στο Σχήμα 5.9.



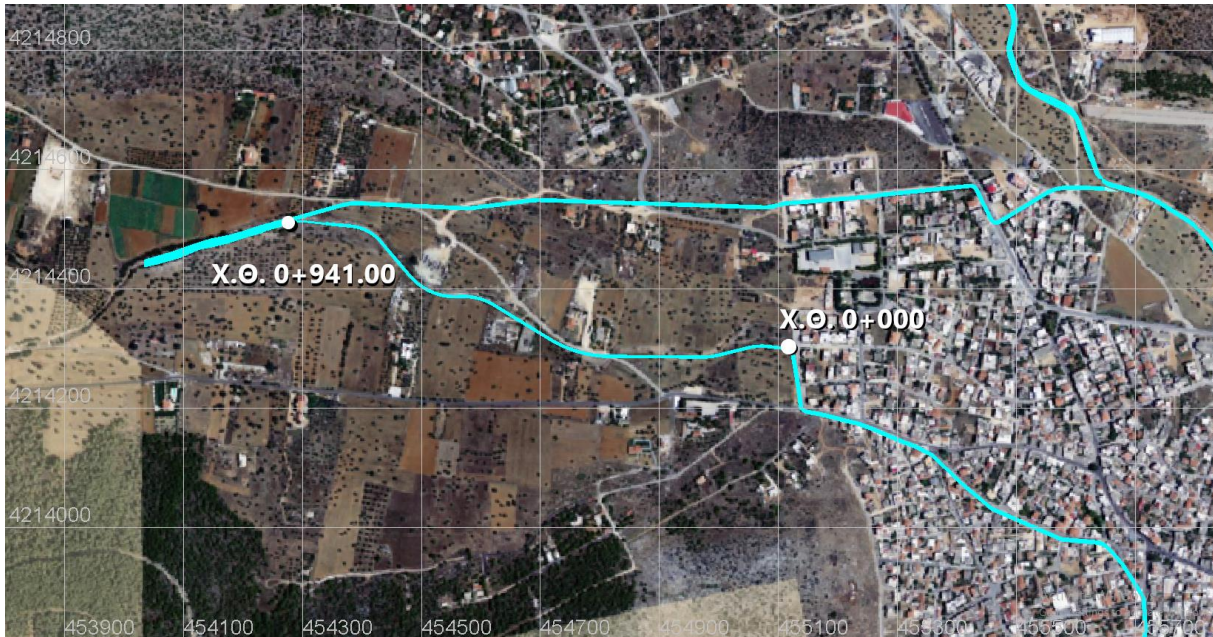
Σχήμα 5.9: Επιμέρους τμήματα του έργου κεφαλής μερισμού (Περιφέρεια Αττικής, 2014)

5.4 ΕΡΓΟ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Στην κοίτη του χειμάρρου κατάντη του έργου κεφαλής μερισμού κατασκευάζεται τάφρος, μέσω της οποίας διοχετεύεται η παροχή των $10 \text{ m}^3/\text{s}$ στον υφιστάμενο αγωγό Κοροπούλη. Η τάφρος συνδέεται μέσω αγωγού διαστάσεων $2.00 \text{ m} \times 1.00 \text{ m}$ με το έργο κεφαλής μερισμού, και καταλήγει στην οδό Ομήρου.

5.4.1 ΑΞΟΝΑΣ ΚΟΙΤΗΣ

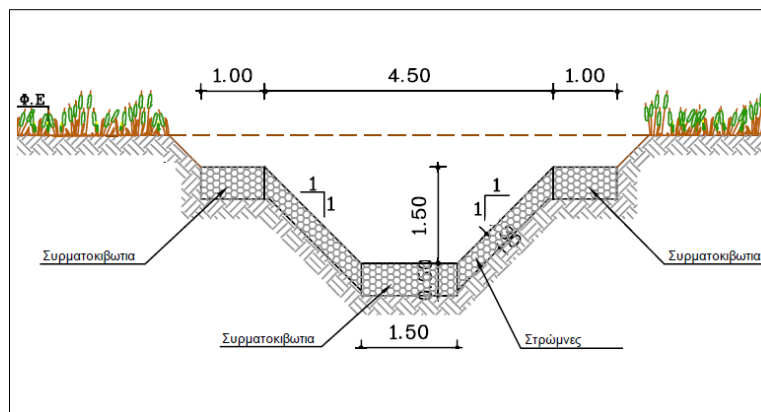
Ο άξονας της κοίτης βρίσκεται εντός των ορίων που προέκυψαν σύμφωνα με τη Μελέτη Οριοθέτησης του χ. Αγ. Αικατερίνης (ΦΕΚ Δ 1133/24/10/2003) και έχει μήκος περίπου 940m.



Σχήμα 5.10: Άξονας διευθέτησης χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

5.4.2 ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ

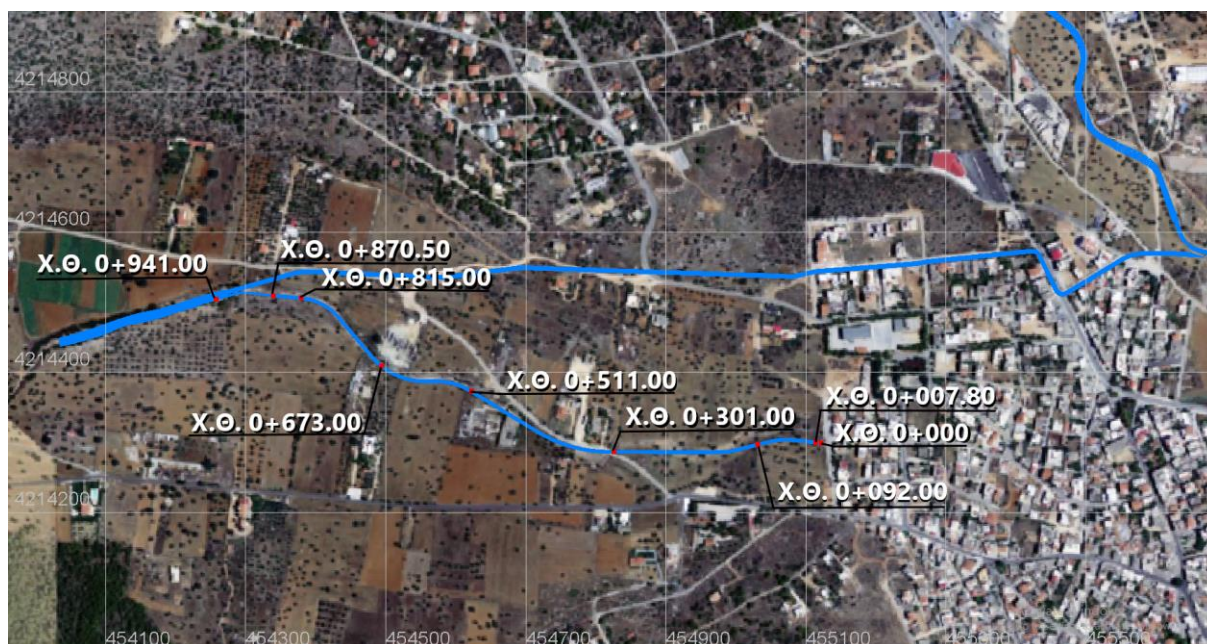
Η διατομή της τάφρου είναι τραπεζοειδής, επενδεδυμένη με συρματοκιβώτια και η τυπική διατομή της φαίνεται στο Σχήμα 5.11. Το πλάτος πυθμένα είναι ίσο με 1.5m και η κλίση των πρανών $1:1$.



Σχήμα 5.11: Τυπική διατομή διευθέτησης του χ. Αγ. Αικατερίνης (Περιφέρεια Αττικής, 2019)

5.4.3 ΤΜΗΜΑΤΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ Χ. ΑΓΙΑΣ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗΣ

Στον Πίνακα 5.6 και στο Σχήμα 5.12 φαίνονται τα επιμέρους τμήματα του έργου της διευθέτησης του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης.



Σχήμα 5.12: Χιλιομετρική θέση των τμημάτων του έργου διευθέτησης του χ. Αγίας Αικατερίνης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

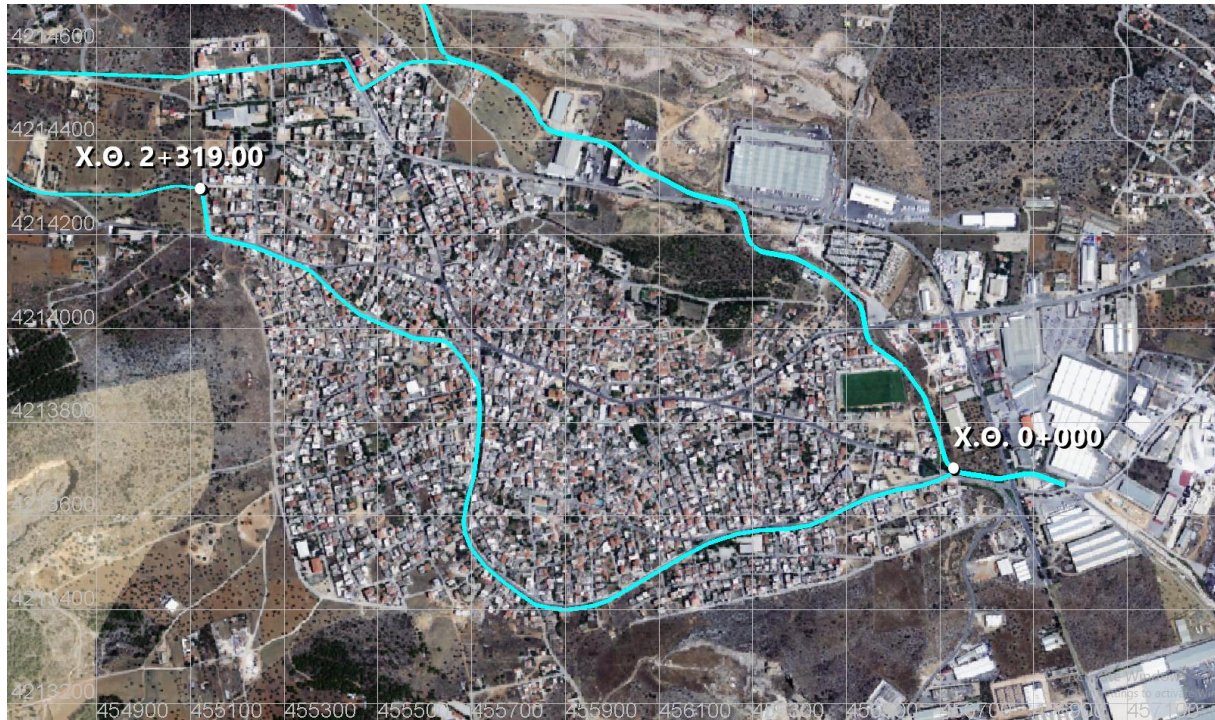
Πίνακας 5.6: Επιμέρους τμήματα διευθέτησης χ. Αγίας Αικατερίνης

Τμήμα	Από Χ.Θ.	Μέχρι Χ.Θ.	Διατομή	Μήκος (m)	Κλίση (%)	Υψόμετρο (m)	
						Αρχή	Πέρας
1	0+000	0+007.80	Συναρμογή Φρεατίου	7.80	18.08	97.25	98.66
2	0+007.80	0+092.00	Τραπεζοειδής	84.20	2.04	98.66	100.38
3	0+092.00	0+301.00	Τραπεζοειδής	209.00	1.50	100.38	103.52
4	0+301.00	0+511.00	Τραπεζοειδής	210.00	2.20	103.52	108.15
5	0+511.00	0+673.00	Τραπεζοειδής	162.00	1.65	108.15	110.83
6	0+673.00	0+815.00	Τραπεζοειδής	142.00	1.56	110.83	113.04
7	0+815.00	0+870.50	Τραπεζοειδής	55.50	1.59	113.04	113.92
8	0+870.50	0+875.5	Τραπεζοειδής	5.00	0.00	113.92	113.92
9	0+875.5	0+941.00	Ορθογωνικός	65.50	2.81	113.92	115.76

5.5 ΑΓΩΓΟΣ ΚΟΡΟΠΟΥΛΗ

5.5.1 ΑΞΟΝΑΣ ΑΓΩΓΟΥ

Ο αγωγός Κοροπούλη ξεκινάει από το δυτικό τμήμα της Μάνδρας και συγκεκριμένα από την οδό Ομήρου και καταλήγει στον χ. Σούρες, στη Χ.Θ. 0+238.70. Ο αγωγός είναι πλακοσκεπής με ορθογωνική διατομή διαστάσεων 2.00 m x 1.70 m. Ο αγωγός έχει σχεδιαστεί για παραλαβή όμβριων υδάτων μέγιστης παροχής 10 m³/s. Το μήκος του αγωγού είναι περίπου 2.32km.



Σχήμα 5.13: Άξονας αγωγού Κοροπούλη (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

6 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και η επεξεργασία αυτών αποτελεί σημαντικό στάδιο της διαδικασίας της υδροδυναμικής προσομοίωσης και στη συνέχεια της εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου. Τα βασικά στοιχεία για τη δόμηση του δισδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου αποτελούν η τοπογραφία της περιοχής μελέτης, η κατανομή του συντελεστή τραχύτητας μέσα σε αυτή και οι οριακές συνθήκες. Αντίστοιχα για τον πλημμυρικό κίνδυνο απαιτούνται στοιχεία των χρήσεων γης της περιοχής καθώς επίσης οι ανθρωπογενείς και οικονομικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα εντός αυτής.

Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων έγινε με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων για την κάθε περίπτωση. Συγκεκριμένα για την επεξεργασία των γεωμορφολογικών δεδομένων και τη ανάλυση και δημιουργία στοιχείων για τους χάρτες πλημμυρικού κινδύνου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcMap, το οποίο αποτελεί κύριο μέρος του προγράμματος ArcGIS (ESRI). Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για την οπτικοποίηση, επεξεργασία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, καθώς και τη δημιουργία χαρτών. Επίσης έγινε χρήση του προγράμματος AutoCAD για την επεξεργασία, εξαγωγή και μετατροπή των δεδομένων που προέρχονται από τα σχέδια της μελέτης των αντιπλημμυρικών έργων. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη BlueKenue™ επίσης είναι κατάλληλο για την οπτικοποίηση και επεξεργασία δεδομένων, τα οποία χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τη κατασκευή του υπολογιστικού πλέγματος. Τέλος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα λογιστικών φύλλων Microsoft Excel για τη δημιουργία και επεξεργασία των στοιχείων.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων και τη μετατροπή αυτών σε δεδομένα αξιοποιήσιμα για τη δόμηση του μοντέλου.

6.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

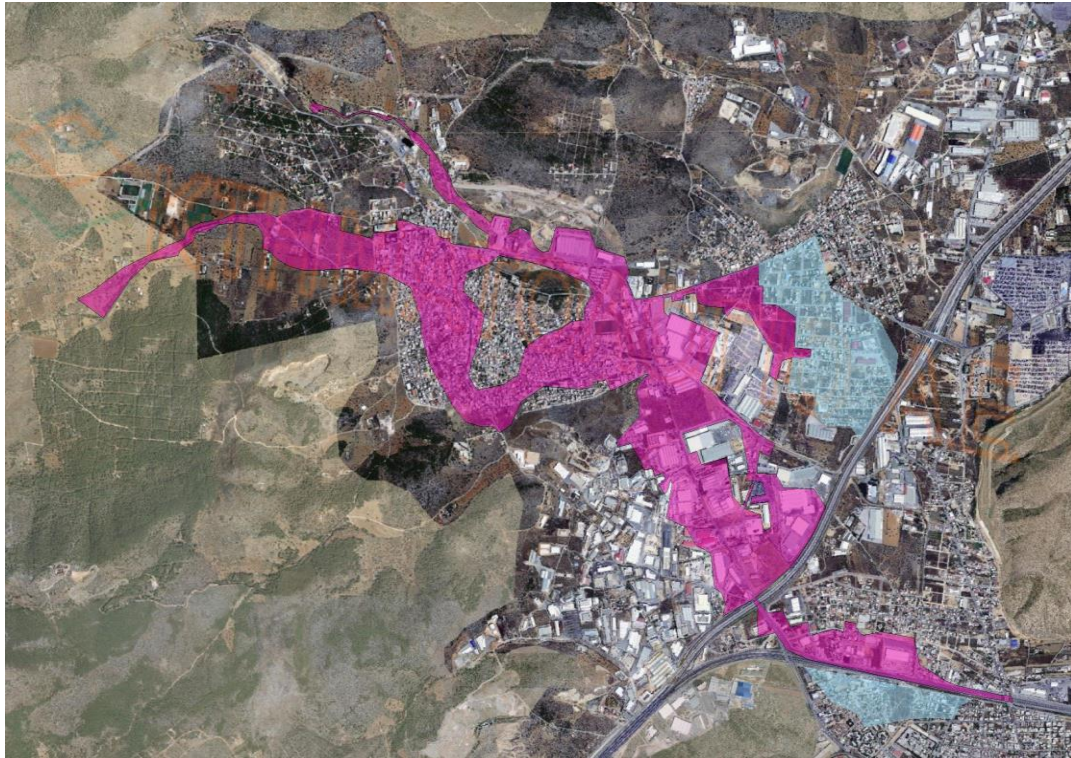
Προκειμένου να καταστεί δυνατή η υδραυλική προσομοίωση και ανάλυση του πλημμυρικού γεγονότος, είναι απαραίτητη η κατασκευή του γεωμορφολογικού προφίλ της περιοχής μελέτης. Το προφίλ του αναγλύφου της περιοχής δημιουργήθηκε σύμφωνα με το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ), το οποίο παραχωρήθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε.

Το ΨΜΕ ακολουθεί τη διανομή ΕΓΣΑ87, είναι σε κλίμακα 1:5000 και έχει μέγεθος κελιών κανάβου 5x5m στην επιφάνεια του εδάφους. Το ΨΜΕ αναπαριστά κυρίως το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους και δεν περιέχονται σε αυτό τα κτίρια που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή.

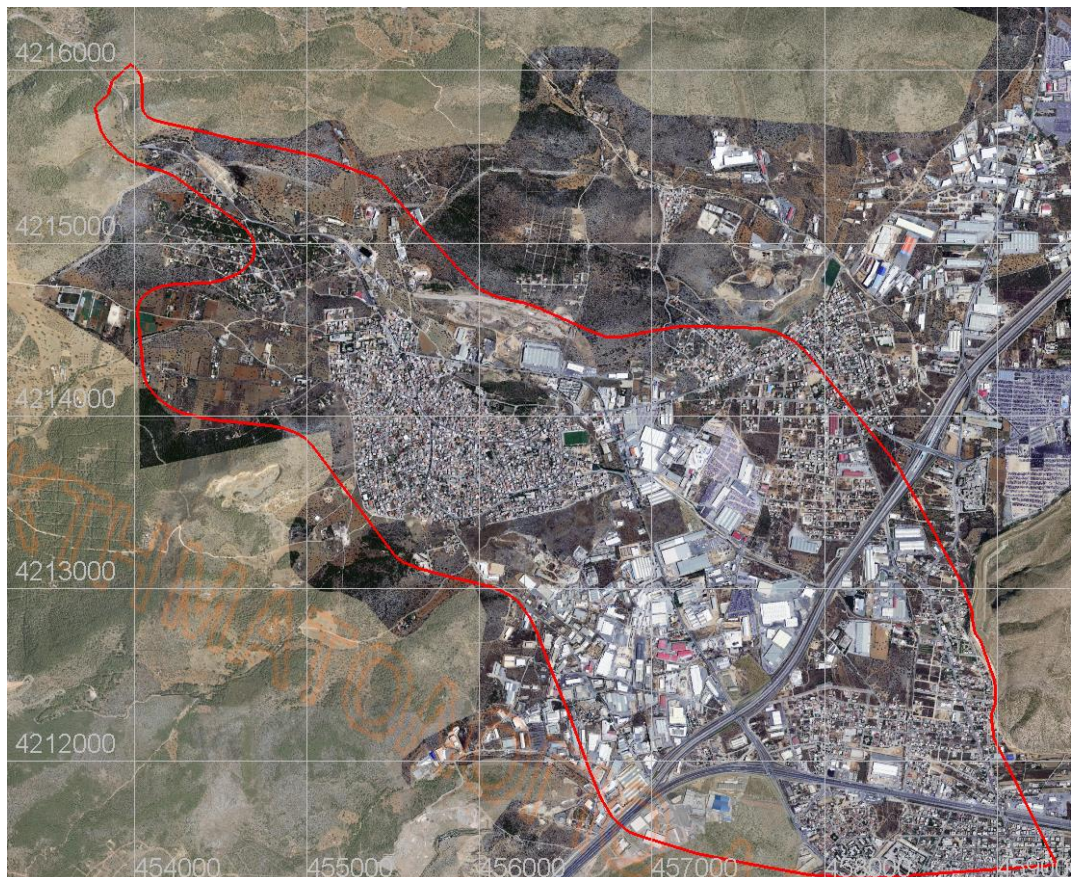
Ο έλεγχος του μοντέλου για πιθανά σφάλματα είναι απαραίτητος, καθώς και η διόρθωση οποιωνδήποτε ατελειών, όπως φαίνεται στη συνέχεια.

6.1.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Αρχικά προσδιορίζονται τα όρια της περιοχής, εντός των οποίων θα πραγματοποιηθούν οι υδραυλικοί υπολογισμοί. Τα όρια, τα οποία ελήφθησαν ίδια με την εργασία του Μαυρογεώργου (2019), επιλέχθηκαν ώστε να βρίσκεται εντός αυτών η περιοχή πλημμυρικής κατάκλυσης, η πόλη της Μάνδρας, τα ρέματα που συμβάλλουν σε αυτή, και τα αντιπλημμυρικά έργα που πρόκειται να κατασκευαστούν. Μια αρχική εκτίμηση της έκτασης της πλημμύρας έγινε από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ), με χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) (Κοντοές κ.ά., 2018). Σε συνδυασμό με την καταγραφή της έκτασης από τον Μαρκόπουλο – Σαρίκα (2018), ύστερα από επιτόπια επίσκεψη, προέκυψε η έκταση πλημμύρας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1. Στο Σχήμα 6.2 φαίνονται με κόκκινη γραμμή τα όρια της περιοχής μελέτης, όπως και επιλέχθηκαν.



Σχήμα 6.1: Καταγεγραμμένη έκταση της πλημμύρας (Μαρκόπουλος-Σαρίκας, 2018)



Σχήμα 6.2: Όρια του υπολογιστικού πεδίου (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

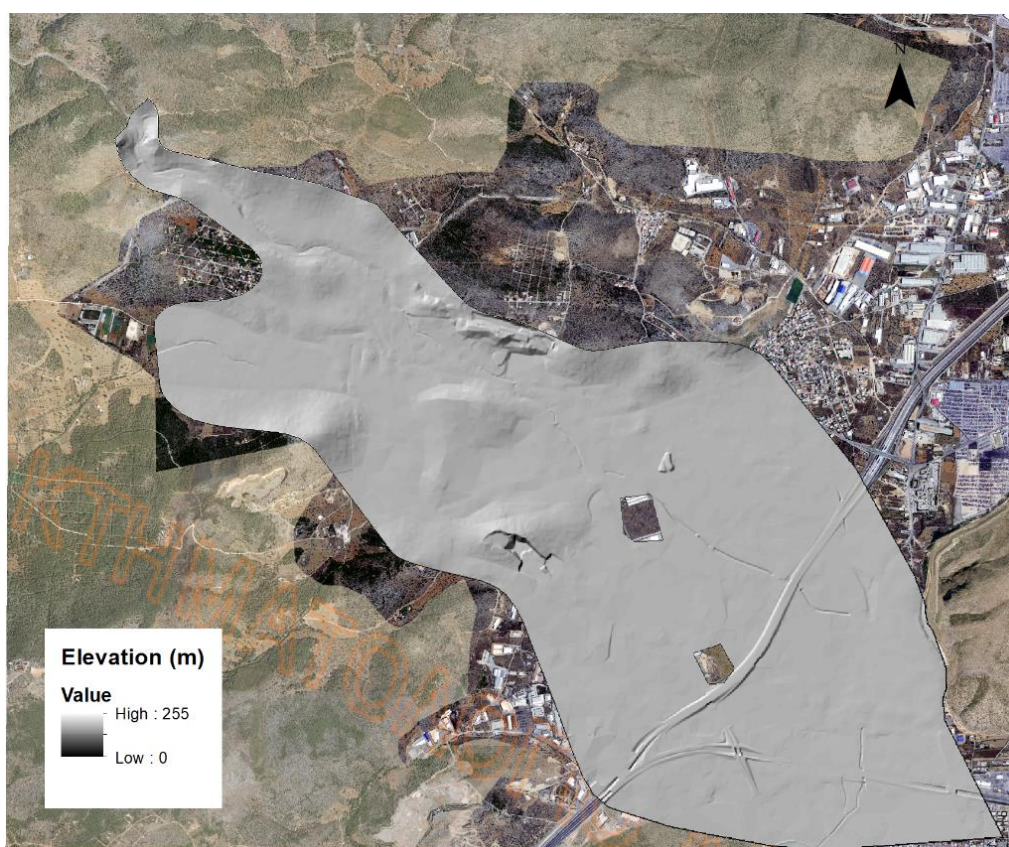
6.1.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το μοντέλο εδάφους της περιοχής τη Μάνδρα, περιέχει περιοχές, που λόγω στρατιωτικής χρήσης δεν έχουν υψομετρικά δεδομένα. Στο Σχήμα 6.3 απεικονίζεται το μοντέλο εδάφους της οριοθετημένης περιοχής, με τη χρήση του hillshade effect. Το hillshade προσδίδει τρισδιάσταση εμφάνιση στην επιφάνεια του εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του ηλίου. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερα αντιληπτή η υψομετρία της περιοχής. Στη συνέχεια και με τη χρήση κατάλληλου αλγορίθμου του προγράμματος ArcMap γίνεται πλήρωση των περιοχών που δεν περιέχουν δεδομένα.

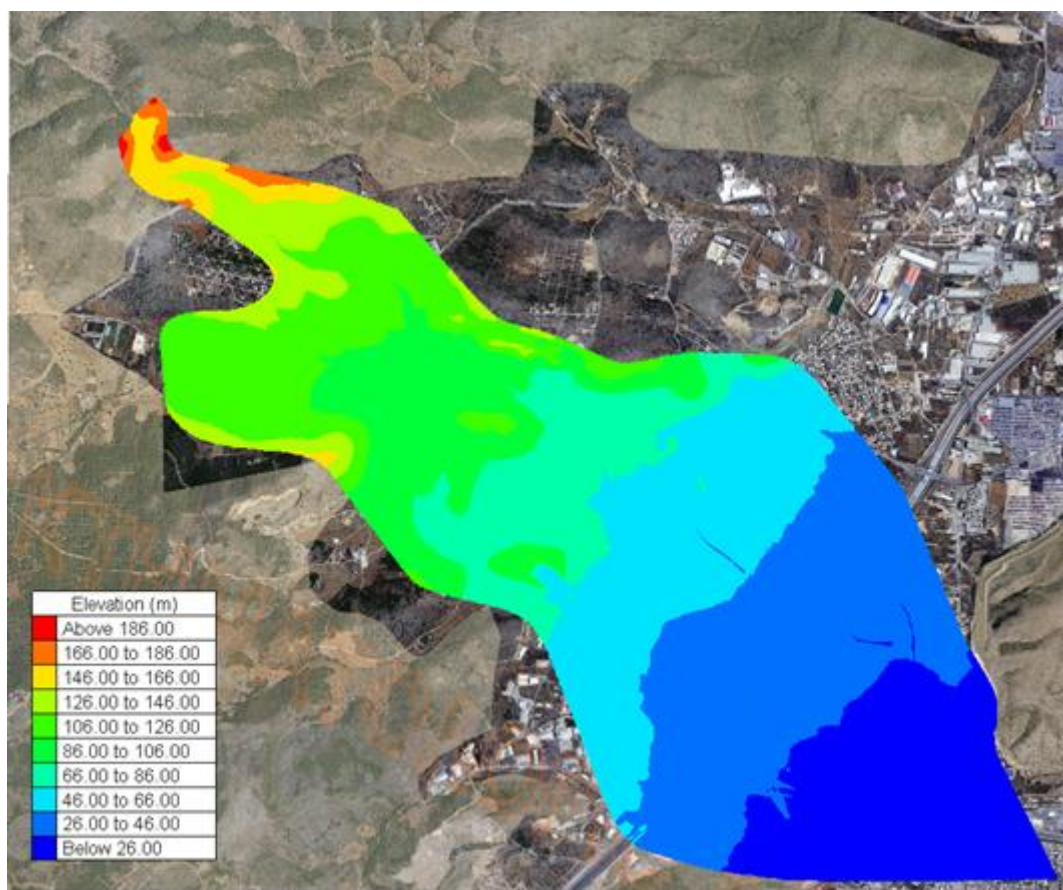
Στην συνέχεια για καλύτερη και πιο ρεαλιστή αποτύπωση του αναγλύφου, έγινε τοπική ανύψωση των βιομηχανικών κτιρίων, που βρίσκονται στην όχθη του χ. Σούρες, καθώς επηρεάζουν τη διόδευση της πλημμύρας. Επίσης, στα πλαίσια της διπλωματικής του φοιτητή Κ. Μαυρογεώργου (Μαυρογεώργος, 2019) πραγματοποιήθηκε διόρθωση της φυσικής κοίτης του χειμάρρου Σούρες, σύμφωνα με τα τοπογραφικά σχέδια της μελέτης του γραφείου Ε.Τ.ΜΕ. Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε. «Μελέτη εκτροπής χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες Θριασίου Πεδίου». Επιπλέον πραγματοποιήθηκε διόρθωση της τεχνητής κοίτης του χ. Σούρες σύμφωνα με τα κατασκευασμένα έργα της Αττικής Α.Ε.

Επίσης στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγιναν διορθώσεις της φυσικής κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη ανάντη του έργου κεφαλής – μερισμού, σύμφωνα με τα τοπογραφικά στοιχεία της μελέτης.

Το διορθωμένο ΨΜΕ αποτελεί το βασικό ανάγλυφο που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της επιφάνειας του εδάφους του υπολογιστικού πεδίου. Τα στοιχεία του μοντέλου εδάφους, μορφής raster, αποθηκεύονται σε πίνακα με τιμές x, y και z. Βάσει του πίνακα δημιουργείται αρχείο μορφής xyz, το οποίο αναγνωρίζεται από το πρόγραμμα BlueKenue™, στο οποίο θα κατασκευαστεί το πλέγμα του μοντέλου. Στο Σχήμα 6.4 εμφανίζονται τα σημεία xyz, όπως εξήχθησαν από το μοντέλο εδάφους.



Σχήμα 6.3: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 6.4: Υψομετρικά σημεία της περιοχής μελέτης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

6.1.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Οι κατασκευές των αντιπλημμυρικών έργων, καθώς και οι διευθετήσεις των χειμάρρων είναι στοιχεία που πρέπει να ενσωματωθούν στο ανάγλυφο της γεωμετρίας. Τα στοιχεία για τα τεχνικά έργα λαμβάνονται από τα σχέδια οριζοντιογραφιών και μηκοτομών της μελέτης των αντιπλημμυρικών. Τα χαρακτηριστικά των τεχνικών έργων αποθηκεύονται σε αρχεία κατάλληλης μορφής, ώστε στη συνέχεια να γίνει επεξεργασία αυτών στο πρόγραμμα BlueKenue™ για την κατασκευή της γεωμετρίας του υπολογιστικού πλέγματος.

Τα τεχνικά έργα, τα οποία πρέπει να αναπαρασταθούν στη γεωμετρία του μοντέλου είναι τα εξής.

- (1) Διευθέτηση κοίτης του χ. Σούρες.
- (2) Διευθέτηση κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνης.
- (3) Έργο κεφαλής-μερισμού του χ. Αγ. Αικατερίνης.
- (4) Εκβολή του αγωγού εκτροπής στον χ. Σούρες.
- (5) Διόρθωση της φυσικής κοίτης ανάντη του έργου μερισμού-εκτροπής.

