



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ**

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών υδατορρευμάτων με τη χρήση του
λογισμικού HEC-HMS με βάση διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης, τις
υδρολογικές και υδραυλικές συνθήκες και τους εδαφικούς τύπους της
υδρολογικής λεκάνης**

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΑΜ: M061922010

Επιβλέπων:

Σπυρίδων Κωτσόπουλος, Καθηγητής

Βόλος, Σεπτέμβριος 2023



UNIVERSITY OF THESSALY

INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDIES PROGRAMME

“Advanced Technologies for Environmental Risk Management”

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**Estimation of flood flows using the HEC-HMS software based on variations in
land use, hydrologic and hydraulic conditions and soil types of the watershed**

EMMANOUIL A. PAPADIMITRIOU

PN: M061922010

Supervisor:

Spyridon Kotsopoulos, Professor

Volos, September 2023

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών υδατορρευμάτων με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS με βάση διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης, τις υδρολογικές και υδραυλικές συνθήκες και τους εδαφικούς τύπους της υδρολογικής λεκάνης.

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

Estimation of flood flows using the HEC-HMS software based on variations in land use, hydrologic and hydraulic conditions and soil types of the watershed.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την **14/10/2023**.

Επιβλέπων: Σπυρίδων Κωτσόπουλος

Καθηγητής

Φαρσιώτου Ευαγγελία

Αλαμανής Νικόλαος

Καθηγήτρια Τ.Γ.Ι.Υ.Π.

Αναπλ. Καθηγητής
Τ.Γ.Α.

Μέλος

Μέλος

Βόλος, Σεπτέμβριος 2023

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε.

Copyright © ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εκφράζει τις απόψεις του συγγραφέα και ουδεμία ευθύνη για το περιεχόμενο φέρουν ο επιβλέπων, και η εξεταστική επιτροπή γι' αυτό.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή.

Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου των Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραντων λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Μ.Δ.Ε. προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ Α. ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Υπογραφή:

Ημερομηνία: 03-10-2023

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Σπυρίδωνα Κωτσόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και τη διαρκή υποστήριξή του.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών υδατορευμάτων. Η ολοένα αυξανόμενη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων τα τελευταία χρόνια, με συχνότερες βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης που προκαλούν επικίνδυνα πλημμυρικά γεγονότα, οδήγησαν στην ανάγκη εκτίμησης και αξιολόγησης των πλημμυρικών παροχών υδατορευμάτων.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης HEC-HMS που έχει αναπτυχθεί από το Σώμα Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ (US Army Corps of Engineers, USACE) σε συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη. Για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης και τις υδρολογικές τους συνθήκες (δεδομένα από χάρτες χρήσεων γης του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus, επιτόπιες μετρήσεις κτλ), στις μεθοδολογίες εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης, στους εδαφικούς τύπους από υδρολογική άποψη και τη χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων.

Η ένταση και το ύψος των βροχοπτώσεων για τις διάφορες μελετώμενες περιόδους επαναφοράς στην περιοχή μελέτης βασίζεται στη μεθοδολογία της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων (2016).

Παρουσιάζεται επίσης μια λεπτομερή περιγραφή της περιοχής μελέτης, η οποία είναι εντός της Περιφερειακής Ενότητας Μελιβοίας και συγκεκριμένα η περιοχή της Ανατολικής Μελιβοίας, αναφερόμενοι στη διοικητική υπαγωγή, τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ενώ γίνεται περιγραφή ορισμένων ειδικών χαρακτηριστικών, όπως, το κλίμα, η κάλυψη γης κ.λπ. και μια αναφορά σχετικά με τις πρόσφατες σημαντικές πλημμύρες της περιοχής. Η υπό μελέτη Λεκάνη Απορροής καταλήγει στην περιοχή της Παλιουριάς.

Τα αποτελέσματα αναμένεται να καταδείξουν το εύρος των υδρογραφημάτων όπως αυτά προκύπτουν από το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης HEC-HMS και να αξιολογηθούν παράμετροι που σχετίζονται με τη διάρκεια και την αιχμή της πλημμύρας.

