



**ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ
ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ
ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ:**

**Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
«ΠΟΛΙΤΙΚΑ ΕΥΒΟΙΑΣ»**

ΚΑΜΠΟΥΡΙΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων: Μπέλλος Βασίλειος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΔΥΤΙΚΗΣ

ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ

ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ ΥΠΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ:

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ «ΠΟΛΙΤΙΚΑ ΕΥΒΟΙΑΣ»

ΚΑΜΠΟΥΡΙΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καμπουριάλης Παναγιώτης του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 44367160226 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Καμπουριάλης Παναγιώτης

Η διπλωματική εργασία του Καμπουριάλη Παναγιώτη με τίτλο «Ανακατασκευή πλημμυρικού γεγονότος υπό καθεστώς αβεβαιότητας, η περίπτωση: Πολιτικά Ευβοίας» εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΜΠΕΛΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΔΠΘ	ΣΥΜΠΕΘΕΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΔΑ	ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ ΜΑΡΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΔΑ

Ευχαριστίες

Αρχικά, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Βασίλειο Μπέλλο, Μεταδιδακτορικό Ερευνητή, για την δυνατότητα που μου προσέφερε και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε ώστε να εκπονήσω ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την συνολική του συνεισφορά στην ακαδημαϊκή μου πορεία και επιστημονική υποστήριξη στα πλαίσια των προπτυχιακών μαθημάτων του που παρακολούθησα.

Στην συνέχεια, θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλη την επιστημονική ομάδα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, τους καθηγητές μας, για τις γνώσεις που αποκόμισα από τον καθέναν ξεχωριστά καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου σπουδών μου, οι οποίες θα αποτελέσουν την κρηπίδα μιας καλής σταδιοδρομίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τα πρόσωπα που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα βοηθώντας με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση των σπουδών μου, την οικογένειά μου, τους φίλους μου, τους συναδέλφους μου.

Καμπουριάλης Παναγιώτης

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, με αντικείμενο την ανακατασκευή πλημμυρικού γεγονότος υπό καθεστώς αβεβαιότητας στην περιοχή, Πολιτικά Εύβοιας.

Συγκεκριμένα, περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης πλημμύρας μέσω της χωρικής ανάλυσης δεδομένων της αστικής περιοχής και της μετέπειτα υδρολογικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής, με τελικό στόχο την ανακατασκευή του πλημμυρικού γεγονότος.

Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε, βρίσκεται στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας, συγκεκριμένα στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού Ευβοίας και η οποία είναι τα Πολιτικά του δήμου Διρφύων – Μεσσαπιών. Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως πεδινή. Αφού πραγματοποιήθηκε η συλλογή πρωτογενών δεδομένων, δηλαδή το ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM (Digital Elevation Model), ξεκίνησε η προεπεξεργασία των χωρικών δεδομένων και η αποτύπωσή τους σε χαρτογραφικό σύστημα συντεταγμένων στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών **Q-GIS** (*Quantum Geographic Information System*).

Στη συνέχεια, ακολουθεί η υδρολογική προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού **HEC - HMS** (*Hydrologic Engineering Center's - Hydrologic Modeling System*), με τη χρήση των αντίστοιχων εργαλείοθκών του. Συγκεκριμένα, το λογισμικό αυτό εφαρμόζεται για την προσομοίωση διεργασιών βροχόπτωσης - απορροής σε λεκάνες απορροής. Τα προγράμματα **QGIS** και **HEC - HMS**, καθώς και συγκεκριμένες επεκτάσεις τους, όπως είναι παραδείγματος χάριν, το HEC - GeoHMS, είναι σχεδιασμένα από το Σώμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για 4 περιόδους επαναφοράς $T = 5, 10, 50$ και 100 έτη μέσω όμβριων καμπυλών και τα αποτελέσματα ήταν η εξαγωγή των πλημμυρογραφημάτων για κάθε υδρολογικό σενάριο.

Τέλος, για την αποτίμηση της βαρύτητας των υδρολογικών παραμέτρων στην λειτουργία των μοντέλων, επιχειρήθηκε μέσω της μεθόδου διακύμανσης μιας παραμέτρου την φορά, η ανάλυση ευαισθησίας υδρολογικών παραμέτρων του **HEC - HMS** και επίδρασή τους στην παροχή αιχμής της βροχόπτωσης 24 ωρών και περιόδου επαναφοράς 50 ετών.

Λέξεις - κλειδιά: Πλημμύρα ταχείας απόκρισης, αστική πλημμύρα, QGIS, ανάλυση χωρικών δεδομένων, HEC - HMS, μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης, ανάλυση ευαισθησίας, υδρογράφημα, Πολιτικά Ευβοίας.

Abstract

The present thesis was conducted through the undergraduate study program of the School of Engineering, Department of Civil Engineering, with the object of reconstructing a flood event under a regime of uncertainty in the region of Politika in Evia.

The aim of the study is the flood analysis process, through the spatial data analysis of the urban area and the hydrological simulation of the watershed, and finally the remodeling of the flood event.

The chosen study area is located in the geographical division of Central Greece, specifically in the northwestern part of Euboea, in the municipality of Dirfyon - Messapia, the region of Politika. The area is characterized as lowland. Since the collection of primary data was carried out, such a Digital Elevation Model (DEM) , the pre – processing of the spatial data and their mapping into a cartographic coordinate system in the QGIS (Quantum Geographic Information System) software began.

In addition, the hydrologic simulation was performed through the use of the HEC – HMS (Hydrologic Engineering Center’s – Hydrologic Modeling System) software, using its respective toolbars. Particularly, this software is applied for the simulation of precipitation – run off processes in watersheds. These two software packages , QGIS and HEC – HMS, as well as their specific toolbars (extensions), such as HEC – GeoHMS , developed by the Hydrologic Engineering Center of the U.S. Army corps of Engineers. The meteorological model file consists of a rainfall intensity curves, corresponding to the return periods $T=5, 10, 50$ and 100 years, applied in each subbasin of the case study.

Finally, in order to assess the importance of the hydrological parameters in the operation of the models, the sensitivity analysis of hydrological parameters of HEC – HMS and their effect on the 24-hour peak rainfall and 50-year return period was attempted through the variation method of one parameter at a time.

Keywords: Rapid Flash Flood, Urban flood, QGIS, Spatial Data Analysis, HEC – HMS, Hydrological Simulation Model, Sensitivity Analysis, Hydrograph, Politika Euboea.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	13
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	16
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ	18
Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	22
ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	21
ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	23
Η ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 60/2000	26
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΑ ΕΥΒΟΙΑΣ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	28
ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ QGIS	28
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	29
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ	30
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (TERRAIN PROCESSING)	30
FILL SINKS	32

FLOW DIRECTION:.....	32
FLOW ACCUMULATION:.....	33
STREAM DEFINITION:.....	34
STREAM SEGMENTATION	35
CATCHMENT GRID DELINEATION:.....	36
DRAINAGE LINE PROCESSING AND ADJOINT CATCHMENT PROCESSING	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	38
ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	38
ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ	40
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	40
ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	43
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	45
ΟΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	47
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΨΙΑ.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	51
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ	51
ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	53
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (MET MODEL).....	54
ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	56
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ.....	57
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ.....	58
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ SCS	58

ΠΡΟΤΥΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	63
ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ	63
ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS.....	64
ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	65
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟ ΗΕC – HMS 66	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΕC – HMS	67
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ SCS.....	68
Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ.....	69
5.3 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #1 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T = 5 ΕΤΗ.....	71
5.4 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #2 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T = 10 ΕΤΗ.....	72
5.5 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #3 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T = 50 ΕΤΗ.....	74
5.6 ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #4 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T = 100 ΕΤΗ.....	75
5.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΜΑΤΑ, ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	80
ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ - ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	87

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Λεκάνες απορροής περιοχών πλημμύρας	43
Πίνακας 2: Κωδικοποίηση των αιτιών πλημμύρας.....	44
Πίνακας 3: Κωδικοποίηση των μηχανισμών πλημμύρας.....	44
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά υπολεκανών	51
Πίνακας 5: Κατηγορίες αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους (Τσακίρης Γ., 1995).....	59
Πίνακας 6: Ενδεικτικοί αριθμοί καμπύλης CN για υδρολογική κατάσταση II	62
Πίνακας 7: Τιμές CN για κατάσταση υγρασίας τύπου II.....	63
Πίνακας 8: Χρόνοι συγκέντρωσης υπολεκανών περιοχής μελέτης.....	67
Πίνακας Π-1: Λήψη δεδομένων υετού από τον κοντινότερο βροχομετρικό σταθμό, Ψαχνών Εύβοιας	87
Πίνακας Π-3: Προβολή των 13 συνδυασμών και παραμέτρων του μοντέλου για την ανάλυση αβεβαιότητας (uncertainty analyses).....	87

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ο Υδρολογικός Κύκλος (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).....	21
Εικόνα 1.2: Απεικόνιση της επιφάνειας μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων ΕΜΠ)	25
Εικόνα 1.3: Χάρτης των ιστορικών πλημμυρών στην περιοχή της Αττικής (Πηγή: ΙΓΜΕ, Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών)	25
Εικόνα 1.4: Χάρτης της επαναφοράς πλημμυρικού κινδύνου της περίοδο 1987-2002 (Πηγή: European Spatial Planning Observation Network)	27

Εικόνα 2.1: Οι τρεις βασικοί τύποι διανυσματικών δεδομένων: Γραμμή, Σημείο, Πολύγωνο	29
Εικόνα 2.2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους περιοχής μελέτης.....	31
Εικόνα 2.3: Διάγραμμα ροής των εργασιών της επεξεργασίας ανάγλυφου με την επέκταση «Saga GIS Hydrology Tools».....	31
Εικόνα 2.4: Διόρθωση βυθισμάτων ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	32
Εικόνα 2.5: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με την διεύθυνση απορροής (Στάμου & Σκοπελίτη, 2013).....	33
Εικόνα 2.6: Κάνναβος συγκεντρωτικής ροής (Στάμου & Σκοπελίτη, 2013).....	34
Εικόνα 2.7: Κατώφλι 1000 φατνία.....	35
Εικόνα 2.8: Οριοθέτηση υπολεκανών για κάθε τμήμα του υδατορεύματος σε διανυσματική μορφή.....	36
Εικόνα 2.9: Συσσωμάτωση υπολεκανών	37
Εικόνα 3.1: Δήμος Διρφύων - Μεσσαπίων (Φιλίππου, 2015).....	38
Εικόνα 3.2.: Γεωμορφολογικός χάρτης κεντρικής Εύβοιας (Βασιλείου, 2013).....	39
Εικόνα 3.3: Χάρτης 1 - Λεκάνη απορροής ποταμού Λήλαντα	41
Εικόνα 3.4: Χάρτης 2 - Υπολεκάνη απορροής Κρυορέματος.....	41
Εικόνα 3.5: Χάρτης 3 - Υπολεκάνη απορροής ρέματος Μορτερή.....	42
Εικόνα 3.6: Χάρτης 4 - Υπολεκάνη απορροής Μαντανιών	42
Εικόνα 3.7: Η λειτουργία των δύο ποταμών, Λήλαντα και Μεσσαπίου.....	46
Εικόνα 3.8: Οι καταστροφές από το πλημμυρικό γεγονός (1/2)	48
Εικόνα 3.9: Οι καταστροφές από το πλημμυρικό γεγονός (2/2)	49
Εικόνα 3.10: Αυτοψία στην περιοχή μελέτης	50

Εικόνα 4.1: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC – HMS	52
Εικόνα 4.2: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου στο HEC – HMS	54
Εικόνα 4.3: Εισαγωγή βροχομετρικών δεδομένων.....	56
Εικόνα 4.4: Ορισμός χρονικού ελέγχου υδρολογικής προσομοίωσης.....	56
Εικόνα 4.5: Εισαγωγή μετρήσεων παροχής.....	57
Εικόνα 4.6: Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS	65
Εικόνα 4.7: Χρόνοι υστέρησης υπολεκανών.....	67
Εικόνα 5.1: Χρονική διακύμανση της υπό μελέτη βροχόπτωσης	69
Εικόνα 5.2: Υετογράφημα της πραγματικής βροχόπτωσης.....	69
Εικόνα 5.3: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για την πραγματική βροχόπτωση	70
Εικόνα 5.4: Αποτελέσματα προσομοίωσης της πραγματικής βροχόπτωσης στην έξοδο της λεκάνης (SCS).....	70
Εικόνα 5.5: Υετογράφημα για το επεισόδιο #1.....	71
Εικόνα 5.6: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #1	71
Εικόνα 5.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #1 στην έξοδο της λεκάνης (SCS).....	72
Εικόνα 5.8: Υετογράφημα για το επεισόδιο #2.....	72
Εικόνα 5.9: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #2.....	73
Εικόνα 5.10: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #2 στην έξοδο της λεκάνης (SCS).....	73
Εικόνα 5.11: Υετογράφημα για το επεισόδιο #3.....	74

Εικόνα 5.12: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #3.....	74
Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #3 στην έξοδο της λεκάνης (SCS).....	75
Εικόνα 5.14: Υετογράφημα για το επεισόδιο #4.....	75
Εικόνα 5.15: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #4.....	76
Εικόνα 5.16: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #4 στην έξοδο της λεκάνης (SCS).....	76
Εικόνα 5.17: Σύγκριση υετογραφημάτων για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς με την πραγματική βροχόπτωση	77
Εικόνα 5.18: Προσομοίωση ανάλυσης αβεβαιότητας της πραγματικής βροχόπτωσης στην έξοδο της (SCS)	77

Κατάλογος Εξισώσεων

Εξίσωση 1: Τύπος Giandotti, χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης απορροής	65
Εξίσωση 2: Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής.....	78

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

DEM	Digital Elevation Model
EM-DAT	Emergency Disasters Database
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center's - Hydrologic Modeling System

ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚ	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
Q-GIS	Quantum Geographic Information System
SCS	Soil Conservation Service
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΖΔΥΚΠ	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ΜΥΓ	Μοναδιαίο Υδρογράφημα
ΣΓΠ	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Πάνω από 120 μεγάλες πλημμύρες σημειώθηκαν στην Ευρώπη μεταξύ 2003 και 2007, με συνολικές οικονομικές ζημιές άνω των 12 δισεκατομμυρίων ευρώ, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων φυσικών καταστροφών (Emergency Disasters Database – EM-DAT). Ως άμεσο αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, της ανεπαρκούς διαχείρισης των λεκανών απορροής των ποταμών και της επέκτασης των οικισμών σε περιοχές που πρόσφατα βίωσαν καταστροφικές πλημμύρες,

αναμένεται ότι το μέγεθος και η συχνότητα των πλημμυρών θα αυξηθούν στο εγγύς μέλλον.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν διάφορες επιλογές για τη μείωση του κινδύνου των πλημμυρών, οι οποίες, θεωρητικά, ταξινομούνται σε δομικές και μη δομικές λύσεις. Φράγματα, ταμιευτήρες, αναχώματα και άλλες δομικές λύσεις είναι μερικά παραδείγματα (π.χ. σχεδιασμός χρήσεων γης, συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες, σχέδια εκκένωσης, ασφάλιση κατά των πλημμυρών κ.λπ.) Η παραδοσιακή μέθοδος κατασκευής τεχνικών έργων για την προστασία από πλημμύρες κοντά στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής ποταμού έχει αποδειχθεί μη βιώσιμη, απίστευτα δαπανηρή και περιβαλλοντικά επιζήμια. Η παλαιά τεχνική των τεχνικών έργων πολιτικού μηχανικού φαίνεται ότι αντικαθίσταται από τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας και τη νοοτροπία "να ζούμε με τις πλημμύρες" στην πολιτική της Ευρώπης για την ιεράρχηση των μέτρων προστασίας από τις πλημμύρες (Begum & van Gelder 2004).

Η εφαρμογή της νέας οδηγίας 2007/60/Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (ΕΚ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για τις πλημμύρες σηματοδοτεί αυτή τη σημαντική αλλαγή στη στρατηγική ελέγχου των πλημμυρών στην Ευρώπη. Προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος πλημμυρών, η νέα οδηγία απαιτεί από τα κράτη μέλη να χαρτογραφήσουν και να προσδιορίσουν τις περιοχές κοντά σε υδάτινα σώματα που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες. Σε αυτό το νέο περιβάλλον που δημιουργείται από τις απαιτήσεις της σύγχρονης ζωής, είναι ζωτικής σημασίας η εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας και, συνεπώς, των ζημιών από πλημμύρες.

Όπως φαίνεται από την παγκόσμια βιβλιογραφία, υπάρχει πλέον σημαντικός όγκος έρευνας που διεξάγεται σχετικά με το θέμα της εκτίμησης των ζημιών από πλημμύρες. Διαπιστώνεται ότι υπάρχουν διαφορές στις μεθόδους και τα μοντέλα πρόβλεψης.

Οι ορισμοί των ζημιών από πλημμύρες είναι αρχικά ασαφείς. Η διάκριση μεταξύ αξιολογημένων και μη αξιολογημένων ζημιών ή μεταξύ άμεσων και έμμεσων ζημιών αναγνωρίζεται πλέον ευρέως σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά οι ορισμοί και οι ερμηνείες αυτών των κατηγοριών διαφέρουν (Jonkman et al. 2008). Δεν υπάρχει μια συνεπής προσέγγιση για την εκτίμηση των ζημιών

από πλημμύρες (σε οικονομικούς ή νομισματικούς όρους), ενώ υπάρχουν επίσης αξιοσημείωτες αποκλίσεις στην χωρική κλίμακα των εκτιμήσεων των ζημιών (Messner et al. 2007). Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εκτίμηση των άμεσων ζημιών από πλημμύρες σε δομημένα περιβάλλοντα είναι η μεθοδολογία της καμπύλης βυθού νερού – ζημιάς, αν και δεν υπάρχει μια πλήρης, αποδεκτή προσέγγιση που να αντιμετωπίζει αυτά τα ζητήματα στην διεθνή βιβλιογραφία.

Το χρηματοδοτούμενο από το 6ο Πρόγραμμα Πλαίσιο ερευνητικό έργο «FLOODsite», το οποίο ολοκληρώθηκε το 2009 και στο οποίο συμμετείχαν περισσότεροι από 250 εξειδικευμένοι ερευνητές, αποτελεί το πρώτο εκτεταμένο εγχείρημα στον τομέα αυτό στην Ευρώπη. Στην ερευνητική τους μελέτη, οι Meyer & Messner (2005) εξέτασαν τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ζημιών από πλημμύρες σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Κάτω Χώρες, Τσέχικη Δημοκρατία και Γερμανία) με συγκρίσιμα καθεστάτα πλημμύρων. Η παρατήρηση των ερευνητών για σημαντικές μεθοδολογικές ασυνέπειες στην εκτίμηση των ζημιών εμποδίζει σοβαρά την εφαρμογή ενός τυποποιημένου μοντέλου πρόβλεψης ζημιών από πλημμύρες. Διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές, ειδικότερα, μεταξύ των σκοπών της ανάλυσης ζημιών από πλημμύρες (ανάλυση κόστους – οφέλους ή ανάλυση κινδύνου), των κατηγοριών άμεσων ζημιών που λαμβάνονται υπόψιν, την χωρικής κλίμακας της ανάλυσης, του απαιτούμενου επιπέδου εξάρτησης των ευρημάτων, των βασικών εννοιών αποτίμησης και της προσβασιμότητας των δεδομένων.

Η ανάλυση νέων στρατηγικών για την βελτίωση των σημερινών μεθόδων αξιολόγησης των άμεσων ζημιών από πλημμύρες και της ευπάθειας ενός συστήματος στις πλημμύρες αποτελεί πρόβλημα για την έρευνα στον τομέα της αντιμετώπισης και διαχείρισης των πλημμυρών. Παρέχοντας μια μεθοδολογία και την αξιολόγηση των άμεσων ζημιών από πλημμύρες, δίνοντας έμφαση στην χωρική κλίμακα των τεχνικών ανάλυσης και εκτίμησης ζημιών και λαμβάνοντας υπόψιν άλλες μεταβλητές εκτός από το βάθος νερού κατά την πρόκληση άμεσων ζημιών σε ένα δομημένο περιβάλλον, η παρούσα διατριβή επιδιώκει να συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση.

Προκειμένου να κατανοήσουμε την έννοια της ζημιάς και να προσδιορίσουμε την ουσία της, αρχικά παρουσιάζονται οι ορισμοί των ζημιών από πλημμύρες. Η πλειονότητα των ορισμών στην διεθνή βιβλιογραφία στερείται σαφήνειας. Επιπλέον, το ίδιο θέμα εκφράζεται συχνά χρησιμοποιώντας πολλές έννοιες. Η εισαγωγή του κεφαλαίου αποσαφηνίζει την ορολογία της ζημιάς που χρησιμοποιείται όλο το κείμενο της εργασίας και προσδιορίζει το είδος της ζημιάς από πλημμύρα που θα αποτελέσει το επίκεντρο της μελέτης του κεφαλαίου. Στην συνέχεια αναλύονται τα πρόσθετα είδη ζημιών από πλημμύρες που έχουν εντοπιστεί στην παγκόσμια βιβλιογραφία, με αντιπροσωπευτικά παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση. Η διαφοροποίηση των παραμέτρων, στην οποία δίνεται έμφαση και σε αυτό το κεφάλαιο, είναι ένα κρίσιμο βήμα στην διαδικασία ανάλυσης των ζημιών. Η επιλογή μιας αποδεκτής προσέγγισης εκτίμησης ζημιών υποβοηθείται ουσιαστικά από τα χαρακτηριστικά αυτά, τα οποία οδηγούν την ανάλυση προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση σύμφωνα με τις ανάγκες των ενδιαφερόμενων μερών.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ

Ο όρος «ζημιά από πλημμύρα» (flood damage) χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τα δυνητικά αρνητικά αποτελέσματα ενός πλημμυρικού συμβάντος.