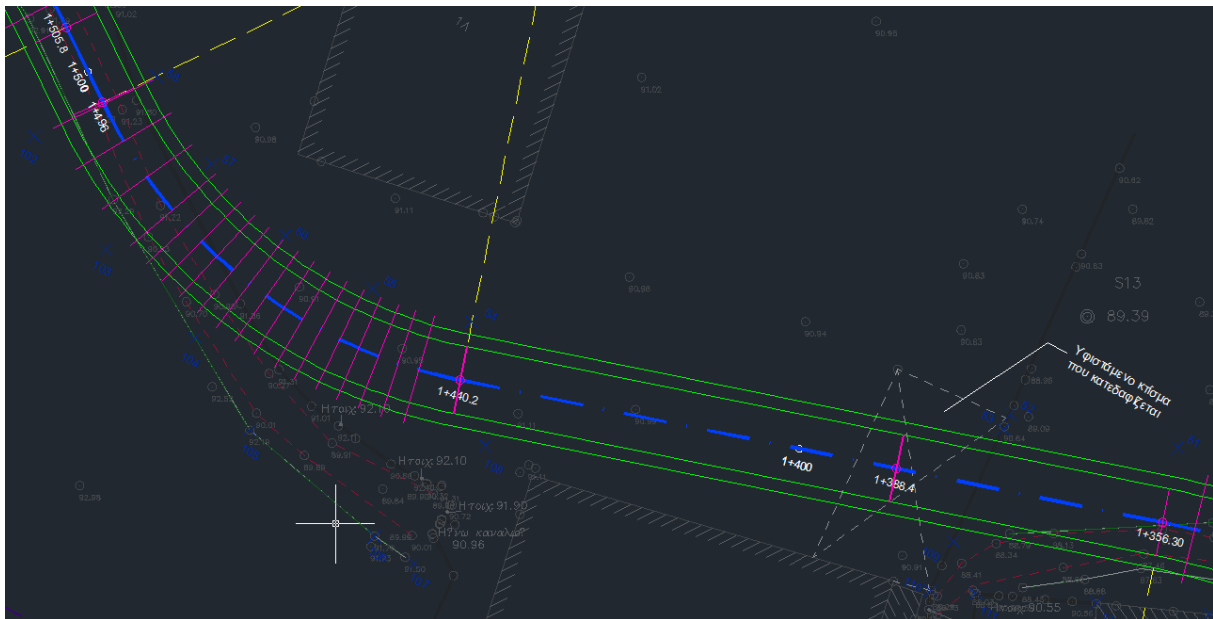
Τα στοιχεία που απαιτούνται για τη σωστή απεικόνιση των έργων στη γεωμετρία του μοντέλου είναι σημεία με συντεταγμένες και τα αντίστοιχα υψόμετρα.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των απαραίτητων στοιχείων είναι η εξής.

1. Αρχικά έγινε χάραξη γραμμών εγκάρσια του άξονα των διευθετήσεων. Για τα ευθύγραμμα τμήματα χρειάζεται μια γραμμή στην αρχή και μια στο πέρας του τμήματος. Στα καμπύλα τμήματα είναι απαραίτητη η χάραξη πυκνότερων γραμμών. Σε σημεία επίσης με απότομες αλλαγές της γεωμετρίας, όπως πτώσεις πυθμένα και συναρμογές χαράχθηκαν γραμμές, ώστε

- να μπορούν να αποτυπωθούν σωστά στην τελική γεωμετρία. Οι ενέργειες αυτές έγιναν εντός του προγράμματος AutoCAD (Σχήμα 6.5).
2. Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή των συντεταγμένων των σημείων, στα οποία οι γραμμές τέμνουν τα όρια του πυθμένα καθώς και τα όρια του φρυδιού των πρανών. Σε τραπεζοειδή διατομή τύπου 2, η γραμμή τέμνει σε τέσσερα (4) σημεία τη διευθέτηση. Τα σημεία αυτά είναι το σημείο τομής με το αριστερό και δεξί φρύδι και το αριστερό και δεξί όριο του πυθμένα της διευθέτησης. Στις διατομές τύπου 1 (Πίνακας 5.2), λόγω σύνθετης διατομής, η γραμμή τέμνει οκτώ (8) σημεία. Για τους υπόλοιπους τύπους διατομών χρειάζονται μόνο τέσσερα σημεία. Τα αρχεία με τις συντεταγμένες των σημείων είναι τύπου i2s. Στο πρόγραμμα BlueKenue™ τα αρχεία αυτά εμφανίζονται ως γραμμές. Βάσει των γραμμών αυτών κατασκευάζονται τα δομημένα πλέγματα των καναλιών.
 3. Ακολουθεί ο υπολογισμός του υψομέτρου για κάθε σημείο του πυθμένα. Τα στοιχεία των υψομέτρων ελήφθησαν από τα σχέδια των μηκοτομών. Η αντιστοίχιση έγινε εντός του λογισμικού MS Excel.
 4. Στη συνέχεια και σύμφωνα με τα στοιχεία των τύπων των διατομών έγινε υπολογισμός του υψομέτρου όλων των σημείων που εξήχθησαν από τα σχέδια των έργων.
 5. Τέλος κατασκευάζονται τα αρχεία μορφής τύπου xyz ή i3s, τα οποία περιέχουν τις συντεταγμένες και τα υψόμετρα για κάθε σημείο της διευθέτησης.
- Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται για τα υπόλοιπα τεχνικά έργα που πρέπει να αποτυπωθούν. Για τη διόρθωση του φυσικού τμήματος του χ. Αγ. Αικατερίνης ελήφθησαν στοιχεία από τις τοπογραφικές μετρήσεις που είχαν γίνει στο πλαίσιο της μελέτης των έργων.

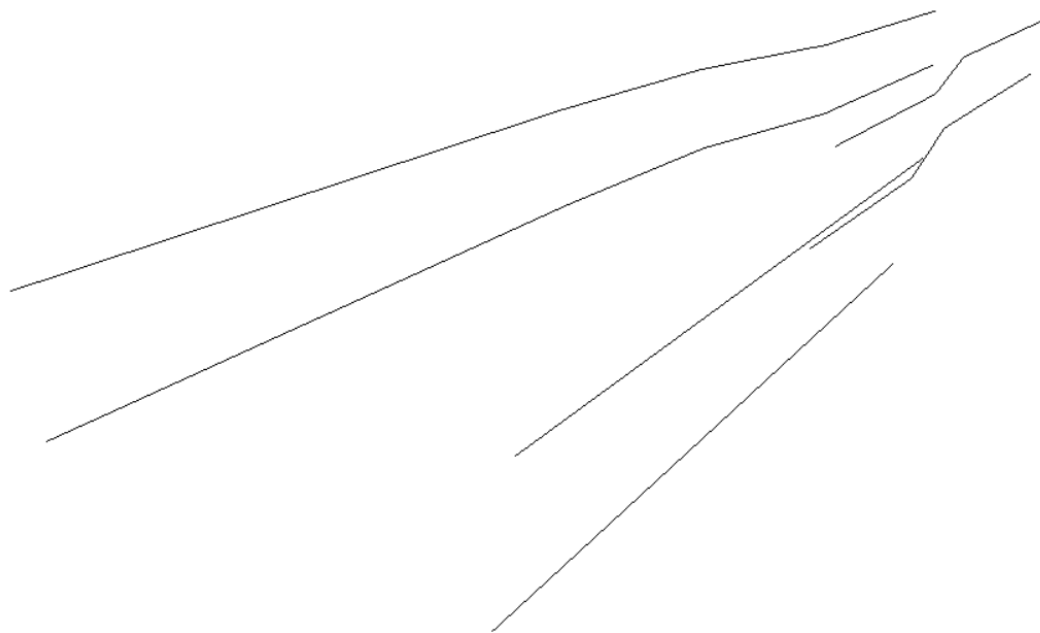
Στη συνέχεια γίνεται οπτικός έλεγχος και όπου χρειάστηκε έγινε διόρθωση των στοιχείων των έργων μέσω του προγράμματος BlueKenue™.



Σχήμα 6.5: Εγκάρσιες γραμμές στον άξονα της διευθέτησης (ροζ γραμμές) (Περιφέρεια Αττικής, 2014)



Σχήμα 6.6: Στοιχεία τμήματος του χ. Σούρες τύπου i2s



Σχήμα 6.7: Στοιχεία του πυθμένα και των τοιχείων του έργου κεφαλής – μερισμού τύπου i3s

6.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΧΕΤΩΝ

Οι οχετοί που βρίσκονται εντός της εξεταζόμενης περιοχής είναι στο σύνολο έντεκα (11), και βρίσκονται επί της κοίτης του χ. Σούρες. Τα χαρακτηριστικά των οχετών προσδιορίστηκαν από τη μελέτη των αντιπλημμυρικών έργων, από επιτόπιες επισκέψεις για τους ήδη υπάρχοντες οχετούς καθώς και από την έκθεση ελέγχου του Γενικού Επιθεωρητή Δημόσιας Διοίκησης (2018) και παρατίθενται στον Πίνακα 6.1. Εκτός από τους οχετούς, υπάρχουν δύο (2) κλειστοί αγωγοί, ο αγωγός εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνη και ο αγωγός Κοροπούλη, των οποίων τα στοιχεία φαίνονται επίσης στον Πίνακα 6.1. Τα χαρακτηριστικά που σημειώνονται είναι το πλάτος, ύψος και μήκος του κάθε οχετού, το υψόμετρο του πυθμένα εισόδου και εξόδου και ο τύπος της διατομής.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά οχετών

Α/Α	Τοποθεσία	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Μήκος (m)	Υψόμετρο (m)		Διατομή
					Εισόδου	Εξόδου	
1	Οχετός 1 – ανάντη φυσική κοίτη χ. Σούρες	3	1.5	15	153.00	152.80	Ορθογωνική
2	Οχετός 2 – ανάντη φυσική κοίτη χ. Σούρες	3	1.5	35	149.00	148.30	Ορθογωνική
3	Οχετός 1	4	3	317.5	56.01	51.50	Δίδυμη Ορθογωνική
4	Οχετός 2	4	3	8.5	67.36	67.17	
5	Οχετός 3α	4	3	7	70.01	69.81	
6	Οχετός 3β	4	3	5	71.73	71.59	
7	Οχετός 4	4	3	19.5	77.83	77.36	
8	Οχετός 1- Έργα Αττικής Οδού Α.Ε.	4	3	16	43.60	43.30	
9	Οχετός 2 - Έργα Αττικής Οδού Α.Ε	4	3	31	41.40	40.80	
10	Οχετός κάτω από Αττική Οδό	4	3	200	32.80	29.6	
11	Οχετός που εκβάλλει στον χ. Σαρανταπόταμο	4	3	497	22.50	19.40	
12	Αγωγός Κοροπούλη	2	1.7	2319	97.25	61.80	Ορθογωνική
13	Αγωγός Εκτροπής χ. Αγ. Αικατερίνης	2.5	2.5	1413.8	114.97	93.46	Δίδυμη Ορθογωνική

6.3 ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Πληροφορίες για τη μορφή κάλυψης του εδάφους διατίθενται δωρεάν. Οι κύριες κατηγορίες κάλυψης γης είναι οι παρακάτω.

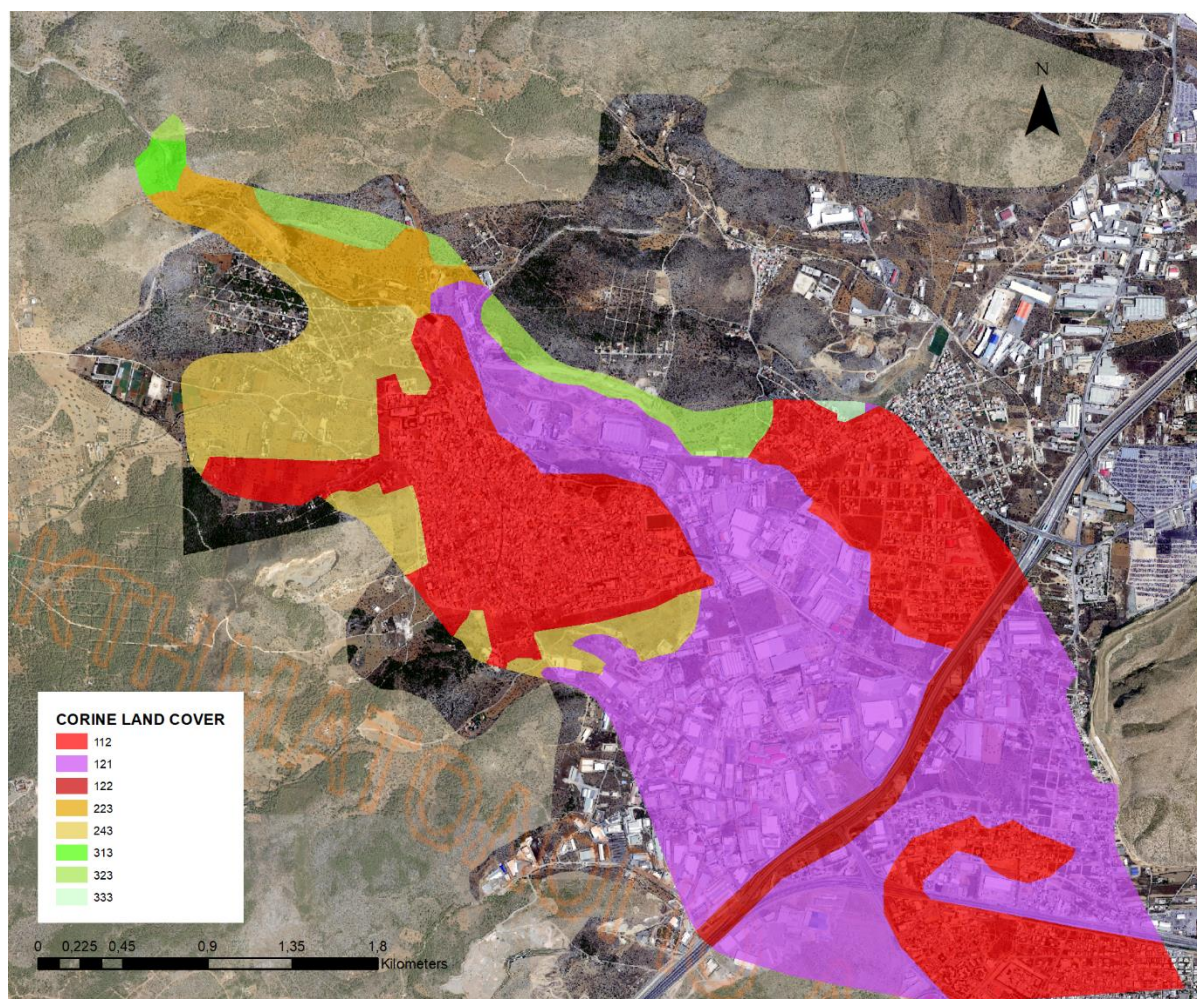
- (1) Τεχνητές επιφάνειες
- (2) Γεωργικές περιοχές
- (3) Δάση και ημι – φυσικές περιοχές
- (4) Υγρότοποι
- (5) Υδάτινες επιφάνειες.

Για τη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κάλυψης γης Corine Land Cover 2012 και οι διαφορετικές χρήσεις γης για την εξεταζόμενη περιοχή διακρίνονται στον Πίνακα 6.2, καθώς και στο Σχήμα 6.8. Επιπρόσθετα στον Πίνακα 6.2 δίνεται η έκταση της κάθε χρήσης, καθώς και το ποσοστό που αντιστοιχεί στην συνολική έκταση της περιοχής.

Βάσει του χάρτη κάλυψης γης προσδιορίζεται ο συντελεστής τραχύτητας, απαραίτητη παράμετρος για τους υδραυλικούς υπολογισμούς. Επίσης σύμφωνα με τα στοιχεία της κάλυψης γης προσδιορίζονται οι διάφορες χρήσεις που υπάρχουν εντός της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 6.2: Κάλυψη γης εντός της περιοχής μελέτης

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση	3.435	31.8
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	4.861	45.0
122	Οδικά, σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	0.342	3.2
223	Ελαιώνες	0.455	4.2
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.056	0.5
243	Γη που καλύπτεται από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	1.159	10.7
313	Μικτό δάσος	0.062	0.6
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.426	3.9
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.017	0.2
	ΣΥΝΟΛΟ	10.813	100.00



Σχήμα 6.8: Χάρτης κάλυψης γης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

6.3.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Μια σημαντική παράμετρος για την υδραυλική προσομοίωση, καθώς και τη βαθμονόμηση του μοντέλου αποτελεί ο συντελεστής τραχύτητας. Οι τιμές για τον συντελεστή τραχύτητας στο πεδίο εφαρμογής εξαρτώνται κυρίως από τη μορφή κάλυψης του εδάφους.

Σύμφωνα λοιπόν με τον χάρτη κάλυψης γης Corine® 2012 Land Cover προσδιορίζεται ο συντελεστής τραχύτητας Manning. Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκαν οι τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί και στην εργασία του Μαυρογεώργου (2019), ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι συγκρίσιμα. Σε περιοχές που υπάρχουν κατασκευές, έχει προσδιοριστεί νέα τιμή συντελεστή τραχύτητας, σύμφωνα με τυπικές τιμές του συντελεστή Manning (Chow, 1973. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, 2002). Τέτοιες περιοχές είναι η διευθετημένη κοίτη των χειμάρρων Σούρες και Αγ. Αικατερίνης, λόγω επένδυσης των πρανών και του πυθμένα. Επίσης διαφορετική τιμή συντελεστή τραχύτητας έχει χρησιμοποιηθεί στην περιοχή του έργου κεφαλής – μερισμού και στην εκβολή του αγωγού εκτροπής στον χ. Σούρες, όπως και σε τμήματα της διευθέτησης πριν και μετά τους οχετούς. Οι επιλεγμένες τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3 και 6.4.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί, πως ο συντελεστής τραχύτητας που έχει επιλεγεί για τις περιοχές με δόμηση είναι αυξημένος σε σύγκριση αυτόν που προτείνεται από την βιβλιογραφία για την αστική δόμηση. Με τη μέθοδο αύξησης του συντελεστή τραχύτητας γίνεται η αναπαράσταση των κτιρίων και εκτίμηση της αντίστασης αυτών στην πλημμυρική ροή (Papaioannou et al., 2018).

Πίνακας 6.3: Επιλεγμένη τιμή συντελεστή τραχύτητας Manning ανάλογα με χρήσεις γης

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ MANNING n (s/m ^{1/3})
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.100
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.180
122	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	0.020
223	Ελαιώνες	0.045
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.060
313	Μικτό δάσος	0.140
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.100
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.070

Πίνακας 6.4: Τιμή συντελεστή τραχύτητας Manning για τους χειμάρρους

ΧΕΙΜΑΡΡΟΙ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ MANNING n (s/m ^{1/3})
Φυσική κοίτη χ. Αγ. Αικατερίνης	0.065
Διευθετημένη κοίτη χ. Αγ. Αικατερίνης (επένδυση με συρματοκιβώτια)	0.025
Έργο κεφαλής – μερισμού	0.016
Εκβολή αγωγού εκτροπής στον χ. Σούρες	0.016
Φυσική κοίτη χ. Σούρες	0.065
Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες (επένδυση με συρματοκιβώτια)	0.025
Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες (ανεπένδυτο χωμάτινο τμήμα)	0.040
Τεχνητή Κοίτη χ. Σούρες	0.016

6.4 ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Για τον προσδιορισμό της μέγιστης δυνατικής επίπτωσης από πλημμύρα πρέπει να γνωρίζουμε τις χρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή, καθώς και τη θέση διαφόρων υποδομών που μπορεί να έχουν επίπτωση από αυτή. Στην εργασία αυτή προσδιορίστηκαν, σύμφωνα με κάθε κατηγορία επίπτωσης από πλημμύρα, οι χρήσεις και οι υποδομές που υπάρχουν εντός της περιοχής μελέτης. Οι διάφορες χρήσεις της περιοχής φαίνονται στον Πίνακα 6.5, μαζί με την πηγή από όπου συλλέχθηκαν τα δεδομένα.

Πίνακας 6.5: Χρήσεις που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και πηγή συλλογής δεδομένων

Κατηγορία	Είδος		Πηγή
Επίπτωση στον πληθυσμό (ΕκΑ ^ς)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ ha	OXI	ΕΛΣΤΑΤ & Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μάνδρας (http://msa.ypeka.gr/) & Χρήσεις γης – Corine 2012 (http://www.data.gov.gr/dataset/xartes-kalypshs-ghs-corine-land-cover-gia-ta-eth-2006-and-2012/resource/14eafa36-4060-4115-bb69-ccdb822ab757)
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ ha	NAI	
	Νοσοκομεία	OXI	-
	Κλινικές και κέντρα υγείας	NAI	Google Maps (https://www.google.com/maps)
	Κοινωνικές Υποδομές	NAI	Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μάνδρας (http://msa.ypeka.gr/) & Google Maps (https://www.google.com/maps)
	Υποδομές κοινής ωφέλειας	OXI	ΑΔΜΗΕ (http://www.admie.gr/ape-sithya/stathmoi-ape-sithya-se-leitoyrgia/)
	Υποδομές μηχανισμού πολιτικής προστασίας	NAI	Google Maps (https://www.google.com/maps)
Οικονομική επίπτωση (ΕκΟ ^ς)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα ≥ 80 άτομα/ ha	OXI	ΕΛΣΤΑΤ & Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μάνδρας (http://msa.ypeka.gr/) & Χρήσεις γης – Corine 2012 (http://www.data.gov.gr/dataset/xartes-kalypshs-ghs-corine-land-cover-gia-ta-eth-2006-and-2012/resource/14eafa36-4060-4115-bb69-ccdb822ab757)
	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ ha	NAI	
	Αγροτικές περιοχές με θερμοκήπια	OXI	-
	Αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες (περιλαμβανομένων ρυζοκαλλιεργειών σε θαλάσσιες πλημμύρες)	NAI	Χρήσεις γης – Corine 2012 (http://www.data.gov.gr/dataset/xartes-kalypshs-ghs-corine-land-cover-gia-ta-eth-2006-and-2012/resource/14eafa36-4060-4115-bb69-ccdb822ab757)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Κατηγορία	Είδος		Πηγή
	Αγροτικές περιοχές με ρυζοκαλλιέργειες (σε όλες τις περιπτώσεις πλημμυρών, πλην θαλάσσιας)	ΟΧΙ	-
	Κτηνοτροφικές μονάδες	ΟΧΙ	-
	Αναπτυγμένες τουριστικές περιοχές	ΟΧΙ	-
	Αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές	ΟΧΙ	-
	Βιομηχανικές συγκεντρώσεις (θεσμοθετημένες ΒΙΠΕ και άλλες άτυπες)	ΝΑΙ	Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μάνδρας (http://msa.ypeka.gr/) & Χρήσεις γης – Corine 2012 (http://www.data.gov.gr/dataset/xartes-kalypshs-ghs-corine-land-cover-gia-ta-eth-2006-and-2012/resource/14eafa36-4060-4115-bb69-ccdb822ab757)
	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	ΝΑΙ	Περιφέρεια Αττικής (http://www.patt.gov.gr/site/index.php?option=com_content&view=category&id=540&Itemid=857&limitstart=10) & Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (https://floods.ypeka.gr)
	Διευρωπαϊκό και πρωτεύον εθνικό οδικό δίκτυο, ενεργοί σιδηροδρομικοί άξονες και αεροδρόμια	ΝΑΙ	Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (https://floods.ypeka.gr)
	Δευτερεύον εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο	ΝΑΙ	Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (https://floods.ypeka.gr)
Περιβαλλοντική επίπτωση (ΕκΠε ^ς)	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων, στον βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτες σε πλημμύρες	ΝΑΙ	Περιφέρεια Αττικής (http://www.patt.gov.gr/site/index.php?option=com_content&view=category&id=540&Itemid=857&limitstart=10)
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα > 100000 ι.π.	ΟΧΙ	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/Browse.aspx) & Κατάλογος γεωχωρικών δεδομένων (http://geoportal.ypen.gr/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage?0)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Κατηγορία	Είδος		Πηγή
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα 10000-100000 ι.π.	ΟΧΙ	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/Browse.aspx) & Κατάλογος γεωχωρικών δεδομένων (http://geoportal.ypen.gr/geoserver/w eb/wicket/bookmarkable/org.geoserve r.web.demo.MapPreviewPage?0)
	Εγκαταστάσεις ΕΕΛ με δυναμικότητα < 10000 ι.π.	ΟΧΙ	Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/Browse.aspx) & Κατάλογος γεωχωρικών δεδομένων (http://geoportal.ypen.gr/geoserver/w eb/wicket/bookmarkable/org.geoserve r.web.demo.MapPreviewPage?0)
	Χώροι διαχείρισης και διάθεσης στερεών αστικών αποβλήτων	ΟΧΙ	Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (https://floods.ypeka.gr)
	Προστατευόμενες περιοχές ειδών και οικοτόπων, στον βαθμό που κρίνεται ότι είναι ευάλωτες σε πλημμύρες	ΟΧΙ	Γεωπύλη ΥΠΕΚΑ Ε.Γ.Υ. (http://wfdgis.ypeka.gr/)
Επίπτωση στην πολιτιστική κληρονομιά (ΕκΠο ^ς)	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς διεθνούς σημασίας	ΟΧΙ	Διαρκής Κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδος (http://listedmonuments.culture.gr/monument.php?code=1853)
	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και περιφερειακής σημασίας	ΝΑΙ	

Στον πίνακα παρακάτω σημειώνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 3.2 η τιμή της μέγιστης επίπτωσης, μόνο για τις χρήσεις που υπάρχουν στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 6.6: Τιμή μέγιστης δυνητικής επίπτωσης ανάλογα με τη χρήση

Κατηγορία	Είδος	Τιμή
Επίπτωση στον πληθυσμό (ΕκΑ ^ς)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ha	250
	Περιφερειακό Ιατρείο	150
	Κοινωνικές Υποδομές	150
	Αστυνομικό Τμήμα	250
Οικονομική επίπτωση (ΕκΟ ^ς)	Αστικές συγκεντρώσεις με πυκνότητα < 80 άτομα/ha	100
	Αγροτικές περιοχές με καλλιέργειες	100
	Βιομηχανικές συγκεντρώσεις	250
	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	150
	Διευρωπαϊκό και πρωτεύον εθνικό οδικό δίκτυο, ενεργοί σιδηροδρομικοί άξονες και αεροδρόμια	150

Κατηγορία	Είδος	Τιμή
	Δευτερεύον εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο	100
Περιβαλλοντική επίπτωση (ΕκΠε ^ς)	Βιομηχανίες SEVESO, IPPC εκτός βιομηχανικών συγκεντρώσεων	500
Επίπτωση στην πολιτιστική κληρονομιά (ΕκΠο ^ς)	Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς εθνικής και περιφερειακής σημασίας	50

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι χρήσεις γης, οι οικονομικές δραστηριότητες και οι υποδομές που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τα οποία υπολογίζεται αρχικά ο Χάρτης Τρωτότητας και στη συνέχεια ο Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου.

Πυκνότητα πληθυσμού. Η πυκνότητα πληθυσμού υπολογίστηκε σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ και την έκταση των αστικών περιοχών. Η θέση και έκταση του αστικού περιβάλλοντος προσδιορίστηκε από τον χάρτη κάλυψης γης Corine Land Cover. Επιπλέον έγιναν διορθώσεις της έκτασης της αστικής ζώνης σύμφωνα με το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο της πόλης της Μάνδρας (<http://msa.ypeka.gr/>).

Συγκεκριμένα ο πληθυσμός του οικισμού της Μάνδρας είναι ίσος με 12792 κάτοικοι και η έκταση ίση με 338 ha. Η πυκνότητα υπολογίζεται περίπου ίση με 38 κάτοικοι/ ha.

Βιομηχανικές ζώνες και αγροτικές καλλιέργειες. Η θέση και έκταση των βιομηχανικών ζωνών και των περιοχών με καλλιέργειες προσδιορίστηκαν αποκλειστικά από τον χάρτη κάλυψης γης Corine Land Cover.

Κλινικές και κέντρα υγείας. Στην περιοχή εντοπίζεται ένα Περιφερειακό Ιατρείο.

Κοινωνικές Υποδομές. Στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται 11 κοινωνικές υποδομές, εκ των οποίων: 4 νηπιαγωγεία, 5 δημοτικά, ένα γυμνάσιο και ένα λύκειο

Υποδομές μηχανισμού πολιτικής προστασίας. Εντοπίζεται ένα 1 Αστυνομικό Τμήμα.

Βιομηχανίες SEVESO και IPPC εκτός των βιομηχανικών συγκεντρώσεων. Στην περιοχή υπάρχουν συνολικά 5 βιομηχανίες εκ των οποίων οι 2 εμπίπτουν στις πρόνοιες της Οδηγίας SEVESO και 3 της Οδηγίας IPPC.

Οι Οδηγίες SEVESO και IPPC αφορούν βιομηχανίες που σχετίζονται με επικίνδυνες ουσίες, που έχουν επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος. Οι βιομηχανίες που εμπίπτουν στις οδηγίες αυτές, είναι υποχρεωμένες σε ειδικά μέτρα και περιορισμούς για την αντιμετώπιση κινδύνων από ατύχημα.

Διευρωπαϊκό και πρωτεύον εθνικό οδικό δίκτυο, ενεργοί σιδηροδρομικοί άξονες και αεροδρόμια. Από την περιοχή μελέτης διέρχεται τμήμα του διεθνούς δικτύου ευρωπαϊκών οδών και συγκεκριμένα

(1) τμήμα του Αυτοκινητόδρομου 8 (Α8) ή Ολυμπία οδός ή Αυτοκινητόδρομος Αθήνα – Πάτρα, που αποτελεί τμήμα της Ευρωπαϊκής Οδού (Ε94), από τα διόδια της Μάνδρας μέχρι τον κόμβο της Τρίπολης. Ο αυτοκινητόδρομος αυτός αποτελεί τη Νέα Εθνική Οδό Αθηνών – Πατρών. (Wikipedia, λήμμα Εθνική Οδός 8 Ελλάδα).

Επίσης, εντοπίζονται τμήματα του

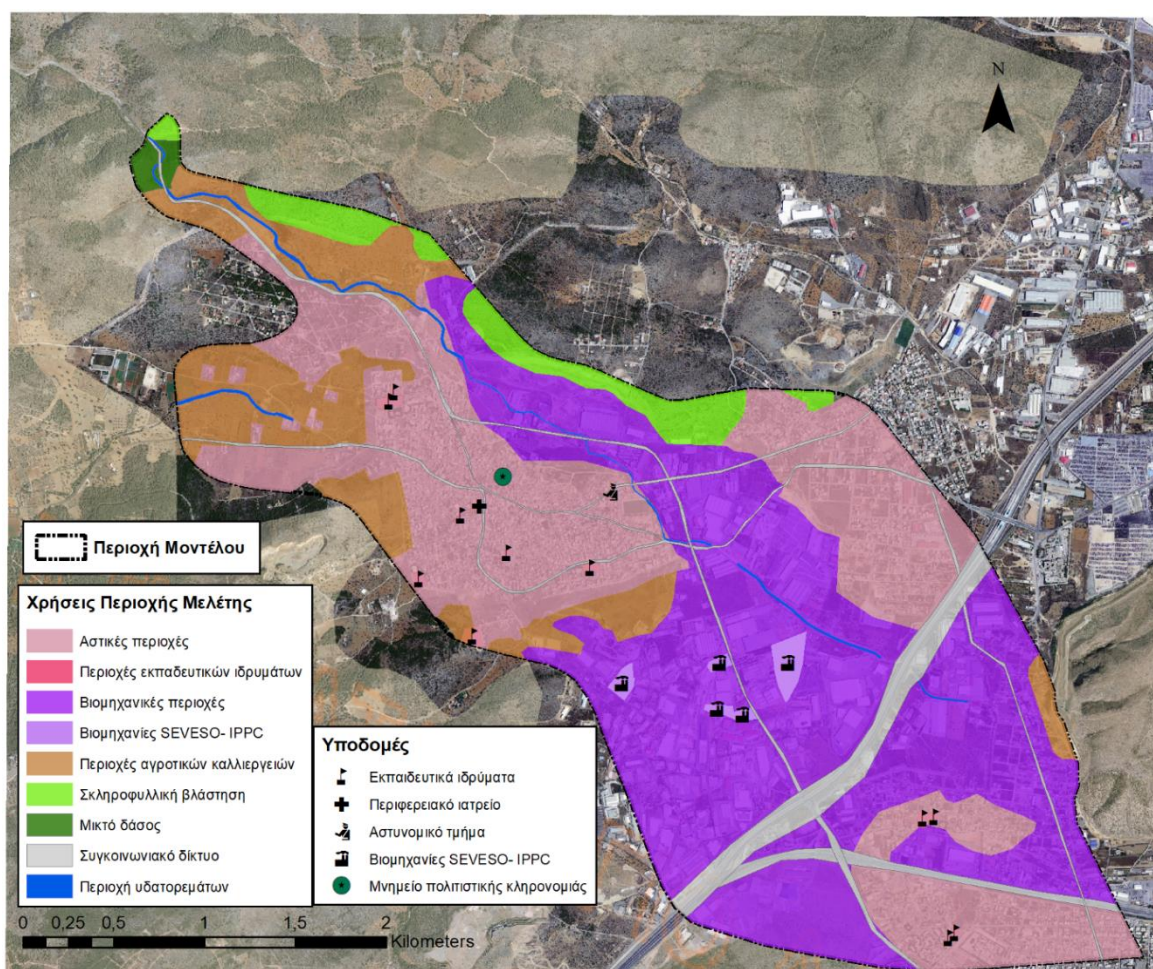
(1) σιδηροδρομικού δικτύου Πειραιώς – Αθηνών – Πελοποννήσου (Σ.Π.Α.Π.) και συγκεκριμένα της Γραμμής 1: Πειραιάς – Αθήνα – Κόρινθος – Πάτρα – Κυπαρισσία – Ζευγολατιό – Καλάμια, καθώς και

(2) γραμμή του Προαστιακού Σιδηροδρόμου που συνδέει το Αεροδρόμιο με το Κιάτο.

Δευτερεύον εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο. Τμήματα του δευτερεύοντος εθνικού δικτύου και του πρωτεύοντος επαρχιακού δικτύου διέρχονται από την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα διέρχονται τμήματα του οδικού δικτύου:

- (1) Εθνική Οδός 3 (ΕΟ3) Ελευσίνα – Νίκη. Η ΕΟ3 συνδέει τον συνοριακό σταθμό Νίκης στα σύνορα με τη Βόρεια Μακεδονία με την Ελευσίνα (Wikipedia, λήμμα Εθνική Οδός 3 Ελλάδα). Τμήμα αυτή
- (2) Αυτοκινητόδρομος 8 (Α8) Ολυμπία Οδός ή Αυτοκινητόδρομος Αθηνών – Πατρών.
- (3) Εθνική Οδός 58 Οδός Αεροδρομίου Ελευσίνας.

Μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς και περιφερειακής σημασίας. Τέλος εντοπίζεται ένα μνημείο πολιτιστικής κληρονομιάς. Συγκεκριμένα η οικία ιδιοκτησίας Μελέτη Στάθη αποτελεί νεότερο μνημείο περιφερειακής σημασίας.

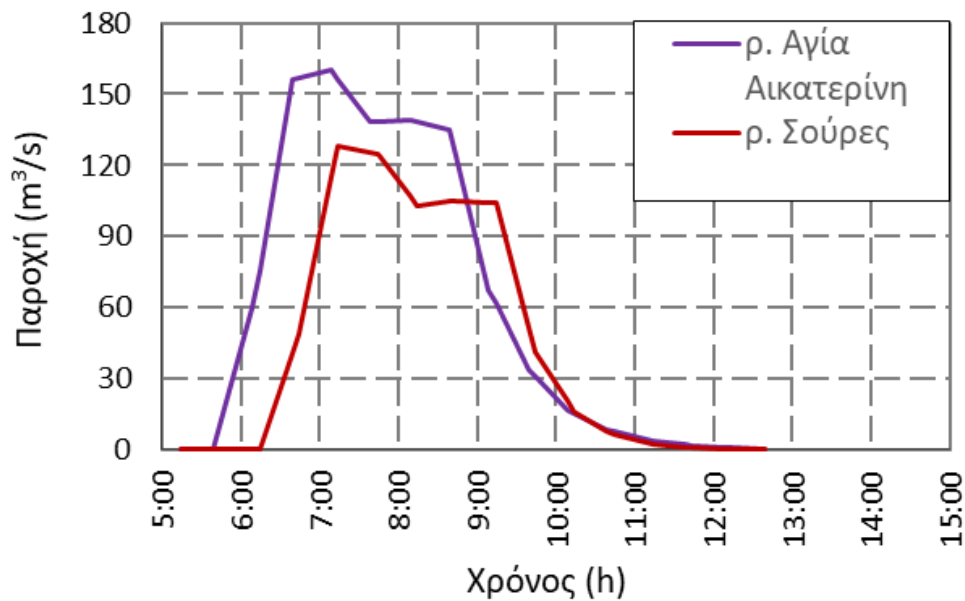


Σχήμα 6.9: Κατηγορίες χρήσεων εντός της περιοχής μελέτης (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

6.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τα υδρογραφήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017 είναι αυτά που παράχθηκαν στην εργασία του Μαυρογεώργου (2019). Τα υδρογραφήματα υπολογίστηκαν για τα σημεία εισόδου των δύο χειμάρρων. Οι μέγιστες παροχές που εμφανίζονται είναι ίσες με 160 m³/s και 128.4 m³/s για τον χ. Αγία Αικατερίνη και για τον χ. Σούρες αντίστοιχα.

Ο χρόνος βάσης και για τους δύο χειμάρρους είναι επτά (7) ώρες, ενώ η ώρα εισόδου είναι 05:40 π.μ. για τον χ. Αγία Αικατερίνη και 06:15 π.μ. για τον χ. Σούρες.



Σχήμα 6.10: Υδρογραφήματα εισόδου (Μαυρογεώργος, 2019)

7 ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για τη λειτουργία του υδροδυναμικού μοντέλου απαιτούνται τρία αρχεία, το αρχείο γεωμετρίας, των οριακών συνθηκών και το αρχείο παραμέτρων. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας αυτών των αρχείων, η κατάσταση του γεωμετρικού μοντέλου, του αρχείου παραμέτρων καθώς και όποιων άλλων αρχείων είναι απαραίτητα για την προσομοίωση της πλημμύρας. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη BlueKenue™ χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του γεωμετρικού αρχείου και του αρχείου των οριακών συνθηκών. Για τα υπόλοιπα αρχεία χρησιμοποιήθηκε απλώς επεξεργαστής κειμένου.

Το υδροδυναμικό μοντέλο TELEMAC-2D χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση 3 διαφορετικών σεναρίων παροχών εισόδου, όπως αναλύεται στη συνέχεια. Επίσης τα σενάρια αυτά εφαρμόστηκαν σε δύο ξεχωριστές περιπτώσεις, για την ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων και για τη μη ύπαρξη. Στο παρακάτω κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία κατασκευής του αρχείου γεωμετρίας για την ύπαρξη των αντιπλημμυρικών έργων, όπως αυτά μελετήθηκαν στη μελέτη. Στην περίπτωση μη ύπαρξης έργων χρησιμοποιήθηκε το αρχείο γεωμετρίας όπως κατασκευάστηκε από τον Μαυρογεώργο (2019).

7.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Το αρχείο της γεωμετρίας περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για το υπολογιστικό πλέγμα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής του υπολογιστικού πλέγματος, τα χαρακτηριστικά του και οι ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου μοντέλου.

7.1.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η κατασκευή του υπολογιστικού πλέγματος αποτελεί τη σημαντικότερη εργασία για την υδροδυναμική προσομοίωση. Η ποιότητα του πλέγματος επηρεάζει τη λύση και τη σύγκλιση του μοντέλου, καθώς επιδρά και στον χρόνο της προσομοίωσης. Η κατασκευή του μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτητική. Το πλέγμα για τη συγκεκριμένη εργασία κατασκευάστηκε με το λογισμικό BlueKenue™, το οποίο αποτελείται από απλό και εύχρηστο γραφικό περιβάλλον χρήστη.

Το δισδιάστατο πλέγμα που κατασκευάστηκε είναι υβριδικό, καθώς είναι συνδυασμός δομημένου και μη-δομημένου πλέγματος και αποτελείται από τριγωνικά στοιχεία.

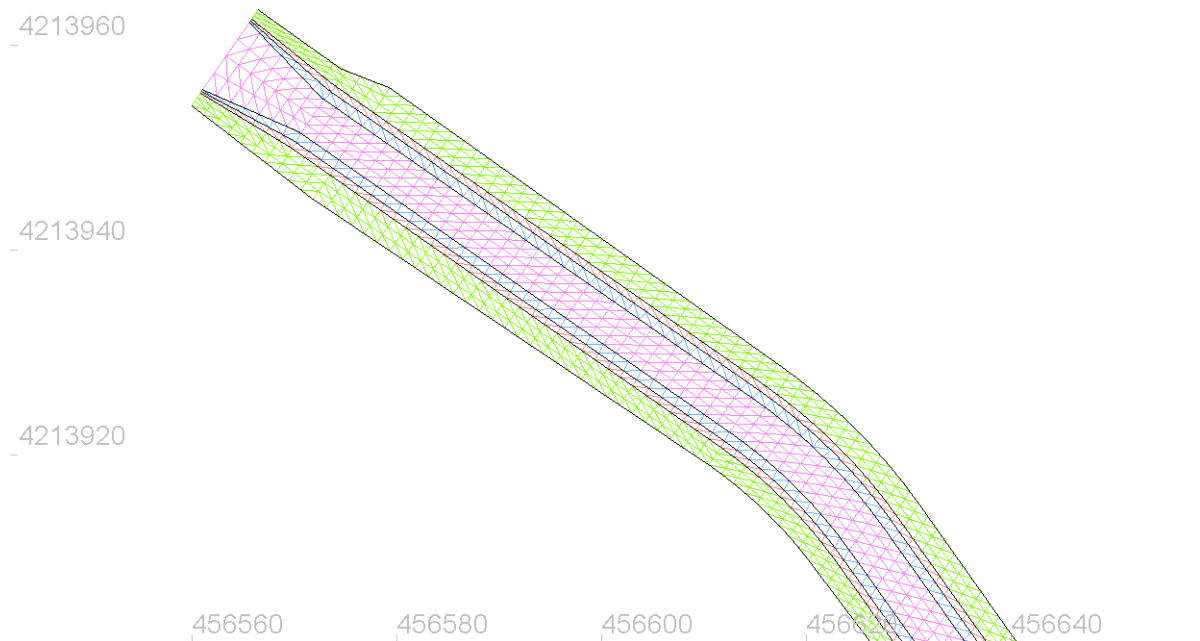
Οι κοίτες των χειμάρρων, φυσικές, τεχνητές και διευθετημένες, κατασκευάστηκαν με δομημένο πλέγμα, ενώ για το υπόλοιπο πεδίο δημιουργήθηκε μη – δομημένο πλέγμα.

Για την κατασκευή των δομημένων πλεγμάτων ορίζονται το δεξί και αριστερό όριο του ρέματος (right – left bank), το μήκος των στοιχείων του πλέγματος κατά τη διεύθυνση της ροής (along channel interval) και το πλήθος των κόμβων στην εγκάρσια διατομή (cross channel node count). Σε διάφορα τμήματα των ρεμάτων, για την πιο ακριβή και λεπτομερή αναπαράσταση αυτών, το πλέγμα που δημιουργήθηκε, αποτελεί σύνολο περισσότερων πλεγμάτων. Τα πλέγματα αυτά αποτελούνται από το πλέγμα του πυθμένα, το πλέγμα του δεξιού και του αριστερού πρानούς. Στην περίπτωση των τμημάτων με διατομή τύπου 1, χρειάστηκε να κατασκευαστούν επτά (7) ξεχωριστά πλέγματα, το σύνολο των οποίων αποτελεί το πλέγμα ενός τμήματος του ρέματος. Επίσης για τα τμήματα με διατομή τύπου 3, ήτοι ορθογωνική, τα πλέγματα των πρानών σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να περιέχουν τρεις κόμβους στην εγκάρσια διατομή.

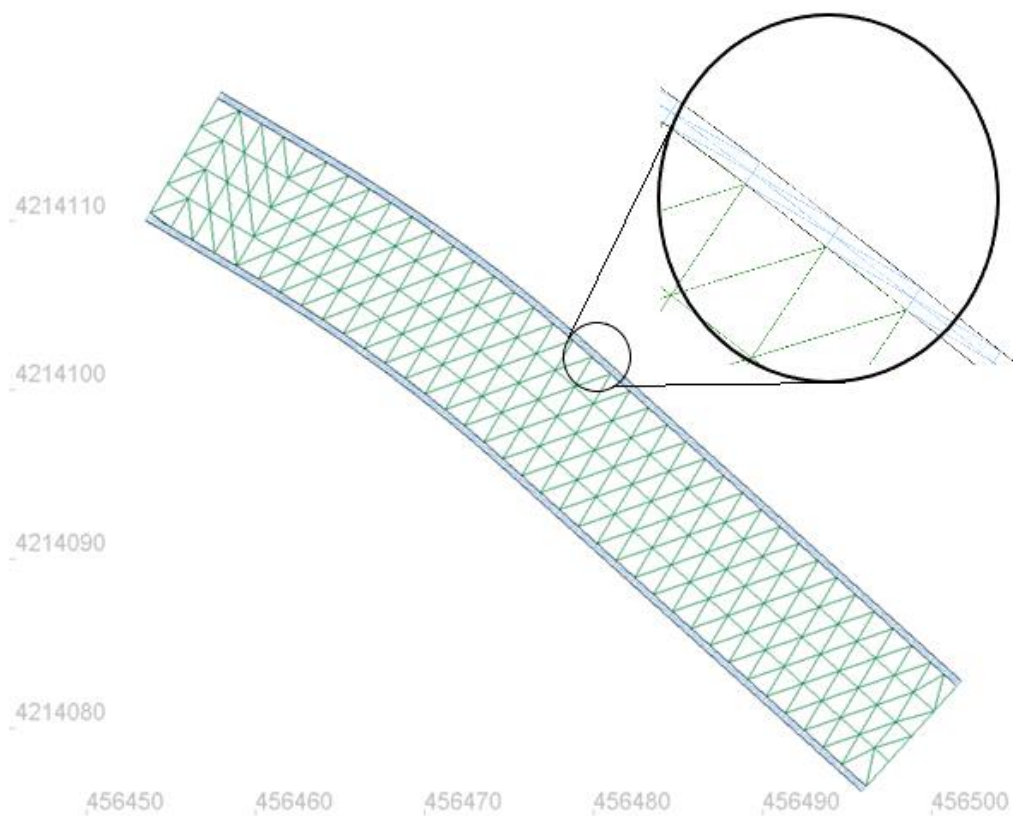
Τα τμήματα της διευθέτησης του χ. Σούρες και του χ. Αγ. Αικατερίνη καθώς και το έργο κεφαλής – μερισμού κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης.

Στα Σχήματα 7.1 και 7.2 φαίνονται με διαφορετικό χρώμα τα πλέγματα που συνδυάστηκαν για τη δημιουργία του πλέγματος όπου η διευθέτηση έχει μεικτή διατομή. Με τον τρόπο αυτό ορίζονται

από τον χρήστη, τα όρια του πυθμένα και των πρανών, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να αντιπροσωπεύει τη γεωμετρία της διευθέτησης.



Σχήμα 7.1: Δομημένα πλέγματα για τη διατομή τύπου 1



Σχήμα 7.2: Δομημένα πλέγματα για τη διατομή τύπου 3

Πίνακας 7.1: Χαρακτηριστικά των δομημένων πλεγμάτων

	along channel interval [m]	cross channel node count
Φυσική κοίτη χ. Σούρες	3	8
Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες		
Διατομή Τύπου 1		
<i>πυθμένας</i>	1.5	5
<i>αριστερό πρανές με κλίση 1:1</i>	1.5	2
<i>δεξί πρανές με κλίση 1:1</i>	1.5	2
<i>αριστερό οριζόντιο τμήμα</i>	1.5	2
<i>δεξί οριζόντιο τμήμα</i>	1.5	2
<i>αριστερό πρανές με κλίση 1:1.5</i>	1.5	3 ή 4
<i>δεξί πρανές με κλίση 1:1.5</i>	1.5	3 ή 4
Διατομή Τύπου 2		
<i>πυθμένας</i>	1.5	5
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	5
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	5
Διατομή Τύπου 3		
<i>πυθμένας</i>	1.5	5
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	3
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	3
Φυσική κοίτη χ. Αγ. Αικατερίνη		
<i>πυθμένας</i>	1.5	13
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	8
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	7
Συναρμογή φυσικής κοίτης με έργο κεφαλής - μερισμού		
<i>πυθμένας</i>	1.5	13
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	8
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	7
Διευθετημένη κοίτη χ. Αγ. Αικατερίνης		
<i>πυθμένας</i>	1.5	6
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	6
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	6
Έργο κεφαλής - μερισμού		
Λεκάνη		
<i>πυθμένας</i>	1.5	22
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	3
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	3
Συναρμογή – τμήμα αγωγού εκτροπής		
<i>πυθμένας</i>	1.5	17
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	3
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	3
Αγωγός διαστάσεων 2.0x1.0m		
<i>πυθμένας</i>	1.5	6
<i>αριστερό πρανές</i>	1.5	2
<i>δεξί πρανές</i>	1.5	2
Τεχνητή κοίτη χ. Σούρες ανάντη & κατόντη Αττικής Οδού	5	3.5

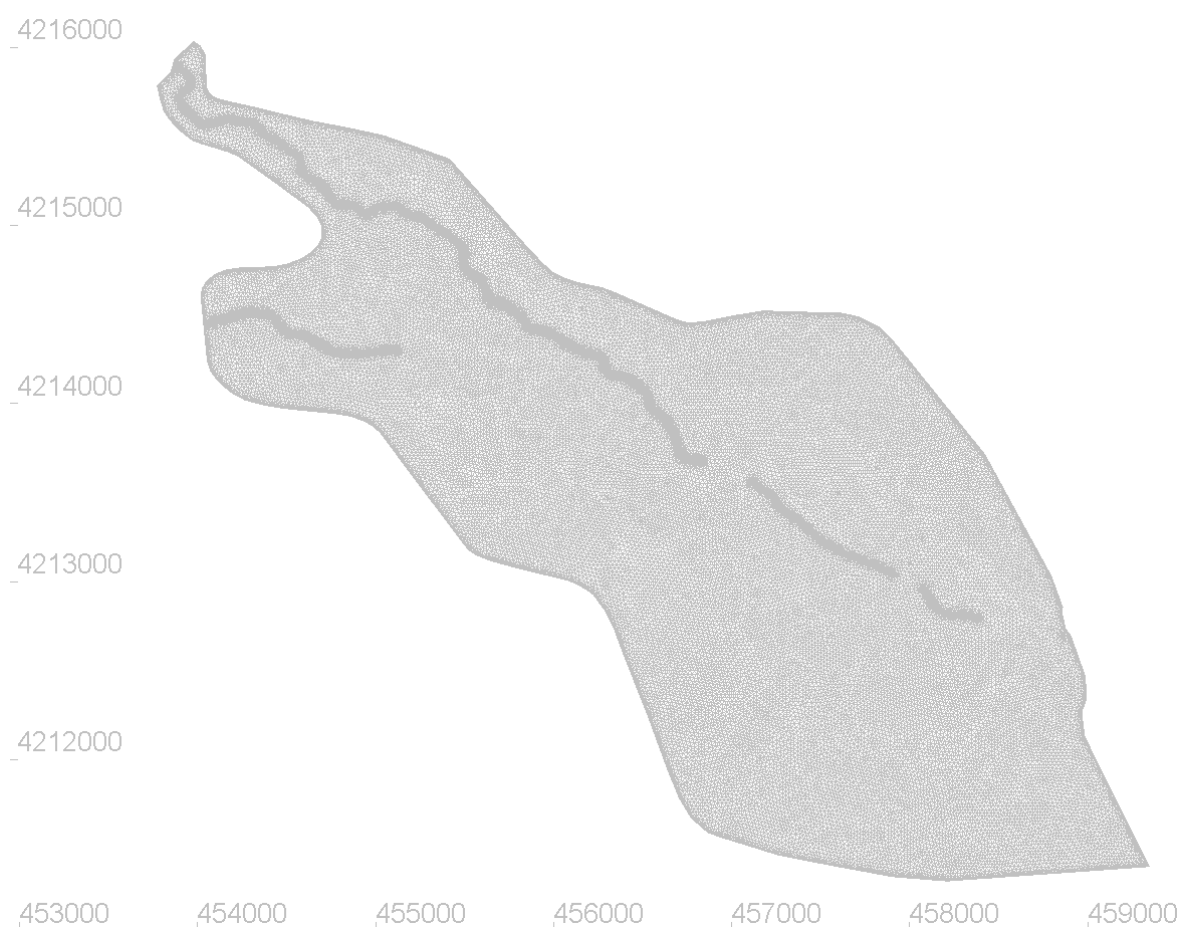
Στο υπόλοιπο πεδίο κατασκευάζεται μη – δομημένο πλέγμα, στο οποίο ορίζεται η μέγιστη πλευρά των στοιχείων που θα σχηματιστούν καθώς και η αναλογία αύξησης μεγέθους των γειτονικών στοιχείων. Το τελικό πλέγμα περιλαμβάνει το μη-δομημένο και όλα τα δομημένα πλέγματα. Σημειώνεται πως η δημιουργία ενός μη-δομημένου πλέγματος είναι αυτοματοποιημένη και πιο εύκολη από του δομημένου. Συγκεκριμένα ορίζεται

- Μήκος ακμής στοιχείου (default edge length) : 20 m
- Λόγος αύξησης ακμής (edge growth ratio) : 1.2

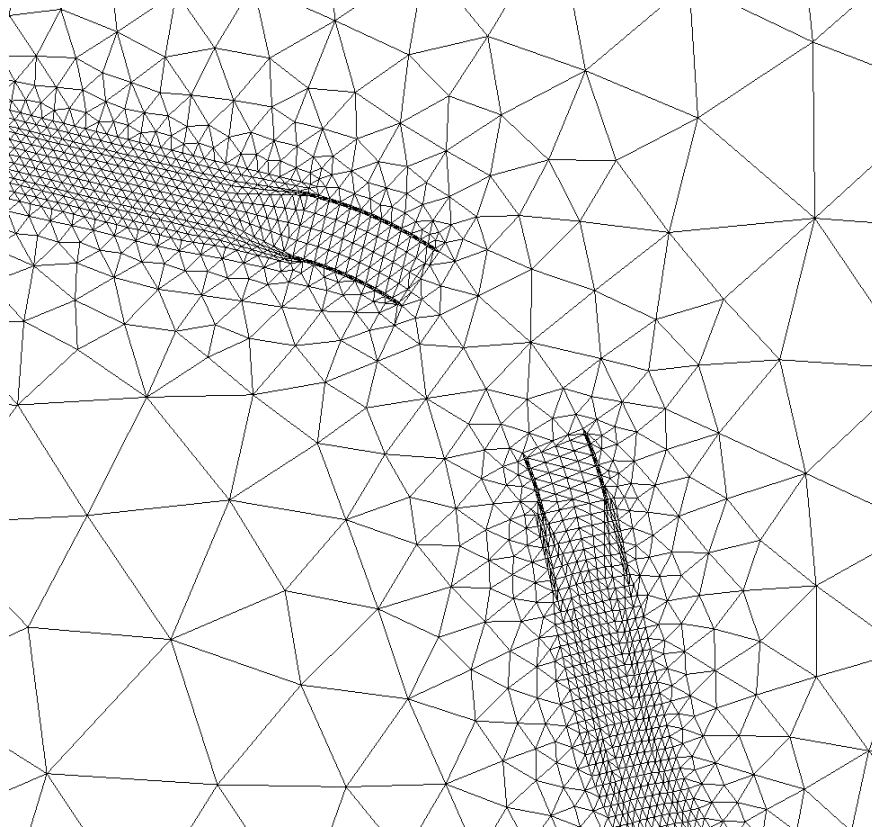
Τα χαρακτηριστικά του συνολικού πλέγματος δίνονται στον Πίνακα 7.2, ενώ στο Σχήμα 7.3 φαίνεται η τελική μορφοποίηση του υπολογιστικού πλέγματος. Οι περιοχές που φαίνονται πιο σκούρες αποτελούν τα δομημένα πλέγματα, τα οποία έχουν μεγαλύτερη πύκνωση από ότι το υπόλοιπο πεδίο. Στο Σχήμα 7.4 φαίνεται λεπτομέρεια του πλέγματος.

Πίνακας 7.2: Χαρακτηριστικά υπολογιστικού πλέγματος

Επιφάνεια υπολογιστικού πλέγματος (m ²)	10822619.837
Πλήθος κόμβων	85139
Πλήθος στοιχείων	165875
Ελάχιστη επιφάνεια στοιχείου (m ²)	0.018
Μέγιστη επιφάνεια στοιχείου (m ²)	394.142



Σχήμα 7.3: Υπολογιστικό πλέγμα

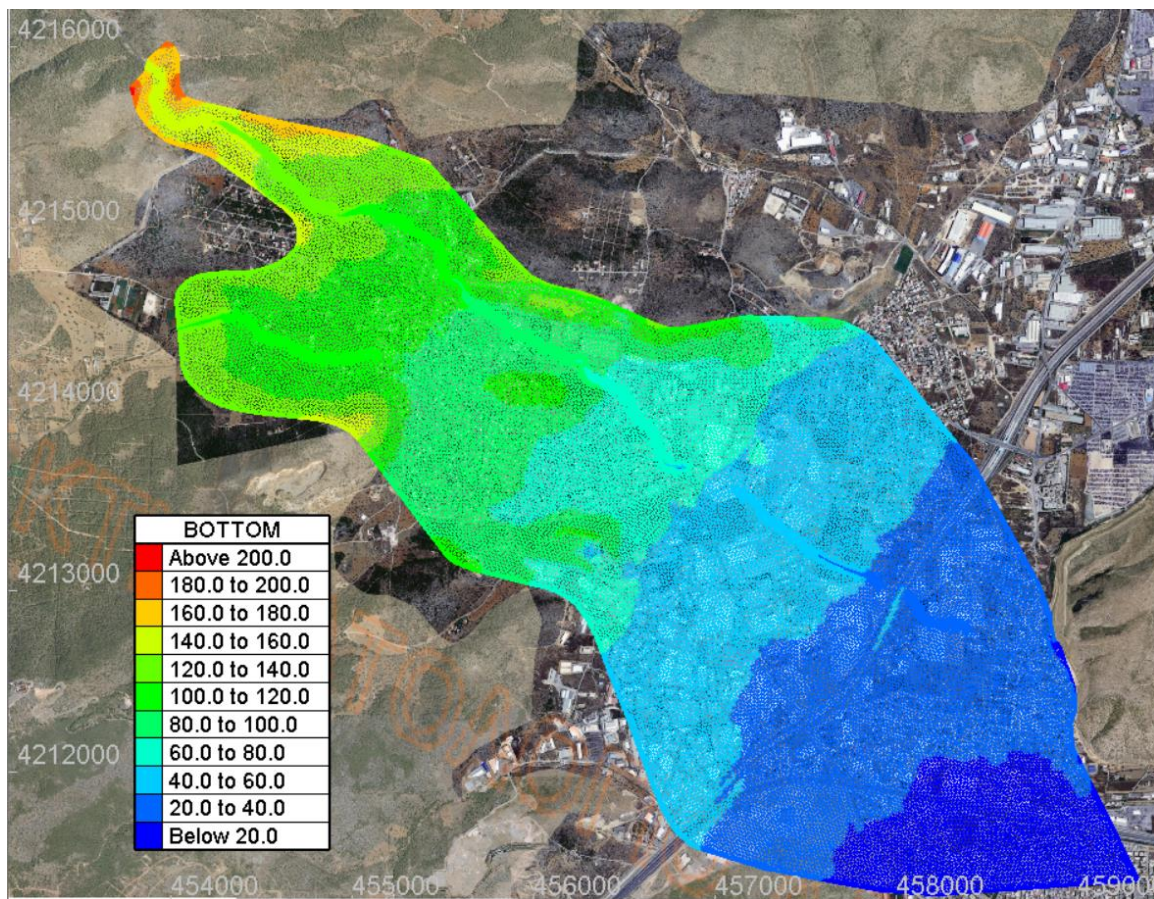


Σχήμα 7.4: Λεπτομέρεια του υπολογιστικού πλέγματος

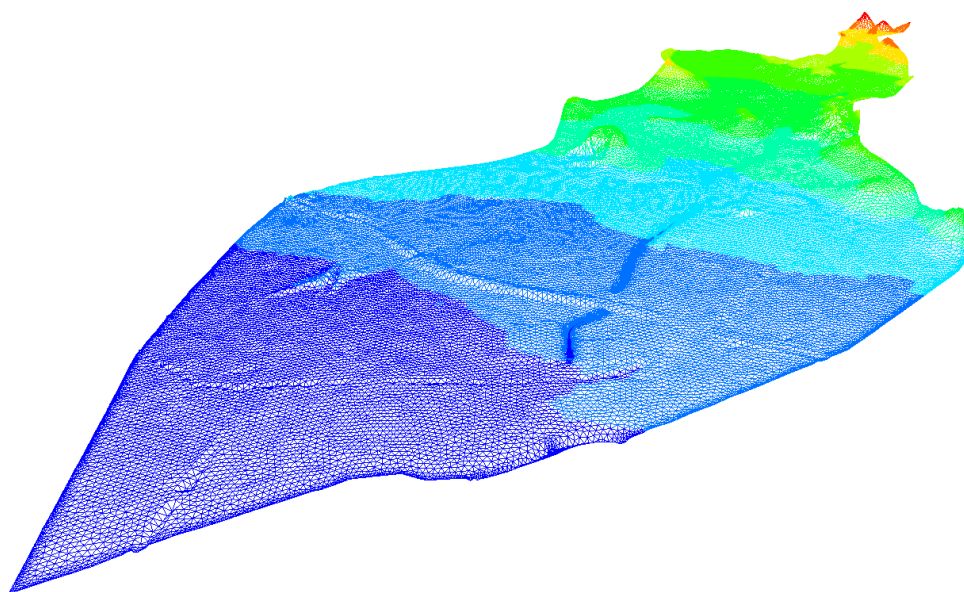
7.1.1.1 Καθορισμός υψομέτρων πυθμένα

Το μη – δομημένο πλέγμα, το οποίο καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας, αποτελείται από στοιχεία μέγιστης ακμής 20m, αλλά και από πολύ μικρότερα στοιχεία, με επιφάνεια στοιχείων της τάξης των τετραγωνικών εκατοστών. Τα υψομετρικά στοιχεία, που προέκυψαν από την ανάλυση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους έχουν ανάλυση 5x5m. Για τον ορισμό του υψομέτρου στους κόμβους του μη- δομημένου πλέγματος, καθώς και στους κόμβους του πλέγματος της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες έγινε χρήση της μεθόδου γραμμικής παρεμβολής. Αντίστοιχα χρήση της ίδιας μεθόδου έγινε για τον ορισμό των υψομέτρων στους κόμβους των δομημένων πλεγμάτων των τεχνικών έργων. Το τοπογραφικό ανάγλυφο παρουσιάζει υψομετρική διαφορά 200m, με μέγιστο υψόμετρο 208.40 m και ελάχιστο 8.00 m.

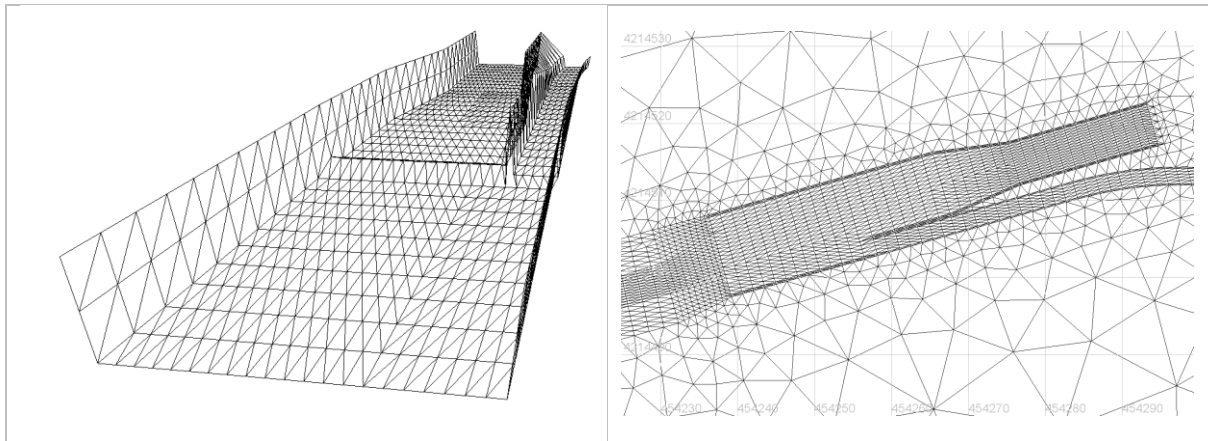
Στο Σχήμα 7.5 και 7.6 φαίνεται η τοπογραφία του υπολογιστικού πλέγματος σε δισδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή. Επίσης στα Σχήματα 7.7 – 7.10 απεικονίζονται τμήματα της γεωμετρίας του πλέγματος και συγκεκριμένα η γεωμετρία του έργου κεφαλής – μερισμού, και τμήματα των διαφορετικών τύπων διατομών της διευθέτησης του χ. Σούρες.