Λέξεις – Κλειδιά: Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Υδρολογία, Πλημμυρικές Παροχές, Εκτίμηση Υδρολογικής Διακινδύνευσης

ABSTRACT

This thesis is about the estimation of flood flows of watercourses. The increasing frequency of extreme weather events in recent years, with more frequent high intensity rainfall causing dangerous flooding events, has led to the need to estimate and evaluate the flood flows of watercourses.

For this purpose, the HEC-HMS hydrological simulation model developed by the US Army Corps of Engineers (USACE) is used in a specific watershed. For the implementation of this work, the results obtained from variations in land use and their hydrological conditions (data from land use maps of the European Copernicus project, field measurements, etc.), in methodologies for estimating the time of concentration, in soil types from a hydrological point of view and in the temporal distribution of precipitation will be evaluated.

The intensity and amount of precipitation for the different studied return periods in the study area is based on the methodology of the Special Secretariat for Water (2016).

It also presents a detailed description of the study area, which is within the Regional Unit of Melivoia and specifically the area of East Melivoia, referring to the administrative affiliation, the geomorphological and geological characteristics of the area, and a description of some specific characteristics, such as climate, land cover, etc. and a reference to the recent significant floods in the area. The catchment area under study ends in the area of Paliouria.

The results are expected to demonstrate the range of hydrographs as derived from the HEC-HMS hydrological simulation model and to evaluate parameters related to flood duration and peak flooding.

Keywords: Water Resources Management, Hydrology, Flood Flows, Hydrological Risk Assessment

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ABSTRACT	10
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	11
Κατάλογος Εικόνων	13
Κατάλογος Σχημάτων	16
Κατάλογος Πινάκων.....	17
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	19
1.1 Γενικά	19
1.2 Υδρολογικός Κύκλος.....	19
1.3 Ορισμοί - Λεκάνης Απορροής	20
1.3.1 Υδρολογική Λεκάνη ή Λεκάνη Απορροής.....	20
1.3.2 Υδροκρίτης ή Υδροκριτική Γραμμή	21
1.3.3 Υδρογεωλογικές Λεκάνες.....	21
1.3.4 Υδατόρρευμα	21
1.3.5 Υδρογράφημα Απορροής	22
Κεφάλαιο 2: Κίνδυνοι Πλημμύρας	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Μεθοδολογία Έρευνας	24
Κεφάλαιο 3: Μελέτη Περίπτωσης – Ανάλυση Περιοχής.....	26
3.1 Περιγραφή Περιοχής.....	26
3.2 Γεωλογία Περιοχής.....	27
3.3 Χρήσεις Γης Περιοχής Μελέτης.....	27
3.4 Υδρογεωλογική Επισκόπηση – Κατάταξη Γεωλογικών Σχηματισμών Περιοχής Μελέτης.....	30
3.5 Ένταση Βροχόπτωσης – Όμβριες Καμπύλες	30
3.6 Μορφολογία και Κλίμα Περιοχής Μελέτης	32
3.7 Εδαφικές Κλίσεις Περιοχής Μελέτης.....	33
Κεφάλαιο 4: Μελέτη Περίπτωσης – Υπολογισμός Απορροής με το λογισμικό HEC-HMS	35
4.1 Χρονική Κατανομή Βροχόπτωσης	35
4.2 Αποτελέσματα	37
4.5.1 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{II} ...	37
4.5.2 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{II} ...	45
4.5.3 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{III} ..	48
4.5.4 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{III} ..	51
4.5.5 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{II}	54