Όπως στην περίπτωση είτε ακραίων βροχοπτώσεων και ταυτόχρονης αστοχίας ενός συστήματος αποχέτευσης ομβρίων υδατών είτε υπερχειλίσης ρέματος, το πλημμυρικό γεγονός μπορεί απλώς να προκληθεί από την πλημμύρα της πληγείσας περιοχής. Αυτή η μορφή πλημμύρας είναι η πιο συνηθισμένη. Ωστόσο, λιγότερο συνηθισμένα φυσικά φαινόμενα, όπως η δράση παλιρροϊκών κυμάτων που προκαλείται από έναν τυφώνα, ή ακόμη και ανθρωπογενή στοιχεία, όπως η αστοχία ενός αντιπλημμυρικού αναχώματος ή ενός φράγματος, μπορούν επίσης να προκαλέσουν το πλημμυρικό γεγονός. Ως αποτέλεσμα, ανάλογα με το πόσο σοβαρό είναι το πλημμυρικό φαινόμενο,

μπορεί να προκύψουν διάφορες επιζήμιες επιπτώσεις, όπως βλάβες σε ανθρώπους και την περιουσία τους, δημόσιες υποδομές, πολιτιστική κληρονομιά, περιβάλλον, βιομηχανική παραγωγή και οικονομική ανάπτυξη.

Η έννοια της ζημίας από πλημμύρα μπορεί να περιλαμβάνει όλα τα προαναφερθέντα. Ωστόσο, η φράση έχει συχνά δύο έννοιες στην διεθνή βιβλιογραφία: η μία αφορά την φυσική ζημιά που προκαλείται από την πλημμύρα σε μια δομή και η άλλη αναφέρεται στην οικονομική ζημιά που προκαλείται από φυσική ζημιά ή από πιθανές αποτυχίες της αγοράς. Ο όρος ζημιά από πλημμύρα χρησιμοποιείται από τους Penning – Rosswell και Green (2000) και, μεταγενέστερα, από την Carol Friedland (2009) για να περιγράψει την οικονομική ζημιά που προκαλείται από τις υλικές ζημιές σε ένα σπίτι που έχει πλημμυρίσει. Η υλική ζημιά που υφίσταται ένα πλημμυρισμένο ακίνητο ως αποτέλεσμα της πλημμύρας είναι γνωστή ως ζημιά από πλημμύρα.

Η εξέταση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις προσεγγίσεις αποτίμησης, δηλαδή την εκτίμηση των συνεπειών των πλημμυρών από την άποψη της οικονομικής αξίας έχει μελετηθεί από τους Penning-Rosswell & Green (2000). Η αξιολόγηση της ζημιάς σε απόλυτους όρους εφαρμόζεται με την χρήση είτε χρηματοοικονομικών είτε οικονομικών αρχών. Στην πρώτη περίπτωση, το κόστος των υλικών και της εργασίας που απαιτούνται για την επισκευή ή την αντικατάσταση ενός ζημιωθέντος αντικειμένου καθορίζει την αξία του, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, η αξία ενός ζημιωθέντος αντικειμένου καθορίζεται από την μείωση της προ της πλημμύρας αξίας του σε τιμές λογικές για την χρονική περίοδο κατά την οποία συνέβη το πλημμυρικό γεγονός. Σύμφωνα με μελέτη του Πανεπιστημίου του Dundee (Black & Evans, 1999), οι τιμές των ζημιών που δημιουργήθηκαν από την αποτίμηση τους από πλημμύρες με χρηματικούς όρους (financial) ήταν πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που δημιουργήθηκαν από την αποτίμησή τους με οικονομικούς όρους (economic), γεγονός που αναδεικνύει την ασυμφωνία μεταξύ των δύο μεθόδων αποτίμησης.

Η βιβλιογραφία αποσαφηνίζει επίσης την διαφορά μεταξύ των πραγματικών ζημιών (actual damage) και των δυνητικών ζημιών (damage

potential) που προκαλούνται από τις πλημμύρες. Σύμφωνα με τους Messner & Meyer (2006), η πραγματική ζημιά αναφέρεται στην εκ των υστέρων εκτίμηση που πραγματοποιείται αμέσως μετά την πλημμύρα για την αποζημίωση των θυμάτων. Δεδομένου ότι βασίζονται σε επιτόπια έρευνα, οι εκτιμήσεις των πραγματικών ζημιών είναι αρκετά λεπτομερείς και προσαρμοσμένες στις ιδιαιτερότητες της περιοχής που υπέστη ζημιές. Η δυνητική ζημιά μιας οριοθετημένης περιοχής είναι το μέγιστο ποσό ζημιάς που μπορεί να προκύψει από τις πλημμύρες.

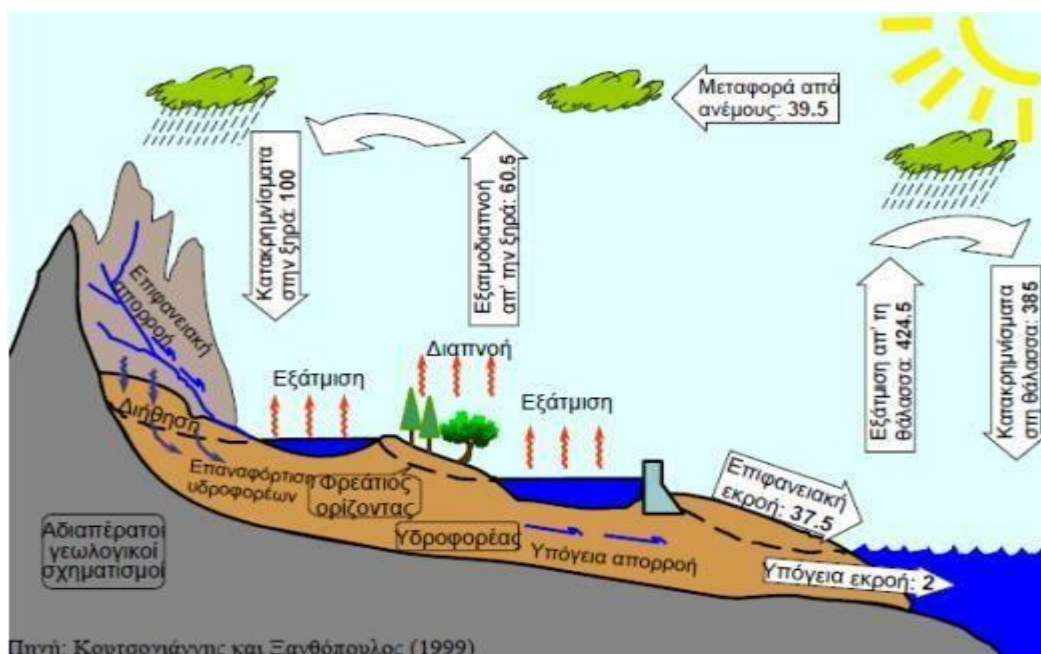
Ωστόσο, μπορεί να υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των πραγματικών και αναμενόμενων ζημιών από πλημμύρες, ή και καθόλου. Για παράδειγμα, προβλέπεται ότι θα υπάρχει σημαντική διαφορά σε μια πόλη που έχει υποστεί αρκετές πλημμύρες, καθώς θεωρείται ότι οι κάτοικοι θα έχουν επίγνωση της απειλής της πλημμύρας και θα ενεργούν γρήγορα όταν εκδοθεί προειδοποίηση για πλημμύρα. Σε μια έρευνα σε 140 κατοικίες στην μητροπολιτική περιοχή Lismore της Αυστραλίας που αντιπαραβάλλει τις πραγματικές και τις πιθανές ζημιές από πλημμύρες, διαπιστώθηκε ότι οι πραγματικές ζημιές ήταν μόνο το 52,4% των πιθανών ζημιών (Smith 1981). Ως δυνητική ζημιά από πλημμύρα ορίζεται η ζημιά που μπορεί να αποφευχθεί εάν εφαρμοστούν μέτρα πρόληψης πλημμυρών στην περιοχή που ενδέχεται να πληγεί. Βοηθώντας στην αξιολόγηση των διαφορών στρατηγικών ελέγχου των πλημμυρών, ο υπολογισμός των δυνητικών ζημιών διατείνεται ότι θα βοηθήσει στην λήψη λογικών πολιτικών αποφάσεων.

Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο Υδρολογικός κύκλος αποτελεί την σχηματική περιγραφή μιας σειράς διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στη φύση μεταξύ θάλασσας, ατμόσφαιρας και ξηράς . Σ' αυτή την αλυσίδα των εμφανίσεων το νερό παρουσιάζεται μ' όλες τις πιθανές καταστάσεις: υγρό, αέριο, στερεό. Η σειρά εμφανίσεων του νερού στη φύση δεν έχει πρακτικά αρχή και τέλος. Όμως η

αρχή, θα μπορούσε να τοποθετηθεί στην ατμόσφαιρα όπου το νερό συγκεντρώνεται με τη μορφή υδρατμών που προέρχονται από την εξάτμιση του νερού από τις θάλασσες, λίμνες, ποταμούς, έδαφος, βλάστηση κ.λπ.

Επομένως, αντικείμενο της υδρολογίας είναι η ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων και ερμηνειών για τις διάφορες διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου και ιδιαίτερα για την χωροχρονική εξέλιξη των φαινομένων. Είναι γεγονός ότι οι διάφορες φάσεις του υδρολογικού κύκλου εμπεριέχουν παραμέτρους και διαδικασίες πολλές φορές αλληλεξαρτώμενες. Μερικές μάλιστα απ' αυτές ερευνώνται από άλλες επιστήμες (Τσακίρης, 1995).



Εικόνα 1.1: Ο Υδρολογικός Κύκλος (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ και του συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000, η οποία στοχεύει στην διατήρηση και βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος στην Κοινότητα, οι πλημμύρες ορίζονται ως εξής: Μία πλημμύρα είναι η υπερχειλίση του επιπλέον νερού που καλύπτει τη ξηρά. Η οδηγία της ΕΕ για τις πλημμύρες ορίζει ως πλημμύρα τη προσωρινή κάλυψη από νερό του εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται

από νερό. Κατά την έννοια του «ρέοντος νερού», μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στην εισροή της παλίρροιας. Οι πλημμύρες μπορεί να προκύψουν από τον όγκο νερού μέσα σε ένα σώμα του ύδατος, όπως ένα ποτάμι ή λίμνη, η οποία υπερχειλίζει ή σπάει τα αναχώματα, με αποτέλεσμα το νερό να διαφύγει από τα συνήθη όριά του. Εναλλακτικά, το μέγεθος της λίμνης ή άλλου φορέα του νερού ποικίλλει ανάλογα με τις εποχιακές αλλαγές στις βροχοπτώσεις και στα χιόνια που λιώνουν, δεν είναι μια σημαντική πλημμύρα εκτός αν τέτοιες διαρροές νερού θέσουν σε κίνδυνο τις εκτάσεις που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο όπως για παράδειγμα σε ένα χωριό, πόλη ή άλλη κατοικημένη περιοχή.

Οι πλημμύρες μπορεί επίσης να εμφανιστούν στα ποτάμια, όταν ροή υπερβαίνει την χωρητικότητα του καναλιού του ποταμού, ιδίως σε στροφές ή μαιάνδρους. Οι πλημμύρες συχνά προκαλούν ζημιές σε σπίτια και επιχειρήσεις, εφόσον έχουν τοποθετηθεί σε φυσικές περιοχές κατάκλυσης των ποταμών. Ενώ οι ζημιές από τις πλημμύρες μπορεί να έχουν σχεδόν εξαλειφθεί με την απομάκρυνση του ανθρώπου από τους ποταμούς και άλλους φορείς του νερού, δεδομένου ότι ανέκαθεν, οι άνθρωποι έχουν ζήσει και εργαστεί κοντά το νερό για να αναζητήσουν τροφή και να αξιοποιήσουν τα οφέλη της φθηνής και εύκολης μετακίνησης και το εμπόριο με το να είναι κοντά νερό. Το γεγονός ότι οι άνθρωποι συνεχίζουν να κατοικούν σε περιοχές που απειλούνται με ζημιές από πλημμύρες, είναι απόδειξη ότι η αξία του να κατοικούν σε περιοχές προσβάσιμες με νερό, υπερβαίνει το κόστος των επαναλαμβανόμενων περιοδικών πλημμυρών.

Η εμφάνιση των πλημμυρών αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο στο οποίο υπεισέρχονται διάφορες και πολύπλοκες φυσικές και τεχνικές διεργασίες όπως είναι η δημιουργία των ραγδαίων βροχών, η διήθηση και η επιφανειακή απορροή, η διάβρωση και η μεταφορά των στερεών υλικών από το νερό, η ασταθής και ανομοιόμορφη ροή του νερού δια μέσου του συστήματος των φυσικών υδατορευμάτων, με γενικά μεταβλητή διατομή κατά την διάρκεια του φαινομένου κ.α. Η πλήρης προστασία από πλημμυρικό γεγονός σε μια περιοχή είναι συνήθως τεχνικά ή οικονομικά ανέφικτη. Γι' αυτό, η αντιπλημμυρική προστασία έγκειται κυρίως στην πρόληψη των ζημιών

από πλημμύρες μικρού ή μεσαίου μεγέθους και στην ελάττωση των ζημιών από πλημμύρες μεγάλου μεγέθους. Για τους ανωτέρω λόγους, όταν γίνεται αναφορά στην αντιπλημμυρική προστασία προτιμάται ο όρος «μετρίαση πλημμύρας».

Ως εκ τούτου, σε μακροχρόνια βάση η λυσιτελής αντιπλημμυρική προστασία μιας περιοχής είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνον εφ' όσον το φαινόμενο της πλημμυρικής απορροής αντιμετωπισθεί στο σύνολό του, ήτοι από την έναρξη της δημιουργίας της απορροής μέχρι την κατάληξη των υδάτων στον φυσικό αποδέκτη τους, ήτοι σε λίμνη ή σε θάλασσα (Σακκάς, 2004).

ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα είναι ένας τόπος με έντονο ανάγλυφο και ακτογραμμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τόσο τα τοπογραφικά και εδαφολογικά της χαρακτηριστικά, όσο και τα υδρολογικά και κλιματικά, να μεταβάλλονται. Η συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών επεισοδίων δε σχετίζεται με το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, αλλά με την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων. Στην Ελλάδα μάλιστα, οι πλημμύρες συχνά οφείλονται σε επεισόδια βροχής μεγάλης έντασης που παράγονται συνήθως από χαμηλά βαρομετρικά προερχόμενα από δυτικά, νοτιοδυτικά ή βορειοδυτικά. Η χώρα μας, για πολλούς γνωστούς λόγους (όπως : απρογραμμάτιστη αστικοποίηση, αυθαίρετη δόμηση, αποψίλωση δασών, πυρκαγιές, μπαζώματα ρεμάτων, καταπατήσεις, έλλειψη αναγκαίων αντιπλημμυρικών έργων και ανεπάρκεια των κατασκευασμένων κ.λπ.), δεν διαθέτει σήμερα ικανοποιητική θωράκιση αντιπλημμυρικής προστασίας.

Ως αποτέλεσμα, πολλές περιοχές της χώρας πλήττονται συχνά από καταστροφικές πλημμύρες με ανυπολόγιστες ζημιές, υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ανθρώπινα θύματα ακόμα και σε σχετικά μικρής εντάσεως και διάρκειας βροχοπτώσεις. (Νικολόπουλος, 2007). Περιοχές όπου συμβαίνουν συχνά πλημμυρικά φαινόμενα παρουσιάζουν δυσκολίες στον σχεδιασμό και προγραμματισμό των αντιπλημμυρικών έργων καθώς δημιουργούνται

προβλήματα σε συνδυασμό με τις νέες βροχοπτώσεις και την κλιματική αλλαγή με αποτέλεσμα:

- Να διαβρωθούν και να παρασυρθούν τα εδάφη από τις γυμνές πλέον καμένες περιοχές μειώνοντας ή και μηδενίζοντας τις δυνατότητες φυσικής ή και τεχνητής αναδημιουργίας των καμένων δασών και των δενδροκαλλιεργειών, με κατάληξη ενδεχομένως την ερήμωση.

- Να προκληθούν ανεξέλεγκτες καταστροφικές πλημμύρες με ανυπολόγιστες ζημιές, υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ανθρώπινα θύματα στις κατάντη αστικές και γεωργικές περιοχές, στις τουριστικές εγκαταστάσεις, στα έργα υποδομής και πολιτιστικής κληρονομιάς.

- Να προκληθούν κατολισθήσεις που θα επηρεάσουν σημαντικά κατοικημένες περιοχές, τα υφιστάμενα και προγραμματισμένα έργα υποδομής, και γενικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Επισημαίνεται ότι στις κλιματικές αλλαγές που έχουν ήδη αρχίσει να εκδηλώνονται, σε πολλά σημεία του πλανήτη, οφείλονται μεταξύ των άλλων σε μεγάλο βαθμό και οι καταστροφικές πυρκαγιές του φετινού καλοκαιριού στην Ελλάδα και σε άλλες χώρες της Μεσογείου (Νικολόπουλος, 2007).

Στην ημερίδα για την Αντιπλημμυρική Προστασία του 2007 επισημαίνεται επίσης ότι: Η αντιπλημμυρική Προστασία του Λεκανοπεδίου της Αττικής πρέπει να γίνεται προγραμματισμένα λαμβάνοντας υπ' όψιν τις προγραμματισμένες αλλαγές των χρήσεων γης αλλά και συντονισμένα από τους εμπλεκόμενους φορείς σε μια συστηματικά ελεγχόμενη επέκταση της πόλης (Στάμου, 2007).

Η κατανομή των βροχοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζεται παρακάτω



Εικόνα 1.2: Απεικόνιση της επιφάνειας μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων ΕΜΠ)

Η καταγραφή των ιστορικών πλημμυρών στο λεκανοπέδιο της Αττικής απεικονίζονται στο παρακάτω χάρτη

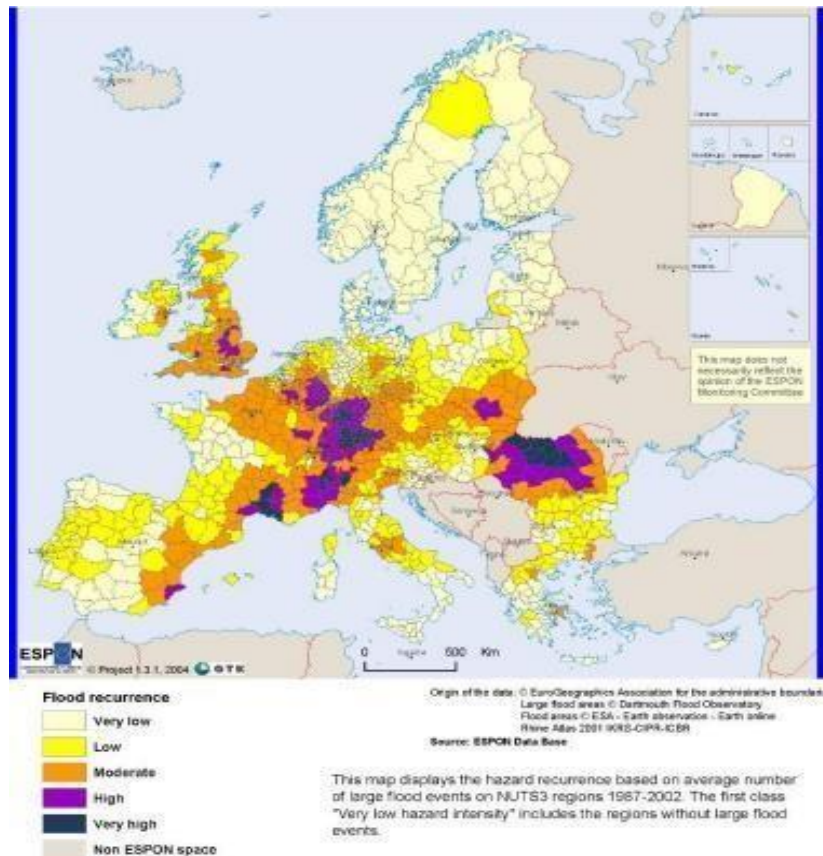


Εικόνα 1.3: Χάρτης των ιστορικών πλημμυρών στην περιοχή της Αττικής (Πηγή: ΙΓΜΕ, Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών)

Η ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΥΔΑΤΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ 60/2000

Αναλύοντας την οδηγία 60/2000 της ΕΕ παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι και η νέα θεώρηση της αντιμετώπισης των υδατικών πόρων:

- Επίτευξη μέχρι το 2015 της καλής κατάστασης για όλα τα επιφανειακά και υπόγεια νερά της Ευρώπης, μέσω της κατάρτισης ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού
- Νέα θεώρηση στη διαχείριση των υδατικών πόρων
- Διαχείριση ανά λεκάνη ή ομάδα λεκανών απορροής
- Ενιαία θεώρηση όλων των τύπων υδατικών σωμάτων
- Διασυνοριακή συνεργασία μεταξύ χωρών
- Πλήρης καταμερισμός του συνολικού κόστους χρήσης του ύδατος κατά τομείς δραστηριότητας και ανάκτησή του, με βάση την αρχή ο ρυπαίνων και ο χρήστης πληρώνουν
- Εξασφάλιση της ενεργού συμμετοχής όλων των φορέων, συμπεριλαμβανομένων των μη κυβερνητικών οργανώσεων και των τοπικών κοινοτήτων, στις δραστηριότητες διαχείρισης των υδάτων
- Διασφάλιση και ενίσχυση της συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων (Μίχας & Μαμάσης, 2010).