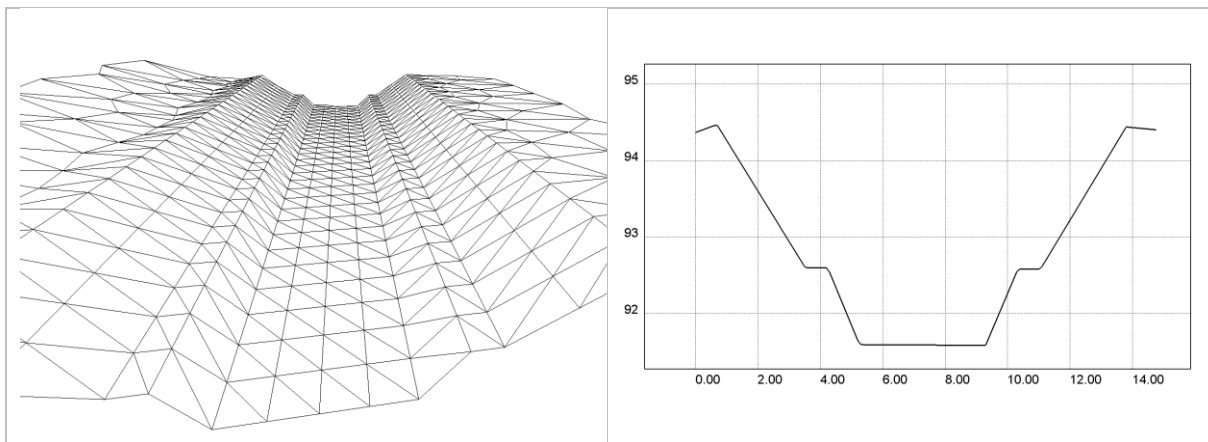
Σχήμα 7.5: Τοπογραφία της περιοχής μελέτης στο διδιάστατο επίπεδο (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



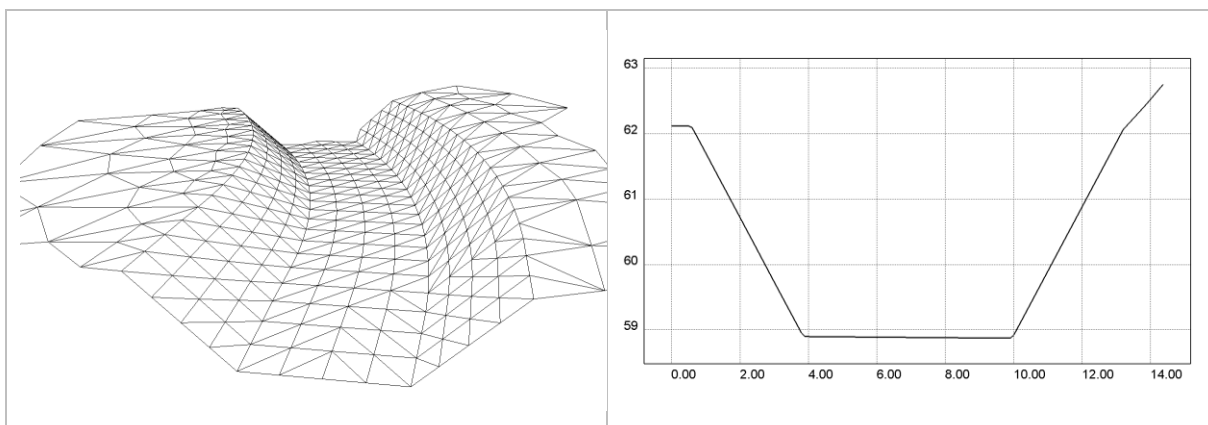
Σχήμα 7.6: Τοπογραφία της περιοχής μελέτης στο τρισδιάστατο επίπεδο



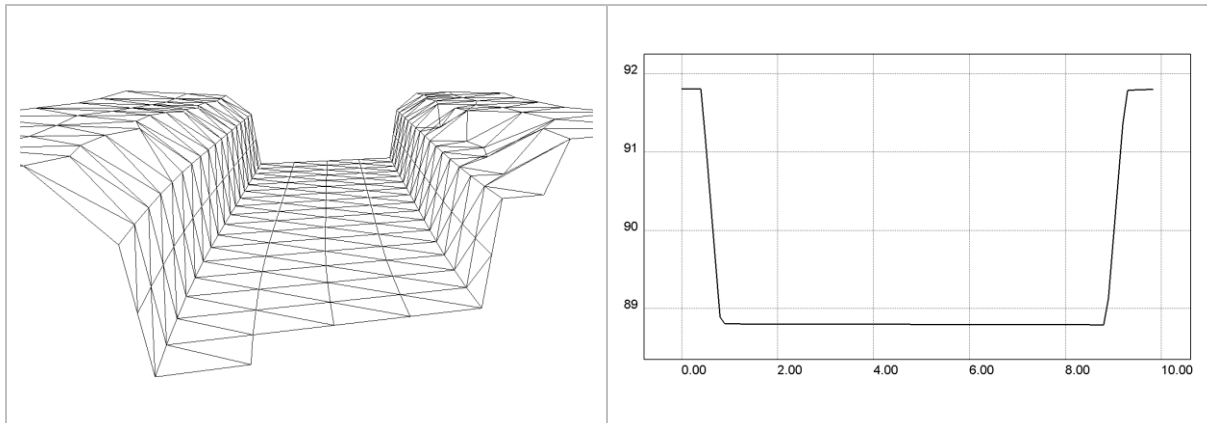
Σχήμα 7.7: Γεωμετρία του έργου κεφαλής – μερισμού & κάτοψη



Σχήμα 7.8: Γεωμετρία τμήματος της διεύθεσης χ. Σούρες, διατομή τύπου 1 & εγκάρσια διατομή



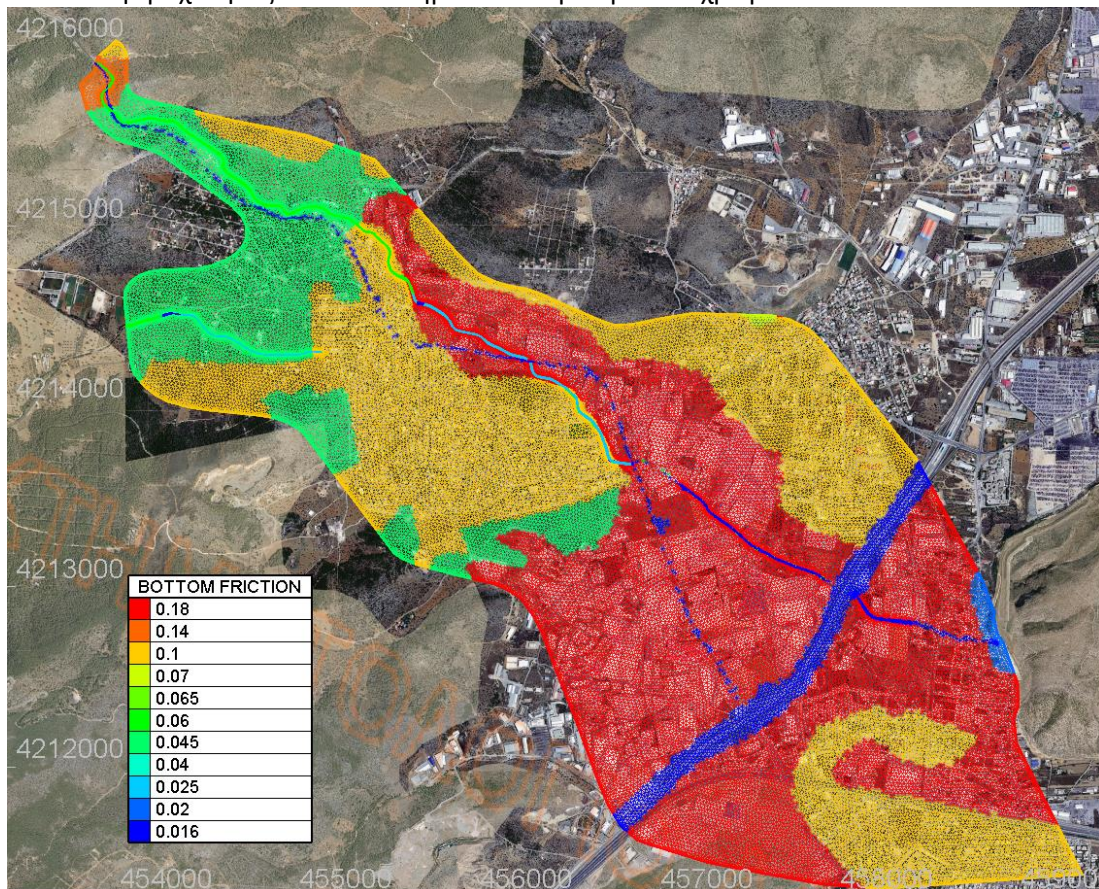
Σχήμα 7.9: Γεωμετρία τμήματος της διεύθεσης χ. Σούρες, διατομή τύπου 2 & εγκάρσια διατομή



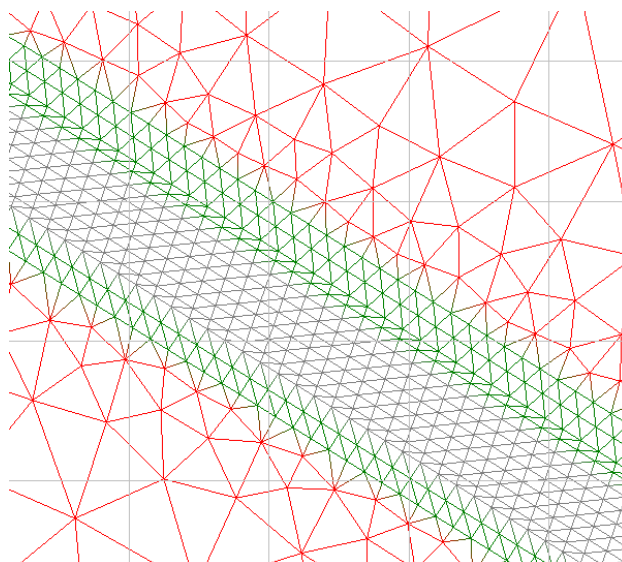
Σχήμα 7.10: Γεωμετρία τμήματος της διευθέτησης χ. Σούρες, διατομή τύπου 3 & εγκάρσια διατομή

7.1.1.2 Καθορισμός συντελεστή τραχύτητας

Τα στοιχεία για τον συντελεστή τραχύτητας προήλθαν από τον τύπο κάλυψης της γης, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6.3.1. Ο συντελεστής τραχύτητας ορίστηκε στους κόμβους του υπολογιστικού πλέγματος με τη μέθοδο παρεμβολής του πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbor). Στο Σχήμα 7.11 δίνεται η κατανομή του συντελεστή στο υπολογιστικό πλέγμα. Επίσης στο Σχήμα 7.12 δίνεται λεπτομέρεια της κατανομής του συντελεστή τραχύτητας, συγκεκριμένα για τμήμα της διευθέτησης του χ. Σούρες, με μεικτή διατομή τύπου 1. Το τμήμα του πυθμένα έχει τιμή 0.025, λόγω επένδυσης με συρματοκιβώτια και σημειώνεται με χρώμα γκρι. Το υπόλοιπο τμήμα είναι ανεπένδυτο με συντελεστή τραχύτητας 0.040 και σημειώνεται με πράσινο χρώμα.



Σχήμα 7.11: Κατανομή συντελεστή τραχύτητας στο υπολογιστικό πλέγμα (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 7.12: Λεπτομέρεια κατανομής συντελεστή Manning

7.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Το αρχείο οριακών συνθηκών αποτελείται από το πλέγμα των οριακών συνθηκών, στο οποίο σημειώνονται τα ανοιχτά – ρευστά όρια και οι συνθήκες που ισχύουν για το καθένα από αυτά. Στο Σχήμα 7.13 φαίνονται τα ανοιχτά όρια, ενώ με χρώμα σημειώνεται ο τύπος της συνθήκης που ισχύει. Τα όρια που επιλέχθηκαν είναι (1) το όριο εισόδου στο ανάντη σημείο του χ. Σούρες, (2) το όριο εισόδου στη φυσική κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνης, το οποίο βρίσκεται 200 m περίπου ανάντη του έργου κεφαλής – μερισμού, (3) το όριο εξόδου στο τμήμα εκβολής του χ. Σούρες στον χ. Σαρανταπόταμο και (4) το όριο εξόδου στο νοτιότερο άκρο της πλημμυρικής έκτασης, όπου η πλημμύρα οδηγείται μέσω της οδού Θηβών στην πόλη της Ελευσίνας. Με χρώμα μπλε ορίζεται καθορισμένη παροχή στο όριο, ενώ με πράσινο καθορισμένη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας.

Στα όρια εισόδου δόθηκαν σταθερές καθώς και μεταβαλλόμενες στο χρόνο παροχές. Συγκεκριμένα προσομοιώνονται τρία σενάρια παροχών εισόδου. Για τα σενάρια Σ1 και Σ2 οι παροχές στην είσοδο είναι σταθερές και για το σενάριο Σ3 μεταβαλλόμενες. Στο Σ1 εφαρμόζονται οι παροχές σχεδιασμού των έργων και στο Σ3 τα υδρογραφήματα εισόδου, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 6. Για το Σ2 υπολογίστηκε η παροχή που αντιστοιχεί στο 80% της πλήρωσης του αγωγού εκτροπής και του οχετού 1 της διευθέτησης χ. Σούρες, και σύμφωνα με αυτές προσδιορίστηκαν οι παροχές εισόδου του μοντέλου. Οι τιμές των παροχών για τα τρία σενάρια προσομοίωσης δίνονται στον Πίνακα 7.3.

Στα όρια εξόδου ορίστηκε σταθερή τιμή της ελεύθερης επιφάνειας, αφού δεν υπάρχουν στοιχεία για τη μεταβολή της στάθμης σύμφωνα με την παροχή. Ύστερα από εκτιμήσεις ορίστηκε η στάθμη στο όριο (3) ίση με 18.5m και στο όριο (4) ίση με 11.5m.

Πίνακας 7.3: Σενάρια προσομοίωσης

Σενάριο	Παροχές	Παροχή στο όριο (1) διατομή εισόδου στον χ. Σούρες (m ³ /s)	Παροχή στο όριο (2) διατομή εισόδου στον χ. Αγ. Αικατερίνη (m ³ /s)
1	Παροχές Σχεδιασμού	44.0	57.0
2	Παροχές μέγιστης πλήρωσης οχετών	70.0	70.0
3	Υδρογράφημα	max 128.4	max 160.0



Σχήμα 7.13: Πλέγμα οριακών συνθηκών (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

7.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Το αρχείο των παραμέτρων αποτελείται από διάφορες παραμέτρους για τη διαμόρφωση του μοντέλου. Στη συνέχεια αναφέρονται οι πιο σημαντικές παράμετροι για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης.

7.3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι βασικές παράμετροι που έχουν τεθεί για το συγκεκριμένο μοντέλο έχουν ως εξής. Ως μέθοδος διακριτοποίησης επιλέχθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων, η οποία αποτελεί και τη συνηθέστερη μέθοδο για το μοντέλο TELEMAC-2D. Για τον υπολογισμό της τύρβης επιλέχθηκε το μοντέλο k-epsilon και η κινηματική συνεκτικότητα τέθηκε ίση με 10^{-6} . Ο συντελεστής τραχύτητας ορίζεται από την εξίσωση του Manning και οι τιμές για το υπολογιστικό πεδίο δίνονται από το αρχείο γεωμετρίας, όπου ορίστηκε ο συντελεστής τραχύτητας για όλους τους κόμβους του πλέγματος. Η αρχική συνθήκη επιλέχθηκε ως σταθερό βάθος (CONSTANT DEPTH) ίσο με 0.01 m για όλο το υπολογιστικό πεδίο και επίσης ορίστηκε η επιλογή ύπαρξης ξηρών περιοχών, λόγω της πλημμυρικής κατάκλυσης.

7.3.2 ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ

Επιλέχθηκε μεταβλητό χρονικό βήμα για την προσομοίωση (VARIABLE TIME STEP = YES). Με την επιλογή αυτή, το χρονικό βήμα της προσομοίωσης υπολογίζεται από την εξίσωση για ικανοποίηση του κριτηρίου Courant, ο οποίος για τη συγκεκριμένη προσομοίωση τίθεται ίσος με 0.9 (DESIRED COURANT NUMBER = 0.9). Επίσης δίνεται η τιμή για το χρονικό βήμα ίση με 1.0 (TIME STEP = 1.0), το οποίο είναι υποχρεωτικό ώστε να μπορεί να ξεκινήσει η προσομοίωση. Το χρονικό βήμα

χρησιμοποιείται από το μοντέλο στο πρώτο χρονικό βήμα, ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός Courant για το βήμα αυτό.

Η διάρκεια των προσομοιώσεων τέθηκε ίση με 8 ώρες.

7.4 ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΑΡΧΕΙΑ

7.4.1 ΑΡΧΕΙΟ ΡΕΥΣΤΩΝ ΟΡΙΩΝ

Στο αρχείο των ρευστών ορίων (LIQUID BOUNDARY FILE) δίνεται το υδρογράφημα που θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος. Συγκεκριμένα δίνονται τα υδρογραφήματα για τον χ. Σούρες και χ. Αγ. Αικατερίνη, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 6.5, όπως παράχθηκαν στην εργασία του Μαυρογεώργου (2019). Το αρχείο αυτό παρέχεται στην περίπτωση ορίου με μεταβαλλόμενη παροχή.

7.4.2 ΑΡΧΕΙΟ ΟΧΕΤΩΝ

Όλοι οι οχετοί, καθώς και οι δύο κλειστοί αγωγοί, που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης αποφασίστηκε να προσομοιωθούν ως οχετοί. Στην περίπτωση της υπορουτίνας των οχετών (BUSE.F), η ροή υπολογίζεται είτε με ελεύθερη επιφάνεια, είτε ως ροή υπό πίεση. Αντιθέτως, στην υπορουτίνα των αγωγών (SIPHON.F), η ροή μπορεί να υπολογιστεί μόνο υπό πίεση. Στην περίπτωση των δύο κλειστών αγωγών, ο αγωγός εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνης και ο αγωγός Κοροπούλη, έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια και επομένως κρίθηκε πως η υπορουτίνα των οχετών είναι κατάλληλη για την προσομοίωση αυτών.

Η παροχή που υπολογίζεται ότι περνάει μέσα από τον οχετό δέχεται περιορισμό από τον διαθέσιμο όγκο νερού που υπάρχει γύρω από τον κόμβο εισόδου του οχετού. Για τον λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να τοποθετηθούν περισσότεροι κόμβοι εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, ώστε να περνάει η απαιτούμενη παροχή, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του αγωγού και τη συνθήκη ροής.

Το αρχείο των οχετών κατασκευάστηκε σύμφωνα με τη μορφή που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 2.2.5. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των οχετών, μήκος (LONG), πλάτος (LARG), ύψος (HAUT1, HAUT2), υψόμετρα πυθμένα (RD1, RD2) αντιστοιχούν με αυτά στη πραγματικότητα. Ο συντελεστής τραχύτητας (FRIC) επιλέχθηκε ίσος με 0.017, αφού το υλικό κατασκευής αυτών είναι από σκυρόδεμα. Ο συντελεστής C56, ο οποίος αποτελεί δείκτη διαφοροποίησης των τύπων ροής 5 και 6, επιλέχθηκε βάσει του Σχήματος 2.1 ίσος με 10. Ο διορθωτικός συντελεστής της ροής τύπου 5 επιλέχθηκε ίσος με 6. Οι τιμές των συντελεστών απωλειών ενέργειας εισόδου και εξόδου (CE1, CE2, CS1, CS2) επιλέχθηκαν ύστερα από δοκιμές και πήραν τιμές όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.4. Τέλος τα στοιχεία I1, I2 αντιστοιχούν στον κόμβο εισόδου και κόμβο εξόδου αντίστοιχα, του πλέγματος.

Ένα ακόμα πρόβλημα που προέκυψε ήταν, πως ενώ η ποσότητα της παροχής που περνούσε ήταν η σωστή, υπήρχε είτε ανύψωση είτε ταπείνωση της επιφάνειας ιδιαίτερα μεγάλη και μη λογική σύμφωνα με τους υδραυλικούς υπολογισμούς. Αυτό μας οδήγησε στην επιλογή, ύστερα από διάφορες δοκιμές, επαρκούς αριθμού κόμβων, ώστε να περνάει η απαιτούμενη παροχή και η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας να είναι λογική και πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες.

Με τον τρόπο αυτό επιλέχθηκε για τους οχετούς 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 & 12 (σύμφωνα με τον Πίνακα 6.1) να χρησιμοποιηθούν 15 κόμβοι εισόδου – εξόδου για τον κάθε οχετού, ώστε να υπολογίζονται οι στάθμες τις ελεύθερης επιφάνειας, καθώς και της ροής μέσα από αυτούς πιο σωστά.

Πίνακας 7.4: Τιμές των παραμέτρων του αρχείου των οχετών

	I1	I2	CE1	CE2	CS1	CS2	LRG	HAUT1	CLP	LBUS	Z1	Z2	CV	C56	CV5	C5	CT	HAUT2	FRIC	LENGTH	CIRC
1	62888	19394	0.5	0.5	1	1	5	2.5	1	0	114.971	93.46	0	10	0	6	0	2.5	0.017	1413.8	0
2	77778	76938	0.2	0.2	0.7	0.7	3	1.5	1	0	153	152.8	0	10	0	6	0.3	1.5	0.017	15	0
3	77823	77838	0.2	0.2	0.7	0.7	3	2.35	1	0	149	148.3	0	10	0	6	0	2.35	0.017	35	0
4	83803	69897	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	77.83	77.36	0	10	0	6	0	3	0.017	19.5	0
5	70661	69277	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	71.73	71.59	0	10	0	6	0	3	0.017	5	0
6	69312	69551	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	70.01	69.81	0	10	0	6	0	3	0.017	7	0
7	69608	71605	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	67.36	67.17	0	10	0	6	0	3	0.017	8.5	0
8	72871	67454	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	56.01	51.5	0	10	0	6	0	3	0.017	317.5	0
9	67340	67871	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	43.6	43.3	0	10	0	6	0	3	0.017	16	0
10	67845	68213	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	41.4	40.8	0	10	0	6	0	3	0.017	31	0
11	68098	68774	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	32.8	29.6	0	10	0	6	0	3	0.017	200	0
12	68671	53108	0.2	0.2	0.7	0.7	8	3	1	0	22.5	19.4	0	10	0	6	0	3	0.017	497	0
13	14364	72167	0.5	0.5	1	1	2	1.7	1	0	97.25	61.8	0	10	0	6	0	1.7	0.017	2319	0

8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

8.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Το υδροδυναμικό μοντέλο εφαρμόστηκε για τρία σενάρια παροχών εισόδου. Τα σενάρια αυτά, όπως έχει αναφερθεί, είναι τα εξής:

1. **Σενάριο Σ1 – Παροχές σχεδιασμού των έργων.** Για το σενάριο αυτό εφαρμόστηκαν στις εισόδους του υπολογιστικού πλέγματος οι παροχές σχεδιασμού όπως προκύπτουν από τη μελέτη αντιπλημμυρικών έργων. Στην περίπτωση αυτή εισέρχεται από το χ. Σούρες σταθερή παροχή ίση με $44 \text{ m}^3/\text{s}$ και από το χ. Αγ. Αικατερίνης $57 \text{ m}^3/\text{s}$.
2. **Σενάριο Σ2 – Παροχές μερικής πλήρωσης.** Στο σενάριο αυτό η παροχή που εισέρχεται από κάθε χειμάρρο είναι ίση με $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Οι παροχές αυτές έχουν υπολογιστεί ώστε η ροή να μην υπερβαίνει το 80% της πλήρωσης των τεχνικών έργων – οχετών των αντιπλημμυρικών έργων.
3. **Σενάριο Σ3 – Υδρογράφημα.** Στο τρίτο σενάριο οι παροχές που εισέρχονται είναι μεταβλητές στο χρόνο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το υδρογράφημα που παράχθηκε για το πλημμυρικό γεγονός του Νοεμβρίου 2017. Οι μέγιστες παροχές που εμφανίζονται στην είσοδο των χειμάρρων είναι $160 \text{ m}^3/\text{s}$ και $128.4 \text{ m}^3/\text{s}$ για το χ. Αγ. Αικατερίνη και Σούρες αντίστοιχα.

Τα σενάρια για την ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων σημειώνονται ως Σ1Ε, Σ2Ε και Σ3Ε.

8.1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται συγκεντρωμένα η αρίθμηση των σχημάτων που παρατίθενται στη συνέχεια.

Συγκεκριμένα στα Σχήματα 8.2, 8.7 και 8.12 φαίνονται οι περιοχές κατάκλισης της πλημμύρας για κάθε πιθανό σενάριο. Σε καθένα από αυτά τα σχήματα γίνεται σύγκριση των περιοχών κατάκλισης για τις δύο περιπτώσεις που προσομοιώνονται, δηλαδή την περίπτωση ύπαρξης και την περίπτωση μη ύπαρξης αντιπλημμυρικών έργων. Με μπλε χρώμα σημειώνονται οι περιοχές κατάκλισης χωρίς την ύπαρξη έργων, ενώ με κίτρινο χρώμα οι περιοχές λόγω της ύπαρξης των έργων.

Στη συνέχεια, στα Σχήματα 8.3 – 8.4, 8.8 – 8.9 και 8.13 – 8.14 παρατίθενται οι χάρτες με τα μέγιστα βάθη που αναπτύσσονται εντός της περιοχής μελέτης για όλα τα πιθανά σενάρια.

Αντίστοιχα στα Σχήματα 8.5 – 8.6, 8.10 – 8.11 και 8.15 – 8.16 δίνονται οι χάρτες με τις μέγιστες ταχύτητες για όλα τα σενάρια.

Πίνακας 8.1: Αρίθμηση σχημάτων

Σενάριο	Σ1	Σ1Ε	Σ2	Σ2Ε	Σ3	ΣΕ3
Περιοχές κατάκλισης	8.2		8.7		8.12	
Μέγιστα βάθη ροής	8.3	8.4	8.8	8.9	8.13	8.14
Μέγιστες ταχύτητες ροής	8.5	8.6	8.10	8.11	8.15	8.16

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων και συγκεκριμένα των βαθών ροής επιλέγονται δέκα θέσεις στην περιοχή μελέτης. Οι δύο θέσεις βρίσκονται επί της κοίτης του χειμάρρου Αγ. Αικατερίνη και οι υπόλοιπες οκτώ επί της κοίτης του χ. Σούρες. Το τμήμα του χ. Σούρες που εξετάζεται για όλα τα σενάρια είναι αυτό για το οποίο προβλέπονται τα έργα διευθέτησης.

Στον Πίνακα 8.2 δίνονται τα στοιχεία για τις θέσεις που επιλέχθηκαν, ενώ στο Σχήμα 8.1 φαίνονται οι θέσεις αυτών στην περιοχή μελέτης.

Ακόμα στα Σχήματα 8.17, 8.18 και 8.19 δίνονται οι διατομές του πυθμένα για τις δύο περιπτώσεις και στις αντίστοιχες θέσεις οι διατομές της ελεύθερης επιφάνειας, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα

του υδροδυναμικού μοντέλου για τα σενάρια προσομοίωσης. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 8.17 φαίνονται οι διατομές για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε. Στο Σχήμα 8.18 δίνονται οι διατομές για τα σενάρια Σ2 και Σ2Ε και στο Σχήμα 8.19 για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε.

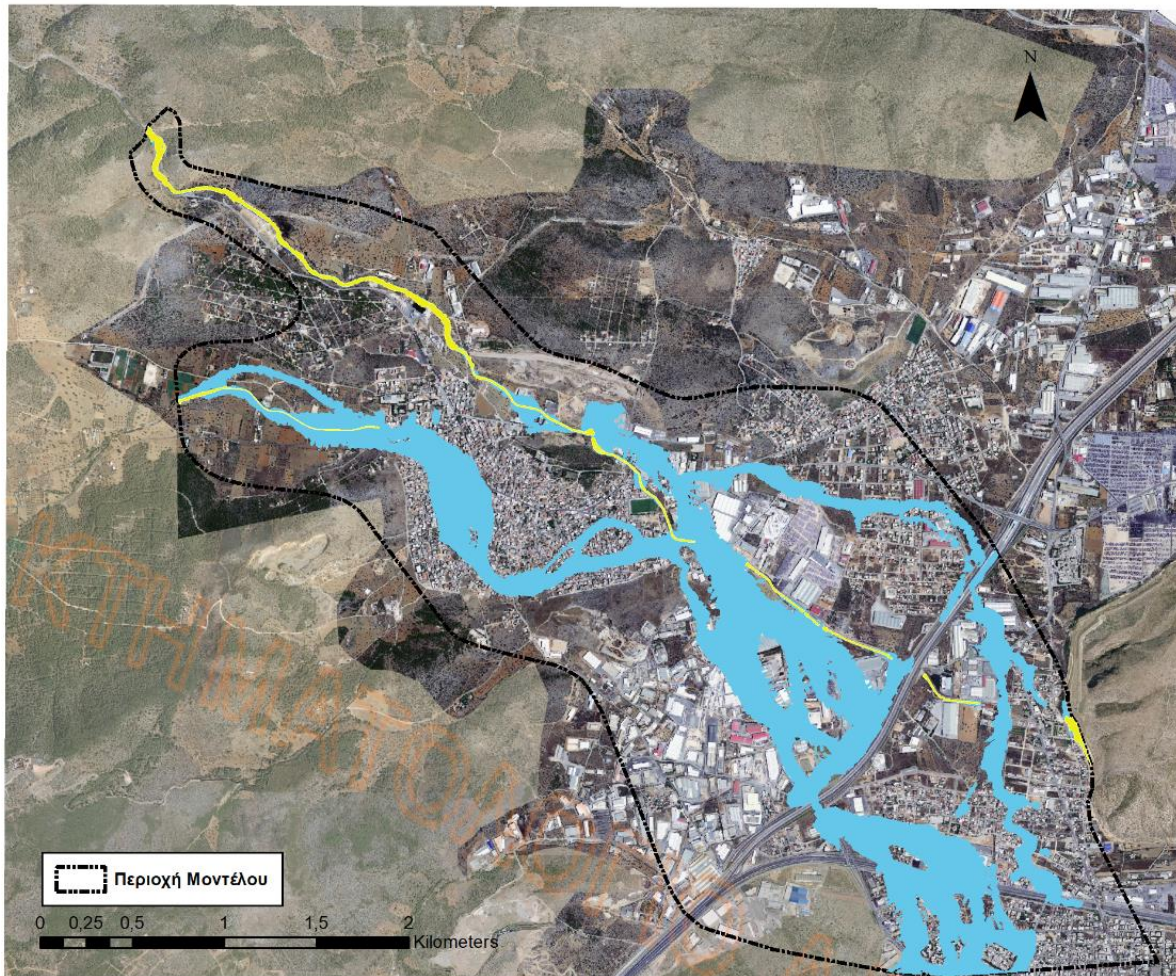
Στο Σχήμα 8.20 δίνονται συγκεντρωμένες οι διατομές της ελεύθερης επιφάνειας για τα σενάρια Σ1Ε, Σ2Ε και Σ3Ε, δηλαδή για την περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων.