Εικόνα 1.4: Χάρτης της επαναφοράς πλημμυρικού κινδύνου της περίοδο 1987-2002 (Πηγή: European Spatial Planning Observation Network)

Ο ανωτέρω χάρτης παρουσιάζει την επαναφορά πλημμυρικού κινδύνου την περίοδο 1987-2002, βασιζόμενος σε έναν μέσο αριθμό μεγάλων πλημμυρικών γεγονότων στις περιοχές NUTS3 (Nomenclature of Territorial Units for Statistics), δηλαδή περιφέρειες έχουν γενικά πληθυσμό από 150.000 έως 800.000 κατοίκους. Παρατηρούμε ότι η περιοχή της Αττικής είναι μέτριου επιπέδου ίδιου όμως με περιοχές όπως ο ευρύτερος νομός Θεσσαλονίκης αλλά και ο Έβρος. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν ευρύτερα στην Κοινότητα διαδικασίες οι οποίες έχουν σαν στόχο την προστασία διατήρηση και ανάπτυξη των υδατικών πόρων και θεωρείται αναγκαίο και η Ελλάδα να προσαρμόσει τις διαδικασίες υδρολογικού σχεδιασμού σε αυτές.

Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΑ ΕΥΒΟΙΑΣ

Στις αρχές Αυγούστου του 2020 μία αποκομμένη ατμοσφαιρική διαταραχή με ψυχρό πυρήνα προσέγγισε την Ελλάδα από τα βορειοδυτικά και έλαβε την ονομασία «Θάλεια» από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Από τις 4 Αυγούστου 2020, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) είχε εκδώσει έκτακτο δελτίο επιδείνωσης του καιρού, το οποίο ενημερώθηκε δύο ημέρες αργότερα, και προειδοποιούσε για τις έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Εύβοιας, ανάμεσα σε άλλες περιοχές.

Αρχίζοντας από το βράδυ στις 8 Αυγούστου στην Εύβοια σημειώθηκαν υψηλά ύψη βροχής και έντονη κεραυνική δραστηριότητα, ιδίως ανάμεσα σε Νέα Αρτάκη, Ψαχνά και Στενή. Η έντονη κακοκαιρία σχημάτισε σύννεφα ύψους 12 χιλιομέτρων, ξεπερνώντας δηλαδή το όριο της τροπόσφαιρας, και διατήρησε την ισχύ της για πέντε ώρες. Στον μετεωρολογικό σταθμό στην Στενή Ευβοίας καταγράφηκαν 300 χιλιοστά βροχής σε οχτώ ώρες και στον μετεωρολογικό σταθμό των Ψαχνών το ύψος της βροχής έφθασε 226 χιλιοστά.

Αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων ήταν η υπερχειλίση του Λήλαντα, του Μεσσαπίου και του ρέματος Πολιτικών. Το ύψος του νερού σε διάφορα σημεία έφθασε το 1.5 μέτρο, ενώ στο κέντρο των Ψαχνών το ύψος του νερού έφθασε το 1 μέτρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ QGIS

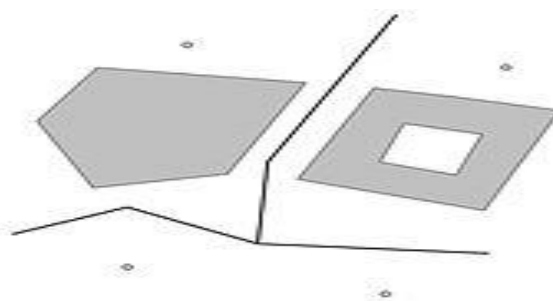
Η μελέτη του ανάγλυφου υλοποιήθηκε στο λογισμικό πακέτο **QGIS** της ESRI (έκδοση 3.18.1) σε συνδυασμό με το λογισμικό πακέτο **HEC – HMS** του U.S. Army, Corps of Engineers (έκδοση 4.8), το οποίο ενδείκνυται για υδρολογικές μελέτες καθώς ενσωματώνει διαφορετικούς αλγορίθμους για τον υπολογισμό της απορροής, ενώ περιλαμβάνει και πιο εξειδικευμένα εργαλεία. Το λογισμικό πακέτο **HEC – HMS** θα αναλυθεί ενδελεχώς παρακάτω.

Όσον αφορά το λογισμικό πακέτο *QGIS*, η βασική δυνατότητα την οποία παρέχει, είναι η παραγωγή δεδομένων από την ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη. Όπως είναι γνωστό η ψηφιοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση σαρωτή για την δημιουργία αρχείου σαρωμένου χάρτη και ψηφιοποίηση επί της οθόνης (on – screen digitizing).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Για το συγκεκριμένο πλημμυρικό γεγονός, σημαντικό ρόλο παίζει το ανάγλυφο της περιοχής, καθώς είναι αυτό που θα καθορίσει τα μεγέθη που εν τέλει θα επηρεάσουν την μορφή του υδρογραφικού δικτύου και το μέγεθος της απορροής. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ως μοναδικό δεδομένο σε πρώτο στάδιο ένα μωσαϊκό, που αποτελείται από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΨΜΕ).

Το ΨΜΕ είναι **κανονικοποιημένης ψηφιδωτής μορφής δεδομένα (raster)**. Τα raster αποτελούνται από κελιά τα οποία διαθέτουν είτε δεκαδικούς, είτε ακέραιους αριθμούς. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται, χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους, η εξέλιξη μίας πυρκαγιάς κ.λπ.) ή σε περιπτώσεις που στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία.



Εικόνα 2.1: Οι τρεις βασικοί τύποι διανυσματικών δεδομένων: Γραμμή, Σημείο, Πολύγωνο

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Η γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον **QGIS**, με την βοήθεια των **raster data**. Με την βοήθεια αυτού, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να οπτικοποιεί την χωρική πληροφορία, να καταγράφει τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, να οριοθετεί τις λεκάνες και τα ρέματα και κατ' επέκταση να παράγει τα απαραίτητα αρχεία εισόδου που απαιτούνται για την εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου **HEC – HMS**.

Με την διαδικασία η οποία θα αναλυθεί στα επόμενα της εργασίας, παράγονται δύο αρχεία, τα οποία αποτελούν τα αρχεία εισόδου στο πρόγραμμα **HEC – HMS**. Συγκεκριμένα εξάγονται τα εξής:

- Αρχείο χάρτη (background map), στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολεκάνες απορροής (subbasins) και τα υδατορέματα της περιοχής μελέτης
- Αρχείο του μοντέλου της λεκάνης απορροής (basin model), το οποίο περιέχει τα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης

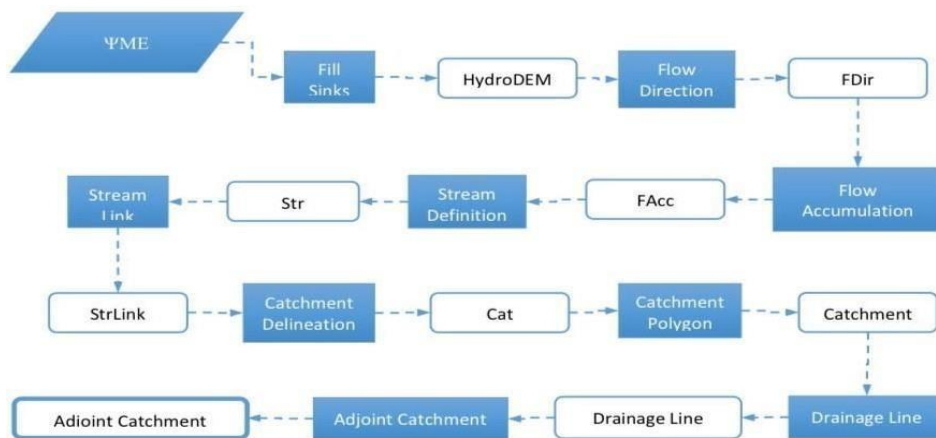
Τα υπόλοιπα αρχεία που απαιτούνται για την λειτουργία του **HEC - HMS** είναι το μετεωρολογικό μοντέλο (meteorological model, time series data), τα παρατηρούμενα πλημμυρογραφήματα (hydrographs) και κάποιοι παράμετροι (όπως Curve Number, Muskingum K-X κ.α.) για την εφαρμογή των μαθηματικών προτύπων του προγράμματος.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ (TERRAIN PROCESSING)

Για την παραγωγή του υδρολογικού μοντέλου, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία του ΨΜΕ μέσω της επέκτασης **Saga GIS Hydrology Tools**. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 2.2: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους περιοχής μελέτης

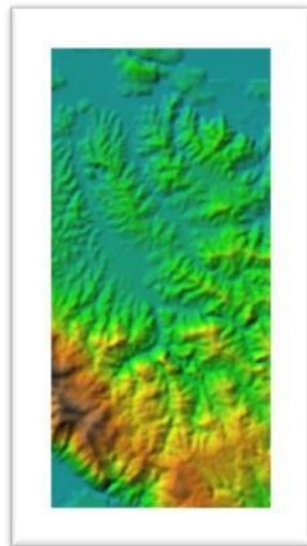


Εικόνα 2.3: Διάγραμμα ροής των εργασιών της επεξεργασίας ανάγλυφου με την επέκταση «Saga GIS Hydrology Tools»

Σύμφωνα με το ανωτέρω διάγραμμα ροής, στα γαλάζια πλαίσια φαίνονται οι εντολές του «Saga GIS Hydrology Tools» που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στα λευκά πλαίσια φαίνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από κάθε εντολή. Ως μοναδικό δεδομένο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το ΨΜΕ.

FILL SINKS:

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4, αρχικά, η λειτουργία “Fill Sinks” μεταβάλλει το υψόμετρο των κελιών, ώστε να εξαιρεθεί το πρόβλημα των κοιλωμάτων (sinks) λόγω σφάλματος του ΨΜΕ. Σε ΨΜΕ ανάλυσης 30 μέτρων, το 0.9% - 4.7% των κελιών είναι κοιλώματα που οφείλονται σε σφάλμα του ΨΜΕ και συνήθως όσο μικρότερη είναι η ανάλυση του ΨΜΕ τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτό (Tarboton, Bras & Rodriguez – Iturbe, 1991).

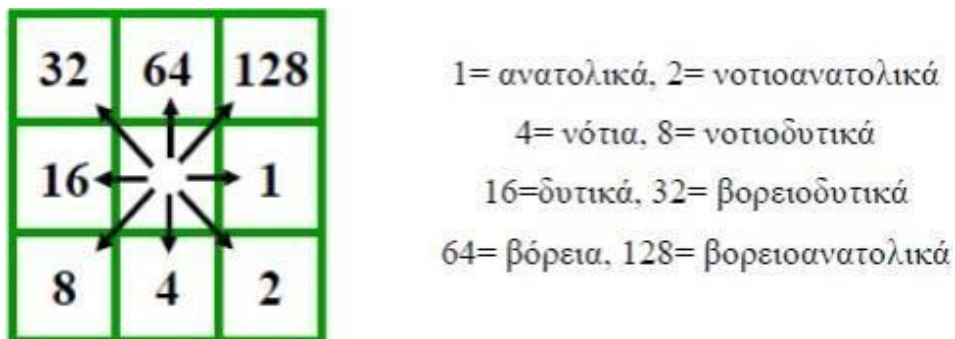


Εικόνα 2.4: Διόρθωση βυθισμάτων ψηφιακού μοντέλου εδάφους

FLOW DIRECTION:

Στο δεύτερο βήμα υπολογίστηκε η κατεύθυνση της ροής (Flow direction). Σε αυτό το στάδιο δημιουργείται ένας κάνναβος διεύθυνσης απορροής. Εφαρμόζεται ο κάνναβος υψομέτρου και υπολογίζει για κάθε φατνίο προς τα

που θα κατευθυνθεί η ροή. Η βασική αρχή του καννάβου απορροής είναι ότι η απορροή ξεκινά από κάθε φατνίο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προς ένα και μόνο φατνίο από τα 8 γειτονικά του, ανάλογα με την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης. Η κλίση μεταξύ δύο γειτονικών φατνίων υπολογίζεται ως η διαφορά των υψομέτρων τους διαιρεμένη με το 1, αν το εν λόγω φατνίο βρίσκεται οριζόντια ή κάθετα του αρχικού, ή διαιρεμένη με το 1/2 αν βρίσκεται διαγώνια. Συνεπώς, ανάλογα με την διεύθυνση της απορροής, κάθε φατνίο παίρνει μια τιμή, όπως φαίνεται στην ακόλουθη Εικόνα 2.5.



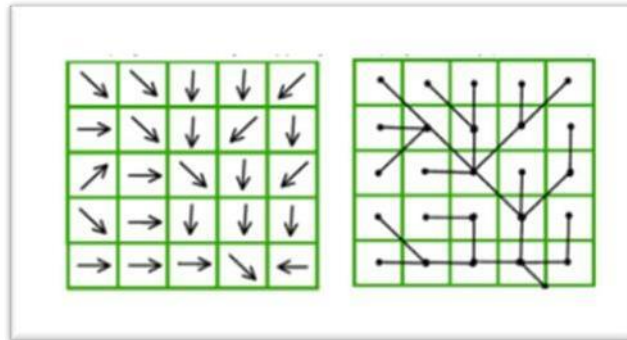
Εικόνα 2.5: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με την διεύθυνση απορροής

(Στάμου & Σκοπελίτη, 2013)

FLOW ACCUMULATION:

Βασιζόμενοι στον κάνναβο διεύθυνσης απορροής που δημιουργήθηκε, ακολουθεί ο προσδιορισμός του καννάβου της συγκεντρωτικής ροής του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Η συγκεντρωτική ροή κάθε φατνίου του καννάβου ισούται με το άθροισμα των γειτονικών φατνίων που απορρέουν σε αυτό. Τα φατνία με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές ενώ αυτά με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισγάγγειες (Στάμου & Σκοπελίτη, 2013).

Επομένως, καθορίζεται ο αριθμός των ανάντη φατνίων που αποστραγγίζονται σε ένα συγκεκριμένο φατνίο. Το εμβαδόν της ανάντη περιοχής αποστράγγισης μπορεί να υπολογιστεί εύκολα με τον πολλαπλασιασμό της τιμής συσσώρευσης του συγκεκριμένου κατάντη κελιού με το εμβαδόν του κελιού.



Εικόνα 2.6: Κάνναβος συγκεντρωτικής ροής (Στάμου & Σκοπελίτη, 2013)

STREAM DEFINITION:

Με την εντολή αυτή δημιουργείται ένας κάνναβος υδατορεμάτων έχοντας ως εισαγόμενο κάνναβο εκείνον της συγκεντρωτικής απορροής και ορίζοντας ένα κατώφλι (threshold). Το κατώφλι είναι μια ελάχιστη τιμή οριοθέτησης ποταμού που επιλέγεται από τον χρήστη. Ουσιαστικά, επιλέγονται τα κελιά που έχουν συσσώρευση ροής μεγαλύτερη από το οριζόμενο κατώφλι. Στον πίνακα εισαγωγής δεδομένων, εμφανίζεται μια προεπιλεγμένη τιμή για το κατώτατο όριο οριοθέτησης του ποταμού, η οποία αποτελεί το 1% της μέγιστης συσσωρευμένης ροής. Ωστόσο, οποιαδήποτε τιμή κατωφλίου μπορεί να επιλεγεί. Μικρή τιμή κατωφλίου οδηγεί σε πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και σε περισσότερες οριοθετημένες λεκάνες.

Τα κριτήρια επιλογής της τιμής του κατωφλίου είναι:

- Να προκύπτουν αρκετές λεκάνες από αυτές που μας ενδιαφέρουν
- Να εμφανίζονται τα ποτάμια που διακρίνονται σε χάρτες κλίμακας 1:500.000

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές για τον προσδιορισμό του κατώφλιου, προκειμένου να εμφανίζεται όσο το δυνατό, όλο το υδρογραφικό δίκτυο. Επομένως, ως εμβαδό προσδιορισμού ποταμού επιλέχθηκε η τιμή $0,338 \text{ km}^2$, η οποία αντιστοιχεί σε 1000 ελάχιστους αριθμούς φατνίων.



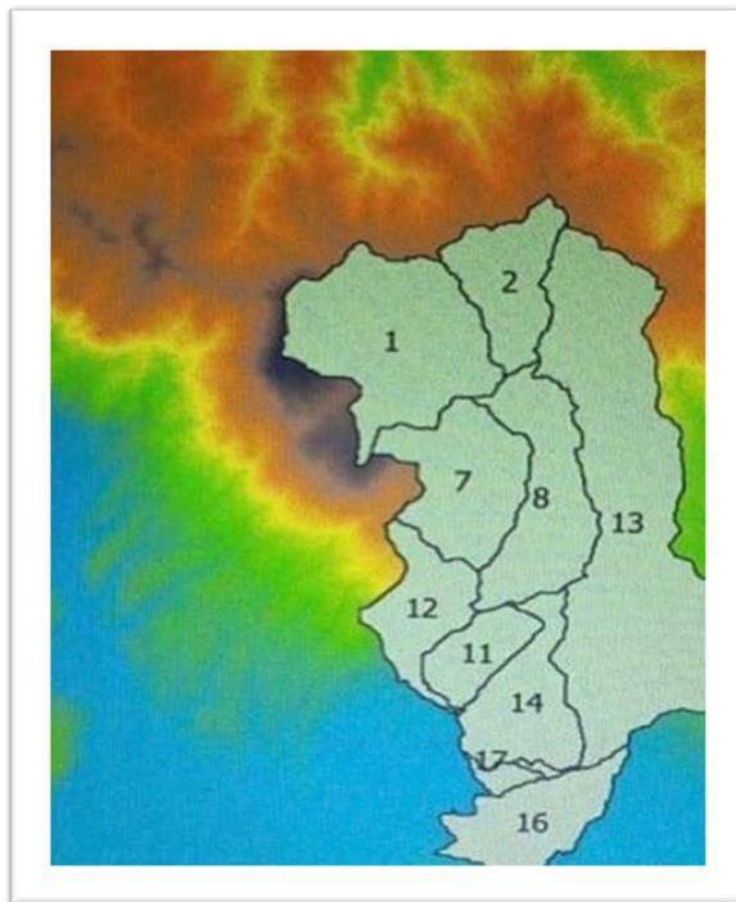
Εικόνα 2.7: Κατώφλι 1000 φατνία

STREAM SEGMENTATION:

Με την χρήση της συγκεκριμένης εντολής γίνεται ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου με μία μέθοδο αρίθμησης της σύνδεσης των τμημάτων από τα οποία αποτελείται το υδρογραφικό δίκτυο. Με την ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου εντοπίζονται και ταξινομούνται οι τύποι των ροών ανάλογα με τον αριθμό των παραποτάμων. Υπάρχουν δύο μέθοδοι ιεράρχησης του υδρογραφικού δικτύου, η μέθοδος Strahler και η μέθοδος Shreve. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η μέθοδος Strahler.

CATCHMENT GRID DELINEATION:

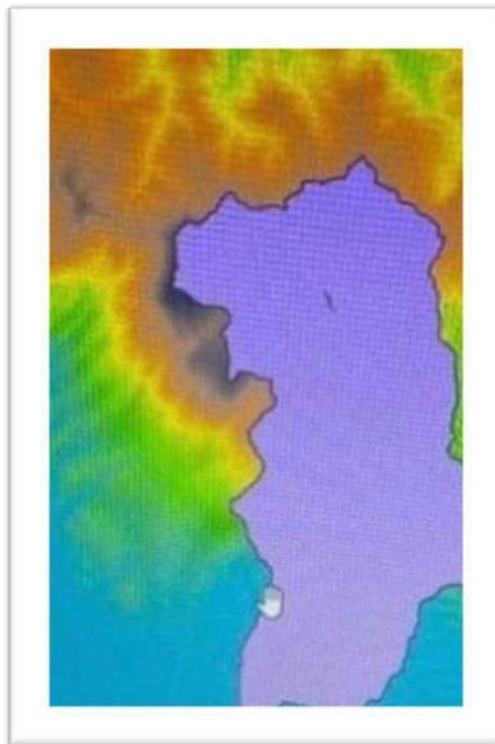
Η εντολή αυτή δημιουργεί υπολεκάνες για κάθε τμήμα του υδρογραφικού δικτύου. Όπως αναφέρθηκε, λόγω της επιλογής μικρής τιμής κατωφλίου, δημιουργήθηκε πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και κατ' επέκταση περισσότερες οριοθετημένες λεκάνες.



Εικόνα 2.8: Οριοθέτηση υπολεκανών για κάθε τμήμα του υδατορεύματος σε διανυσματική μορφή

DRAINAGE LINE PROCESSING AND ADJOINT CATCHMENT PROCESSING:

Η πρώτη εντολή μετατρέπει το υδρογραφικό δίκτυο από μορφή καννάβου (grid) σε διανυσματική μορφή. Σε επόμενο βήμα αθροίζονται οι ανάντη υπολεκάνες σε κάθε συμβολή του υδατορέματος.



Εικόνα 2.9: Συσσωμάτωση υπολεκανών

Ωστόσο, το βήμα αυτό δεν έχει κάποια υδρολογική σημασία. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω βημάτων επεξεργασίας του μοντέλου εδάφους ακολουθεί η προετοιμασία αρχείων εισόδου στο πρόγραμμα HEC – HMS, για

την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης μελέτης, η οποία θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Διοικητικά, η Εύβοια βρίσκεται στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας και είναι ένας από τους πενήντα έναν νομούς της. Ο νομός περιλαμβάνει τα νησιά της Εύβοιας και της Σκύρου, καθώς και ένα μικρό τμήμα της κεντρικής περιοχής της ηπειρωτικής Ελλάδας. Μετά την Κρήτη, η Εύβοια είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας.

Ο βόρειος και ο νότιος κόλπος του Ευβοϊκού πελάγους χωρίζουν το νησί από την ηπειρωτική Ελλάδα. Λόγω του σχηματισμού του "Καλλικράτη", το νησί της Εύβοιας χωρίζεται πλέον σε οκτώ δήμους. Ο δήμος Διρφύων-Μεσσαπίων στην κεντρική Εύβοια δεσπάζει στη γεωγραφική εστίαση της μελέτης.



Εικόνα 3.1: Δήμος Διρφύων - Μεσσαπίων (Φιλίππου, 2015)

Ο μεγαλύτερος δήμος της Εύβοιας είναι ο Δήμος Διρφύων-Μεσσαπίων, με συνολική έκταση 779,86 km². Στο δήμο κατοικούν 18.800 άτομα, σύμφωνα με την

υδατικών συστημάτων που σχηματίζονται σε περιοχές χωρίς ανθρώπινη δραστηριότητα, προκειμένου να εκτιμηθεί η έκταση των επιπτώσεών τους. Επιπλέον, η εκτεταμένη εξόρυξη και εκμετάλλευση των Fe-Ni-ούχων κοιτασμάτων στην περιοχή έχει αλλάξει ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (Μεγρεμή, 2010; Βασιλείου, 2013). Τέλος, στην περιοχή μελέτης υπάρχουν λίμνες εξόρυξης που δημιουργήθηκαν ως αποτέλεσμα της απόθεσης στείρων υλικών από την εκσκαφή και χαμηλής ποιότητας μεταλλεύματος μετά το τέλος της εξόρυξης (Βασιλείου 2013; Βασιλείου κ.ά., 2014; Remoundaki et al., 2016).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ

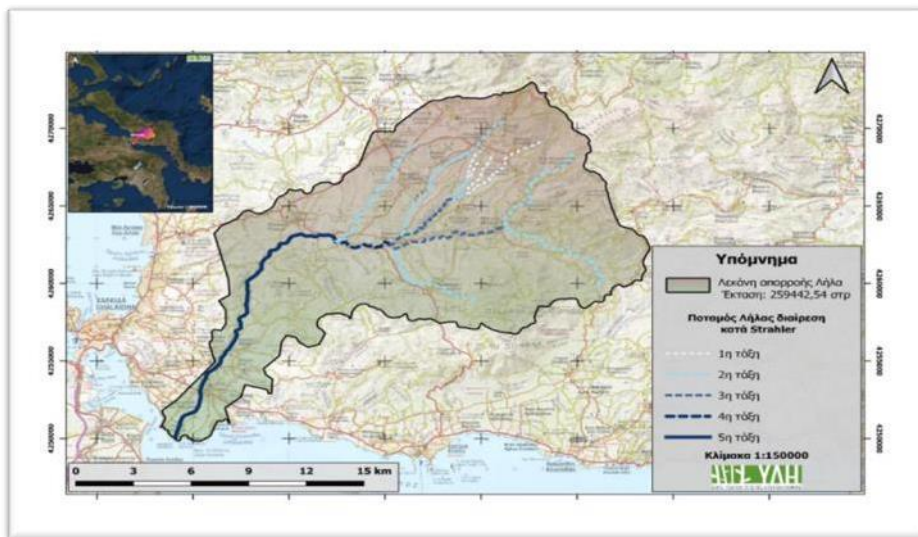
Στη ζώνη πλημμύρας, έβρεχε συνεχώς από τις 10 μ.μ. της 8^{ης} Αυγούστου 2020 έως τις 6 π.μ. της 9^{ης} Αυγούστου 2020. Αξιοσημείωτο είναι ότι η περιοχή του Αγίου και η βόρεια λεκάνη απορροής της πλημμύρας είχαν ελάχιστα έως καθόλου νερό (Προκόπι και βορειότερα).

Τα μεγαλύτερα ίχνη ροής στα ρέματα, ιδιαίτερα στην περιοχή του Λήλα και της Δροσιάς (περιοχή Πετιμενό), υποδηλώνουν υπερβολική ποσότητα βροχόπτωσης. Η περιοχή αυτή πλαισιώνεται από τις οροσειρές Δίρφη, Ξεροβούνι και Όλυμπος, καθώς και από τις κορυφές των βουνών Ελάτη, Κοτρώνι, Βουλιά, Ψείρρα Λάκκα και Κερασιά. (ΥΛΗ, 2021).

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η περιοχή από την οποία ένας φυσικός επιφανειακός αποδέκτης (ρέμα, ποταμός) συγκεντρώνει και μεταφέρει νερό σε έναν μεγαλύτερο αποδέκτη (ρέμα, ποταμό), στον ωκεανό ή σε μια λίμνη αναφέρεται ως λεκάνη απορροής. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης και με βάση τις καταγεγραμμένες καταστροφές, η πλημμυρική περιοχή χωρίστηκε σε λεκάνες απορροής και, κατά περίπτωση, σε υπολεκάνες απορροής (τμήματα των λεκανών απορροής), προκειμένου να ληφθούν τα ακριβέστερα αποτελέσματα.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Λήλαντα έχει έκταση 260.000 εκτάρια. Εδώ ο ποταμός μαζεύει τα νερά των βροχών για να τις μεταφέρει στη θάλασσα. Η πηγή του βρίσκεται στις δυτικές πλαγιές της οροσειράς Δίρφη-Ξεροβούνι και δέχεται νερό από τη βόρεια όψη του Ολύμπου, καθώς και από τον Πισσώνα, τη Στενή, την Αμφιθέα, τον Μίστρο και τον Θεολόγο και από την βόρεια πλευρά του όρους Όλυπος (Εικόνα 3.3).



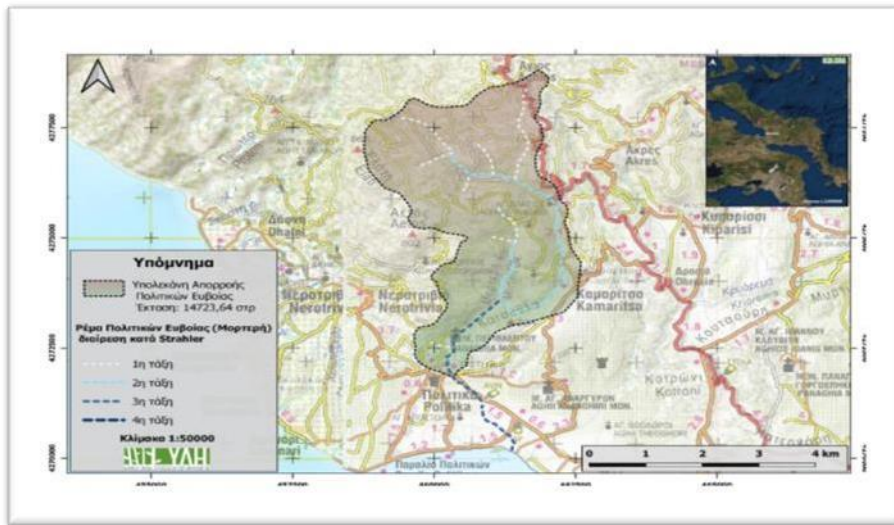
Εικόνα 3.3: Χάρτης 1 - Λεκάνη απορροής ποταμού Λήλαντα

Η υπολεκάνη απορροής του ρέματος Κρυόρεμα (Πεθαμένου), το οποίο διέρχεται από την θέση Δροσιά, είναι 25.000 στρέμματα (Εικόνα 3.4).



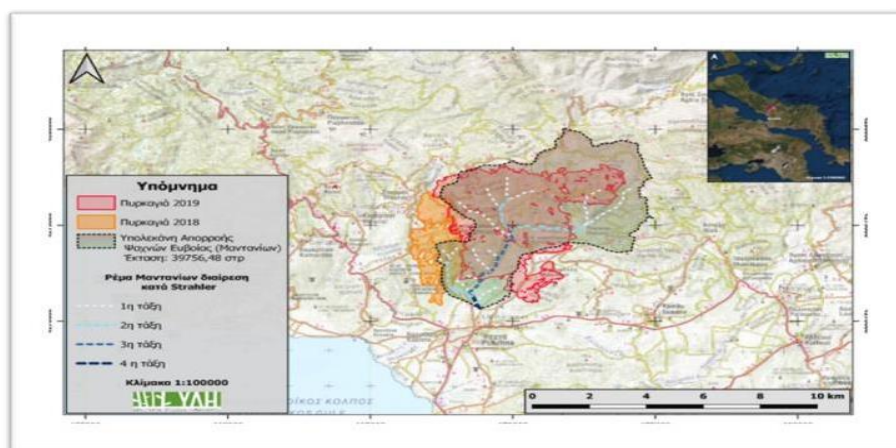
Εικόνα 3.4: Χάρτης 2 - Υπολεκάνη απορροής Κρυορέματος.

Η υπολεκάνη απορροής του ρέματος Μορτερή, το οποίο διέρχεται μέσα από τον οικισμό των Πολιτικών, είναι 15.000 στρέμματα (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5: Χάρτης 3 - Υπολεκάνη απορροής ρέματος Μορτερή

Η υπολεκάνη απορροής του ρέματος Μαντάνια, το οποίο ρέει ανατολικά των Ψαχνών και καταλήγει στον ποταμό Μεσσάπιο, ο οποίος επίσης ρέει νότια της πόλης, αποτελείται από 40.000 στρέμματα. Οι κορυφές της Κερασιάς, Ψείρας Λάκκα, Βουλιάς, οι οποίες σχηματίζουν μια κορυφογραμμή και χρησιμεύουν ως λεκάνη απορροής μεταξύ της Κεντρικής Εύβοιας και της Βόρειας και Ανατολικής Εύβοιας, υψώνουν την υπολεκάνη πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Κατά τους μήνες Αύγουστο 2018 (Κοντοδεσπότι), ένα σημαντικό τμήμα της υπολεκάνης κάηκε (Μακρυμάλλη, Ψαχνά) (Εικόνα 3.6) (ΥΛΗ, 2021).



Εικόνα 3.6: Χάρτης 4 - Υπολεκάνη απορροής Μαντανιών.

Οι λεκάνες και υπολεκάνες απορροής ποταμών με την έκτασή τους και οι περιοχές στις οποίες αναφέρθηκαν καταστροφές περιλαμβάνονται στον ακόλουθο πίνακα.

α/α	Όνομασία Λεκάνης-Υπολεκάνης Απορροής	Έκταση σε στρέμματα	Ευθύνη για καταστροφές
1	Ποταμού Μεσσάπιου (εκτός Μαντανίων)	216.171	Ψαχνά (νότια)
2	Ρέματος Μορτερή	14.724	Πολιτικά
3	Ρέματος Πεθαμένου	25.002	Δροσιά (Πεθαμένος)
4	Ρέματος Μαντανίων (υπολεκάνη Μεσσάπιου)	39.756	Ψαχνά (βόρεια)
5	Ποταμού Λήλα	259.442	Αμφιθέα, Αφράτι, Φύλλα, Άγιο Νικόλαο Βασιλικού
6	Υπολεκάνες παραλιακής ζώνης Πολιτικών	20.000	Άγροί Πολιτικών
	Σύνολο Λεκανών απορροής	575.358	

Πίνακας 1: Λεκάνες απορροής περιοχών πλημμύρας.

ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Ο οδηγός εφαρμογής της οδηγίας 2007/60 αναφέρει ότι για τις πλημμύρες στα Πολιτικά μπορεί να ευθύνονται τα εξής:

Για τα Πολιτικά τα αίτια της πλημμύρας είναι:

- τοπική καταιγίδα (A12). Όταν η βροχή πέφτει απευθείας σε μια περιοχή ή απορρέει μέσα ή έξω από την περιοχή, η περιοχή πλημμυρίζει αποκλειστικά λόγω της βροχής.
- Υπερχείλιση ποταμού (κατηγορία A11). Όταν το νερό από ένα φυσικό σύστημα αποστράγγισης, όπως τα φυσικά κανάλια αποστράγγισης, υπερχειλίζει τις όχθες του, μια περιοχή πλημμυρίζει. Περιλαμβάνει πλημμύρες που προκαλούνται από ποτάμια, ορεινά ρέματα, δίκτυα αποστράγγισης και εφήμερα ρεύματα.

Κωδικός Πηγής Πλημμύρας	Τύπος Πηγής Πλημμύρας	Περιγραφή τύπου πηγής πλημμύρας
A11	Υπερχειλίση ποταμού	Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής από νερά τα οποία προέρχονται από μέρος ενός φυσικού συστήματος αποστράγγισης, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών ή μη καναλιών αποστράγγισης. Συμπεριλαμβάνονται πλημμύρες που οφείλονται σε ποτάμια, ρέματα, συστήματα αποστράγγισης, ορεινούς χείμαρρους και εφήμερα ρεύματα, λίμνες και πλημμύρες από λιώσιμο του χιονιού.
A12	Τοπική καταιγίδα	Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής που οφείλεται αποκλειστικά σε βροχόπτωση, η οποία είτε έπεσε απευθείας στην περιοχή είτε απέρρευσε σε αυτή. Συμπεριλαμβάνονται ύδατα από αστικές χιονοθύελλες, η επιφανειακή απορροή στις αγροτικές περιοχές, περίσσεια νερού και επιφανειακές πλημμύρες που προκύπτουν από το λιώσιμο του χιονιού.

Πίνακας 2: Κωδικοποίηση των αιτιών πλημμύρας

Οι πλημμύρες που σημειώθηκαν στην περιοχή Πολιτικά κατατάσσονται εν μέρει στην κατηγορία A24, Παρεμπόδιση ροής, σύμφωνα με τον οδηγό εφαρμογής της οδηγίας 2007/60, επειδή υπήρξαν τόσο φυσικά όσο και τεχνητά εμπόδια ή περιορισμοί στη ροή των υδάτων σε φυσικούς αγωγούς ή αποχετευτικά συστήματα. Οι πλημμύρες μπορεί να προκληθούν από μπλοκαρίσματα υποδομών ή συστημάτων αποχέτευσης, όπως κτίρια, υπόγειοι υπόνομοι, εμπορικές εγκαταστάσεις και καλύψεις κοίτης. Ένα τμήμα της καλύπτεται επίσης από την κατηγορία A21, η οποία αφορά τη φυσική υπερχειλίση ενός ρέματος που διέρχεται από το Πολιτικά και κάνει την εμφάνισή του ως ρέμα Μορτερή (ΥΛΗ,2021).

Κωδικός Μηχανισμού Πλημμύρας	Μηχανισμός Πλημμύρας	Περιγραφή μηχανισμού πλημμύρας
A21	Φυσική υπερχειλίση	Η κατάκλιση μιας περιοχής από νερό το οποίο ξεπερνά τη φέρουσα ικανότητα ή τη στάθμη του εδάφους.
A22	Υπέρβαση Αναχωμάτων	Πλημμύρα μιας περιοχής από νερό το οποίο υπερπήδησε πλημμυρικά αναχώματα.
A23	Αστοχία αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας	Η πλημμύρα μιας περιοχής λόγω της αστοχίας φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας. Ο μηχανισμός της πλημμύρας μπορεί να περιλαμβάνει την πρόκληση ρήγματος ή και την κατάρρευση της αντιπλημμυρικής προστασίας ή την αστοχία λειτουργίας του αντλητικού συστήματος ή των θυρών.
A24	Παρεμπόδιση ροής	Η πλημμύρα μιας περιοχής λόγω φυσικής ή τεχνητής παρεμπόδισης ή περιορισμού της ροής ενός αγωγού ή ενός συστήματος. Αυτός ο μηχανισμός περιλαμβάνει πλημμύρες από την έμφραξη του δικτύου αποχέτευσης ή από υποδομές περιορισμού της ροής, όπως νέφυρες, υπόγειοι οχετοί, κομμάτια πάγου, κατολισθήσεις.
A25	Άλλο	Πλημμύρες που οφείλονται σε άνοδο της στάθμης σε λίμνες, ταμιευτήρες, και μικρότερα σώματα νερού.
A26	Δεν υπάρχουν δεδομένα	Δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα

Πίνακας 3: Κωδικοποίηση των μηχανισμών πλημμύρας.

Μια απομονωμένη ατμοσφαιρική διαταραχή ψυχρού πυρήνα από τα βορειοδυτικά που το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών ονόμασε "Θάλεια" εισήλθε στην Ελλάδα περίπου στις αρχές Αυγούστου 2020. Σύμφωνα με έκτακτο δελτίο επιδείνωσης του καιρού που εξέδωσε η ΕΜΥ και επικαιροποιήθηκε δύο ημέρες αργότερα, από τις 4 Αυγούστου 2020 αναμενόταν να ξεκινήσουν σημαντικές βροχοπτώσεις, μεταξύ άλλων και στην περιοχή της Εύβοιας. Στην Εύβοια σημειώθηκαν πολλές βροχές και αστραπές στις 8 Αυγούστου, αρχής γενομένης από το ίδιο βράδυ, κυρίως γύρω από τη Νέα Αρτάκη, τα Ψαχνά και τη Στενή. Σύννεφα που ανέβηκαν 12 χιλιόμετρα πάνω από το όριο της τροπόσφαιρας ήταν το αποτέλεσμα της κακοκαιρίας που διήρκεσε πέντε ώρες. Στον μετεωρολογικό σταθμό της στην Εύβοια έπεσαν 300 χιλιοστά βροχής σε οκτώ ώρες, ενώ στον σταθμό των Ψαχνών έπεσαν 226 χιλιοστά βροχής.

Η υπερχειλίση Λήλαντα, Μεσσαπίου και του ρέματος Πολιτικών προξένησαν βροχές. Σε ορισμένα σημεία το νερό ανέβηκε σε ύψος 1,5 μέτρου, ενώ στο κέντρο των Ψαχνών η στάθμη του νερού ήταν ένα μέτρο. Όσον αφορά τα προαναφερθέντα, φαίνεται ότι το συμβάν καταγράφηκε με ακρίβεια και τα αποτελέσματα (όπως το ύψος του νερού) από την αυτοψία που διενεργήθηκε φάνηκε να είναι επίσης αληθή. Κατά τη διάρκεια του περίπου 8ωρου που σημειώθηκε, τα επίπεδα βροχής ήταν υπερβολικά υψηλά.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Ο μηχανισμός στα Πολιτικά ήταν ο εξής:

- Με έκταση λεκάνης απορροής 14.538 εκτάρια, μικρό μήκος και εξαιρετικά σημαντικές κλίσεις, η λεκάνη απορροής του ρέματος Μορτερή, το οποίο διαρρέει τα Πολιτικά, είναι μια μεγάλη λεκάνη απορροής. Η κορυφή Αετός απέχει 3 χιλιόμετρα από το χωριό, ενώ η κορυφή Ελάτη, η οποία έχει υψόμετρο 868 μέτρα, απέχει μόλις 5 χιλιόμετρα. Αυτό σημαίνει ότι αφού περάσει από το κέντρο του οικισμού, η πορεία των πλημμυρικών υδάτων διασχίζει γρήγορα και ταχύτατα την κοινότητα. Το ρέμα μπορεί να υπερχειλίσει εδώ για πρώτη φορά στην πεδινή περιοχή, μεταφέροντας όλο το νερό και τα μεταφερόμενα υλικά (ΥΛΗ, 2021).

- Αφού έφτασε στο όριο συγκράτησης του νερού την ημέρα της πλημμύρας, η γη στη λεκάνη άρχισε να τροφοδοτεί το ρέμα με όλο το νερό που κατέληγε (βροχή). Το νερό που συσσωρεύτηκε στο ρέμα και τα μάζα δημιούργησαν μια μάζα που δεν μπορούσε να αποχετευτεί μέσω της διατομής του ρέματος που διαρρέει τον οικισμό παρά το γεγονός ότι ολόκληρη η λεκάνη απορροής καλύπτεται από πευκοδάσος, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια πολύ μαζική πλημμύρα.
- Οι κάτοικοι του οικισμού αγνοούσαν την πραγματική κατάσταση μέχρι που τα νερά του χειμάρρου άρχισαν να ξεχύνονται στους δρόμους, πνίγοντας σπίτια και επιχειρήσεις και θέτοντας σε κίνδυνο τη ζωή τους. Ο χειμάρρος διογκώθηκε και πλημμύρισε καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας.
- Η γέφυρα στον κεντρικό δρόμο μέσα στο χωριουδάκι σηματοδοτεί το σημείο όπου στενεύει η κοίτη του ποταμού. Το νερό φαίνεται ότι εκτράπηκε για πρώτη φορά από την κοίτη του ποταμού σε αυτή τη θέση και στη συνέχεια πλημμύρισε τη γέφυρα και τον κεντρικό δρόμο σε σημαντικά τμήματα (ΥΛΗ, 2021).