Πίνακας 8.2: Στοιχεία διατομών

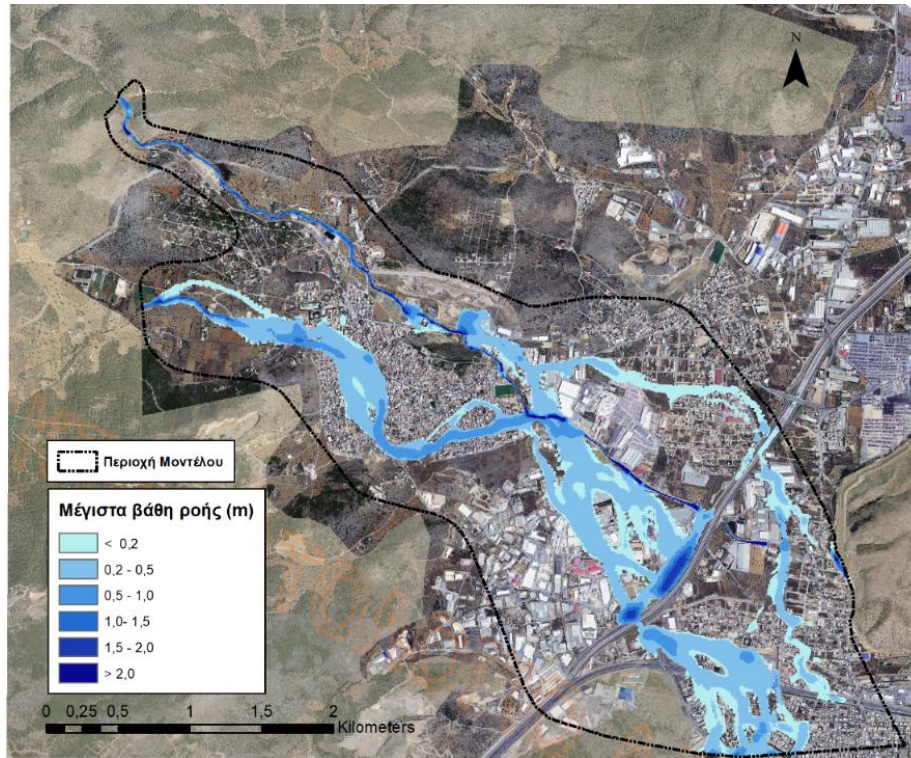
Διατομή	Θέση	Χιλιομετρική Θέση	Τύπος Διατομής
Δ1	Διευθετημένη κοίτη χ. Αγ. Αικατερίνη	0+650.00	Τραπεζοειδής
Δ2	Έργο κεφαλής – μερισμού	1+480.00	Ορθογωνική
Δ3	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	1+636.30	Τύπου 1
Δ4	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	1+520.00	Τύπου 3
Δ5	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	1+060.00	Τύπου 1
Δ6	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	0+850.00	Τύπου 1
Δ7	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	0+660.00	Τύπου 3
Δ8	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	0+500.00	Τύπου 1
Δ9	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	0+450.00	Τύπου 1
Δ10	Διευθετημένη κοίτη χ. Σούρες	0+200.00	Τύπου 2



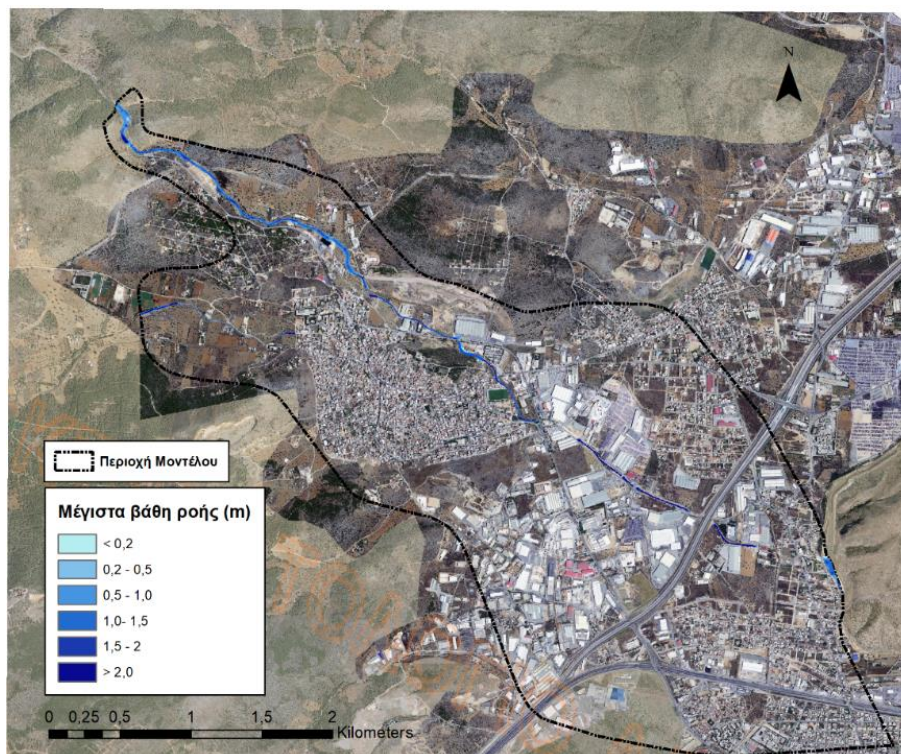
Σχήμα 8.1: Θέσεις διατομών (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



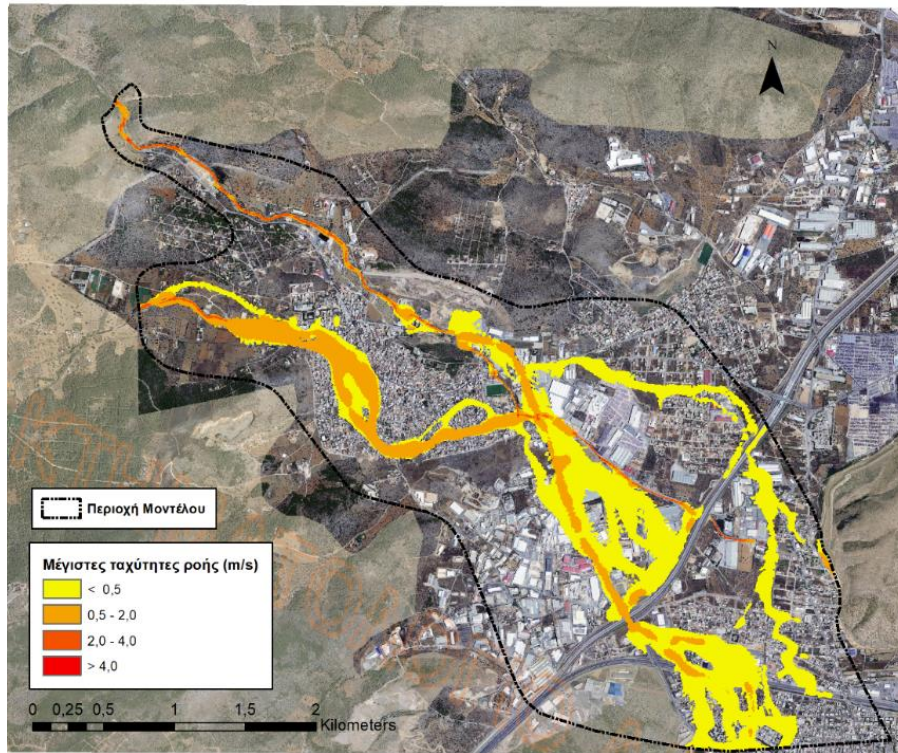
Σχήμα 8.2: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)
(μπλε και κίτρινες περιοχές: χωρίς αντιπλημμυρικά έργα, κίτρινες περιοχές: με αντιπλημμυρικά έργα)



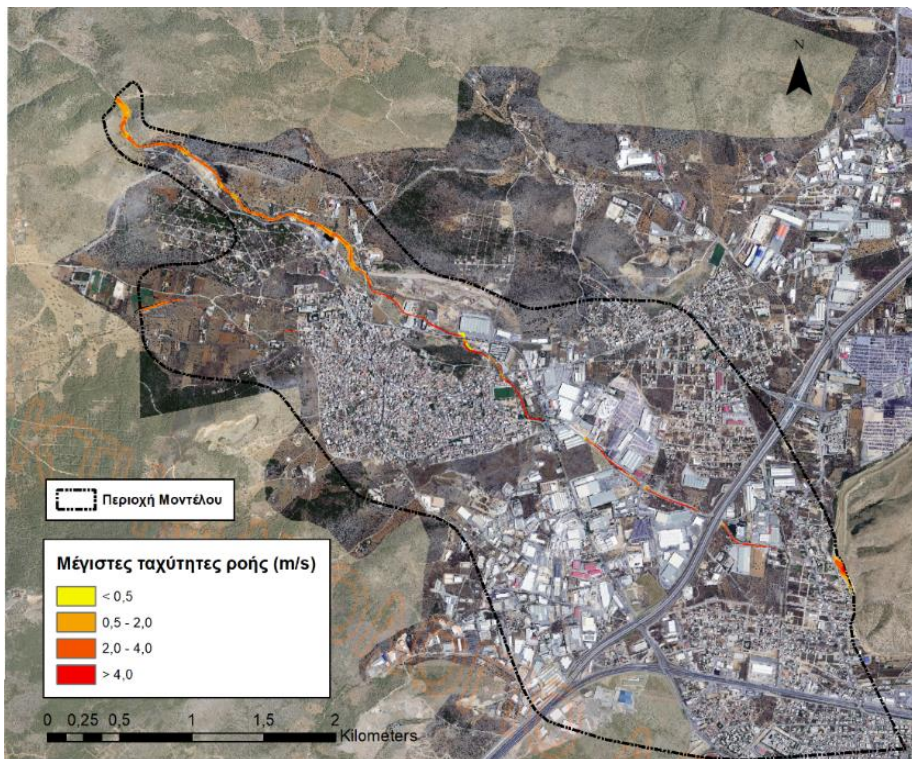
Σχήμα 8.3: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ1 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



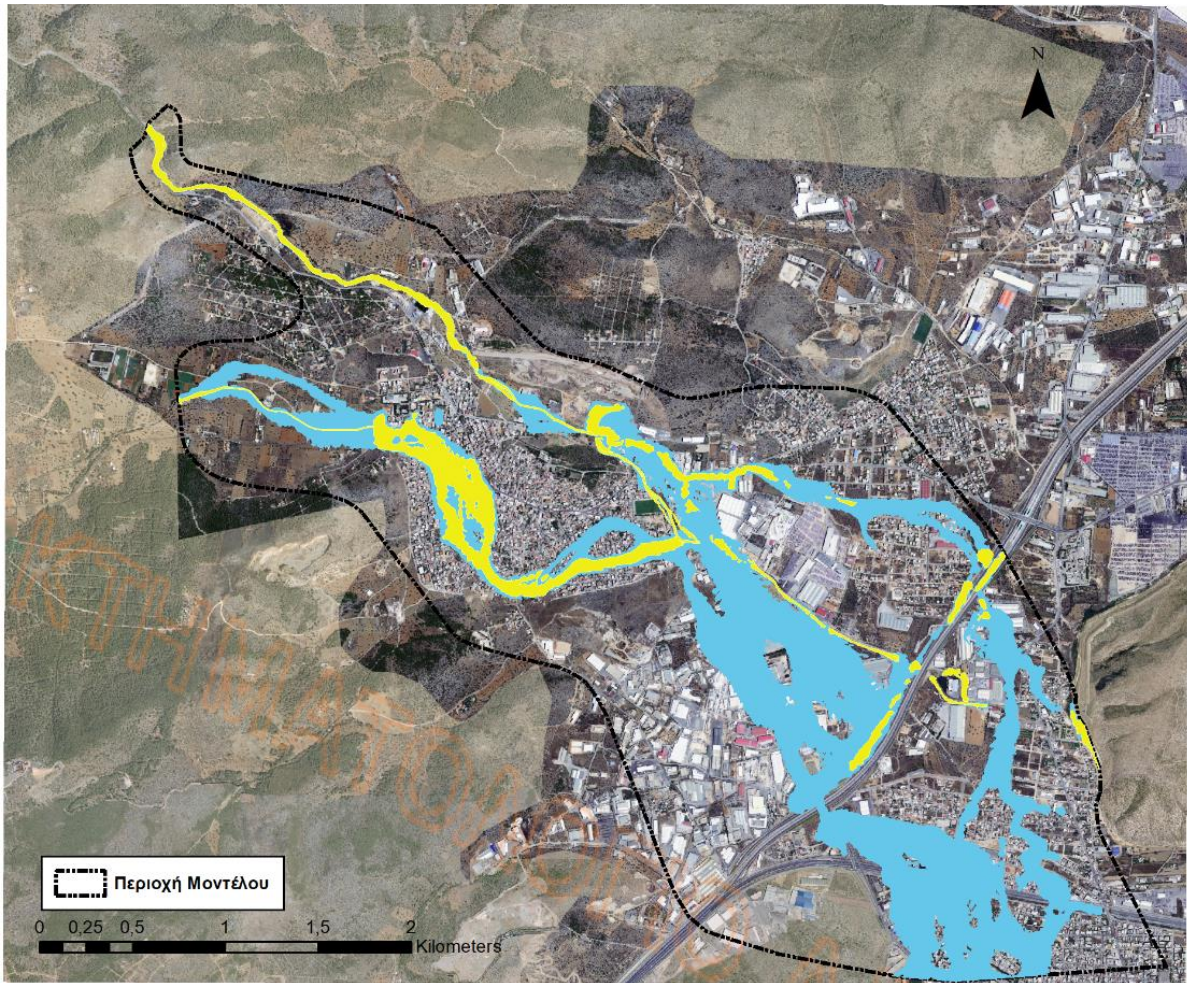
Σχήμα 8.4: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ1Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



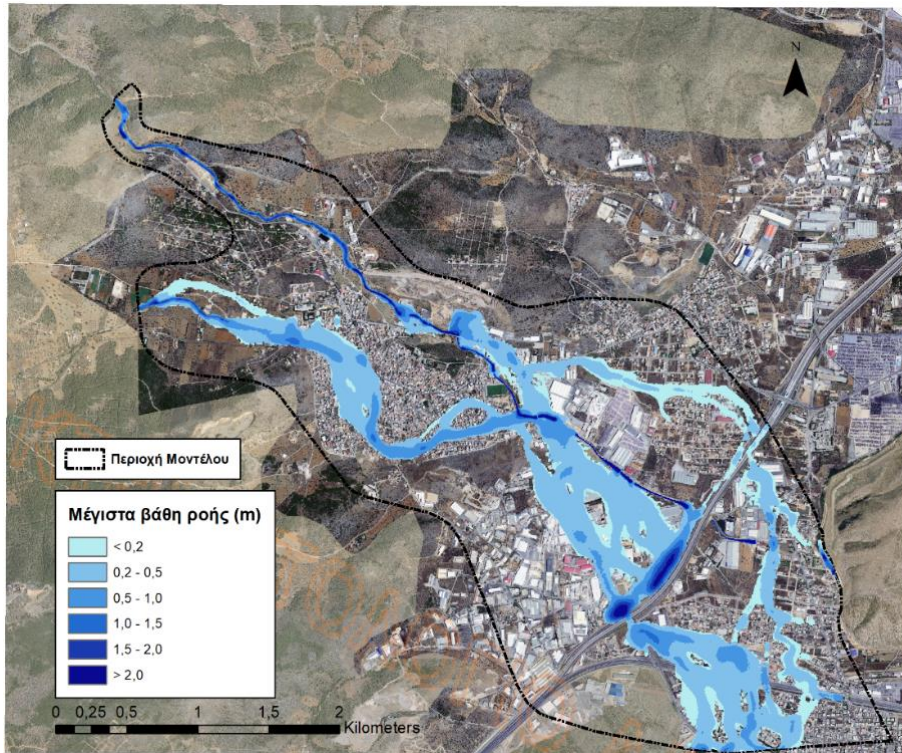
Σχήμα 8.5: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ1 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



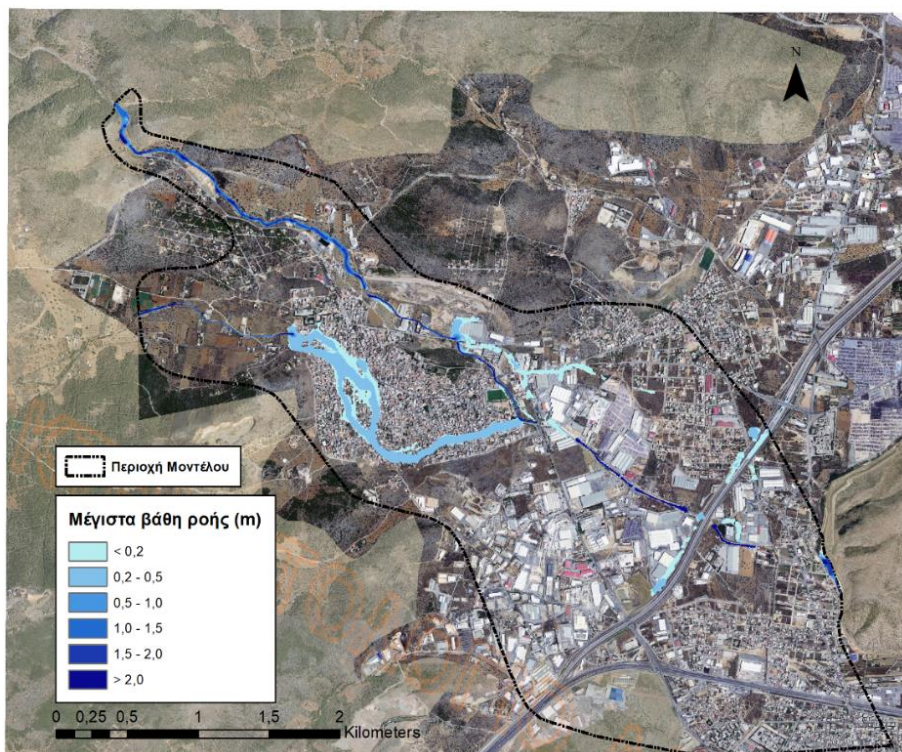
Σχήμα 8.6: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ1Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



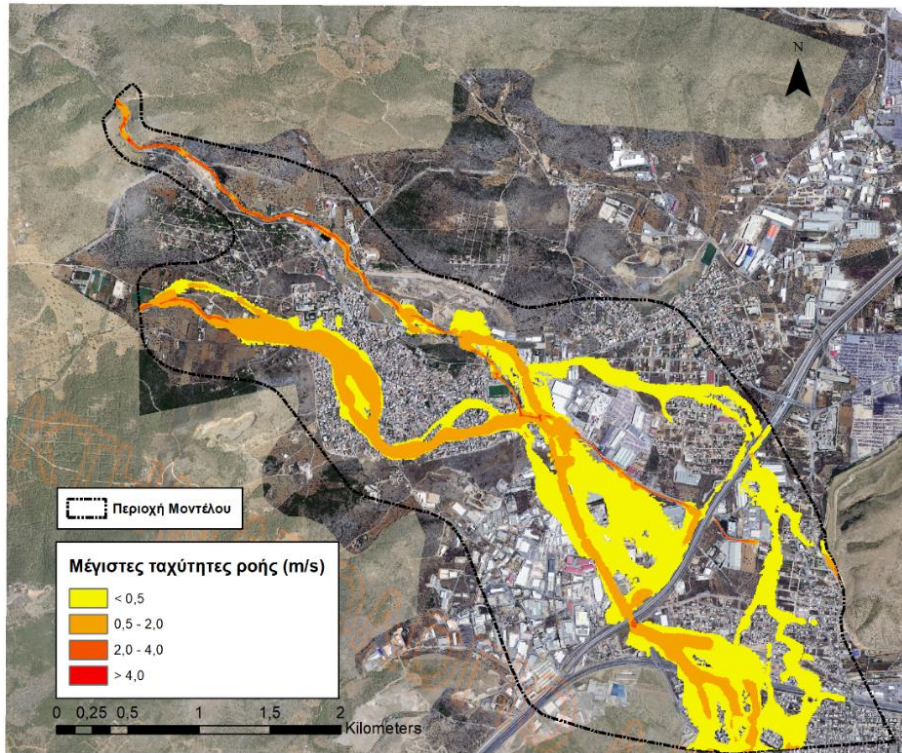
Σχήμα 8.7: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ2 και Σ2Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.) (μπλε και κίτρινες περιοχές: χωρίς αντιπλημμυρικά έργα, κίτρινες περιοχές: με αντιπλημμυρικά έργα)



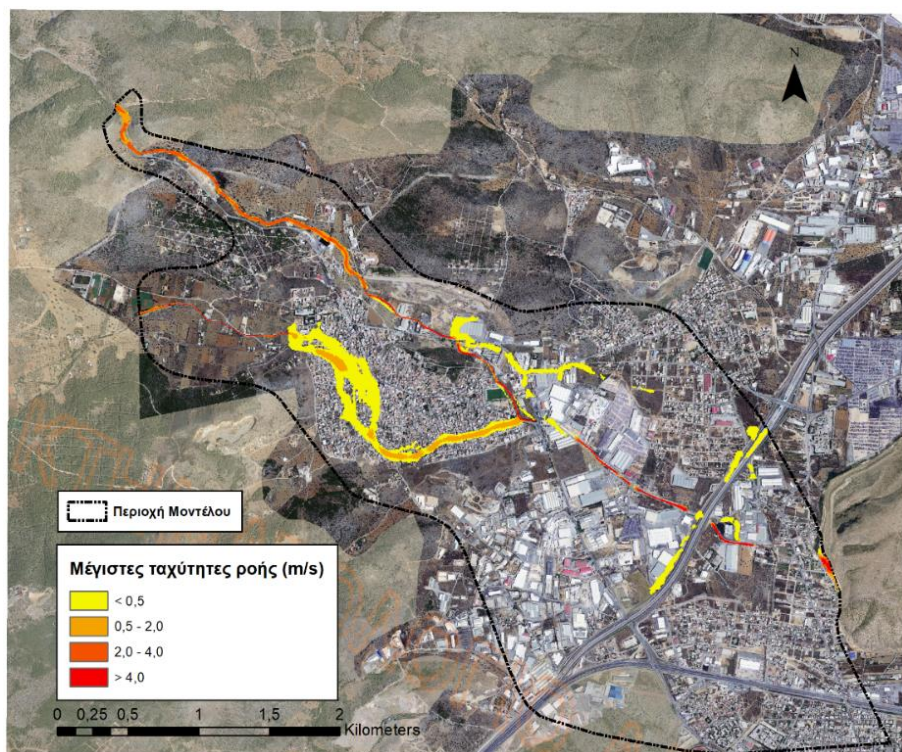
Σχήμα 8.8: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ2 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



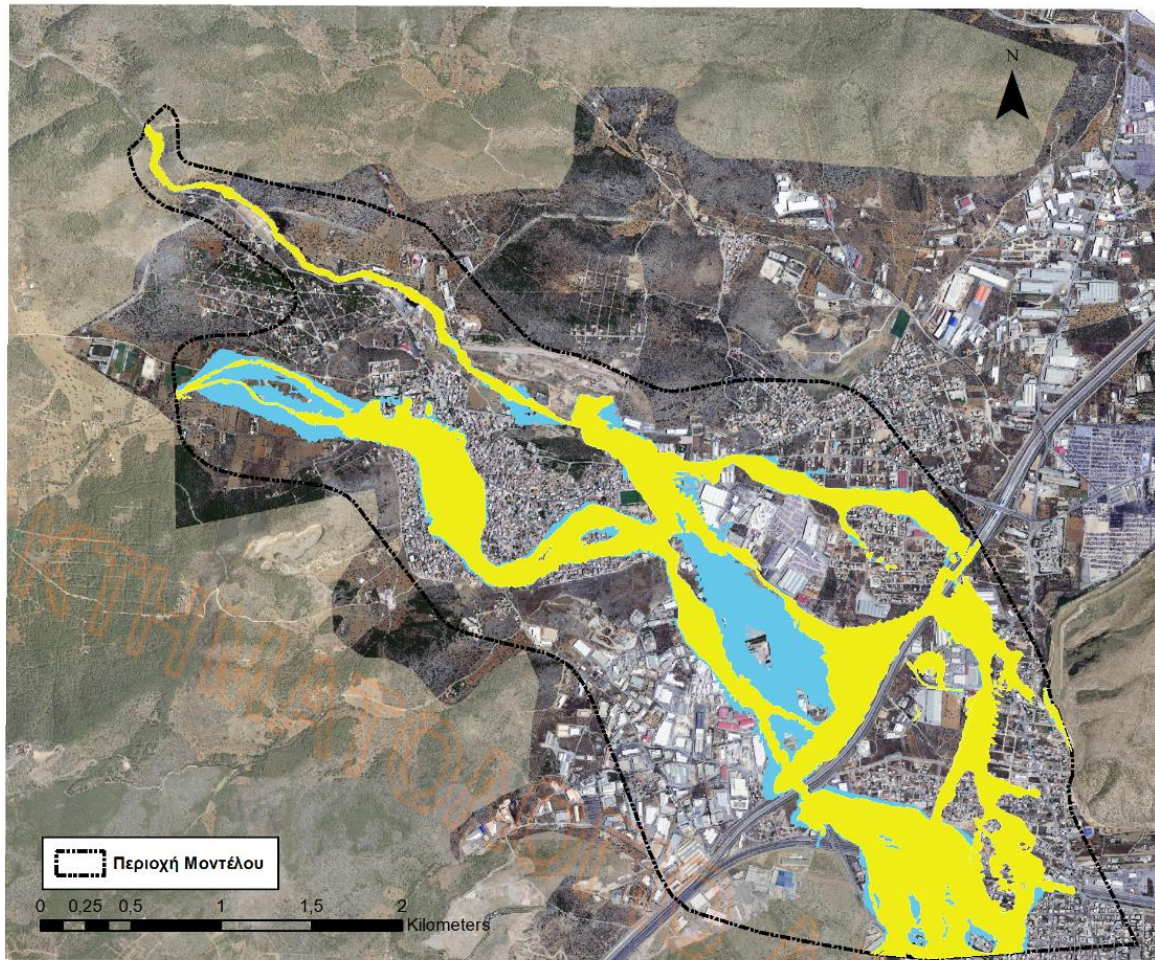
Σχήμα 8.9: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ2Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



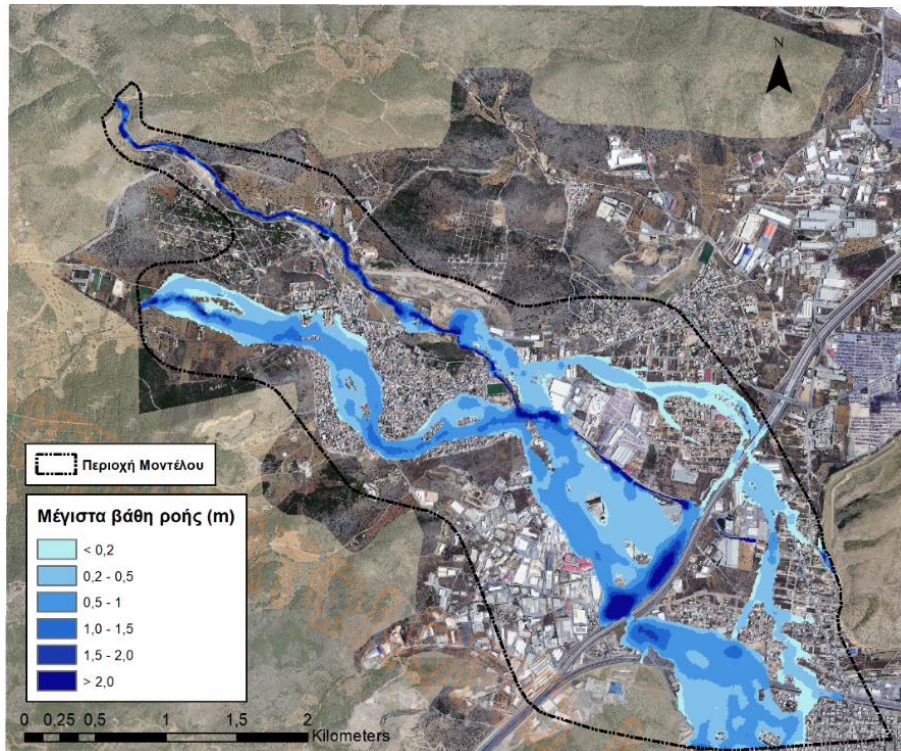
Σχήμα 8.10: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ2 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



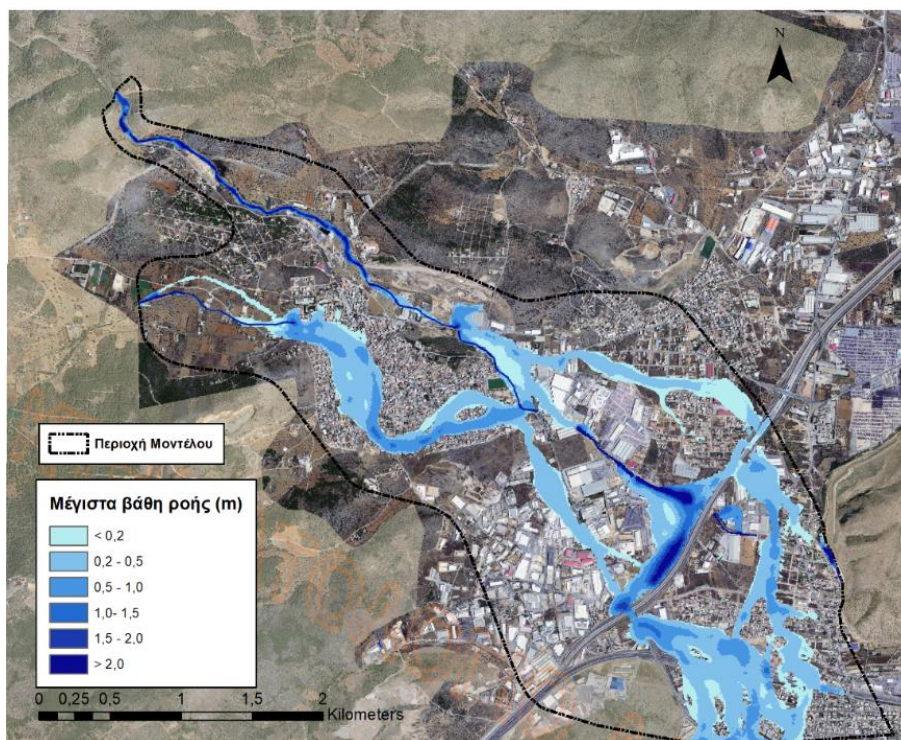
Σχήμα 8.11: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ2Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



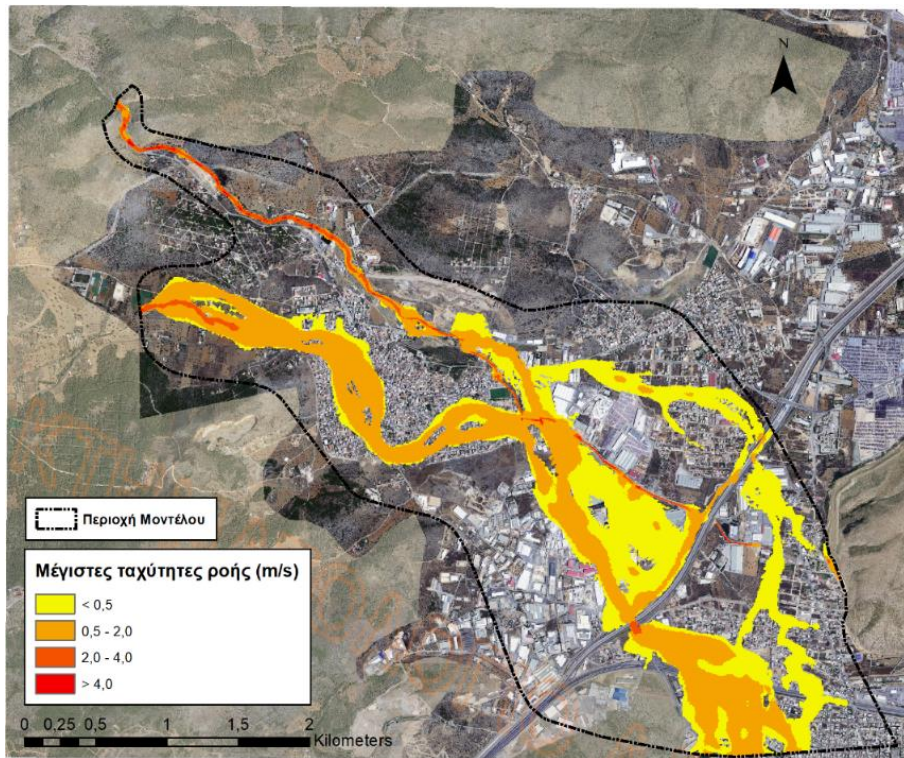
Σχήμα 8.12: Περιοχές κατάκλυσης για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)
(μπλε και κίτρινες περιοχές: χωρίς αντιπλημμυρικά έργα, κίτρινες περιοχές: με αντιπλημμυρικά
έργα)



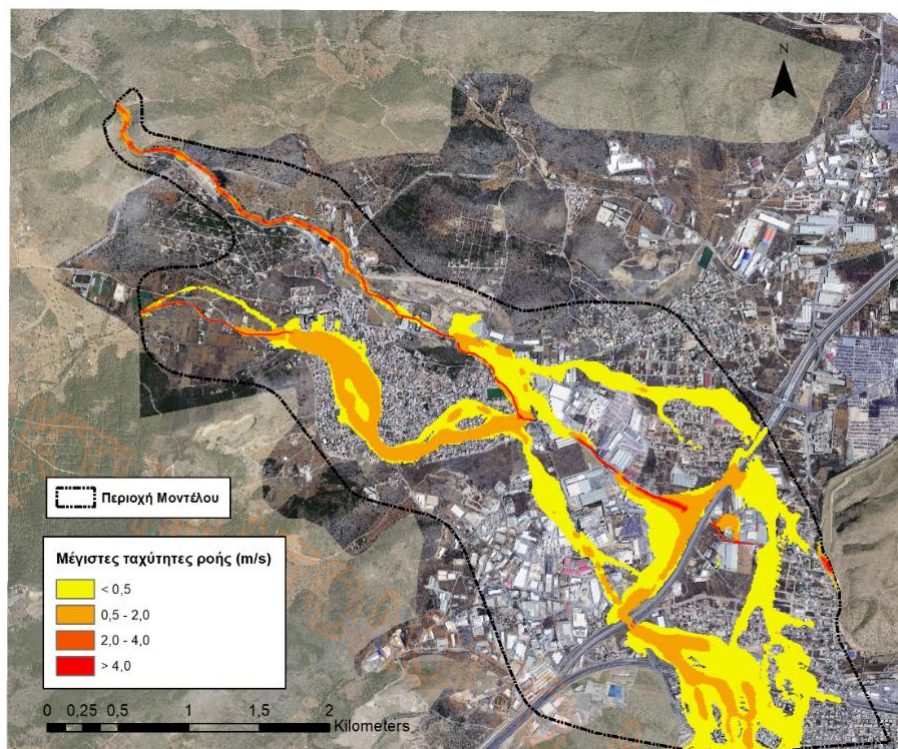
Σχήμα 8.13: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ3 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



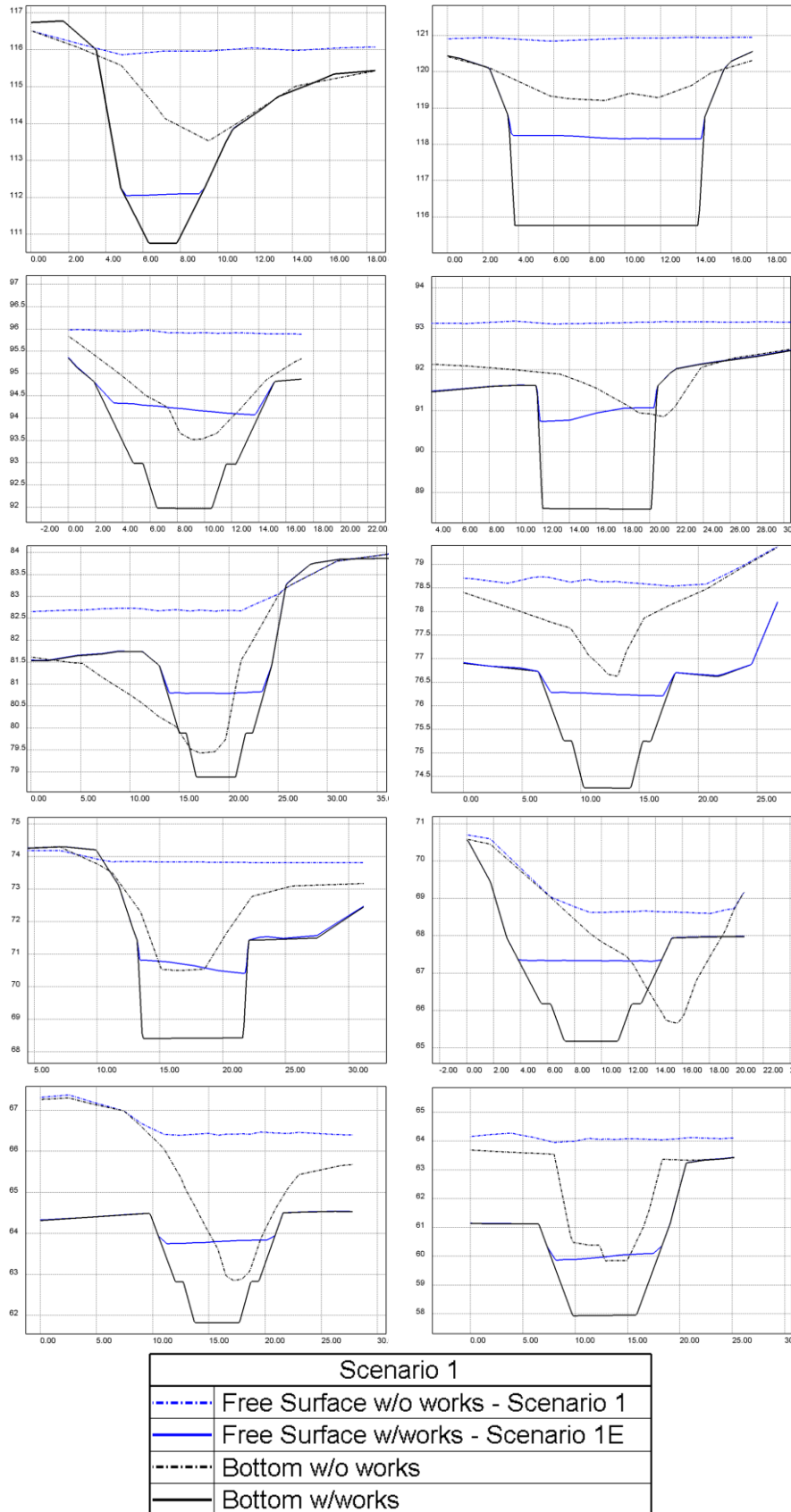
Σχήμα 8.14: Μέγιστα βάθη ροής για το σενάριο Σ3Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.15: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ3 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