Εικόνα 3.7: Η λειτουργία των δύο ποταμών, Λήλαντα και Μεσσαπίου

ΟΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Τα σημεία όπου σημειώθηκαν πλημμύρες είχαν πλημμυρίσει στο παρελθόν και το σχετικό Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμυρών της Εύβοιας ορίζει όλες αυτές τις περιοχές ως Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ).

Οι πλημμύρες προκλήθηκαν απροσδόκητα από την ποσότητα της βροχής που έπεσε σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η τρομερή καταστροφή συνέβη επειδή οι υδροφορείς, μέσω των οποίων το νερό θα κατευθυνόταν προς τη θάλασσα, δεν ήταν σε θέση να αντέξουν αυτό το φορτίο (τον όγκο του νερού). Η εμφάνιση των φαινομένων τη νύχτα δεν επέτρεψε στους κατοίκους να ειδοποιηθούν ή να εκκενωθούν, αλλά παρόλα αυτά έμειναν στα σπίτια τους καθιστώντας τους λιγότερο ευάλωτους, διότι το νερό σπάνια ανέβαινε πάνω από 1.5 μέτρο. (ΥΛΗ, 2021).

Οι λεκάνες απορροής με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας στο έδαφος ανακαλύφθηκαν τη στιγμή της εκδήλωσης. Οι πόροι του εδάφους σφραγίστηκαν γρήγορα από την ξαφνική, δυνατή βροχή, η οποία προκάλεσε την εκροή όλου του νερού υπό πίεση στην επιφάνεια και στα κοντινά ρέματα και ποτάμια. Ως εκ τούτου, σε σύγκριση με άλλες εποχές του έτους, η ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει το νερό της βροχής μειώθηκε, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες ποσότητες νερού να διοχετεύονται αμέσως στους φυσικούς υδροφορείς.

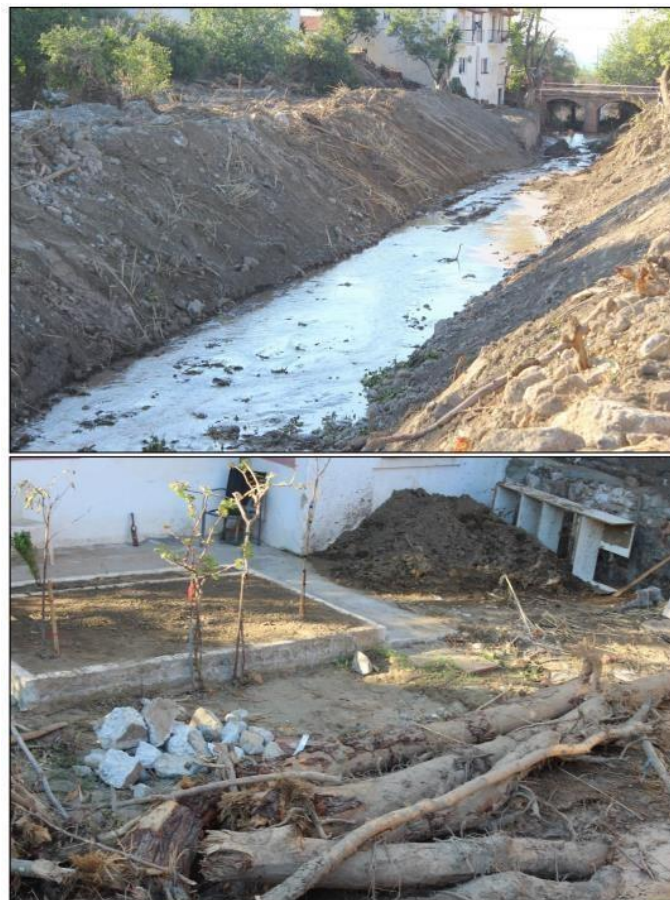
Στο μέγεθος της πλημμύρας πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το ανάγλυφο της περιοχής:

- Την απόσταση που πρέπει να διανύσουν τα πλημμυρικά ύδατα από το σημείο όπου συγκεντρώνονται στη λεκάνη απορροής μέχρι το σημείο όπου προκαλούν γενικά ζημιές στην πεδινή ζώνη.
- Η κλίση της λεκάνης απορροής επηρεάζει το χρόνο που χρειάζεται το νερό για να φτάσει στην πλημμυρική ζώνη.
- Η έκταση που καλύπτεται από τις πλημμύρες ή η περιοχή που κατακλύζεται επηρεάζει επίσης το ύψος των υδάτων.

Η ποσότητα των φερτών (παρασυρόμενα υλικά), τα οποία περιλαμβάνουν χόμα και βραχώδη ή άλλα στοιχεία (δέντρα, σκουπίδια, υλικά από κατεστραμμένες κατασκευές), με διαφορετική κοκκομετρική σύνθεση, και τα οποία παρασύρονται και περιέχονται στα νερά των πλημμυρών και προκαλούν καταστροφές ως μείγμα στερεού-υγρού, παίζει καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό του μεγέθους των καταστροφών (ΥΛΗ, 2021).

Η ποσότητα αυτού του χαρακτηριστικού (που συχνά δεν καταγράφεται) οδηγεί σε υποεκτίμηση των «πλημμυρικών υδάτων».

Όλα τα φερτά υλικά που είχαν οι κοίτες των ρεμάτων παρασύρθηκαν από τα νερά των πλημμυρών και συγκεντρώθηκαν στον ωκεανό. Ως αποτέλεσμα, οι ακτογραμμές καλύφθηκαν από απόβλητα όλων των ειδών συμπεριλαμβανομένου του πλαστικού (Χαλκίδα). Επιπλέον, τα υλικά αυτά προκάλεσαν πλημμύρες στις απέναντι ακτές της Αττικής (Κάλαμος).



Εικόνα 3.8: Οι καταστροφές από το πλημμυρικό γεγονός (1/2)



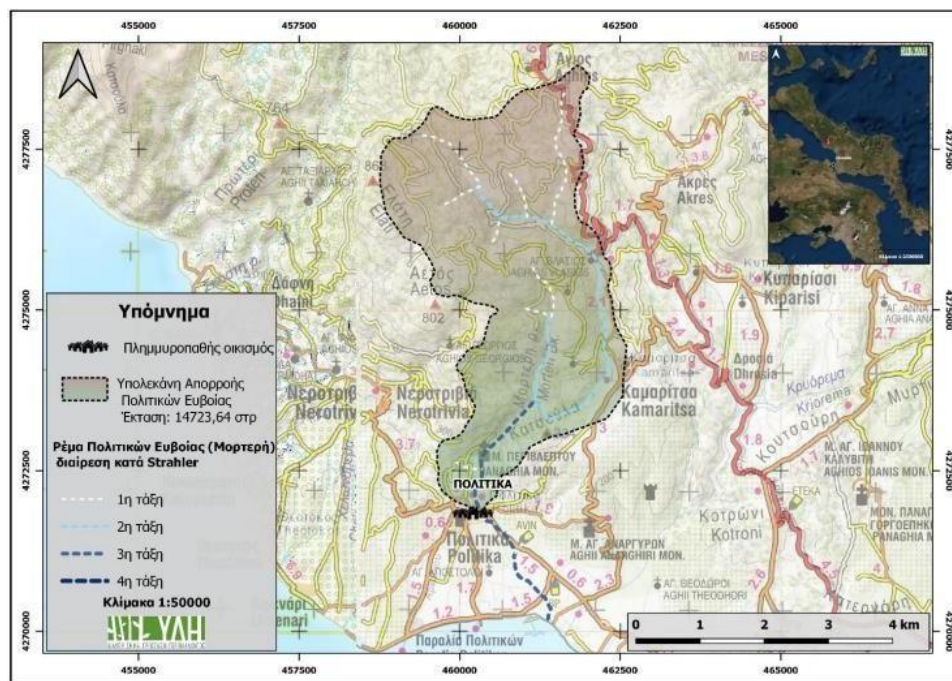
Εικόνα 3.9: Οι καταστροφές από το πλημμυρικό γεγονός (2/2)

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΑΥΤΟΨΙΑ

Οι συνέπειες των πλημμυρών καταγράφηκαν και τεκμηριώθηκαν κατά τη διάρκεια της αυτοψίας, η οποία πραγματοποιήθηκε στις ζώνες καταστροφής στις 22 Αυγούστου 2020, και έγινε μια γενική εκτίμηση των ζημιών.

- Μόλις συναντήσει (στην είσοδό του) τον οικισμό των Πολιτικών, το ρέμα Μορτέρη εισέρχεται στην πεδινή λεκάνη του.
- Από τον κεντρικό δρόμο που οδηγεί στον οικισμό, απέχει 200 μέτρα μέχρι τη γέφυρα. Στην περιοχή αυτή, το τοπίο έχει απότομους λόφους.
- Σε σύγκριση με την ποσότητα του νερού που ρέει από το βουνό, η γέφυρα ήταν μικρή.

- Η ορμητική ροή του νερού προκάλεσε ζημιές στο χωριό πλημμυρίζοντας σπίτια, καταστρέφοντας έπιπλα και συσκευές, υπερβαίνοντας τα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της γέφυρας.
- Η κοίτη του ρέματος ήταν έντονα καλυμμένη με πολλά δέντρα 50 μέτρα βόρεια της γέφυρας τα οποία ξεριζώθηκαν και παρασύρθηκαν από το νερό κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.
- Κατά τη διάρκεια της επίσκεψής η λάσπη σε αρκετά σπίτια απλώθηκε.
- Υπήρχαν αρκετά χωράφια γεμάτα απόβλητα και στις δύο πλευρές του δρόμου από τα Ψαχνά προς τα Πολιτικά (ανατολικά των Πολιτικών), ιδιαίτερα στην περιοχή όπου το ρέμα του Πεθαμένου (ή Κρυορέματος) έχει την πεδινή κοίτη του (ΥΛΗ, 2021).



Εικόνα 3.10: Αυτοψία στην περιοχή μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΕΙΩΝ

Μετά την ολοκλήρωση της υδρολογικής ανάλυσης ολόκληρης της περιοχής, ορίζονται οι υπολεκάνες μελέτης προσδιορίζοντας ένα σημείο εξόδου για κάθε λεκάνη. Η κάθε λεκάνη μελέτης καλύπτει την περιοχή ανάντη του σημείου εξόδου της.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε 11 λεκάνες απορροής.

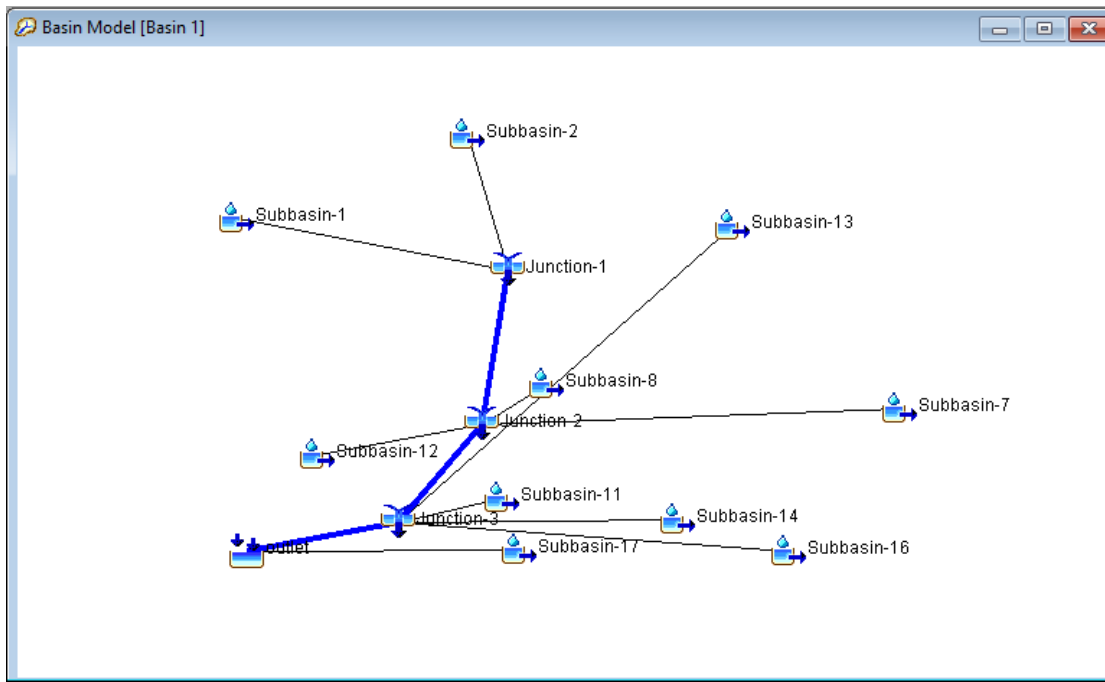
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚ. (Α) (km ²)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
Subbasin 1	4.74	577.11
Subbasin 2	2.01	658.57
Subbasin 7	2.92	574.72
Subbasin 8	3.07	431.47
Subbasin 11	1.24	192.18
Subbasin 12	1.93	348.26
Subbasin 13	10.32	611.95
Subbasin 14	2.37	124.93
Subbasin 16	2.37	34.16
Subbasin 17	2.79	33.90
outlet	2.43	35.01

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά υπολεκανών

Για την εκτέλεση της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιείται το μενού **HMS Project Setup**, το οποίο εξάγει αρχεία εισόδου για το HEC – HMS, που θα χρησιμοποιηθούν στην μοντελοποίηση της βροχής σε απορροή.

Μέσω της εντολής Create A New Project του HMS Project setup, ορίζεται ένα όνομα για την μελέτη καθώς και η διαδρομή (Path) που θα αποθηκευτεί το έργο και το σύστημα μονάδων. Για την υπό εξέταση περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το μετρικό (metric).





Έχοντας δημιουργήσει το νέο έργο, ενεργοποιείται το Basin Models με το οποίο θα γίνει η εισαγωγή του μοντέλου της λεκάνης απορροής.



Εικόνα 4.1: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC – HMS

ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Με την βοήθεια της εργαλειοθήκης του προγράμματος μπορούμε εύκολα να προσθέσουμε τα στοιχεία εκείνα που συνθέτουν την λεκάνη απορροής. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- **Subbasin (υπολεκάνη)** : Συμβολίζει τον φυσικό υδροκρίτη. Με δεδομένη βροχόπτωση, υπολογίζεται για την κάθε υπολεκάνη η εκροή, καθώς αφαιρούνται οι απώλειες, η επιφανειακή απορροή και λαμβάνεται υπόψη η βασική απορροή. 
- **Reach (ρέμα)** : Χρησιμοποιείται για την μεταφορά του νερού στην λεκάνη. Η εισροή στο �έμα μπορεί να προέρχεται από ένα ή περισσότερα στοιχεία ανάντη. Οι απώλειες στο �έμα, υπολογίζονται κατά την διαδικασία της διόδευσης. 
- **Junction (κόμβος)** : Είναι το σημείο όπου ενώνονται απορροές οι οποίες προέρχονται από στοιχεία ανάντη αυτού. Η εισροή μπορεί να προέρχεται από ένα ή περισσότερα στοιχεία ανάντη, ενώ η εκροή υπολογίζεται ως το άθροισμα της απορροής. 
- **Diversion (εκτροπή)** : Είναι το σημείο απ' όπου ποσότητα ροής από το κύριο �έμα ακολουθεί διαφορετική πορεία. Το σημείο εξόδου (outlet) στην παρούσα εργασία. 

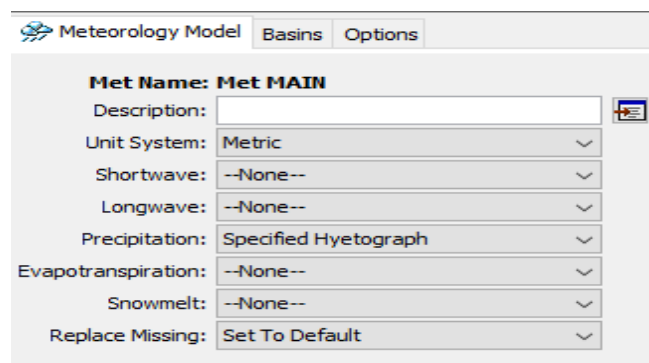
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (MET MODEL)

Μετά την εισαγωγή του μοντέλου της λεκάνης, επόμενη ενέργεια είναι η εισαγωγή της μετεωρολογικής πληροφορίας στο λογισμικό.

Τα Μετεωρολογικά μοντέλα (Met models) είναι ένα από τα κύρια συστατικά στη δημιουργία ενός project στο HEC - HMS. Σκοπός τους είναι να προετοιμάζουν τις μετεωρολογικές συνοριακές συνθήκες (εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων) των υπολεκανών μιας λεκάνης απορροής (Subbasins) κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Ένα Μετεωρολογικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε υπολεκάνη (Subbasin) του project σε όποιο μοντέλο λεκάνης (basin model) και αν ανήκει.

Επιπλέον, ένα Μετεωρολογικό μοντέλο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη μέσω του λογισμικού να εισάγει δεδομένα για κάθε ένα από τα τρία επιμέρους συστατικά (Σχήμα 4.1.3.1):

- Βροχόπτωση (Precipitation)
- Εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration)
- Σύστημα μονάδων (Unit system)



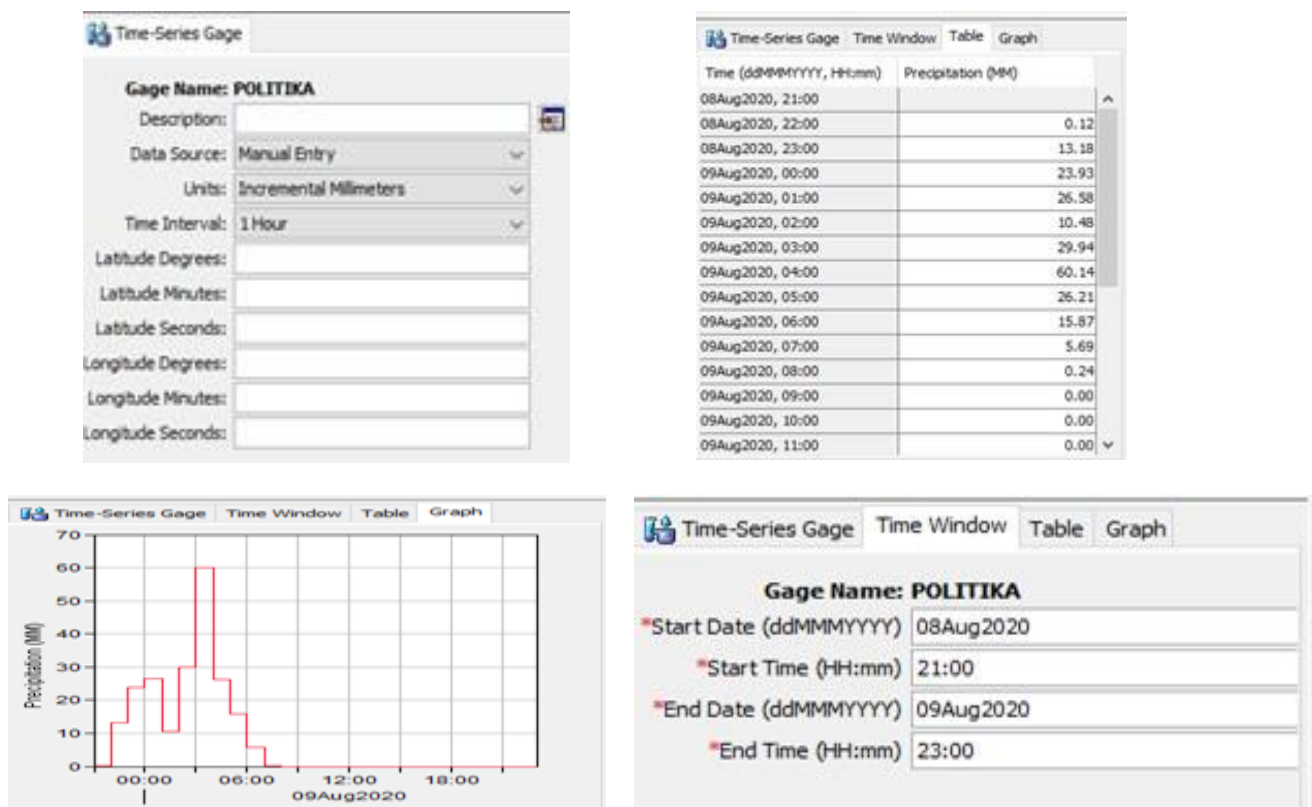
Εικόνα 4.2: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου στο HEC – HMS

Στο HEC – HMS υπάρχουν 7 διαφορετικοί μέθοδοι μέσω των οποίων μπορούμε να εισάγουμε τα βροχομετρικά δεδομένα. Η μόνη περίπτωση στην οποία δεν χρειάζεται να εισάγουμε δεδομένα βροχής είναι όταν το μοντέλο της λεκάνης (basin model) που επεξεργαζόμαστε δεν έχει καμία υπολεκάνη (subbasin). Ανάλογα με την πηγή προέλευσης των βροχομετρικών δεδομένων, επιλέγουμε την πλέον κατάλληλη μέθοδο εισαγωγής αυτών. Ασχέτως με τη μέθοδο εισαγωγής των βροχομετρικών δεδομένων στο μοντέλο, το αποτέλεσμα στο HEC – HMS είναι ένα υετόγραμμα για κάθε μια από τις υπολεκάνες (subbasins) της μελέτης εφαρμογής.

Στην παρούσα εργασία, η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης είναι αυτή του Καθορισμένου Υετογράμματος (Specified Hyetograph method). Με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει την ακριβή χρονοσειρά που θα χρησιμοποιηθεί ως υετόγραμμα από τις υπολεκάνες. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη στην περίπτωση που τα δεδομένα ενός βροχομετρικού σταθμού μπορούν να περιγράψουν εξ ολοκλήρου μια υπολεκάνη (subbasin). Τα επεισόδια που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση είναι για την 08/09/2020 και 09/09/2020.

Έπειτα εισάγουμε τα βροχομετρικά δεδομένα με μορφή χρονοσειράς από το μενού HEC-HMS – Components – Time Series Data Management – New (Σχήμα 4.1.3.3):

- **Time window:** Καθορισμός επεισοδίου βροχής 24 hr. με χρονικό βήμα 1 hr.
- **Table:** Εισαγωγή χρονοσειράς.
- **Graph:** Διάγραμμα Υετογραφήματος.
- **Time series gage:** Εισαγωγή δεδομένων χρονοσειράς είτε χειροκίνητα είτε μέσω αρχείου dss. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε χειροκίνητα.



Εικόνα 4.3: Εισαγωγή βροχομετρικών δεδομένων.

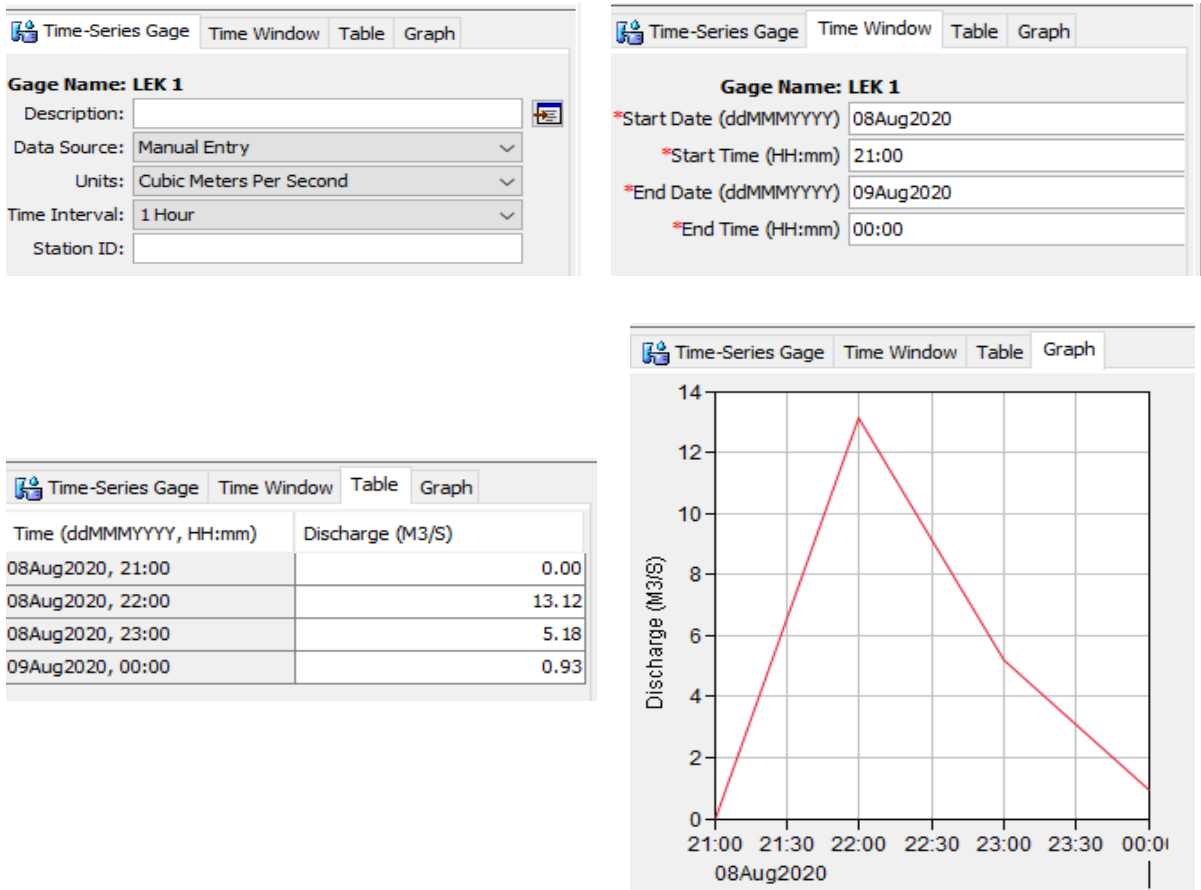
ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ

Στο μενού Control Specifications (Σχήμα 4.2.1) γίνεται ο καθορισμός των χρονικών ορίων της προσομοίωσης στο μοντέλο HEC – HMS. Ο βασικός στόχος αυτού του βήματος είναι να ελέγχει πότε μια προσομοίωση ξεκινά και πότε να τελειώνει καθώς και το χρονικό βήμα που θα χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση.

Εικόνα 4.4: Ορισμός χρονικού ελέγχου υδρολογικής προσομοίωσης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΘΗΚΑΝ

Η εισαγωγή των χρονοσειρών των παροχών που παρατηρήθηκαν εισάγονται στο HEC-HMS από το μενού: Components – Time Series Data Manager – Data Type: Discharge Gages (Εικόνα 4.2.2).



Εικόνα 4.5: Εισαγωγή μετρήσεων παροχής

Αφού εισαχθούν τα δεδομένα από κάθε σταθμηγράφο, αυτά πρέπει να αντιστοιχιστούν με τον συγκεκριμένο κόμβο (junction) μέσω του οποίου διέρχεται η παροχή κατά τη μοντελοποίηση του φυσικού συστήματος ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στο στάδιο της βαθμονόμησης.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Μετά την πτώση των κατακρημνισμάτων στην επιφάνεια της γης και πριν το σχηματισμό της απορροής, αρχίζουν κάποιες διαδικασίες που συνεισφέρουν σ' αυτόν, γνωστές και ως απώλειες βροχής. Οι υδρολογικές απώλειες αποτελούν σημαντική παράμετρο του υδρολογικού κύκλου και υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητος ο υπολογισμός τους ούτως ώστε να υπολογιστεί και το ύψος της ενεργού βροχόπτωσης που αποτελεί την απορροή. Για την εκτίμηση των υδρολογικών απωλειών και κατ' επέκταση του περισσέυματος βροχής έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος **Soil Conservation Service (SCS)**.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ SCS

Η εκτίμηση του περισσέυματος της βροχής στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ακριβείς μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες αποτελεί ουσιαστικά ένα δύσκολο πρόβλημα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, η Υπηρεσία Συντηρήσεως Εδαφών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (SCS) παρουσίασε μια εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της απορροής από μια δεδομένη βροχόπτωση, με την βοήθεια τριών μεταβλητών: του ύψους βροχοπτώσεως, της αρχικής καταστάσεως υγρασίας του εδάφους και του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους – καλύμματος. Η SCS χρησιμοποιεί τον αριθμό καμπύλης (Curve Number) για τον υπολογισμό των υδρολογικών απωλειών, στον οποίο ενσωματώνονται η κάλυψη και η χρήση γης.

Ο αριθμός καμπύλης CN εξάγεται από πίνακες, ανάλογα με την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους, τη διαπερατότητα του εδάφους και την υδρολογική κατάσταση.

- **Αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους:**

Για να καθοριστεί η αρχική κατάσταση υγρασίας του λαμβάνεται υπ' όψιν το ύψος της βροχής που έλαβε χώρα στην υπό μελέτη περιοχή κατά το πενήνήμερο χρονικό διάστημα που προηγήθηκε από την έναρξη της εξεταζόμενης βροχόπτωσης. Έτσι διακρίνονται τρεις κατηγορίες αρχικής καταστάσεως υγρασίας του εδάφους που δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία	Ύψος βροχοπτώσεως των 5 προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή περίοδος	Βλαστική περίοδος
I	<13	<35
II	13-28	35-53
III	>28	>53

Πίνακας 5: Κατηγορίες αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους (Τσακίρης Γ., 1995)

Η κατηγορία I αντιστοιχεί σε σχετικά ξηρό έδαφος. Η κατηγορία II αντιστοιχεί σε συνήθεις συνθήκες υγρασίας και τέλος η κατηγορία III αντιστοιχεί σε σχετικά κορεσμένο έδαφος που έχει ως συνέπεια το μέγιστο της απορροής.

- **Υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους - κάλυψης γης:**

Τα εδάφη ανάλογα με τη διαπερατότητα τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες κατά SCS (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006):

- ❖ **Κατηγορία A:** Εδάφη με υψηλή διηθητική ικανότητα και υψηλή

διαπερατότητα (αμμώδη ή χαλικώδη), ακόμη και αν διαβραχούν διεξοδικά (πολύ χαμηλό δυναμικό απορροής).

- ❖ **Κατηγορία Β:** Εδάφη με μέτρια διηθητική ικανότητα και διαπερατότητα (πλήρως στραγγιζόμενες άμμους ή χαλίκια).
- ❖ **Κατηγορία C:** Εδάφη με μικρή διηθητική ικανότητα και διαπερατότητα (εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου).
- ❖ **Κατηγορία D:** Εδάφη με πολύ χαμηλή διηθητική ικανότητα και διαπερατότητα (πολύ υψηλό δυναμικό απορροής). Συνήθως περιλαμβάνουν αργιλώδη εδάφη με υψηλή πιθανότητα διόγκωσης ή ρηχά εδάφη πάνω σε σχεδόν αδιαπέρατο υλικό.

Οι αριθμοί καμπύλης διαχωρίζονται και ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006):

- ❖ **Κατάσταση I:** Η κατάσταση κατά την οποία τα εδάφη είναι στεγνά, αλλά όχι στο σημείο μόνιμης μάρανσης και όταν λαμβάνει χώρα ικανή άρωση ή καλλιέργεια.
- ❖ **Κατάσταση II:** Η μέση περίπτωση για ετήσιες πλημμύρες, δηλαδή ένας μέσος όρος των συνθηκών που προηγήθηκαν της μέγιστης ετήσιας πλημμύρας σε αρκετές λεκάνες απορροής.
- ❖ **Κατάσταση III:** Αν έντονη βροχόπτωση ή ελαφρά βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν συμβεί τις τελευταίες 5 ημέρες πριν την δεδομένη καταγίδα και το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο.

Η SCS κατηγοριοποίησε τους αριθμούς CN ανάλογα με το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – κάλυψης γης και δημιούργησε πίνακες που χρησιμεύουν για την προσδιορισμό του αριθμού καμπύλης ανάλογα με την κατάσταση υγρασίας και της χρήσης γης. Για τον Ελλαδικό χώρο για

συνθήκες υγρασίας τύπου II προκύπτει ο πίνακας 4.3.2 (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

Χρήση Γης	Κατηγορία εδάφους A	Κατηγορία εδάφους B	Κατηγορία εδάφους Γ	Κατηγορία εδάφους Δ
Καλλιεργούμενες εκτάσεις: προστατευόμενες	72	81	88	91
Καλλιεργούμενες εκτάσεις: μη προστατευόμενες	62	71	78	81
Βοσκότοποι (μέτρια υδρολογική κατάσταση)	49	69	79	84
Βοσκότοποι (φτωχή υδρολογική κατάσταση)	68	79	86	89
Δάση (φτωχή υδρολογική κατάσταση) καθόλου κάλυψη	45	66	77	83
Δάση (καλή υδρολογική κατάσταση) καλή κάλυψη	25	55	70	77
Ανοιχτοί χώροι: πάρκα, γκαζόν, γήπεδο γκολφ (καλή κατάσταση, > 75% κάλυψη από πράσινο)	39	61	74	80
Ανοιχτοί χώροι: πάρκα, γκαζόν, γήπεδο γκολφ (καλή κατάσταση, κάλυψη από πράσινο 50 – 75%)	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατο έδαφος)	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατο έδαφος)	81	88	91	93

Περιοχές Κατοικίας (μέσο % αδιαπέρατου εδάφους)				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Δρόμοι (χώμα)	72	82	87	89
Δρόμοι (σκληρή επιφάνεια)	74	84	90	92
Δρόμοι (χαλίκι)	76	85	89	91
Δρόμοι (οδόστρωμα και δίκτυο ομβρίων)	98	98	98	98

Πίνακας 6: Ενδεικτικοί αριθμοί καμπύλης CN για υδρολογική κατάσταση II

Συνεπώς οι τιμές του CN που προέκυψαν για τα επεισόδια των ημερών 8^{ης} και 9^{ης} ημερών, απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	CURVE NUMBER (CN)
Subbasin 1	77
Subbasin 2	61
Subbasin 7	70
Subbasin 8	70
Subbasin 11	68
Subbasin 12	68
Subbasin 13	70
Subbasin 14	64

Subbasin 16	64
Subbasin 17	63
Subbasin 18	66

Πίνακας 7: Τιμές CN για κατάσταση υγρασίας τύπου II

ΠΡΟΤΥΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Άμεση λέγεται η απορροή η οποία εισρέει στα επιφανειακά υδατορέματα αμέσως μετά τη βροχόπτωση και αποτελείται από την επιφανειακή απορροή και ένα μέρος της υπεδάφιας. Είναι δε φυσική συνέπεια της ενεργού βροχής (περίσσειμα βροχόπτωσης) στη λεκάνη απορροής. Η ενεργός βροχόπτωση ισούται με τη συνολική βροχόπτωση μείον τις απώλειες. Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί ο όγκος της άμεσης απορροής, όχι όμως και η χρονική κατανομή της πλημμυρικής αιχμής. Γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν μέθοδοι που προσδιορίζουν το χρόνο, την τιμή της παροχής αιχμής, το χρόνο υστέρησης και τη διάρκεια της άμεσης απορροής. Στην παρούσα εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα πρότυπο για τον υπολογισμό της άμεσης απορροής, το Συνθετικό Αδιάστατο Υδρογράφημα της Soil Conservation Service (SCS Unit Hydrograph).

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Το μοναδιαίο υδρογράφημα ορίζεται ως το υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προκαλείται από ενεργό βροχή ύψους $hr = 1\text{cm}$ (10mm), που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ολόκληρη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

Οι βασικές παραδοχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι:

- ✓ Σε δεδομένη υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίδουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής.

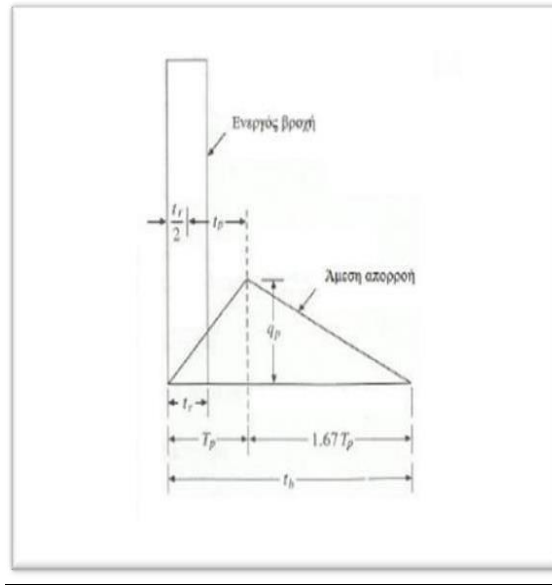
- ✓ Σε δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές ή τις επόμενες.
- ✓ Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη στο χρόνο.

Οι δύο βασικές αρχές που διέπουν τη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι:

- **Αρχή της αναλογίας** σύμφωνα με την οποία δύο ενεργές βροχές ίδιας διάρκειας αλλά με διαφορετικές εντάσεις δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων.
- **Αρχή της επαλληλίας** σύμφωνα με την οποία το συνολικό υδρογράφημα που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες ίσες το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2006).

ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ SCS

Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS είναι ένα συνθετικό υδρογράφημα στο οποίο η απορροή της λεκάνης εκφράζεται από το λόγο της παροχής q προς την παροχή αιχμής q_p και ο χρόνος από το λόγο του χρόνου t προς το χρόνο ανόδου του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος (ΜΥΓ), T_p . Με δεδομένα την παροχή αιχμής και τη χρονική επιβράδυνση για ορισμένη διάρκεια περισσέυματος βροχής, το συνθετικό αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να υπολογιστεί για μια δεδομένη λεκάνη απορροής. Οι τιμές q_p και T_p , μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας ένα απλοποιημένο μοντέλο του ΜΥΓ, όπου ο χρόνος απόσυρσης λαμβάνεται ίσος με 1.67 του T_p όπως φαίνεται στο παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 4.6: Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS

Η περιοχή κάτω από το ΜΥΓ είναι ίση με την άμεση απορροή ισοδύναμης ενεργούς βροχής ύψους 1cm. Η παροχή αιχμής q_p είναι:

$$q_p = C \times A / T_p$$

όπου $C = 2,08$

και $A =$ το εμβαδόν τη λεκάνης απορροής σε km^2 .

ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Για την περίπτωση υδρολογικών λεκανών, που τα μήκη διαδρομής είναι σχετικά μεγάλα και οι επιφάνειες τους παρουσιάζουν ανομοιομορφία, έχουν επινοηθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η σχέση υπολογισμού του Giandotti:

$$t_c = \frac{1,5L + 4\sqrt{A}}{0,8\sqrt{\Delta H}}$$

Εξίσωση 1: Τύπος Giandotti, χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης απορροής

Όπου:

L: η απόσταση κατά μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης (m)

A: η έκταση της λεκάνης απορροής (km²)

ΔH: η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψόμετρου της λεκάνης και της κοίτης του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης (m)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟ HEC – HMS

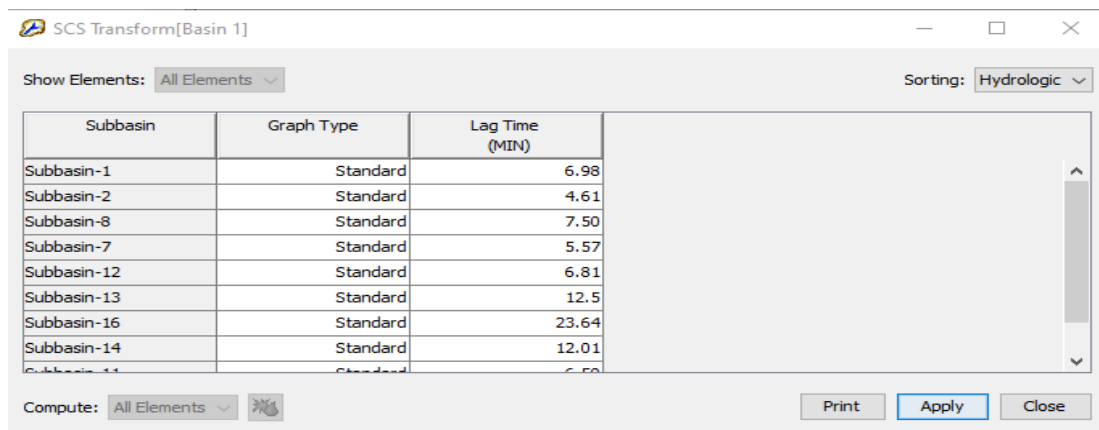
Από την γεωμορφολογική επεξεργασία που προηγήθηκε με την βοήθεια του QGIS, υπολογίστηκαν οι χρόνοι συγκέντρωσης για όλες τις υπολεκάνες σε min όπως στον παρακάτω πίνακα:

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	A (km ²)	L (m)	ΔH (m)	tc (min)	tp = 0,6*tc (min)
Subbasin 1	4.74	3087.62	570.37	11.64	6.98
Subbasin 2	2.01	2499.96	651.84	7.69	4.61
Subbasin 7	2.92	2520.97	567.98	9.28	5.57
Subbasin 8	3.07	3579.86	424.73	12.51	7.50
Subbasin 11	1.24	1746.65	185.44	10.84	6.50
Subbasin 12	1.94	3007.28	341.54	11.36	6.81

Subbasin 13	10.32	7838.47	605.22	20.84	12.5
Subbasin 14	2.37	2856.14	118.20	20.02	12.01
Subbasin 16	2.38	2493.81	27.43	39.43	23.64
Subbasin 17	2.79	851.37	27.16	13.56	8.14
Subbasin 18	2.43	2959.28	28.27	41.85	25.11

Πίνακας 8: Χρόνοι συγκέντρωσης υπολεκανών περιοχής μελέτης

Ο τρόπος εισαγωγής τους στο πρόγραμμα HEC – HMS γίνεται από το μενού Parameters – Transform – SCS Unit Hydrograph όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7: Χρόνοι υστέρησης υπολεκανών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC – HMS

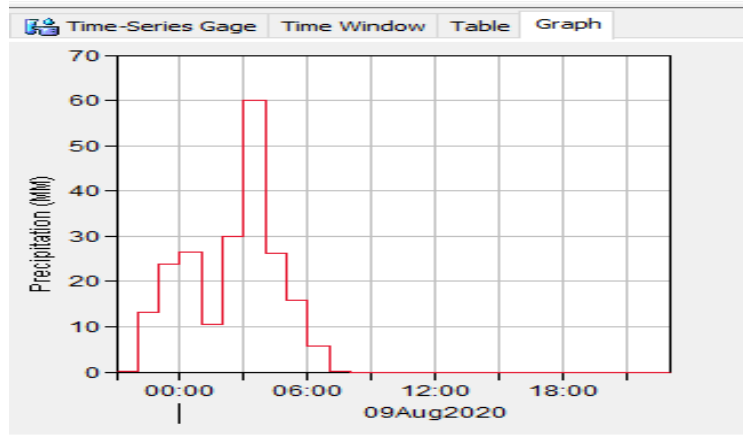
Ο όρος υδρολογική προσομοίωση αντιστοιχεί στον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής με τα

μετεωρολογικά της δεδομένα προκειμένου να προσομοιωθεί η υδρολογική συμπεριφορά του συνδυασμού αυτών των δύο.