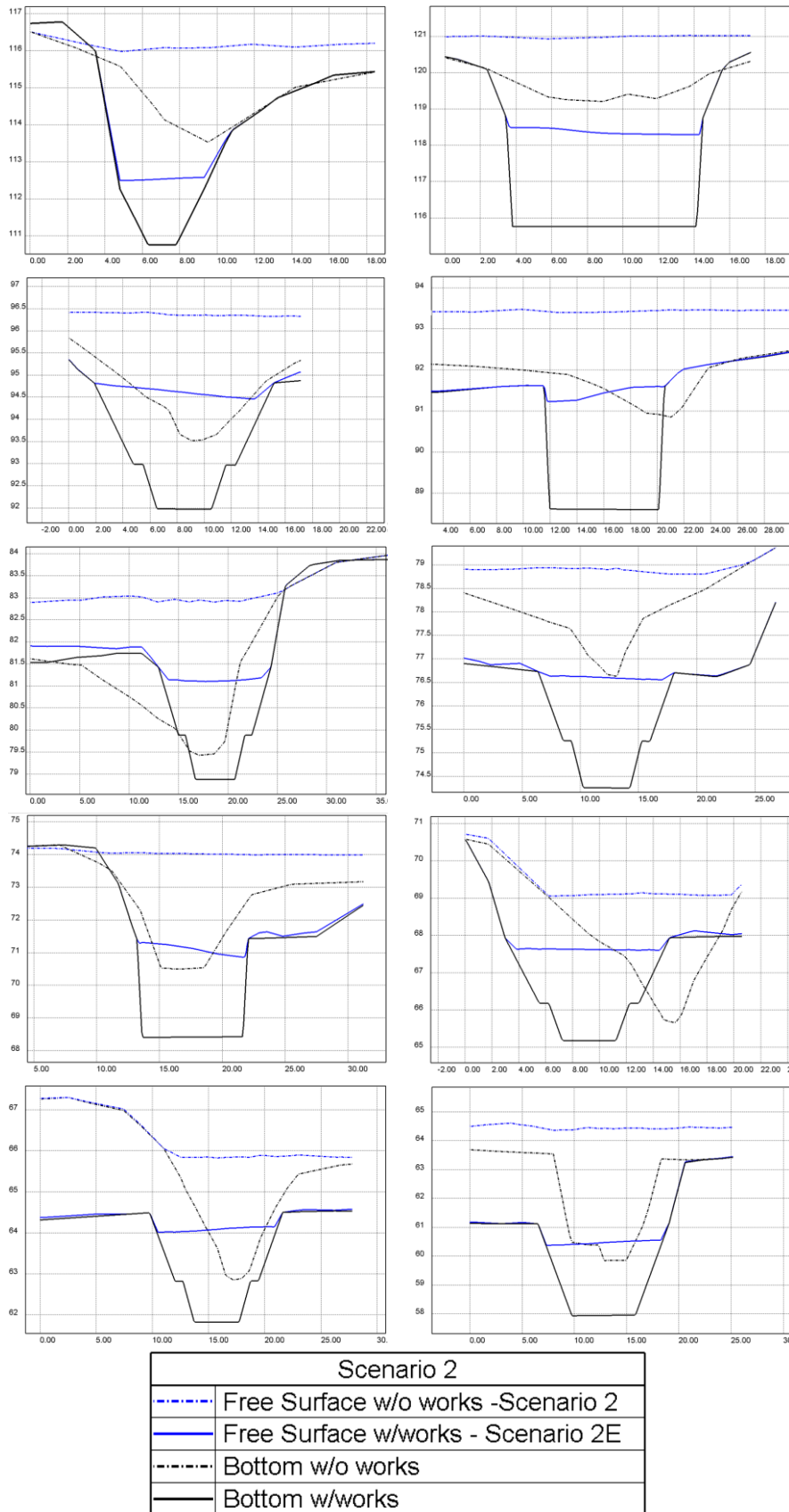


Σχήμα 8.16: Μέγιστες ταχύτητες ροής για το σενάριο Σ3Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



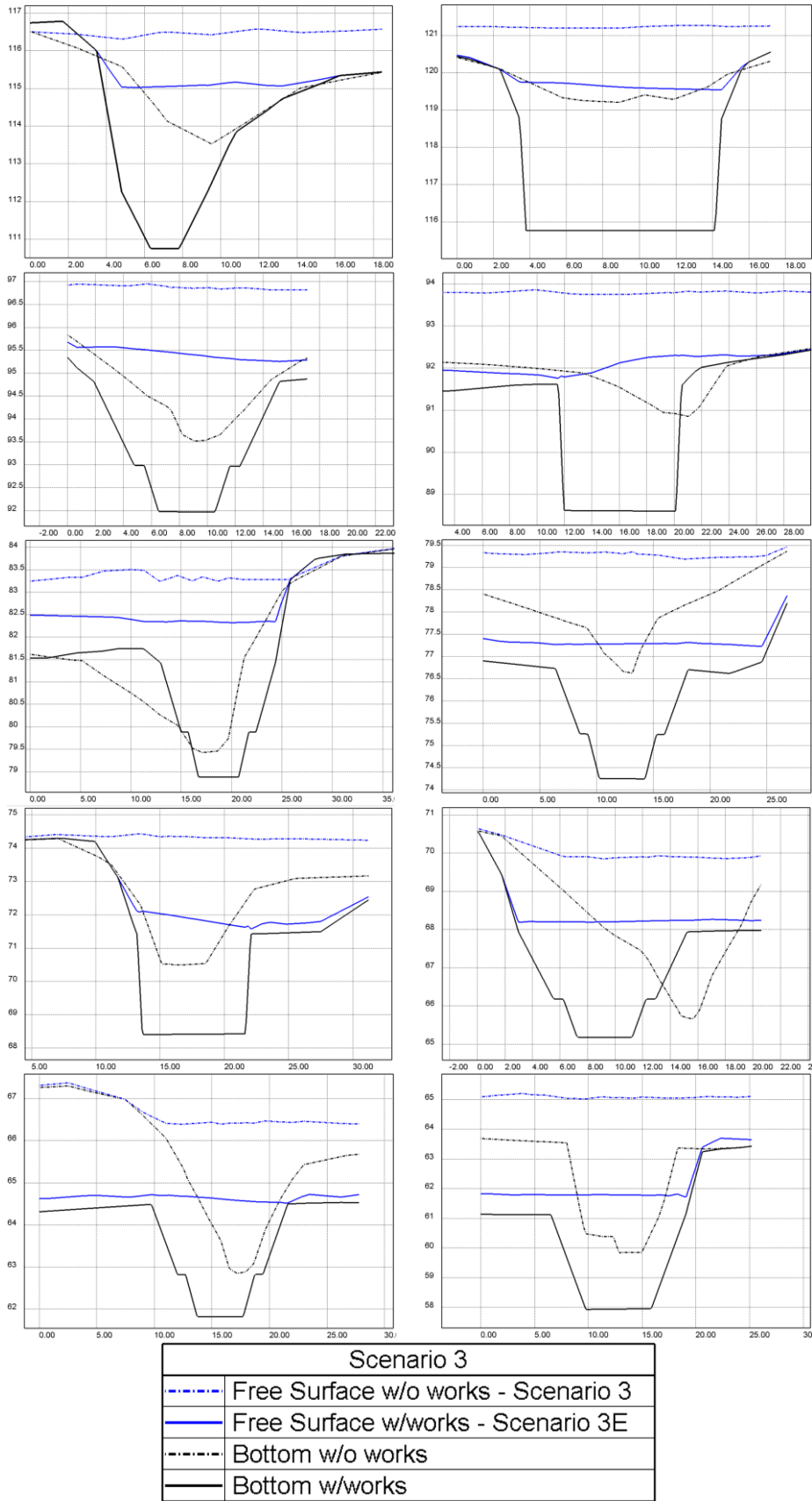
Σχήμα 8.17: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



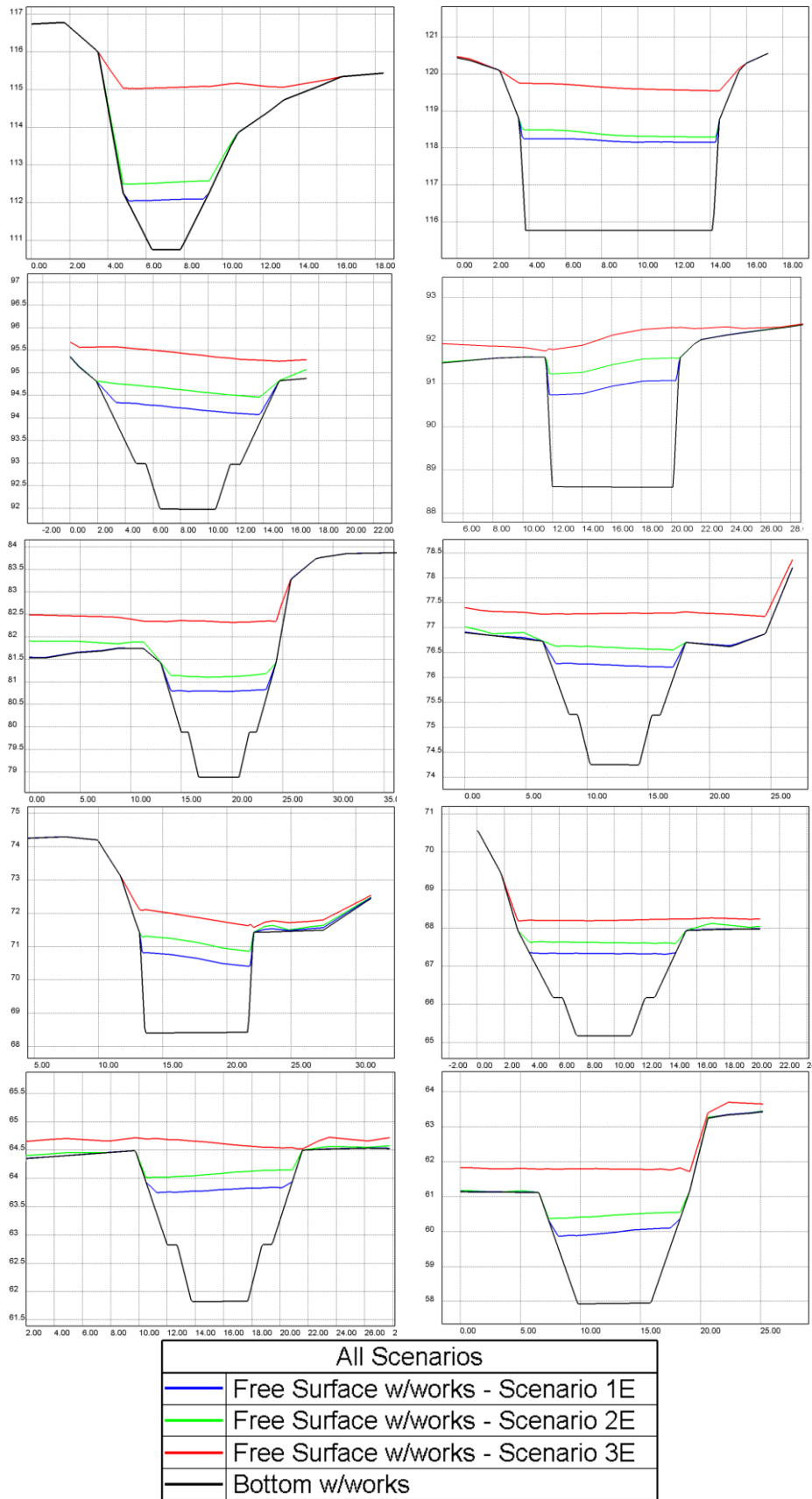
Σχήμα 8.18: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ2 και Σ2Ε

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



Σχήμα 8.19: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



Σχήμα 8.20: Διατομές πυθμένα και ελεύθερης επιφάνειας νερού για τα σενάρια Σ1Ε, Σ2Ε και Σ3Ε

8.1.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

8.1.2.1 Σενάρια προσομοίωσης Σ1 και Σ1Ε

Στο Σχήμα 8.2 όπου γίνεται η σύγκριση των κατακλυσμένων περιοχών λόγω πλημμύρας γίνεται εύκολα αντιληπτή η διαφορά της πλημμυρισμένης έκτασης για τα δύο σενάρια, Σ1 και Σ1Ε.

Συγκεκριμένα, στο σενάριο Σ1, η έλλειψη των αντιπλημμυρικών έργων είναι εμφανής. Η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη κατευθύνεται ανατολικά και πλημμυρίζει την πόλη της Μάνδρας. Στη φυσική κοίτη του χ. Σούρες φαίνεται πως τα τεχνικά έργα (οχετοί) υπερχειλίζουν, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν η αστική και βιομηχανική περιοχή αριστερά του χ. Σούρες. Επίσης το νερό καλύπτει τις βιομηχανικές περιοχές ανάντη και κατάντη της Αττικής Οδού, καθώς και τμήμα της αστικής περιοχής κατάντη αυτής (οικισμός Παπακώστα και εργατικές κατοικίες).

Για την περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων, σενάριο Σ1Ε, τα αντιπλημμυρικά έργα φαίνεται να λειτουργούν ικανοποιητικά. Ο κατασκευασμένος αγωγός εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνη διοχετεύει μέρος της παροχής προς τη διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες, ενώ η υπόλοιπη οδηγείται μέσω της διευθετημένης κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνης προς τον αγωγό Κοροπούλη, στο βορειοδυτικό όριο της πόλης.

Στο Σ1 η πλημμυρισμένη έκταση είναι ίση με 2.30 km². Στο Σ1Ε η έκταση είναι ίση με 0.04 km² και περιορίζεται στο τμήμα από την είσοδο του χ. Σούρες στο μοντέλο έως την αρχή των έργων της διευθέτησης αυτού.

Παροχές

Για το Σ1, η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη (57 m³/s) οδηγείται προς την πόλη της Μάνδρας, όπου μόνο το 22% της παροχής αυτής (περίπου 13 m³/s) εισέρχεται στον αγωγό Κοροπούλη.

Η παροχή που καταλήγει στον χ. Σαρανταπόταμο είναι ίση με 68 m³/s, δηλαδή το 66% της συνολικής παροχής εισόδου στην περιοχή μελέτης.

Στο σενάριο προσομοίωσης Σ1Ε η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη μοιράζεται μέσω του έργου κεφαλής – μερισμού. Ο αγωγός εκτροπής παραλαμβάνει 42 m³/s. Τα υπόλοιπα 15 m³/s διοχετεύονται προς τη διευθετημένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη, όπου και εισέρχονται στον αγωγό Κοροπούλη και στη συνέχεια εκβάλλουν στη διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες.

Βάθη ροής

Για το σενάριο Σ1 τα μέγιστα βάθη που αναπτύσσονται είναι:

- Εντός της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες εμφανίζονται μέγιστα βάθη 4.70 m, τα οποία παρατηρούνται στα τμήματα ανάντη και κατάντη των τεχνικών έργων (οχετών).
- Στην αστική περιοχή της πόλης της Μάνδρας το μέγιστο βάθος που εμφανίζεται είναι ίσο με 1.40 m.
- Στη βιομηχανική ζώνη είναι ίσο με 2.40 m, και συγκεκριμένα εμφανίζεται στο σημείο ανάντη του ανισόπεδου κόμβου της Αττικής με την Παλαιά Εθνική Οδό Ελευσίνας Θήβας (ΠΕΟΕΘ).

Για το Σ1Ε, ισχύουν τα εξής:

- Εντός της διευθετημένης κοίτης του χ. Σούρες τα βάθη κυμαίνονται από 1.50 έως 3.16 m. Το μέγιστο βάθος εντοπίζεται στο τμήμα κατάντη της εκβολής του αγωγού εκτροπής του χ. Αγ. Αικατερίνη.

Να σημειωθεί πως τα βάθη ροής που προκύπτουν από την υδροδυναμική ανάλυση για τη διευθέτηση του χ. Σούρες ανταποκρίνονται αρκετά στα βάθη που υπολογίζονται σύμφωνα με τη μελέτη.

Παρατηρείται βέβαια, πως στα τμήματα της διευθέτησης του χ. Σούρες, που βρίσκονται ενδιάμεσα των τεχνικών έργων (οχετών) 2, 3α και 3β, τα βάθη που υπολογίζονται από το μοντέλο είναι αυξημένα σε σχέση με αυτά της μελέτης.

Επιπλέον παρατηρείται ανύψωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας ακριβώς ανάντη και κατάντη όλων των οχετών, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την υπερχειλίση της ροής, με τη διαφυγή κάποιας ποσότητας νερού.

Ταχύτητες ροής

Οι μέγιστες ταχύτητες που υπολογίζονται από το μοντέλο και εντοπίζονται στις διάφορες περιοχές είναι οι εξής. Για το σενάριο Σ1,

- Εντός των κατοικημένων περιοχών η μέγιστη ταχύτητα είναι ίση με 1.60 m/s.
- Εντός των βιομηχανικών περιοχών είναι ίση με 3.33 m/s. Η ταχύτητα αυτή αναπτύσσεται πάνω στην Παλαιά Εθνική Οδό (ΠΕΟΕΘ), στο τμήμα που βρίσκεται ανάντη της Αττικής Οδού.
- Στη φυσική κοίτη του χ. Σούρες η μέγιστη ταχύτητα είναι 6.50 m/s.

Για το σενάριο Σ1Ε σημειώνεται πως,

- Στα τμήματα της διευθέτησης του χ. Σούρες, οι μέγιστες ταχύτητες που αναπτύσσονται, κυμαίνονται από 7.95 έως 8.23 m/s. Στο τμήμα της διευθέτησης, ανάμεσα στους οχετούς 2 και 3α, η μέγιστη ταχύτητα όμως είναι ίση με 4.90 m/s.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκύπτει από την εξέταση του Σχήματος 8.17, στο οποίο συγκρίνεται ο πυθμένας και η ελεύθερη επιφάνεια για τις δύο περιπτώσεις του Σεναρίου 1.

Για την περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων φαίνεται πως η διευθετημένη κοίτη μπορεί να παραλάβει το σύνολο της παροχής εισόδου των δύο χειμάρρων, ίση με 91.0 m³/s (παροχή σχεδιασμού). Αντιθέτως, στην περίπτωση μη ύπαρξης των έργων, σενάριο Σ1, η διατομή της φυσικής κοίτης είναι ανεπαρκής και υπερχειλίζει ακόμα και για την παροχή των 44.0 m³/s.

8.1.2.2 Σενάρια προσομοίωσης Σ2 και Σ2Ε

Για την περίπτωση του σεναρίου Σ2, η εικόνα της πλημμυρικής έκτασης είναι παρόμοια με ου σεναρίου Σ1.

Όσον αφορά το σενάριο Σ2Ε, παρά την παρουσία των αντιπλημμυρικών έργων τα οποία θεωρούνται ικανά να παραλάβουν την συνολική παροχή εισόδου, παρατηρείται υπερχειλίση της ροής.

Τα σημεία στα οποία παρατηρείται υπερχειλίση της ροής είναι η είσοδος του αγωγού Κοροπούλη, το τμήμα του χ. Σούρες κατάντη της εκβολής του αγωγού εκτροπής, καθώς και οι θέσεις των οχετών 2 και 3α επί της διευθετημένης κοίτης του χ. Σούρες. Ακόμα υπερχειλίζει η ροή στα τμήματα της διευθέτησης του χ. Σούρες, ανάντη των οχετών 2 και 3α, ενώ ο οχετός 1 φαίνεται να παραλαμβάνει το συνολικό όγκο νερού ανάντη αυτού και να τον διοχετεύει προς τα κατάντη.

Η έκταση της πλημμύρας για το σενάριο Σ2 είναι ίση με 2.69 km², αρκετά μεγαλύτερη από την έκταση των 0.46 km² που αντιστοιχούν στο σενάριο Σ2Ε.

Παροχές

Στην περίπτωση του σεναρίου Σ2, ο αγωγός Κοροπούλη παροχετεύει παροχή ίση με 17 m³/s περίπου. Η παροχή που οδηγείται στον χ. Σαρανταπόταμο μέσω της τεχνητής κοίτης του χ. Σούρες είναι ίση μόλις με 61 m³/s, ενώ η υπόλοιπη παροχή (79 m³/s) εξέρχεται από την περιοχή μελέτης από το νοτιοανατολικό όριο (4) προς την πόλη της Ελευσίνας.

Στο σενάριο Σ2Ε, η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη μερίζεται σε $43 \text{ m}^3/\text{s}$, που οδηγούνται στον χ. Σούρες μέσω του αγωγού εκτροπής, και σε $27 \text{ m}^3/\text{s}$, τα οποία οδεύουν στον αγωγό Κοροπούλη μέσω της διευθετημένης κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη.

Ο αγωγός Κοροπούλη παροχετεύει παροχή ίση μόλις με $13.0 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ η υπόλοιπη παροχή πλημμυρίζει την πόλη της Μάνδρας. Η παροχή του αγωγού Κοροπούλη, καθώς και η παροχή που διέρχεται μέσω της πόλης εκβάλλει στη διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες και στη συνέχεια οδηγείται μέσω του οχετού 1 και την τεχνητής κοίτης του χ. Σούρες κατάντη, προς τον χ. Σαρανταπόταμο.

Βάθη ροής

Για τα μέγιστα βάθη ροής για το Σ2 ισχύουν:

- Τα μέγιστα βάθη εντός της πόλης της Μάνδρας είναι ελαφρώς μεγαλύτερα σε σχέση με του Σ1. Συγκεκριμένα το μέγιστο βάθος που εμφανίζεται είναι ίσο με 1.50 m .
- Στις αστικές περιοχές κατάντη της Αττικής Οδού (οικισμός Παπακώστα και εργατικές κατοικίες) το βάθος φτάνει το 1.60 m .
- Στη βιομηχανική περιοχή ανάντη της Αττικής Οδού το βάθος είναι ίσο με 3.30 m και εμφανίζεται στο σημείο ανάντη του ανισόπεδου κόμβου της ΠΕΟΕΘ και Αττικής Οδού.
- Αριστερά της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες το βάθος δε ξεπερνά τα 1.30 m .
- Εντός της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες το μέγιστο βάθος φτάνει τα 5.50 m . Τα βάθη αυτά εντοπίζονται στα τμήματα πριν τις εισόδους των οχετών που υπάρχουν επί της κοίτης.
- Στη διαμορφωμένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη το βάθος φτάνει τα 2.20 m . Από το σημείο που η κοίτη εκφυλίζεται μέχρι και το όριο εισόδου στην πόλη, το βάθος ροής φτάνει το 1.00 m .

Στο σενάριο Σ2Ε:

- το μέγιστο βάθος εντός της πόλης είναι ίσο με 1.00 m .
- Στις υπόλοιπες περιοχές που πλημμυρίζουν, το βάθος ροής δε ξεπερνά τα 0.70 m .
- Εντός της διευθετημένης κοίτης του χ. Σούρες το βάθος δε ξεπερνά τα 3.00 m , εξαιρουμένων των περιοχών των οχετών, όπου το βάθος ξεπερνά τα 4.00 m , με αποτέλεσμα την υπερχειλίση της ροής.
- Το βάθος στη διευθετημένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη κυμαίνεται από 1.50 έως 1.80 m .

Ταχύτητες ροής

Στο σενάριο Σ2 οι μέγιστες ταχύτητες που αναπτύσσονται είναι:

- 5.6 m/s εντός της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες
- Περίπου ίσες με 4.0 m/s εντός της κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη.
- Πριν το βορειοδυτικό όριο της πόλης η ταχύτητα φτάνει τα 2.0 m/s .
- Εντός της πόλης της Μάνδρας η ταχύτητα φτάνει τα 1.7 m/s .
- Στις βιομηχανικές ζώνες η μέγιστη ταχύτητα που εντοπίζεται είναι ίση με 2.8 m/s .
- Αριστερά της όχθης του χ. Σούρες, εντός των βιομηχανικών περιοχών, η ταχύτητα έχει τιμή ίση με 3.6 m/s .

Για το σενάριο Σ2Ε:

- Εντός της διευθέτησης του χ. Σούρες η ταχύτητα φτάνει τα 10.0 m/s .
- Στη διευθετημένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη φτάνει τα 6.0 m/s .
- Εντός της πόλης της Μάνδρας η μέγιστη ταχύτητα που εμφανίζεται είναι ίση με 1.1 m/s .
- Στη βιομηχανική περιοχή αριστερά της όχθης του χ. Σούρες οι ταχύτητες δε ξεπερνάνε το 1.0 m/s .

8.1.2.3 Σενάρια προσομοίωσης Σ3 και Σ3Ε

Αναλύοντας τα αποτελέσματα του σεναρίου Σ3, προκύπτει πως το πλημμυρικό κύμα περνά το βορειοδυτικό όριο της πόλης της Μάνδρας την ώρα 06:05. Η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη διέρχεται μέσα από την πόλη και χύνεται εντός της κοίτης του χ. Σούρες, στη συμβολή με την οδό Κοροπούλη. Το τεχνικό κατάντη της συμβολής αδυνατεί να παραλάβει την παροχή, με αποτέλεσμα να πλημμυρίζει η βιομηχανική ζώνη, με το νερό να κινείται και προς τον οικισμό Παπακώστα και τις εργατικές κατοικίες. Ταυτόχρονα υπερχειλίζουν οι οχετοί, που βρίσκονται εντός του χ. Σούρες, και η ροή οδηγείται στις παράπλευρες περιοχές. Η μέγιστη πλημμυρική κατάκλυση σημειώνεται 4 ώρες μετά την είσοδο των πρώτων παροχών του υδρογραφήματος από τα ανάντη όρια εισόδου.

Στην περίπτωση του σεναρίου Σ3Ε, παρά την ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων, η πλημμυρική παροχή εισέρχεται εντός της πόλης και η έκταση της πλημμύρας προσεγγίζει αυτή του σεναρίου Σ3.

Ο αγωγός Κοροπούλη δε μπορεί να παραλάβει την πλημμυρική παροχή που οδηγείται μέσω της διευθέτησης του χ. Αγ. Αικατερίνη προς την πόλη και υπερχειλίζει. Επίσης υπερχείλιση παρατηρείται ήδη από το έργο κεφαλής – μερισμού.

Οι οχετοί της διευθέτησης του χ. Σούρες υπερχειλίζουν. Ο οχετός, που περνάει κάτω από την Αττική Οδό, αδυνατεί να παραλάβει τη συνολική παροχή, με αποτέλεσμα τη διόδευση της παροχής προς τις βιομηχανικές περιοχές ανάντη και κατάντη της Αττικής Οδού.

Η μέγιστη πλημμυρική έκταση για το Σ3 είναι ίση με 3.13 km². Για το σενάριο Σ3Ε η πλημμυρισμένη έκταση είναι σαφώς μεγαλύτερη από τα σενάρια Σ1Ε και Σ2Ε, και ίση με 2.46 km².

Παροχές

Η παροχή που εισέρχεται από το σημείο εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη (160 m³/s) οδηγείται μέσα από την πόλη της Μάνδρας και καταλήγει στη συμβολή της οδού Κοροπούλη με τον χ. Σούρες. Μόλις 12 m³/s παροχετεύονται από τον αγωγό Κοροπούλη.

Η μέγιστη παροχή που εξέρχεται από την περιοχή μελέτης από τον χ. Σαρανταπόταμο είναι ίση με 70 m³/s. Η παροχή που εξέρχεται από το νοτιοανατολικό όριο (4) της Ελευσίνας είναι περίπου ίση με 170 m³/s.

Για το σενάριο Σ3Ε, η παροχή εισόδου του χ. Αγ. Αικατερίνη μερίζεται σε 60 m³/s προς τον αγωγό εκτροπής και τα υπόλοιπα 100 m³/s οδηγούνται προς την Μάνδρα. Ο αγωγός Κοροπούλη παραλαμβάνει περίπου 12 m³/s και τα υπόλοιπα 88 m³/s διέρχονται μέσω της πόλης.

Η παροχή, κατάντη της εκβολής του αγωγού εκτροπής στον χ. Σούρες, είναι ίση με 188 m³/s.

Τέλος η παροχή που εξέρχεται από το νοτιοανατολικό όριο της περιοχής (4) είναι ίση με 77 m³/s.

Βάθη ροής

Στο σενάριο Σ3 τα μέγιστα βάθη είναι:

- Εντός της πόλης και επί της οδού Κοροπούλη, το βάθος κυμαίνεται γύρω στα 1.3 m, ενώ σε σημεία φτάνει τα 2.0 m.
- Εντός της βιομηχανικής ζώνης το μέγιστο βάθος που αναπτύσσεται είναι ίσο με 4.8 m και εντοπίζεται ανάντη του ανισόπεδου κόμβου ΠΕΟΕΘ και Αττικής Οδού.
- Αριστερά της όχθης του χ. Σούρες το βάθος φτάνει τα 1.7 m, στο ύψος της βιομηχανίας Βακόντιος ΑΕΒΕ.
- Τα μέγιστα βάθη εντός της κοίτης του χ. Σούρες ίσα με 6.3 m.
- Εντός της κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη είναι 3.1 m. Κατάντη της διαμορφωμένης κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη το βάθος δε ξεπερνά το 1.0 m εκτός από σημεία που φτάνει το 1.5 m.

Για το σενάριο Σ3Ε:

- Στη διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες τα βάθη κυμαίνονται από ελάχιστο 2.8 m και μέγιστο 5 m, όπου και η ροή υπερχειλίζει. Τα μεγάλα βάθη εντοπίζονται στα τμήματα ανάντη και κατάντη των οχετών.
- Το μέγιστο βάθος στη διευθετημένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη φτάνει τα 4.8 m.
- Εντός του οικισμού το βάθος φτάνει τα 1.6 m και σε ορισμένα σημεία επί της Κοροπούλη φτάνει τα 1.9 m.
- Στις υπόλοιπες αστικές περιοχές το βάθος δε ξεπερνά το 1.0 m.
- Στις βιομηχανικές περιοχές τα βάθη κυμαίνονται από 0.2 έως 0.8 m, εκτός από τη περιοχή ανάντη του ανισόπεδου κόμβου όπου τα βάθη κυμαίνονται από 0.80 έως 2.70 m.

Ταχύτητες ροής

Τέλος οι μέγιστες ταχύτητες για το σενάριο Σ3:

- Εντός της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες οι ταχύτητες φτάνουν τα 5.50 m/s.
- Στη διαμορφωμένη φυσική κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη η μέγιστη ταχύτητα είναι ίση με 4.40 m/s.
- Στην εκφυλισμένη κοίτη του χ. Αγ. Αικατερίνη οι ταχύτητες αγγίζουν κατά τόπους τα 1.9 m/s.
- Εντός της πόλης οι ταχύτητες πλησιάζουν τα 2.2 m/s επί της οδού Κοροπούλη, κυμαίνονται κυρίως όμως γύρω στα 1.5 m/s.
- Στις βιομηχανικές περιοχές οι ταχύτητες κυμαίνονται από 0.8 έως 2.0 m/s.
- Μεγάλη τιμή ταχύτητας αναπτύσσεται εντός της βιομηχανικής περιοχής στον ανισόπεδο κόμβο, ίση με 5.0 m/s.

Για το σενάριο Σ3Ε

- Οι ταχύτητες εντός της διευθετημένης κοίτης του χ. Αγ. Αικατερίνη φτάνουν τα 7.0 m/s.
- Εντός της διευθετημένης κοίτης του χ. Σούρες οι μέγιστες ταχύτητες που αναπτύσσονται έχουν τιμή περίπου 9.30 m/s.
- Στην πόλη της Μάνδρας η μέγιστη ταχύτητα φτάνει τα 1.9 m/s.
- Ανάντη του ανισόπεδου κόμβου η ταχύτητα ροής φτάνει τα 3.0 m/s.
- Στις υπόλοιπες βιομηχανικές περιοχές οι ταχύτητες δε ξεπερνούν τα 1.3 m/s.
- Αριστερά του οχετού 4 της διευθέτησης χ. Σούρες αναπτύσσεται ταχύτητα με τιμή 2.3 m/s.