Στο HEC - HMS αυτό σημαίνει συνδυασμό ενός μετεωρολογικού μοντέλου (**Meteorological model**) με ένα μοντέλο λεκάνης (**basin model**) και με μια χρονική ρύθμιση χαρακτηριστικών προσομοίωσης (**control specifications**). Τα αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης συνίστανται από γραφήματα (**graphs**), συγκεντρωτικούς πίνακες (**summary tables**) και πίνακες χρονοσειρών (**time – series tables**) που εκφράζουν τις προκύπτουσες απορροές σε κάθε υδρολογικό στοιχείο (**Hydrological element**) της λεκάνης απορροής. Η διαδικασία αυτή, κατά την οποία δημιουργείται μια υδρολογική προσομοίωση στο HEC – HMS ονομάζεται εκτέλεση προσομοίωσης (**simulation run**).

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ SCS

Αφού εισαχθούν οι αρχικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου της υπό μελέτη λεκάνης απορροής, όπως περιγράφεται στα προηγούμενα κεφάλαια και στο εγχειρίδιο χρήσης του HEC-HMS, το πρόγραμμα είναι έτοιμο να ξεκινήσει το πρώτο «τρέξιμο» προσομοίωσης για το κάθε επεισόδιο ξεχωριστά και να εξάγει τα αρχικά αποτελέσματα σύμφωνα με αυτές. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχική εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να πλησιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο σε πραγματικά στοιχεία. Έτσι με τη βαθμονόμηση που θα ακολουθήσει να είναι πιο εύκολη η διαπίστωση αυτών. Όλα τα υδρογραφήματα αφορούν μετρήσεις παρατηρημένης παροχής στην έξοδο της λεκάνης καθώς όπως έχει προαναφερθεί είναι ο μοναδικός σταθμός. Τέλος πρέπει να γίνει σαφές ότι το πρώτο «τρέξιμο» της προσομοίωσης παρά την προσεκτική εκτίμηση των αρχικών τιμών εισόδου των παραμέτρων δεν είναι απόλυτα αξιόπιστο.



Εικόνα 5.1: Χρονική διακύμανση της υπό μελέτη βροχόπτωσης.

Για τις ανάγκες της βαθμονόμησης και του ελέγχου της χρήσης της βροχόπτωσης του καννάβου στο λογισμικό εισάγεται και η καταγραφή του βροχογράφου Ψαχνών του υπό μελέτη φαινομένου. Οι καταγραφές αυτές είναι ανά μία ώρα και με το αντίστοιχο λογισμικό έχουν τη μορφή που φαίνεται στο Γράφημα 5.1.

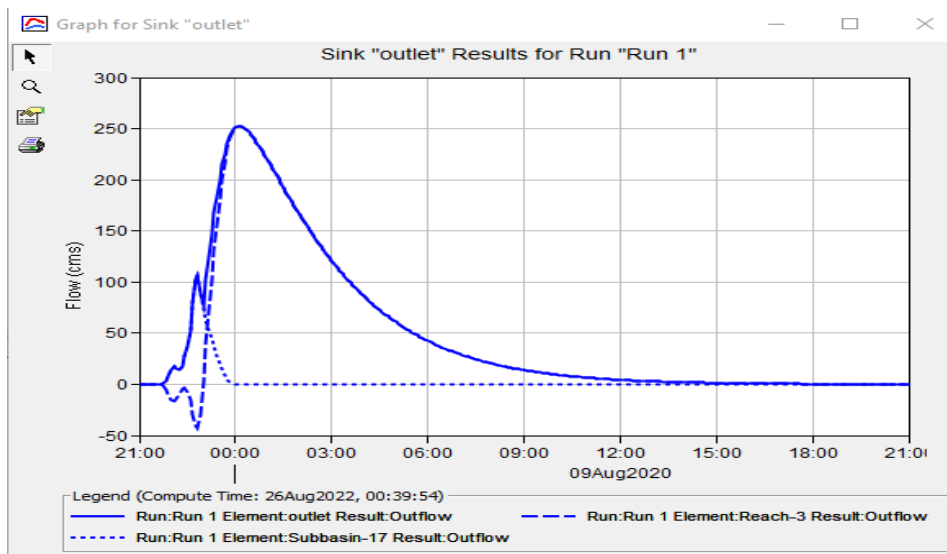
Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



Εικόνα 5.2: Υετογράφημα της πραγματικής βροχόπτωσης

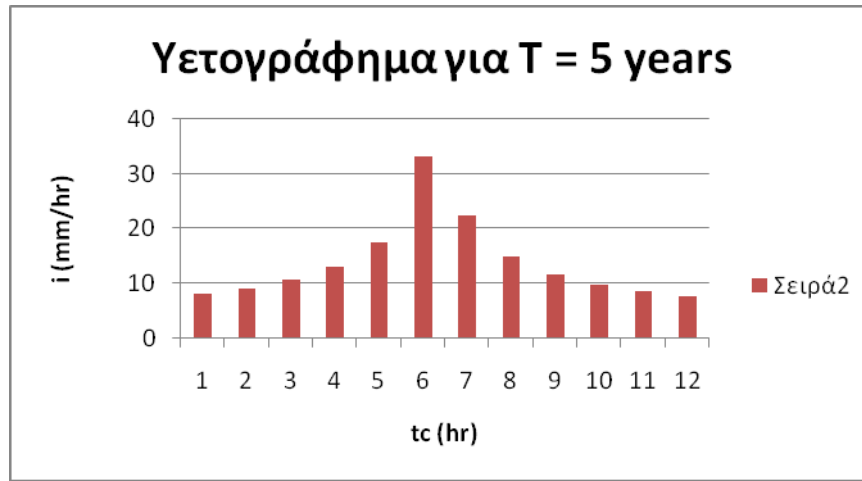


Εικόνα 5.3: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ της πραγματικής βροχόπτωσης



Εικόνα 5.4: Αποτελέσματα προσομοίωσης της πραγματικής βροχόπτωσης στην έξοδο της λεκάνης (SCS)

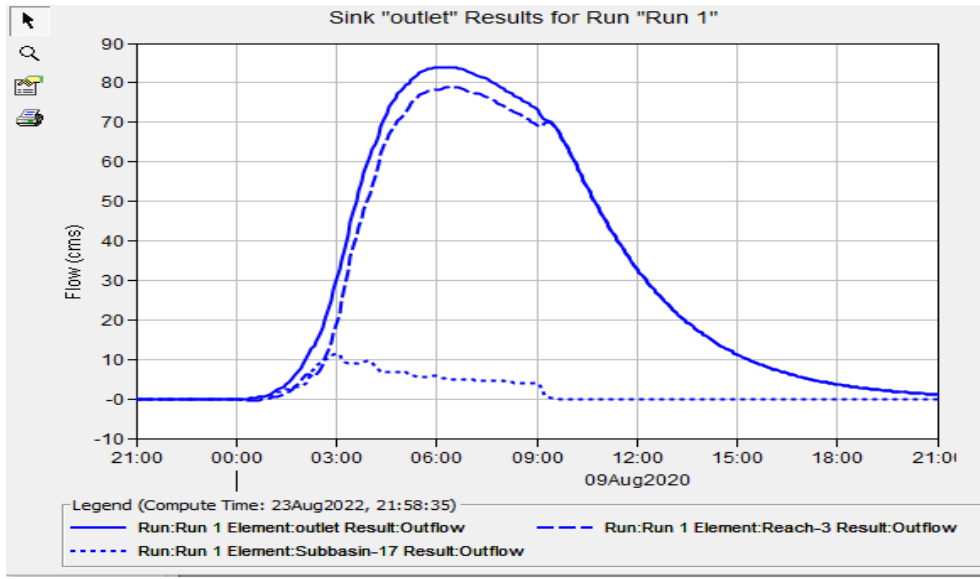
ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #1 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ $T = 5$ ΕΤΗ



Εικόνα 5.5: Υετογράφημα για το επεισόδιο #1, $T_{επ} = 5$ ετών

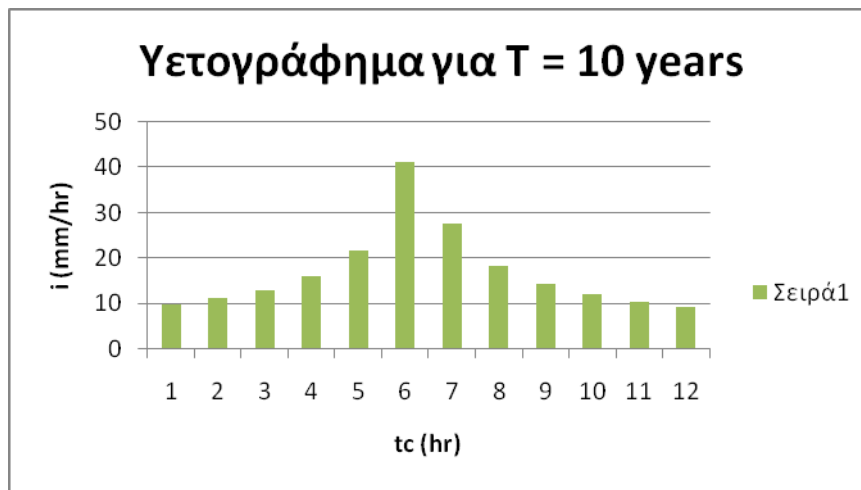


Εικόνα 5.6: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #1, $T_{επ} = 5$ ετών



Εικόνα 5.7: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #1 στην έξοδο της λεκάνης (SCS)

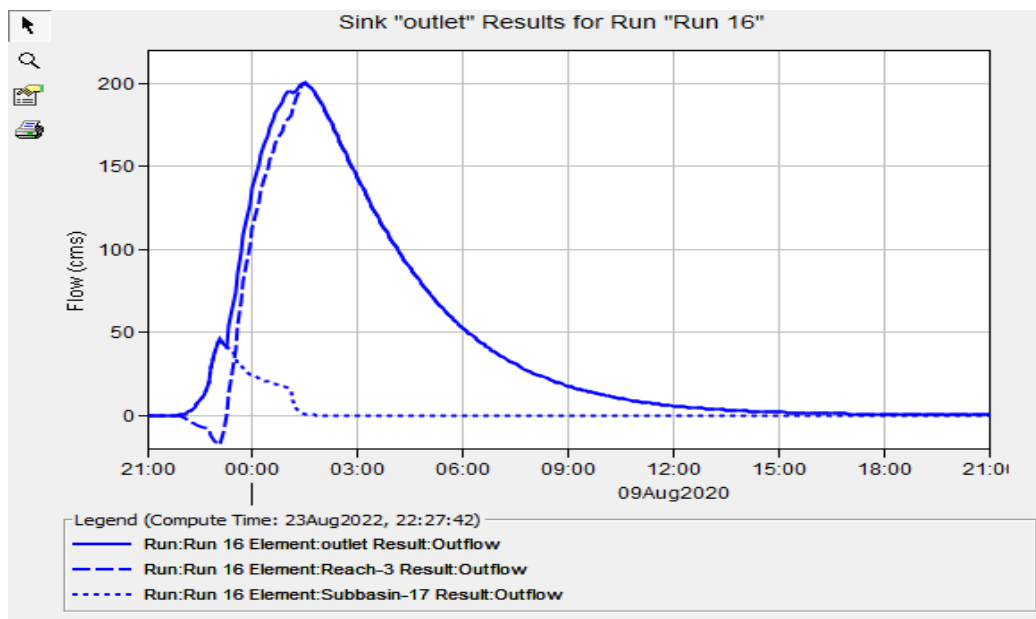
ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #2 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ $T = 10$ ΕΤΗ



Εικόνα 5.8: : Υετογράφημα για το επεισόδιο #2, $T_{επ} = 10$ ετών

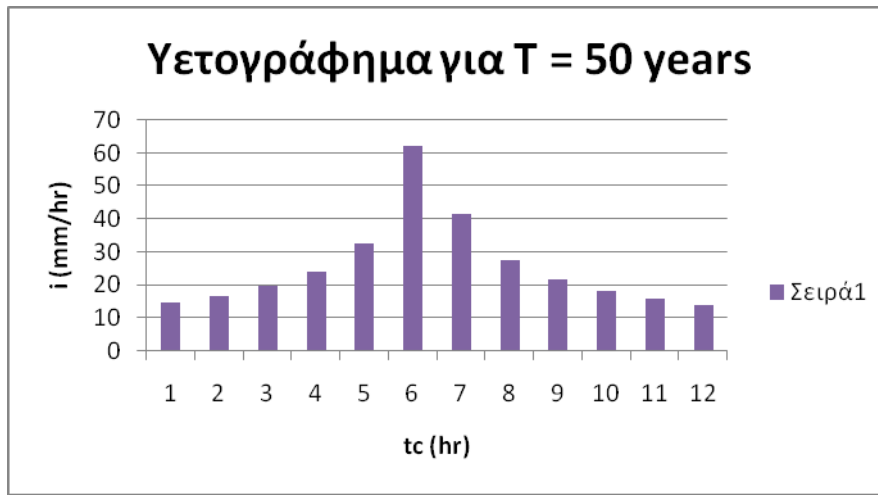


Εικόνα 5.9: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #2, $T_{επ} = 10$ ετών



Εικόνα 5.10: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #2 στην έξοδο της λεκάνης (SCS)

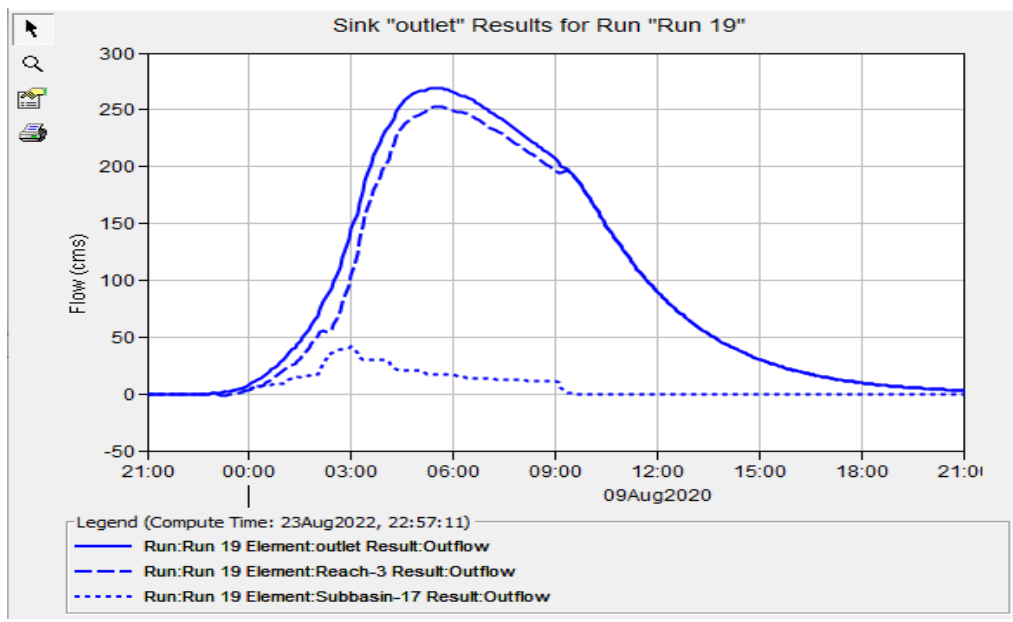
ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #3 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ $T = 50$ ΕΤΗ



Εικόνα 5.11: Υετογράφημα για το επεισόδιο #3, $T_{επ} = 50$ ετών

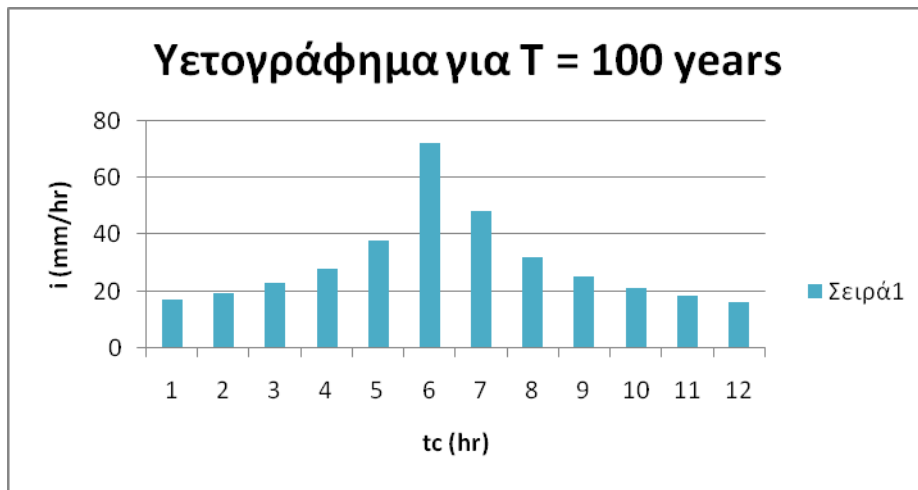


Εικόνα 5.12: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #3, $T_{επ} = 50$ ετών



Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #3 στην έξοδο της λεκάνης (SCS).

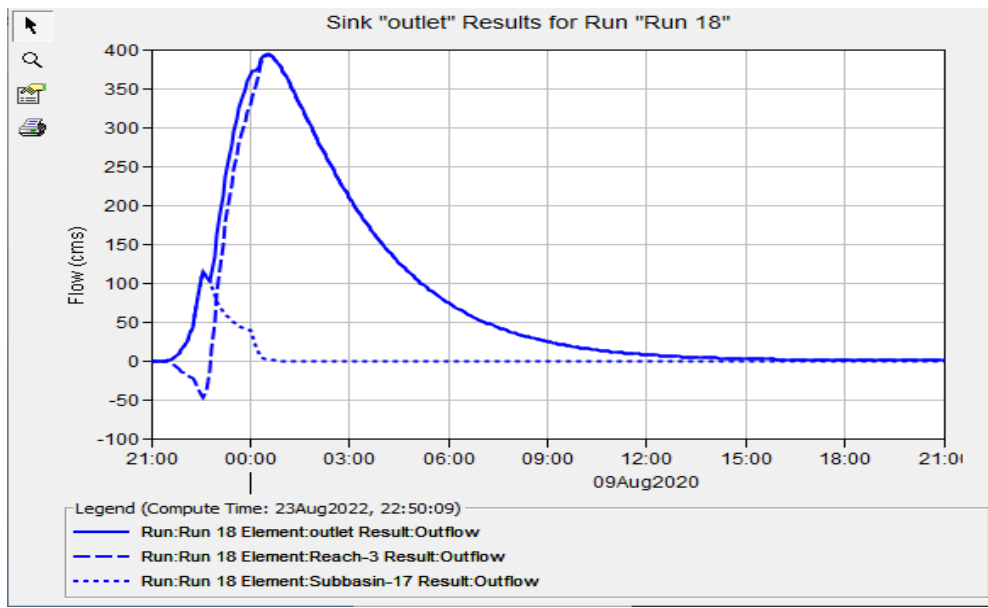
ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ #4 - ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ $T = 100$ ΕΤΗ



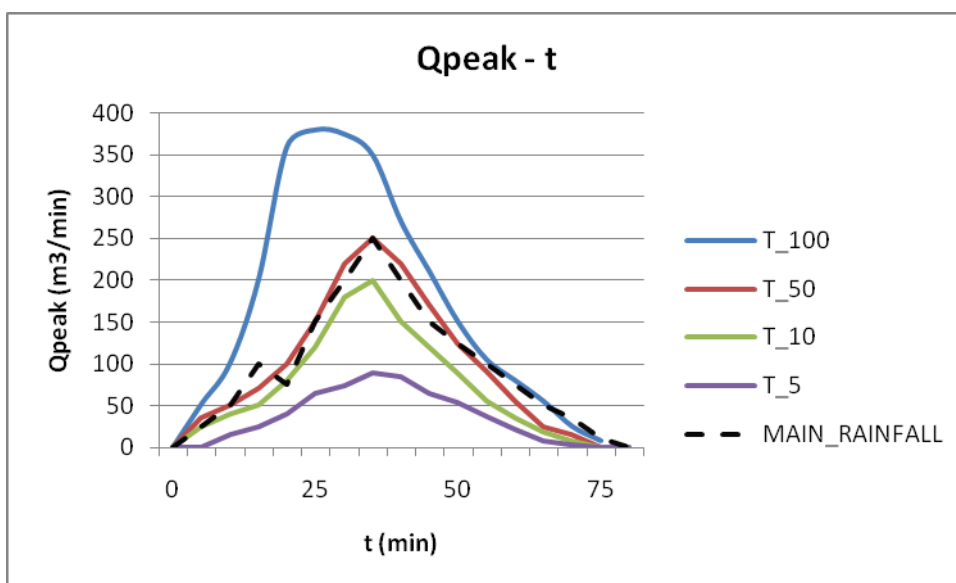
Εικόνα 5.14: Υετογράφημα για το επεισόδιο #4, $T_{επ} = 100$ ετών



Εικόνα 5.15: Υετογράφημα βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ για το επεισόδιο #4, $T_{επ} = 100$ ετών



Εικόνα 5.16: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το επεισόδιο #4 στην έξοδο της λεκάνης (SCS)



Εικόνα 5.17: Σύγκριση υετογραφημάτων για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς με την πραγματική βροχόπτωση

Στην παρούσα εργασία, όσον αφορά την υδρολογική προσομοίωση του συγκεκριμένου πλημμυρικού γεγονότος που παρουσιάστηκε παραπάνω, εφαρμόστηκε επιφανειακή αναγωγή όμβριων καμπυλών. Για υδρολογικές εφαρμογές, χρειάζονται πάντα οι επιφανειακά μέσες εντάσεις για τη λεκάνη απορροής που μελετάται και όχι οι σημειακές εντάσεις. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητη μια μεθοδολογία για την αναγωγή των σημειακών σε επιφανειακές εντάσεις βροχής. Μετά τον καταρτισμό των όμβριων καμπυλών η σημειακή ένταση που υπολογίζεται από αυτές ανάγεται κατάλληλα ώστε να αντιπροσωπεύει την επιφανειακή ένταση. Η αναγωγή γίνεται με πολλαπλασιασμό επί τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής (areal reduction factor).