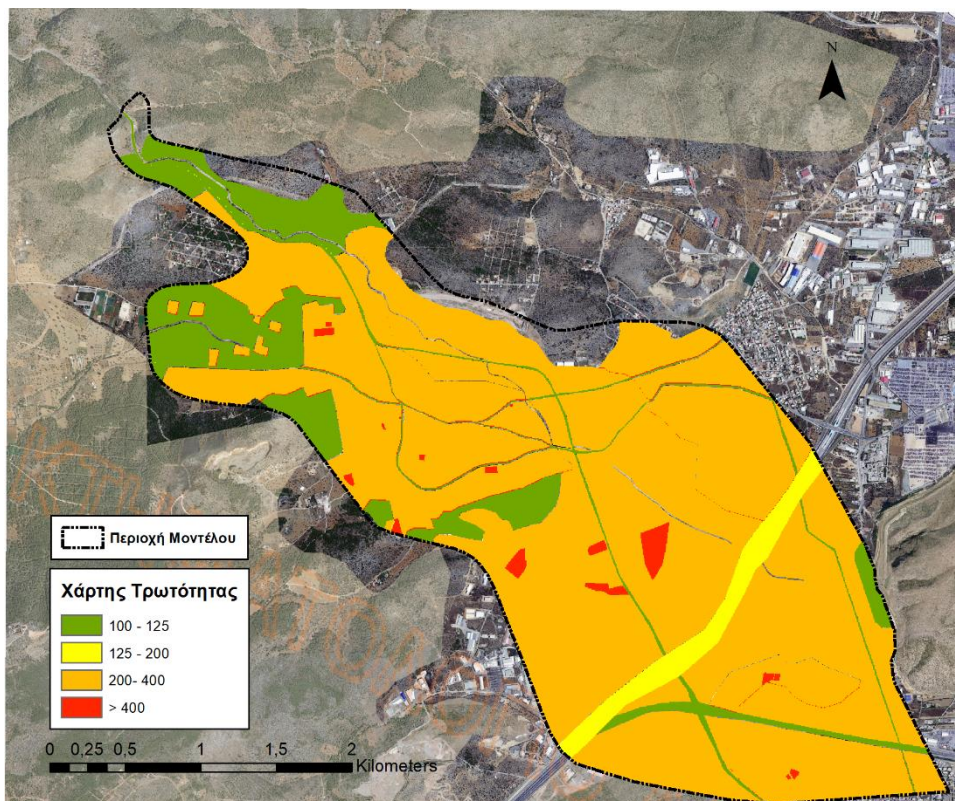
8.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Η εκτίμηση της τιμής της τρωτότητας γίνεται σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3. Η τρωτότητα αποτελεί το άθροισμα των μέγιστων δυνητικών επιπτώσεων της κάθε χρήσης σε περίπτωση πλημμύρας και είναι ανεξάρτητη της έντασης της πλημμύρας.

8.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Στο Σχήμα 8.21 παρουσιάζεται ο Χάρτης Τρωτότητας που έχει δημιουργηθεί βάσει των στοιχείων των χρήσεων της περιοχής που εξετάζεται.

Η κλάση της τρωτότητας προσδιορίζεται από τη σοβαρότητα της επίπτωσης και σημειώνεται στον χάρτη με διαφορετικό χρώμα. Η πολύ υψηλή κλάση τρωτότητας σημειώνεται με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 8.21: Χάρτης Τρωτότητας (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

8.2.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

Ο Χάρτης Τρωτότητας που προκύπτει για τις δύο καταστάσεις, με την ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων και χωρίς, είναι ίδιος. Η μοναδική διαφορά σημειώνεται ως προς την έκταση της κοίτης των χειμάρρων που διατρέχουν την περιοχή και αλλάζει λόγω της κατασκευής των έργων. Στους υπολογισμούς παρακάτω έχει χρησιμοποιηθεί ο αντίστοιχος χάρτης για το κάθε σενάριο.

Οι χρήσεις που δέχονται τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στην περίπτωση πλημμύρας είναι οι βιομηχανίες SEVESO και IPPC, όπου η τρωτότητα είναι ίση με 900. Επίσης πολύ υψηλή τρωτότητα εμφανίζουν οι κοινωνικές υποδομές και το περιφερειακό ιατρείο με τιμή 500 και το αστυνομικό τμήμα με τιμή 600. Τη χαμηλότερη τρωτότητα παρουσιάζουν οι περιοχές με αγροτικές καλλιέργειες με τιμή 100, οι οποίες έχουν μόνο οικονομική επίπτωση στην περίπτωση πλημμύρας. Οι αστικές και βιομηχανικές περιοχές ανήκουν στην υψηλή κλάση τρωτότητας, με τιμή 250 για τις βιομηχανικές και 350 για τις αστικές περιοχές.

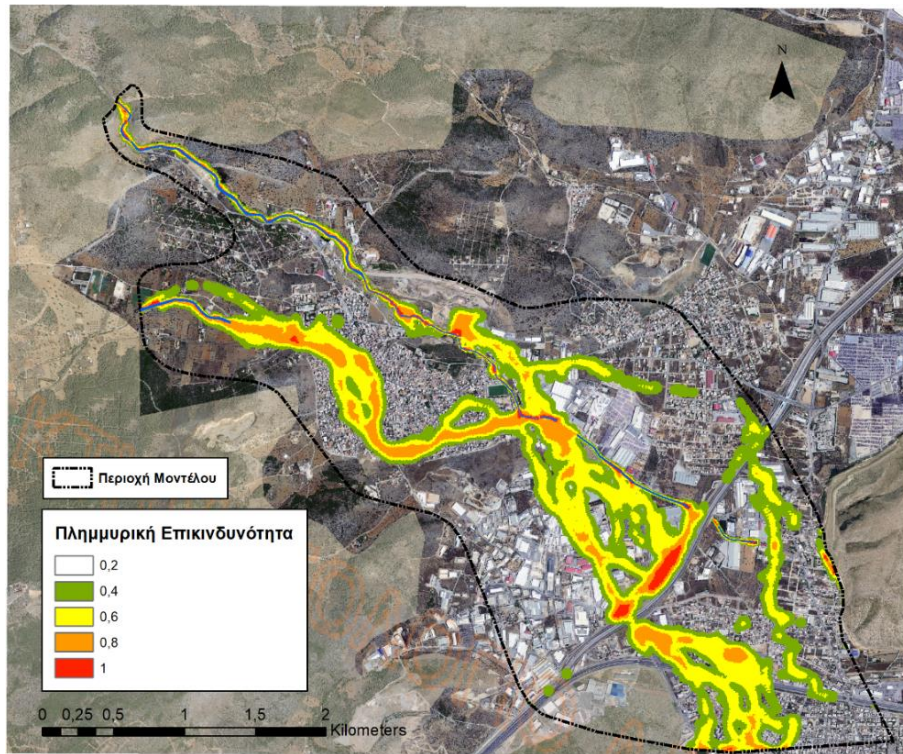
8.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Στον Χάρτη Επικινδυνότητας αποτυπώνεται η ένταση του πλημμυρικού φαινομένου. Οι τιμές που σημειώνονται στον χάρτη είναι αποτέλεσμα του κριτηρίου βάθους και ταχύτητας της ροής, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.6.

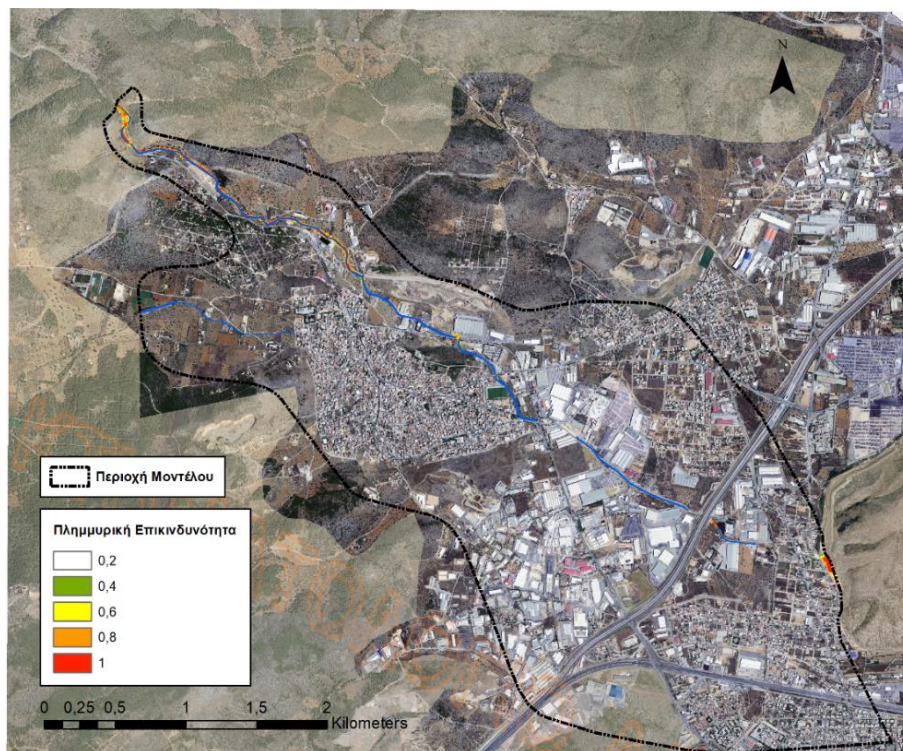
8.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Στα Σχήματα 8.22 και 8.23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε, δηλαδή για τις περιπτώσεις ύπαρξης και μη ύπαρξης έργων, όταν εφαρμόζονται οι παροχές εισόδου στα όρια. Στα Σχήματα 8.23 – 8.24 και 8.25 – 8.26 δίνονται οι Χάρτες Επικινδυνότητας και για τα υπόλοιπα σενάρια.

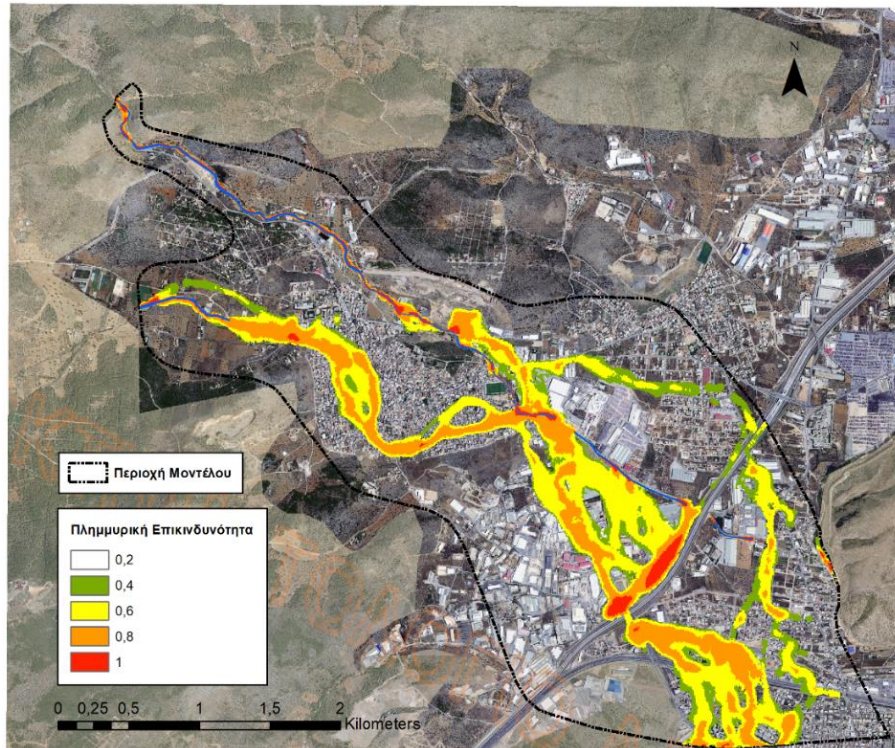
Σημειώνεται πως η επικινδυνότητα προκύπτει από το συνδυασμό του βάθους και της ταχύτητας ροής για κελί, για τη δυσμενέστερη περίπτωση. Επίσης η επικινδυνότητα ορίζεται μόνο εντός των περιοχών κατάκλυσης. Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται πολύ υψηλή επικινδυνότητα, η οποία παίρνει τιμή 1.0. Με λευκό χρώμα ορίζεται η πολύ χαμηλή επικινδυνότητα και τιμή ίση με 0.2.



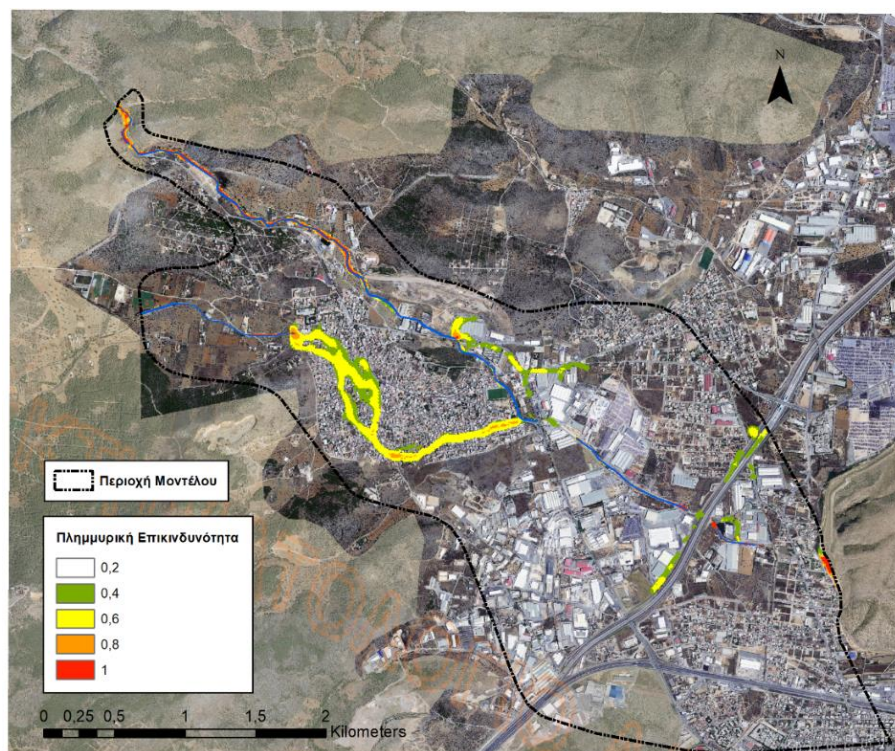
Σχήμα 8.22: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ1 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



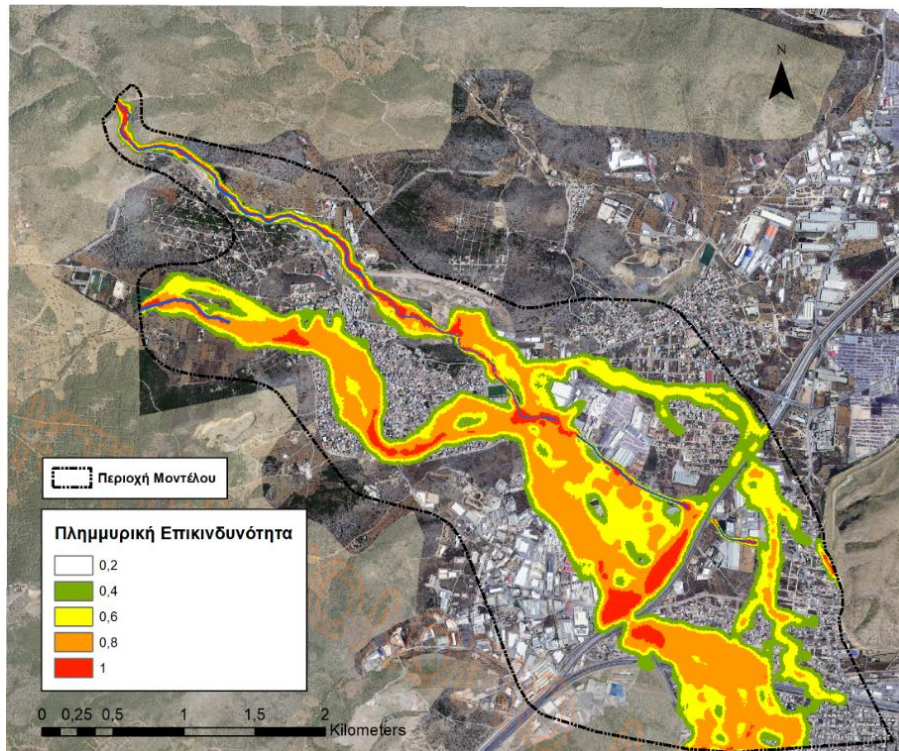
Σχήμα 8.23: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ1Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



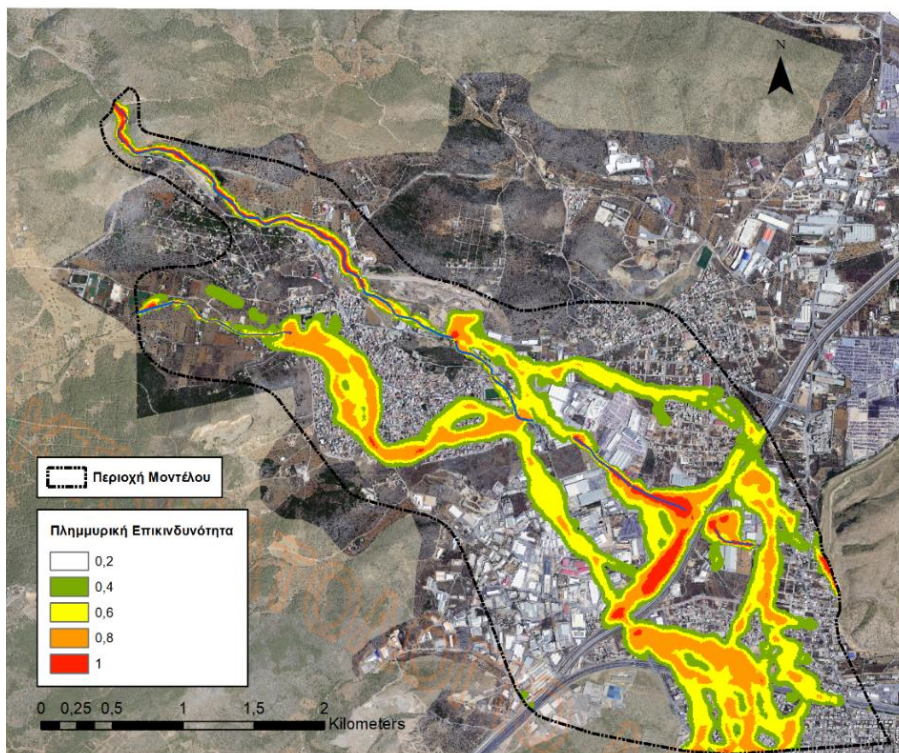
Σχήμα 8.24: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ2 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.25: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ2Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.26: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ3 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.27: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για το σενάριο Σ3Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

8.3.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Σύμφωνα με του Χάρτες Επικινδυνότητας προκύπτει πως τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας είναι λιγότερο καταστροφικά στην περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων.

Για τα σενάρια Σ1 και Σ1Ε η αποτελεσματικότητα των έργων είναι εμφανής, αφού δεν πλημμυρίζει η περιοχή της Μάνδρας.

Στο σενάριο Σ1 παρατηρείται υψηλή τιμή επικινδυνότητας στο τμήμα ανάντη της Αττικής Οδού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μεγάλο βάθος νερού που έχει δημιουργηθεί στα τμήματα αυτά.

Εντός της πόλης της Μάνδρας εκτιμάται υψηλή τιμή επικινδυνότητας ακόμα και για τις παροχές σχεδιασμού.

Επίσης υψηλή τιμή επικινδυνότητας εντοπίζεται και κατάντη του ανισόπεδου κόμβου της Αττικής Οδού, αφού οι ταχύτητες που αναπτύσσονται εκεί είναι σχετικά μεγάλες.

Για το σενάριο Σ2 ο Χάρτης Επικινδυνότητας είναι παρόμοιος με του Σ1, με ελαφρώς αυξημένες τιμές επικινδυνότητας εντός των βιομηχανικών ζωνών ανάντη και κατάντη της Αττικής Οδού. Η μέγιστη τιμή που εκτιμάται εντός της πόλης είναι ίση με 1.0

Αντιθέτως στο σενάριο Σ2Ε η μέγιστη τιμή που εκτιμάται εντός της πόλης είναι ίση με 0.6.

Για τα σενάρια Σ3 και Σ3Ε η επικινδυνότητα είναι σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια ακόμα και για την περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων. Η επικινδυνότητα βέβαια για το Σ3 είναι αρκετά μεγαλύτερη από το σενάριο Σ3Ε. Εντός της πόλης της Μάνδρας η επικινδυνότητα παίρνει τιμή 1.0, όπως επίσης και στην περιοχή ανάντη της Αττικής Οδού.

Στην περίπτωση του σεναρίου Σ3Ε η επικινδυνότητα στη βιομηχανική ζώνη ανάντη της Αττικής είναι αρκετά μικρότερη και λαμβάνει τιμή ίση με 0.6, δηλαδή μέτρια κλάσης επικινδυνότητα. Παρατηρείται βέβαια πως στο τμήμα της τεχνητής κοίτης του χ. Σούρες ακριβώς ανάντη της Αττικής Οδού εκτιμάται περιοχή με πολύ υψηλή επικινδυνότητα.

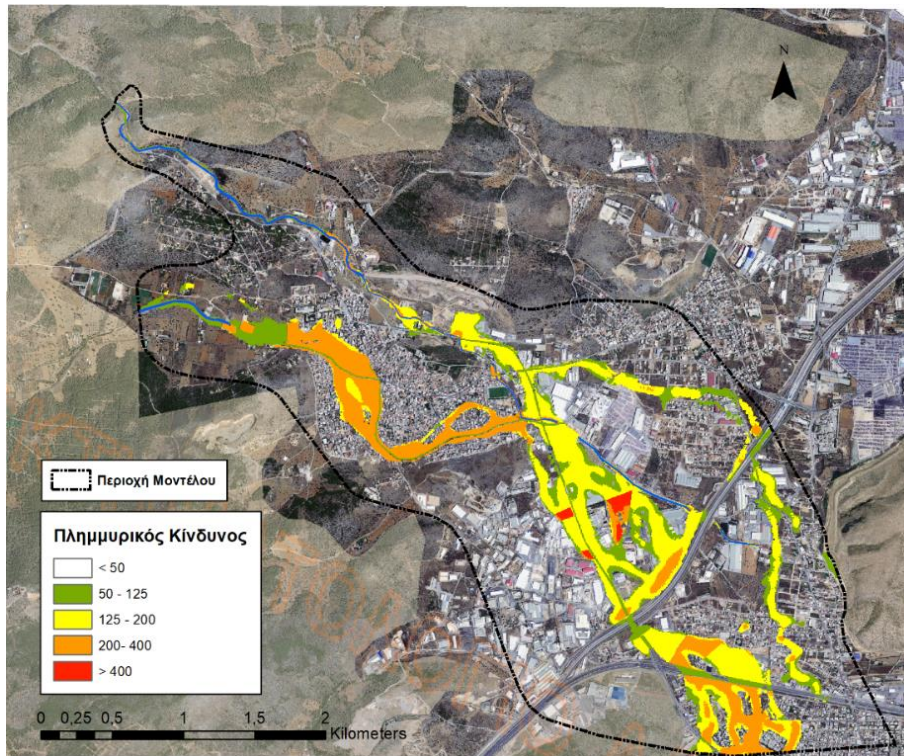
8.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Πραγματοποιούμε την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε κάθε κελί του πλέγματος της περιοχής μελέτης. Γίνεται πολλαπλασιασμός των αρχείων μορφής raster, τα οποία προέκυψαν για την επικινδυνότητα και την τρωτότητα από πλημμύρα, με σκοπό τη σύνθεση των Χαρτών Πλημμυρικού Κινδύνου.

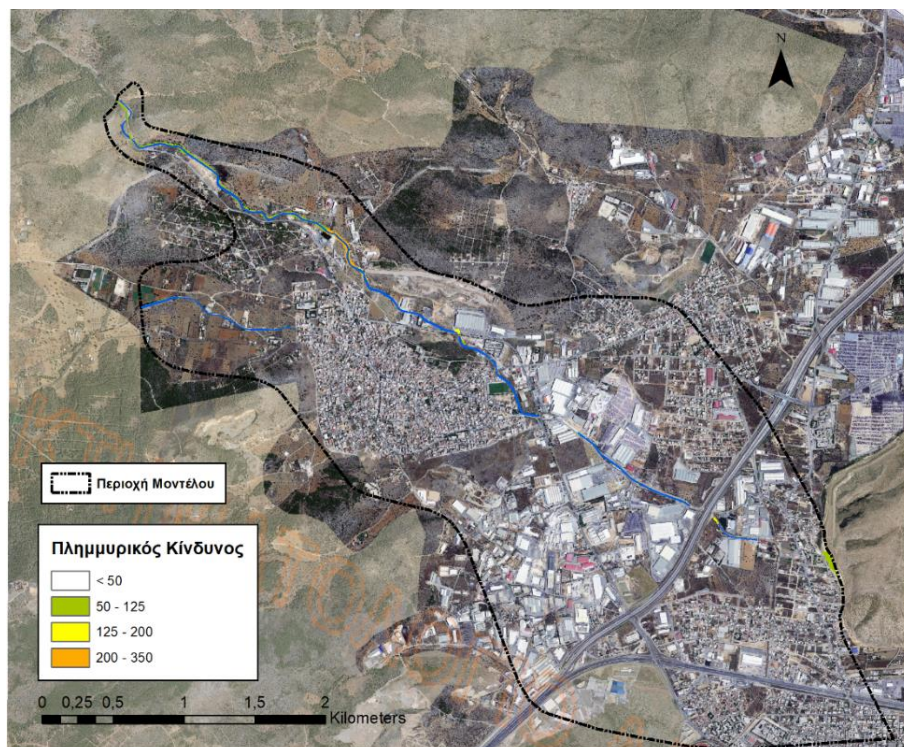
8.4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Στα Σχήματα 8.28 έως 8.33 δίνονται οι Χάρτες Πλημμυρικού Κινδύνου για τα σενάρια προσομοίωσης που εφαρμόστηκαν προηγουμένως.

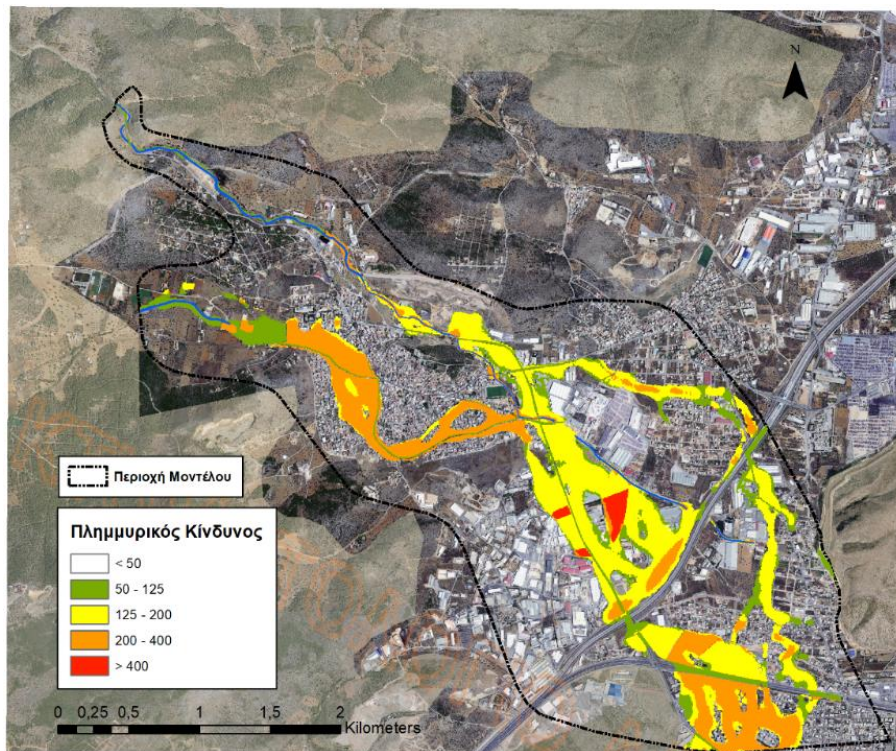
Από τα αποτελέσματα της εκτίμησης του του πλημμυρικού κινδύνου μπορούμε να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των αντιπλημμυρικών έργων καθώς και να εκτιμήσουμε την σοβαρότητα των επιπτώσεων που προκλήθηκαν από την πλημμύρα. Με κόκκινο σημειώνεται ο πολύ υψηλός κίνδυνος. Η χρωματική διαβάθμιση της σοβαρότητας του κινδύνου βασίζεται στα Σχέδια Διαχείρισης του Πλημμυρικού Κινδύνου, σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3.



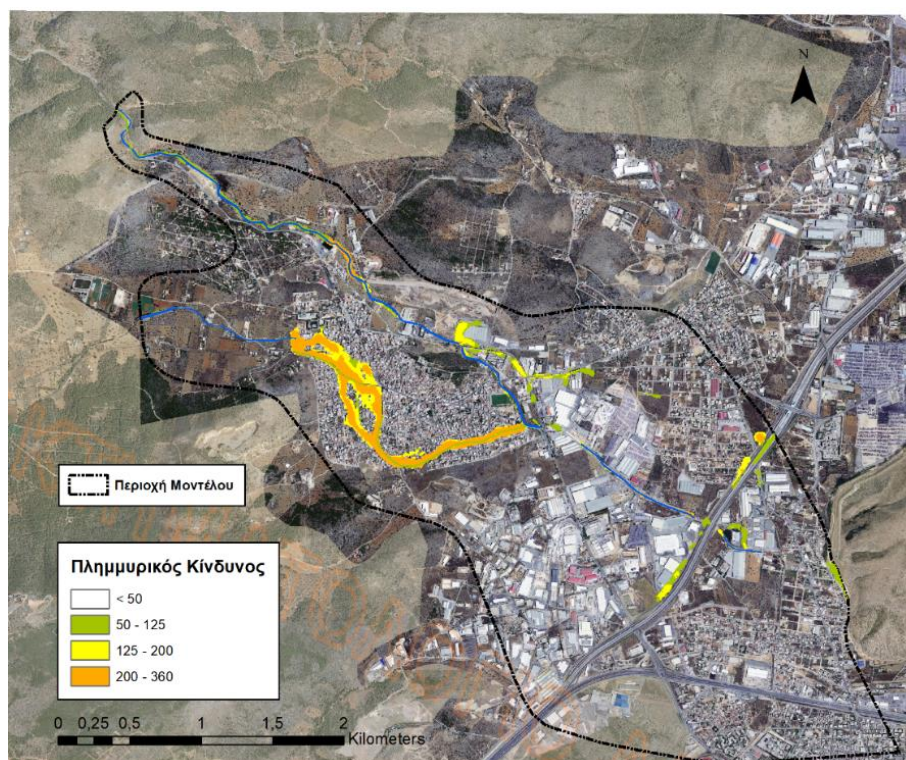
Σχήμα 8.28: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ1 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



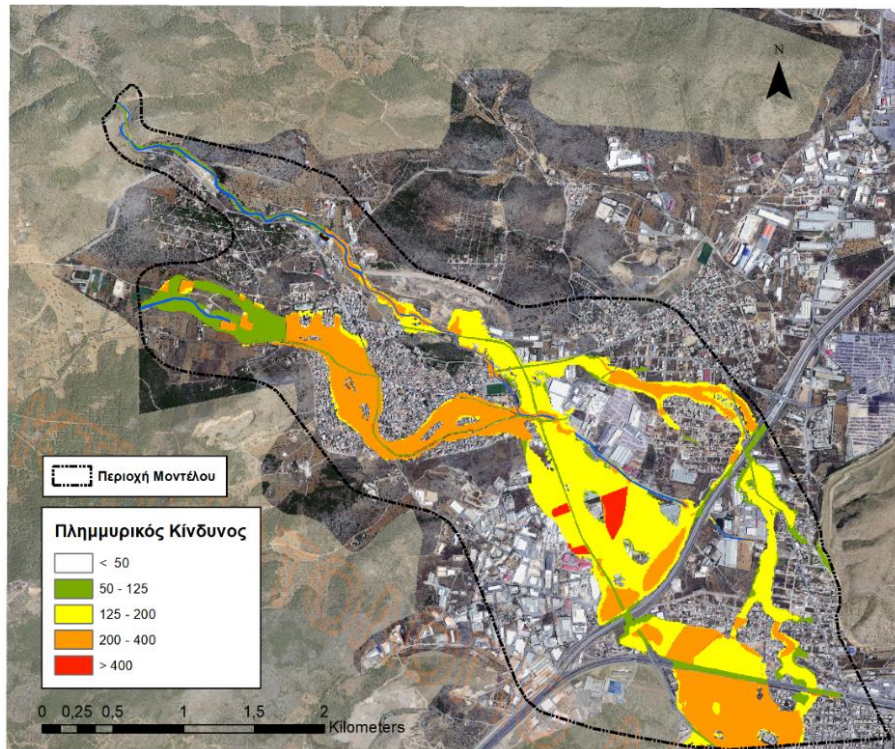
Σχήμα 8.29: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ1Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



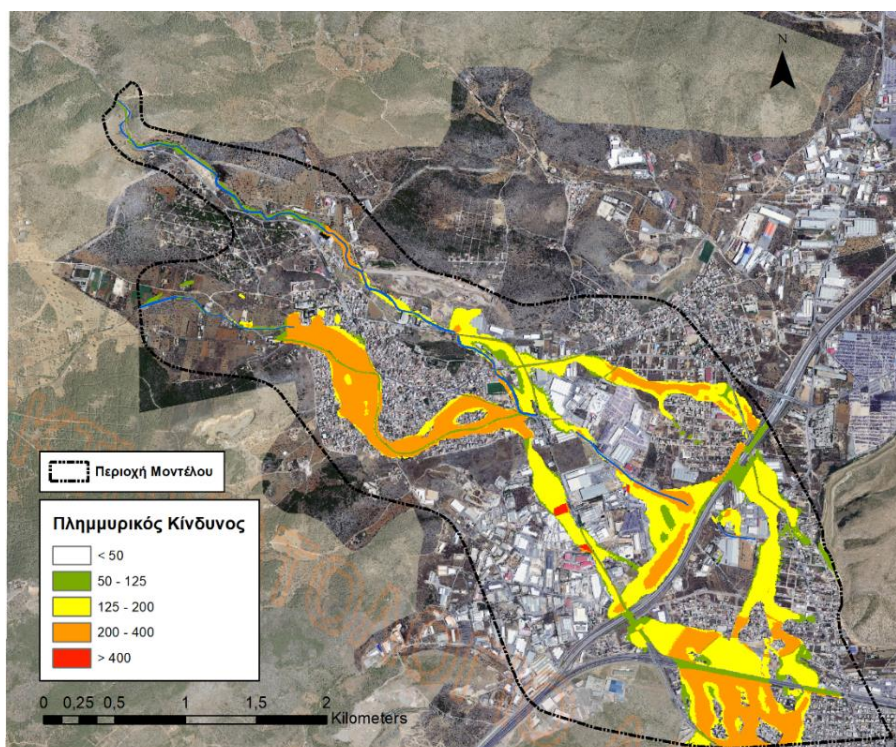
Σχήμα 8.30: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ2 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.31: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ2Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.32: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ3 (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)



Σχήμα 8.33: Χάρτης Πλημμυρικού Κινδύνου για το σενάριο Σ3Ε (Υπόβαθρο: Κτηματολόγιο Α.Ε.)

8.4.2 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Για την περίπτωση των σεναρίων Σ1 και Σ1Ε προκύπτει πως τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας έχουν προστατέψει επαρκώς την πόλη της Μάνδρας, αφού ο πλημμυρικός κίνδυνος για το σενάριο Σ1Ε, σύμφωνα με το Σχήμα 8.29, είναι πρακτικά μηδενικός.

Επίσης για το σενάριο Σ2Ε ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συγκριτικά μικρότερος από αυτόν που εκτιμάται για το Σ2. Παρ' όλα αυτά όμως ο κίνδυνος που εκτιμάται εντός των κατακλυσμένων περιοχών, δηλαδή της πόλης της Μάνδρας, για το σενάριο Σ2Ε είναι υψηλός και δε μπορεί να αγνοηθεί.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για το τρίτο σενάριο, και για τις δύο περιπτώσεις ο κίνδυνος είναι υψηλός εντός της πόλης της Μάνδρας, όπως επίσης και για τις αστικές περιοχές κατάντη της Αττικής Οδού. Πολύ υψηλή τιμή κινδύνου εμφανίζουν μόνο οι βιομηχανίες που υπόκεινται στις Οδηγίες SEVESO και IPPC, εντός της βιομηχανικής περιοχής. Οι βιομηχανίες βρίσκονται επί της Παλαιάς Εθνικής Οδού (ΠΕΟΕΘ), στην οποία αναπτύχθηκαν μεγάλες ταχύτητες ροής.

Σύμφωνα με τα Σχήματα 8.22, 8.24 και 8.26 ο κίνδυνος που υπολογίζεται για τις βιομηχανίες αυτές δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την ένταση του φαινομένου.

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

9.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των υπολογισμών και των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω, χωρίζονται στις τρεις κατηγορίες: (1) Υδραυλική ανάλυση, (2) Αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου, δηλαδή των επιπτώσεων εξαιτίας πλημμύρας και της αποτελεσματικότητας των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας και (3) Αξιολόγηση του μοντέλου TELEMAC-2D.

9.1.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Όσον αφορά τους υδραυλικούς υπολογισμούς και την προσομοίωση των διαφόρων σεναρίων παροχών ισχύουν τα εξής:

- Τα υπολογισμένα βάθη ροής και οι ταχύτητες ροής, που αναπτύσσονται εντός των διευθετημένων κοιτών για το σενάριο των παροχών σχεδιασμού, έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της αντιπλημμυρικής μελέτης.
- Για το σενάριο Σ1Ε, στο οποίο εφαρμόζονται οι παροχές σχεδιασμού, το έργο κεφαλής – μερισμού λειτούργησε ικανοποιητικά, μερίζοντας την παροχή σύμφωνα με τους υπολογισμούς της μελέτης. Παρατηρείται βέβαια μια μικρή απόκλιση στις παροχές που διοχετεύονται προς τα κατάντη, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην ιδιαίτερη κατασκευή του έργου κεφαλής – μερισμού.
- Στην περίπτωση του σεναρίου Σ1Ε παρατηρείται αύξηση και μείωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας ανάντη και κατάντη των περιοχών των οχετών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερχειλίση της ροής, πράγμα που δε δικαιολογείται για τις παροχές σχεδιασμού.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του σεναρίου Σ2Ε, φαίνεται πως η διευθετημένη κοίτη του χ. Σούρες μπορεί να παραλάβει την αυξημένη παροχή, χωρίς να υπερχειλίζει η κοίτη του. Υπερχειλίση της ροής παρατηρείται βέβαια λόγω των οχετών, οι οποίοι φαίνεται να μην μπορούν να παραλάβουν μεγαλύτερη παροχή.
- Στο σενάριο Σ2Ε, η παροχή θα έπρεπε να περνάει απαραιτήτως διαμέσου των οχετών, αφού οι παροχές, που εφαρμόζονται στις εισόδους του μοντέλου, είναι υπολογισμένες για τη μερική πλήρωση του οχετού 1. Ο οχετός αυτός έχει τη μικρότερη παροχετευτικότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους.
- Επίσης για το Σ2Ε προκύπτει πως η παροχή που οδηγείται από το έργο κεφαλής – μερισμού προς τον αγωγό Κοροπούλη είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να παραλάβει και για τον λόγο αυτό πλημμυρίζει η πόλη της Μάνδρας.
- Στην περίπτωση του σεναρίου Σ3Ε, τα έργα δεν είναι ικανά να παραλάβουν την παροχή, με αποτέλεσμα να παρατηρείται υπερχειλίση του έργου – κεφαλής και των διευθετημένων κοιτών. Φυσικά στο σενάριο αυτό οι οχετοί αδυνατούν να παραλάβουν την αυξημένη παροχή, η οποία μετά τη συμβολή των δύο χειμάρρων ανέρχεται στα 280 m³/s.
- Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν τα αντιπλημμυρικά έργα, οποιαδήποτε παροχή που εισέρχεται από τον χ. Αγ. Αικατερίνη, καταλήγει να πλημμυρίζει την πόλη της Μάνδρας και τις υπόλοιπες περιοχές γύρω από αυτή. Ο αγωγός Κοροπούλη δε μπορεί να παραλάβει παραπάνω από 17 m³/s, ποσότητα ίση με τη μέγιστη παροχετευτικότητα αυτού.
- Τέλος στην περίπτωση του σεναρίου Σ1, όπου εφαρμόζονται οι παροχές σχεδιασμού, οι οχετοί που βρίσκονται επί της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες φαίνεται να υπερχειλίζουν. Επίσης η διατομή της φυσικής κοίτης του χ. Σούρες δεν μπορεί να παραλάβει επαρκώς την παροχή εισόδου (44 m³/s), η οποία είναι μικρότερη της παροχής σχεδιασμού της διευθετημένης κοίτης.

9.1.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής προσομοίωσης παράχθηκαν οι χάρτες τρωτότητας, επικινδυνότητα και πλημμυρικού κινδύνου. Προκύπτει πως

- Στην περίπτωση των παροχών σχεδιασμού, τα αντιπλημμυρικά έργα λειτουργούν αποτελεσματικά. Τα έργα παραλαμβάνουν τις πλημμυρικές παροχές και οδηγούν το νερό στον χ. Σαρανταπόταμο, εξαλείφοντας τον κίνδυνο λόγω πλημμύρας. Παρατηρούνται περιοχές που ο κίνδυνος είναι υψηλός και συγκεκριμένα περί των όχθων του χ. Σούρες ανάντη των έργων της διευθέτησης. Οι περιοχές αυτές όμως δεν αποτελούν αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής.
- Στην περίπτωση του σεναρίου 2, παρά την ύπαρξη των αντιπλημμυρικών έργων, εκτιμάται πως ο κίνδυνος εντός της πόλης της Μάνδρας είναι υψηλής σοβαρότητας, αλλά αρκετά πιο περιορισμένης έκτασης σε σύγκριση με το σενάριο Σ2. Η παροχή που διέρχεται εντός της πόλης της Μάνδρας είναι ίση με $14 \text{ m}^3/\text{s}$. Το μέγιστο βάθος που αναπτύσσεται εντός της πόλης είναι ίσο με 1.00 m , ενώ η μέγιστη ταχύτητα έχει τιμή 1.1 m/s .
- Στο σενάριο Σ2 επηρεάζονται πολλές περισσότερες περιοχές λόγω της πλημμύρας. Αρνητικές συνέπειες παρατηρούνται για τις αγροτικές εκτάσεις στα δυτικά της πόλης, καθώς και υψηλός κίνδυνος για τις βιομηχανικές περιοχές και τις αστικές περιοχές κατάντη της Αττικής Οδού. Επίσης ο πλημμυρικός κίνδυνος που εκτιμάται για τις βιομηχανίες SEVESO και IPPC είναι πολύ υψηλός.
- Τέλος, στην περίπτωση του σεναρίου 3, η εικόνα του πλημμυρικού κινδύνου εντός της πόλης της Μάνδρας είναι παρόμοια και για τα δύο σενάρια που προσομοιώθηκαν. Στην περίπτωση ύπαρξης των αντιπλημμυρικών έργων ο κίνδυνος μειώνεται αισθητά για τη βιομηχανική περιοχή ανάντη της Αττικής Οδού. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχετός 1, που κατασκευάζεται σύμφωνα με τη μελέτη, παραλαμβάνει μεγαλύτερη παροχή σε σχέση με τον σχετό που υπήρχε στη θέση αυτή.
- Στο σενάριο Σ3Ε δεν επηρεάζεται καθόλου μια από τις βιομηχανίες SEVESO, με αποτέλεσμα να μειώνει τις συνολικές επιπτώσεις λόγω της πλημμυρικού φαινομένου.
- Συμπεραίνεται λοιπόν, πως η εκτροπή της παροχής του χ. Αγ. Αικατερίνης προς τον χ. Σούρες είναι απαραίτητη, καθώς χωρίς την ύπαρξη του έργου αυτού οι συνέπειες που προκαλούνται στους κατοίκους της περιοχής, στις οικονομικές δραστηριότητες των βιομηχανικών περιοχών καθώς και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχουν στο περιβάλλον είναι καταστροφικές

9.1.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ TELEMAT-2D

- Το ελεύθερο λογισμικό TELEMAT-2D, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υδροδυναμική ανάλυση, είναι ικανό να προσομοιώσει την διόδευση πλημμύρας για σταθερές και μεταβαλλόμενες παροχές εισόδου.
- Η προσομοίωση της διόδευσης της πλημμύρας μέσα από την πόλη της Μάνδρας και από τις περιοχές γύρω από αυτή είναι ικανοποιητική.
- Επίσης τα βάθη ροής και οι ταχύτητες ροής εντός των διευθετημένων και των φυσικών κοιτών υπολογίζονται σωστά.
- Στην περίπτωση ύπαρξης στοιχείων με μεγάλη κλίση, όπως είναι οι ορθογωνικές διατομές της διευθέτησης του χ. Σούρες, το έργο κεφαλής – μερισμού και το έργο της εκβολής του αγωγού εκτροπής στον χ. Σούρες, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την κατασκευή του πλέγματος, ώστε να δημιουργούνται τουλάχιστον δύο στοιχεία επάνω στην επιφάνεια με τη μεγάλη κλίση. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η εμφάνιση του φαινομένου υπερχειλίσσης της ροής, όταν δεν συντρέχει λόγος.
- Το έργο κεφαλής – μερισμού αποτελεί ιδιαίτερη κατασκευή. Το έργο αποτελείται από κατακόρυφα στοιχεία, απότομες αλλαγές στη γεωμετρία και έχει επίσης ένα κατακόρυφο στοιχείο ύψους 0.50 m , το οποίο λειτουργεί ως υπερχειλιστής. Λόγω της ιδιαιτερότητάς του κρίνεται σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση της λειτουργίας του έργου.

Σημειώνεται ότι οι υπολογισμοί της παρούσας εργασίας είναι προκαταρκτικοί, σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας, οπότε η χρήση των αποτελεσμάτων και των σχετικών συμπερασμάτων πρέπει να γίνεται με κάθε επιφύλαξη.

9.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σύμφωνα με τα όσα αναλύθηκαν παραπάνω προτείνονται για μελλοντική έρευνα τα ακόλουθα:

- Η αναλυτικότερη διερεύνηση του τρόπου λειτουργίας των οχετών είναι απαραίτητη, καθώς και η αξιολόγηση της επίδρασης της σωστής λειτουργίας αυτών στη διόδευση της πλημμύρας και εν συνεχεία στον πλημμυρικό κίνδυνο της περιοχής.
- Η προσομοίωση της λειτουργίας του έργου κεφαλής – μερισμού με τρισδιάστατο μαθηματικό μοντέλο.
- Η αποτύπωση των κτιρίων και βιομηχανιών για πιο ρεαλιστική προσομοίωση της διόδευσης της πλημμύρας μέσα από την πόλη της Μάνδρας και της ευρύτερης περιοχής.
- Προτείνεται ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του υδροδυναμικού μοντέλου.
- Η προσομοίωση της πλημμύρας λαμβάνοντας υπόψη το φαινόμενο της στερεοπαροχής, το οποίο ήταν αρκετά έντονο στην περίπτωση της πλημμύρας της Μάνδρας. Επίσης, η προσομοίωση μεταφοράς φερτών μπορεί να συνδυαστεί με την αξιολόγηση της τρωτότητας σε μεταφερόμενα ιζήματα και διάβρωσης των εδαφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Associated Programme on Flood Management (2008). Annual report. Phase II. Report No.20. World Meteorological Organization (WMO) in association with the Global Water Partnership (GWP). Retrieved from: https://www.floodmanagement.info/about/reports/APFM_2007-2008_AnnuaReport.pdf
- Bodhaine, G.L. (1968). *Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3, Chap. A3, p. 60. Retrieved from: <https://pubs.usgs.gov/twri/twri3-a3/>.
- Chow, V. T. (1973). *Open-channel hydraulics*. International edition. Civil Engineering Series. Singapore: McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-Y85906-X. 680pp.
- Galland, J.-C., Goutal, N., & Hervouet, J.-M. (1991). TELEMAC: A new numerical model for solving shallow water equations., *Advances in Water Resources*, 14 (3), 138-148. [https://doi.org/10.1016/0309-1708\(91\)90006-A](https://doi.org/10.1016/0309-1708(91)90006-A).
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexioy, S.M., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018). An operational method for Flood Directive implementation in ungauged urban areas. *Hydrology*, 5(2), 24.
- Riadh. A. (2018). *Telemac2d: User Manual*. EDF R&D. version v7p3. March 16, 2018.
- Smolders, S., Leroy, A., Teles, M., Maximova, T., & Vanlede, J. (2016). Culverts modelling in TELEMAC-2D and TELEMAC-3D. *Telemac-Mascaret User Conference*, Paris, Volume 23.
- Stamou, A. (2018). *The disastrous flash flood of Mandra in Attica-Greece and now what?*. Civil Engineering Research Journal, 6 (1): 555677.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων (2002). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. Αποχέτευση – Στράγγιση – Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ)*. ΥΠΕΧΩΔΕ. Ανακτήθηκε από <https://docplayer.gr/6392486-4-roi-anoikton-agogon.html>.
- Γενικός Επιθεωρητής Δημόσιας Διοίκησης (2018). Έκθεση Ελέγχου. Ανακτήθηκε από https://www.gedd.gr/article_data/Linked files/215/180702-ekthesi.pdf.
- ΕΑΕΕ: Στα 12,3 εκατ. Ευρώ οι αποζημιώσεις στη Δυτική Αττική, (2018). Καθημερινή. Ανακτήθηκε από: [Έρευνα της Ένωσης Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδος, μέσω άρθρου της Καθημερινής.](#)
- Εθνική Οδός 3 (Ελλάδα) (χ.χ.). Wikipedia. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2019, από: https://el.wikipedia.org/wiki/Εθνική_Οδός_3.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (2017). Δεύτερο δεκαήμερο Νοεμβρίου 2017, κατά περιόδους και κατά τόπους έντονες βροχοπτώσεις – Πλημμυρικά φαινόμενα.
- Καντερές: Η τραγωδία στην Μάνδρα θα είχε αποτραπεί αν λειτουργούσε το ραντάρ της Αίγινας! video (2019). Newsit. Ανακτήθηκε από <https://www.newsit.gr/ellada/kanteres-i-tragodia-stin-mandra-ta-eixe-apotrapei-an-leitourgouse-to-rantar-tis-aiginas-video/2767091/>.
- Καραμούστου, Π. (2018). *Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Ξαφνικές Πλημμύρες – Η Περίπτωση της Μάνδρας, Αττικής*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
- Καραμούστου, Π. και Στάμου, Α. (2019). *Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης ξαφνικών πλημμυρών και η τοπική κοινωνία – Η περίπτωση της Μάνδρας Αττικής*. Πρακτικά 14^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ε.Υ.Ε., Βόλος.
- Κοντοές, Χ., Αντωνιάδη Σ., Ιερωνυμίδα Ε., Καραγιαννοπούλου, Κ. & Τσουνή, Α. (2018). Ανάλυση της πλημμύρας στη δυτική Αττική στις 15/11/2017 με αξιοποίηση δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Beyond. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Αθήνα. Ανακτήθηκε από: <http://www.beyond-eocenter.eu/images/news-events/20180430/Mandra-Report-BEYOND.pdf>.
- Λέκκας, Ε., Νάστος, Π., Λόζιος, Σ., Διακάκης, Μ., Κώτση, Ε., Γκούτης, Δ., Δελακουρίδης, Ι. & Γράμπα, Α. (2018) Επιχειρησιακός σχεδιασμός για τη μείωση των επιπτώσεων από πλημμυρικά φαινόμενα

- στους δήμους της Περιφερειακής Ένωσης Δήμων Αττικής (ΠΕΔΑ). Η περίπτωση της Μάνδρας ως οδηγός αναφοράς και βελτίωσης της απόκρισης σε έκτακτες ανάγκες. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ανακτήθηκε από: <https://www.pedattikis.gr/wrdp/wp-content/uploads/2018/10/1analysisi-compressed.pdf>.
- Μαζί πνιγήκαμε (2017, Νοέμβριος 27). Efsyn. Ανακτήθηκε από: https://www.efsyn.gr/stiles/apopseis/131703_mazi-pnigikame.
- Μάνδρα Αττικής. (χ.χ.) Wikipedia. Ανακτήθηκε 20 Οκτωβρίου 2019, από: https://el.wikipedia.org/wiki/Μάνδρα_Αττικής.
- Μάνδρα: Ξεπέρασε τα 200 χιλιοστά σε έξι ώρες η βροχόπτωση στο όρος Πατέρας (2017). Cnn Greece. Ανακτήθηκε από: <https://www.cnn.gr/news/ellada/story/106553/mandra-xeperase-ta-200-xilioστα-se-exi-ores-i-vroxoptosi-sto-oros-pateras>.
- Μάρης, Φ., Νάκας, Τ. (2018). Διαχείριση υδρομετεωρολογικών καταστροφών: Αιφνίδιες Πλημμύρες: Οι περιπτώσεις της Μάνδρας και της Σαμοθράκης [παρουσίαση PowerPoint]. Ανακτήθηκε από: https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/ENG121/Παρουσίαση_Αιφνίδιες_Πλημμύρες.pdf.
- Μαρκόπουλος-Σαρίκας, Γ. (2018). *Μαθηματική προσομοίωση της πλημμύρας στη Μάνδρα με χρήση μοντέλου TELEMAC*. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Μαρκόπουλος-Σαρίκας, Γ., Ζέρβα, Ι., Μαυρογεώργος, Κ. & Στάμου, Α. (2019). *Προσομοίωση της ξαφνικής πλημμύρας στη Μάνδρα Αττικής το 2017 με το διδιάστατο μοντέλο TELEMAC-2D*. Πρακτικά 14^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ε.Υ.Ε., Βόλος.
- Μαυρογεώργος, Κ. (2019). *Διερεύνηση της επίδρασης του πλημμυρογραφήματος εισροής στην υδραυλική συμπεριφορά πλημμυρών με το μοντέλο TELEMAC – Η περίπτωση της Μάνδρας Αττικής*. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Μπαλτάς Ε., Φελώνη, Ε. (χ.χ.). Οδηγία για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας 2007/60/ΕΚ [παρουσίαση PowerPoint].
- Νόμος 3852 (ΦΕΚ Α' 87/7.6.2010): Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης - Πρόγραμμα Καλλικράτης.
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ (2007). Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. L 288/27.
- Περιφέρεια Αττικής. (2014). Μελέτη εκτροπής χειμάρρου Αγ. Αικατερίνης και διευθέτησης χειμάρρου Σούρες Θριασίου Πεδίου. Διεύθυνση Υδραυλικών Έργων Περιφέρειας Αττικής (Δ10). Μελετητής: Ε.Τ.ΜΕ. Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.
- Περιφέρεια Αττικής. (2019). Υδραυλική μελέτη, Προτεινόμενα έργα στην τάφρο Αγ. Αικατερίνη. Διεύθυνση Αναπτυξιακού Προγραμματισμού. Μελετητής: Ε.Τ.ΜΕ. Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.
- Σπηλιώτης, Μ. (χ.χ.). Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Εισαγωγή – Βασικές Έννοιες – Μοντέλο Υδατικού Ισοζυγίου [παρουσίαση PowerPoint]. Ανακτήθηκε από: https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMB330/εισαγωγή-βασικέςέννοιες-μοντέλο_υδατικού_ισοζυγίου.pdf.
- Στάμου, Α. (2018). *Η καταστροφική πλημμύρα της Μάνδρας. Ενέργειες για την αποφυγή παρόμοιας καταστροφής στο μέλλον*, Προμηθέας, 9: 6-7.
- Στους 23 οι νεκροί στη Μάνδρα: Βρέθηκε ο αγνοούμενος, κατέληξε ηλικιωμένη (2017, Νοέμβριος 27). News247. Ανακτήθηκε από: <https://www.news247.gr/koinonia/stoys-23-oi-nekroi-sti-mandra-vrethike-o-agnooyomenos-katelixe-ilikiomeni-traymatias.6526795.html>.
- Σύλλογος Ροή. (2018, 27 September). Μια ακόμα καταστροφή βρίσκεται σε αναμονή. Up Drones [αρχείο video]. Ανακτήθηκε 20 από https://www.youtube.com/watch?time_continue=541&v=GloDCaLw0SM&fbclid=IwAR0wD00Atzuj7636VVFbmfOr3aDG9X-01sz0cSIJGmfE1kdAl0F2hSxt6g0.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (χ.χ.). Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας. Μεθοδολογία για την αξιολόγηση τρωτότητας και την κατάρτιση των Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας. Ανακτήθηκε από:

https://floods.ypeka.gr/egyfloods/reports/Methodologia_Trototitas_Kindinou.pdf.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής. Χάρτες Κινδύνων Πλημμύρας. Στάδιο Ι. 4^η Φάση – Παραδοτέο 8. Ανακτήθηκε από:

http://thyamis.itia.ntua.gr/egyfloods/gr06/report/I_4_P08_GR06.pdf.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2018). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής. Χάρτες Επικινδυνότητας Πλημμύρας. Στάδιο Ι. 3^η Φάση – Παραδοτέο 5. Ανακτήθηκε από:

https://floods.ypeka.gr/egyFloods/gr06/report/I_3_P05_EL06.pdf.

ΦΕΚ Δ 1133/24/10/2003 (2002). Μελέτη Οριοθέτησης για τμήμα του ρέματος Αγ. Αικατερίνης. Ε.Τ.ΜΕ. Πέππας & Συνεργάτες Ε.Ε.

Χαντζή, Δ. 2018. *Μελέτη Πλημμυρικών Φαινομένων στον Ελλαδικό Χώρο με τη Χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων*. Διπλωματική εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

Google Maps

<https://www.google.com/maps>

Open Street Map

<https://www.openstreetmap.org/#map=16/38.0678/23.5079&layers=TD>

TELEMAC – MASCARET

www.opentelemac.org

ΑΔΜΗΕ

<http://www.admie.gr/ape-sithya/stathmoi-ape-sithya-se-leitoyrgia/>

Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μάνδρας

<http://msa.ypeka.gr/>

Γεωπύλη ΥΠΕΚΑ Ε.Γ.Υ.

<http://wfdgis.ypeka.gr/>

Διαρκής Κατάλογος των κηρυγμένων αρχαιολογικών χώρων και μνημείων της Ελλάδος

<http://listedmonuments.culture.gr/monument.php?code=1853>

Δίκτυο Δεδομένων Δευκαλίων

<http://deucalionproject.itia.ntua.gr/basins/gr/sarantapamos/index.htm>

Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
Κατάλογος γεωχωρικών δεδομένων

<http://astikalimata.ypeka.gr/Services/Pages/Browse.aspx>
<http://geoportal.ypen.gr/geoserver/web/wicket/bookmarkable/org.geoserver.web.demo.MapPreviewPage?0>

Κτηματολόγιο Α.Ε.

<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>

Περιφέρεια Αττικής

http://www.patt.gov.gr/site/index.php?option=com_content&view=category&id=540&Itemid=857&limitstart=10

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής

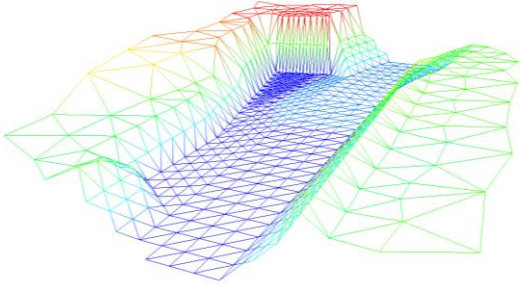

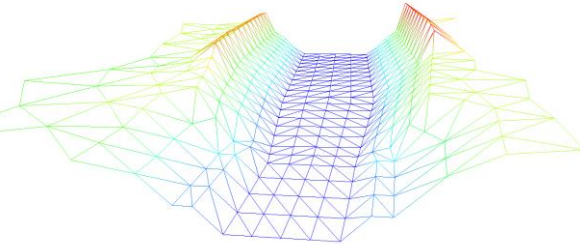

<https://floods.ypeka.gr>

Χρήσεις γης – Corine 2012

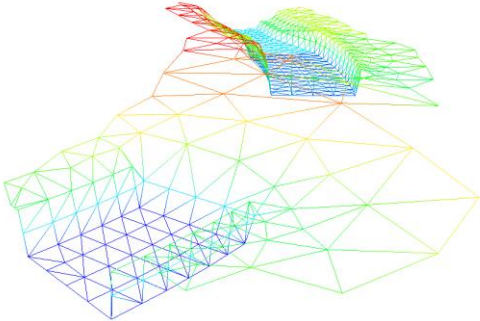

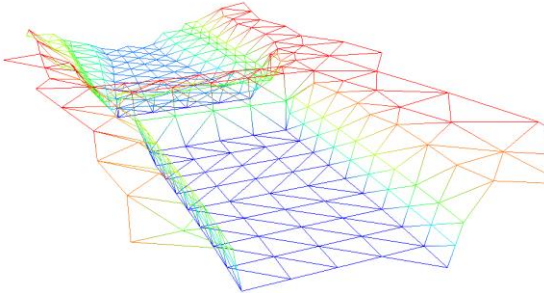

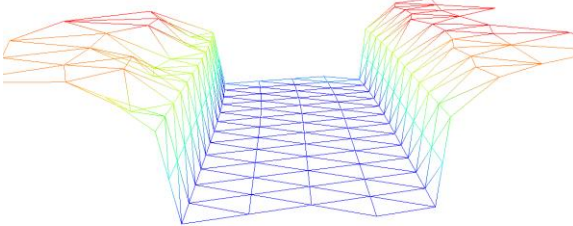

<http://www.data.gov.gr/dataset/xartes-kalypshs-ghs-corine-land-cover-gia-ta-eth-2006-and-2012/resource/14eafa36-4060-4115-bb69-ccdb822ab757>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

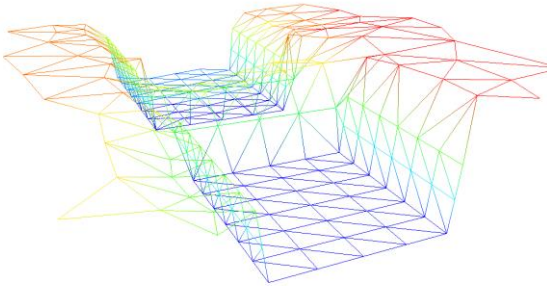

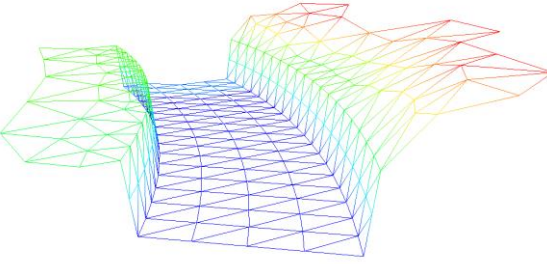

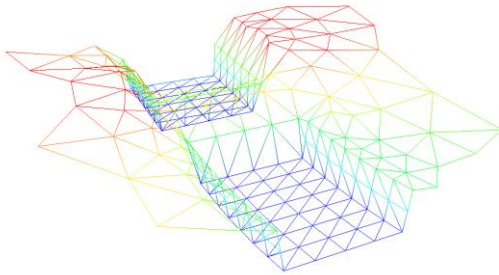

Πίνακας: Επιμέρους τμήματα της διεύθεσης του χ. Σούρες και οι αντίστοιχες φωτογραφίες

	Τμήμα διεύθεσης χ. Σούρες	Χιλιομετρική Θέση
1	Τεχνικό Συμβολής με χ. Αγ. Αικατερίνη	Χ.Θ. 1+695.00
		
2	Διατομή Τύπου 2	Χ.Θ. 1+679.60
		

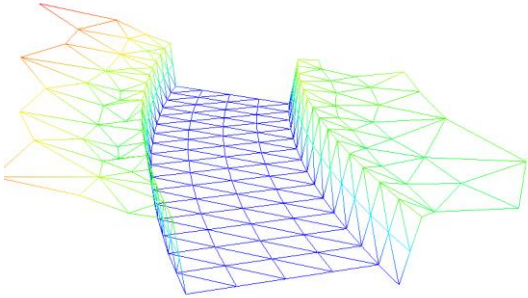

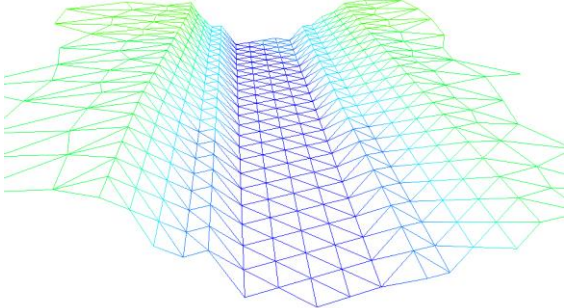

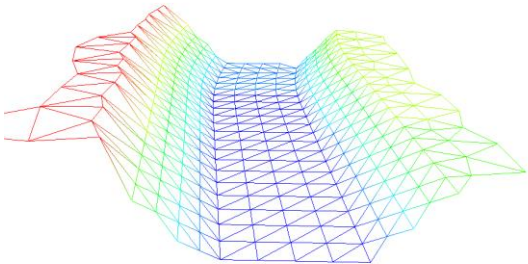

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

3	Τεχνικό Έργο – Οχετός 4	Χ.Θ. 1+010.60
		
4	Τεχνικό Έργο – Οχετός 3β	Χ.Θ. 0+764.20
		
5	Διατομή Τύπου 3	Χ.Θ. 0+734.80
		

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

6	Τεχνικό Έργο – Οχετός 3α	Χ.Θ. 0+702.90
		
7	Διατομή Τύπου 3	Χ.Θ. 0+662.25
		
8	Τεχνικό Έργο – Οχετός 2	Χ.Θ. 0+608.25
		

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΙΝΔΥΝΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

9	Διατομή Τύπου 3	Χ.Θ. 0+556.80
		
10	Διατομή Τύπου 1	Χ.Θ. 0+450.00
		
11	Διατομή Τύπου 2	Χ.Θ. 0+222.50
		

12	Διατομή Τύπου 3	Χ.Θ. 0+145.30
	