Στα πινακοποιημένα αποτελέσματα του National Environmental Research Council (1975), τα οποία είναι και τα πληρέστερα σε ό,τι αφορά στο εύρος μεταβολής της διάρκειας (1 min - 25 ημέρες) και της έκτασης (1 – 30.000 km²) προσαρμόστηκε η ακόλουθη αναλυτική έκφραση (Κουτσογιάννης, 1997) :

$$\phi = 1 - \frac{0.048A^{0.36-0.01\ln A}}{D^{0.35}} \geq 0.25$$

Εξίσωση 2: Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής

όπου ϕ ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός),

A η έκταση σε km^2 ,

Και D η διάρκεια της βροχής σε ώρες (h).

Στην παρούσα εργασία η τιμή του υπολογίστηκε 0,98. Συνεπώς τα βροχομετρικά δεδομένα που προέκυψαν βάσει μειωτικού συντελεστή ϕ , απεικονίστηκαν παραπάνω με τα αντίστοιχα γραφήματα.

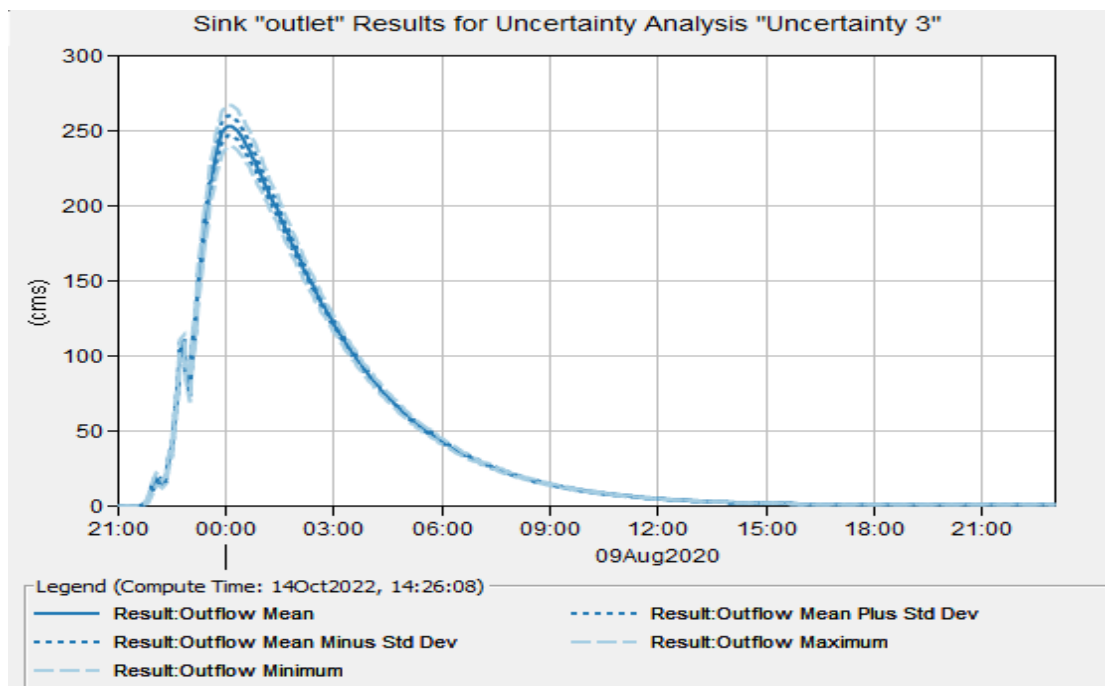
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Η εκτίμηση αβεβαιότητας είναι η διαδικασία προσδιορισμού του συνολικού σφάλματος στην προσομοιωμένη απόκριση λεκάνης απορροής.

Στο HEC-HMS, οι αναλύσεις αβεβαιότητας είναι ένα από τα στοιχεία προσομοίωσης που μπορούν να υπολογίσουν τα αποτελέσματα. Κάθε ανάλυση αποτελείται από ένα μοντέλο λεκάνης, μετεωρολογικό μοντέλο και πληροφορίες ελέγχου χρόνου. Η ανάλυση περιλαμβάνει επίσης μια επιλογή παραμέτρων προς αξιολόγηση και μια περιγραφή της αβεβαιότητας για κάθε παράμετρο.

Για τη δημιουργία μιας ανάλυσης αβεβαιότητας είναι η επιλογή ενός μοντέλου λεκάνης. Στην παρούσα εργασία το μοντέλο λεκάνης είναι το Basin 1. Έτσι, για να ολοκληρωθεί μια ανάλυση αβεβαιότητας στο HEC – HMS, τον σημαντικότερο ρόλο παίζει η επιλογή του κατάλληλου μετεωρολογικού

μοντέλου. Στην προκειμένη περίπτωση είναι αυτό της πραγματικής βροχόπτωσης MET MAIN.



Εικόνα 5.18: Προσομοίωση ανάλυσης αβεβαιότητας της πραγματικής βροχόπτωσης στην έξοδο της λεκάνης (SCS)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην διπλωματική μας εργασία εργαστήκαμε με το λογισμικό HEC – HMS, που για την βροχόπτωση - απορροή χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο Μοναδιαίου Υδρογραφήματος της SCS, όπου μετά από μελέτη συγκεκριμένου αριθμού υπολεκανών (subbasins 1 - 18), ορίσαμε ένα τυπικό αδιάστατο υδρογράφημα το οποίο εφαρμόστηκε σε κάθε υπολεκάνη, εφόσον γνωρίζαμε το εμβαδόν και τον χρόνο συγκέντρωσης της εκάστοτε υπολεκάνης. Εν συνεχεία για την διόδευση μέσω υδατορέματος χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο Muskingum, που υπολογίσαμε τον μέσο χρόνο διαδρομής της αιχμής της πλημμύρας διαμέσου του τμήματος και την εισροή - εκροή ως προς την επίδρασή της στον προσδιορισμό του

αποθηκευμένου όγκου στο υδατόρεμα. Τέλος για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αβεβαιότητας, βασιστήκαμε στην μέθοδο Monte Carlo, όπου διερευνήσαμε την επιρροή του Curve Number (CN) στο τελικό υδρογράφημα θεωρώντας ότι έχει απόκλιση +/- 10% και ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή (Simple Distribution), μέσα σε ένα προκαθορισμένο εύρος τιμών, 240 – 260 m³/s.

Ως περιοχή εφαρμογής της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας επιλέχθηκε τμήμα του νομού Ευβοίας και συγκεκριμένα η περιοχή των Πολιτικών που απαρτίζεται από τις υδρολογικές υπολεκάνες απορροής Μορτερή, Κρυορέματος και Μαντανίων. Τα υετογραφήματα που παρήχθησαν για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς των 5, 10, 50 και 100 ετών, συγκρίθηκαν με την πραγματική απορροή, η οποία προέκυψε από την πραγματική βροχόπτωση.

Όσον αφορά τα βροχομετρικά δεδομένα του πλημμυρικού συμβάντος, αυτά αντλήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και τον σταθμό των Ψαχνών Ευβοίας, που είναι και πιο κοντινός βροχομετρικός σταθμός στα Πολιτικά Ευβοίας.

Ως προς τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν και οι οποίες επιλέχθηκαν βάσει του υδρολογικού μοντέλου, αυτές αφορούσαν: το ύψος υετού, το μέσο υψόμετρο εδάφους, την μορφολογική κλίση, το εμβαδόν λεκάνης, τον χρόνο καθυστέρησης (lag time), τον χρόνο συγκέντρωσης (T_c), τον αριθμό καμπύλης απορροής (CN), τους συντελεστές της μεθόδου Muskingum (k – x).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν έπειτα από την προσομοίωση των πλημμυρικών συμβάντων για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς, μπορούμε να οδηγηθούμε σε κάποιες εύλογες παρατηρήσεις και ορισμένα συμπεράσματα. Όσο η περίοδος επαναφοράς αυξάνεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχή αιχμής (Q_{peak}) που προκύπτει μετά από την υδρολογική προσομοίωση. Αυτό είναι ένα εύλογο αποτέλεσμα, καθώς δεν θα ήταν εφικτό να έχουμε μικρότερη παροχή παραδείγματος χάριν για περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Παρατηρούμε επίσης, ότι, για περιόδους επαναφοράς 10 και 50 ετών, οι παροχές αιχμής έχουν σχετικά μικρή απόκλιση, ενώ για περίοδο επαναφοράς 100 ετών η παροχή αιχμής παρουσιάζει μεγαλύτερη

απόκλιση. Είναι πολύ σημαντική η τιμή της παροχής αιχμής, διότι σε ένα διάστημα 100 ετών, η βροχή της εκατονταετίας θα εμφανιστεί μια φορά κατά μέσο όρο. Τέλος παραθέσαμε ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει όλα τα υετογραφήματα για τις εκάστοτε περιόδους επαναφοράς και παρατηρήσαμε ότι η πλημμυρική αιχμή είναι $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Αυτή ήταν η πραγματική πλημμύρα, η οποία αντιστοιχεί στην βροχή των 50 ετών.

ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ - ΠΡΟΛΗΨΗ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Από τα αποτελέσματα προσομοίωσης που προέκυψαν, γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα για πρόληψη από τυχόν πλημμυρικά φαινόμενα, καθώς με την πάροδο των ετών οι πλημμυρικές αιχμές είναι να επιφέρουν μεγάλες καταστροφές και να θέσουν σε κίνδυνο τις ζωές πολλών ανθρώπων. Στο μέγεθος μιας πλημμύρας σημαντικό ρόλο παίζουν: α) η απόσταση που διανύουν τα πλημμυρικά ύδατα από την συγκέντρωσή τους στην λεκάνη απορροής μέχρι την πεδινή τους ζώνη, β) οι κλίσεις που έχει η λεκάνη απορροής, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ο χρόνος που απαιτείται να φθάσουν τα νερά στο σημείο της πλημμύρας, και γ) η έκταση που διαχέονται τα νερά, δηλαδή η πλημμυριζόμενη έκταση. Την ημέρα της πλημμύρας, στην λεκάνη, αφού κορέστηκε το έδαφος σε δυνατότητα συγκράτησης νερών, άρχισε και τροφοδοτούσε το ρέμα με όλες τις ποσότητες της υδατόπτωσης. Παρότι όλη η λεκάνη απορροής είναι καλυμμένη με δάσος πεύκης, τα νερά που συγκεντρώθηκαν στο ρέμα, μαζί με τα φερτά δημιούργησαν μια μάζα που δεν μπορούσε να παροχετευθεί μέσω της διατομής του ρέματος που περνά μέσα από τον οικισμό, με αποτέλεσμα μια πολύ μεγάλη πλημμύρα. Συνεπώς, η αντιμετώπιση της πλημμυρικής δράσης ενός χειμάρρου πρέπει να γίνεται ενιαία για όλη την λεκάνη απορροής του και απαιτούνται:

- Έργα συγκράτησης των φερτών υλικών, στην ορεινή αλλά και στην πεδινή λεκάνη απορροής του ποταμού, με την βαθμίδωση της κοίτης του.
- Έκδοση άδειας οικοδομής, κατόπιν εξέτασης της ασφάλειας της κατασκευής, από τον κίνδυνο πλημμύρας, σε όλες τις Ζώνες Υψηλού Κινδύνου

Πλημμύρας. Απαγόρευση κατοίκησης σε κτίσματα μονόροφα που βρίσκονται μέσα σε τέτοιες ζώνες.

Κατ' αυτόν τον τρόπο θα μειώνεται η ταχύτητα κίνησης κύματος με αποτέλεσμα την καθυστέρηση εμφάνισής του στα κατάντη. Επιπροσθέτως, θα μειωθούν και οι επιπτώσεις από διάβρωση σε απροστάτευτα εδάφη. Γενικά ο συνήθης σχεδιασμός των αντιπλημμυρικών έργων είναι 50 έτη, άρα δεν θα έπρεπε να γίνει αυτή η καταστροφή, εφόσον η πλημμύρα ήταν της 50ετίας.

Τέλος, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα των φερτών υλικών και να αναβληθεί η εμφάνιση πλημμυρικών υδάτων στην είσοδο του οικισμού, απαιτούνται εργασίες ορεινής υδρονομίας στη λεκάνη απορροής του ρέματος Μορτερή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. «Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.» Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2012.

Βαφειάδης Μ., Διοδεύσεις, Σημειώσεις Διόδευσης, ΤΥΤΠ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2005.

Παπανικολάου Π., Ανοικτοί Αγωγοί, Σημειώσεις μαθήματος Υδραυλική- Ανοικτοί Αγωγοί, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2008.

Σκοπελίτη Α., Στάμου Λ., Υδρολογική ανάλυση ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε περιβάλλον ΓΣΠ, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ, Αθήνα, 2013.

Τσακίρης, Γ. Υδατικοί Πόροι 1, Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Αθήνα: Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., 1995.

Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 4η , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2006.

Ε.Κ., Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 6.11.2007: L 288: 27 – 34, 2007.

Κωτούλας, Δ., 2001. Ορεινή Υδρονομική (Μέθοδοι και συστήματα υδρογεωνομικής διευθέτησης). Θεσσαλονίκη: Τμήμα εκδόσεων Α.Π.Θ.

Μαμάσης, Ν., 2012. Φυσικό και πιθανοτικό πλαίσιο πλημμυρών. Πρόληψη και μετριασμός των επιπτώσεων τους. Στο: Παραδόσεις στα πλαίσια του μαθήματος: Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη. s.l.

Στάμου, Λ., Σκοπελίτη, Α., 2009. Παρουσίαση στο μάθημα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στους Υδατικούς Πόρους, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μπουρλέτσικας, Α., 2004. Μελέτη και διερεύνηση της σχέσης βροχής - πλημμυρικής απορροής σε μια μικρή πειραματική ορεινή δασική υδρολογική λεκάνη της Δυτικής Στερέας Ελλάδος, Μεταπτυχιακή Εργασία. Αθήνα.

Μπαλούτσος, Γ., Οικονόμου, Α. & Καούκης, Κ., 2001. Ο κίνδυνος της πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά. Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων.. Αθήνα, Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας.

Αλωνιστιώτη, Δ., 2011. Διερεύνηση της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογική απόκριση λεκανών απορροής της ανατολικής Αττικής, Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα.

Κακαβάς Ι.Ν., (1978). Έκθεσις επί της γεωλογικής αναγνωρίσεως της κοινότητος Ν. Αρτάκης νήσου Ευβοίας. Έκθεση ΙΓΜΕ.

Μεγρεμή, Ι. (2010). Παράγοντες που ελέγχουν την κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του χρωμίου και άλλων μετάλλων στο περιβάλλον Ni/λατεριτών. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΥΛΗ Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος, Ιανουάριος 2021.

Φιλίππου Α. (2015). Μελέτη των μηχανισμών οξειδώσεως χρωμίου στα φυσικά νερά των Ψαχνών Ευβοίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βασιλείου, Ε., Περράκη, Μ., Σταμάτης, Γ., & Γκάτζος, Ε. (2014). Υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών κεντρικής Εύβοιας, με έμφαση στην παρουσία του εξασθενούς χρωμίου. 10ο υδρογεωλογικό συνέδριο της Ελλάδας, 8-10 Οκτωβρίου 2014, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Merz B., Kreibich H., Thielen A. and Schmidtke R., 2004. Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(1), pp. 153-163.

Messner F., Meyer V., 2006. Flood damage, vulnerability and risk perception - challenges for flood damage research. *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. pp. 149-167.

Remoundaki, E., Vasileiou, E., Philippou, A., Perraki, M., Kousi, P., Hatzikioseyian, A., & Stamatis, G. (2016). Groundwater Deterioration: The Simultaneous Effects of Intense Agricultural Activity and Heavy Metals in Soil. In *Procedia Engineering*. doi:10.1016/j.proeng.2016.11.099

Tsakiris G., Pistrika Aim., Ioannidis Ch., Soile S., Georgopoulos, A., 2008. Development of an Information System for flood management of archaeological sites. In *Proceedings of 6th International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation "Documentation and Risk Management of Cultural Sites"*. 08-14 December 2008. Rome, Italy.

Tsakiris G., Pistrika Aim., Klampanos I., Laoupi A., Ioannidis Ch., Soile S., Georgopoulos A., 2007. DISMA- Disaster Management GIS with emphasis on cultural sites - Technical Report - Volume I (unpublished). INTERREG III C - Sud Initiative and the Regional Operation Framework of NOE Programme – Patrimoine et prevention des risques naturels. Centre for the Assessment of Natural Hazards and Proactive Planning, Athens, Greece.

Merwade, V., 2012. Hydrologic Modeling using HEC-HMS, School of Civil Engineering, Purdue University.

Rulli, M.C., Bozzi, S., Spada, M., Bocchiola, D., Rosso, R., 2006. Rainfall simulations on a fire disturbed Mediterranean area. *J Hydrol*, 327(3-4): 323-38.

Xanthopoulos, G., 2003. Factors affecting the vulnerability of houses to wildland fire in the Mediterranean region. Proceedings of the International Workshop on “Forest Fires In the wildland – Urban interface and Rural Areas in Europe: An integral planning and challenge”, Athens.

Bosch, J. M. & Hewlett, J. D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration.. Journal of Hydrology, Issue 55, pp. 3-23.

Beven, K. J., 2000. Rainfall-runoff modeling - The primer. Chichester: John Wiley and Sons, LTD.

Feldman A., Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, USA, 2000.

Fleming J.M., Doan H.J., HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension, Version 10.1, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, USA, 2013.

Kirpich, L. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. 10(6): Civ.Eng., 1940.

Ponce V.M., Lohani A. K., Scheyhing C., Analytical Verification of Muskingum-Cunge routing, 1996.

Yan Huan, Appropriate modeling for integrated flood risk assessment, Dissertation, China, 2005.

Haghizadeh A., Shui L. T., Mirzaei M., Memarian H., Incorporation of GIS Based Program into Hydraulic Model for Water Level Modeling on River Basin, Journal of Water Resource and Protection, 2012.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΥΕΤΟΣ (1h) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΨΑΧΝΩΝ ΕΥΒΟΙΑΣ

(από ραντάρ Λάρισας)

Ημερομηνία	ΩΡΕΣ	ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ
08/08/2020		
	21:00-22:00	0,12
	22:00-23:00	13,18
	23:00-24:00	23,93
09/08/2020		
	00:00-01:00	26,58
	01:00-02:00	10,48
	02:00-03:00	29,94
	03:00-04:00	60,14
	04:00-05:00	26,21
	05:00-06:00	15,87
	06:00-07:00	5,69
	07:00-08:00	0,24
ΣΥΝΟΛΟ		212.38

Πίνακας Π-1: Λήψη δεδομένων υετού από τον κοντινότερο βροχομετρικό σταθμό, Ψαχνών Εύβοιας.

Element	SCS Curve Number		Muskingum - K		Method	Distribution	Shift	Shape	Scale
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum					
Subbasin 1	70	85	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Reach 1	-	-	0.016	0.02	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 2	55,5	64	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Reach 2	-	-	0.016	0.02	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 8	64	77	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Reach 3	-	-	0.016	0.02	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 7	64	77	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 12	62	75	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 13	64	77	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 16	58	70,5	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 14	58	70,5	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 11	62	75	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5
Subbasin 17	64	77	-	-	Gamma	Simple Distribution	0	20	5

Πίνακας Π-3: Προβολή των 13 συνδυασμών και παραμέτρων του μοντέλου για την ανάλυση αβεβαιότητας