4.5.6 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{II}	57
4.5.7 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{III}	60
4.5.8 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC _{III}	63
4.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων	66
4.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	67
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Συστάσεις	75
Βιβλιογραφία	77
Παράρτημα I: Περιγραφή Μεθοδολογίας GISpro	79
Παράρτημα II: Θεωρητική Περιγραφή Προσομοίωσης	91
II.1 Εισαγωγή	91
II.1.1 HEC-HMS	93
II.2 Η υπολογιστική πλατφόρμα HEC-HMS	93
II.3 Μέθοδοι προσομοίωσης των απωλειών (Loss Methods)	94
II.3.1 Μέθοδος των απωλειών ελλείμματος και σταθερού ρυθμού (Deficit and Constant Loss)	94
II.3.2 Μέθοδος των εκθετικών απωλειών (Exponential Loss)	94
II.3.3 Μέθοδος των αρχικών σταθερών απωλειών σε μορφή κανάβου (Gridded Deficit Constant Loss)	95
II.3.4 Μέθοδος απωλειών εδαφικής υγρασίας (Soil moisture accounting)	95
II.3.5 Μέθοδος απωλειών Smith Parlange	96
II.4 Μέθοδοι για τον υπολογισμό της διόδευσης (Routing methods)	96
II.4.1 Μέθοδος Υστέρησης (Lag Method)	96
II.6 Προσομοίωση HEC – HMS	97
II.6.1 Περιβάλλον HEC-HMS	97
II.6.2 Δημιουργία ενός Μοντέλου Λεκάνης	99
II.6.4 Χρονικός έλεγχος (Control Specifications)	103
II.6.5 Εισαγωγή των παρατηρήσεων της βροχόπτωσης	104
Παράρτημα III: Περίσσεια Βροχόπτωσης	109
III.1 Χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής	109
III.1.1 Υπολογισμός του χρόνου συρροής με τη μέθοδο Giandotti	109
III.1.2 Υπολογισμός του χρόνου συρροής με τη μέθοδο Kirpich	109
III.2 Μέθοδοι εκτίμησης της απορροής	110
III.2.1 Ορθολογιστική Μέθοδος	110
III.2.2 Μέθοδος Απορροϊκού Συντελεστή CN (Curve Number) της Soil Conservation Service (S.C.S.)	113
III.2.3 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα της S.C.S.	115

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου του νερού. Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999	20
Εικόνα 2: Επιλεγόμενοι Ορισμοί Ανάλυσης.	20
Εικόνα 3: Σκαρίφημα απλής υδρολογικής λεκάνης. Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 2016.....	21
Εικόνα 4: Υδρογράφημα απορροής. Πηγή: Βαφειάδης, 2004.....	22
Εικόνα 5: Συνθήκες Σεναρίου. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	23
Εικόνα 6: Χάρτης Οριζοντιογραφίας (με ισοϋψείς ισοδιάστασης 20m) της λεκάνης απορροής, του υδρογραφικού δικτύου (ή του κυρίως υδατορρεύματος). Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	26
Εικόνα 7: Χάρτες Ζωνών Γεωλογικού Χαρακτηρισμού	27
Εικόνα 8: Χάρτης Χρήσεων Γης στο ΥΔ Θεσσαλίας (EL08). Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015	28
Εικόνα 9: Χάρτης Υφιστάμενων Χρήσεων Γης στη Λεκάνη Απορροής Ρέματος Παλιουριάς. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.....	28
Εικόνα 10: Χάρτης - θέση, όρια και κύριες λεκάνες του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018.....	33
Εικόνα 11: Μορφολογικός Χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018.....	33
Εικόνα 12: Χάρτης Εδαφικών Κλίσεων Λεκάνης Απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.....	34
Εικόνα 13: Συνοπτικοί πίνακες με τα στοιχεία της λεκάνης απορροής (Global Summary) και τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο (Summary Table) για υγρασιακή κατάσταση AMC _{II} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών	38
Εικόνα 14: Πίνακας χρονοσειρών για την λεκάνη απορροής για υγρασιακή κατάσταση AMC _{II} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών	39
Εικόνα 15: Υετόγραμμα και Υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC _{II} για την λεκάνη απορροής του ρέματος Παλιουριάς με περίοδο επαναφοράς τα 50έτη.....	40
Εικόνα 16: Συνοπτικοί πίνακες με τα στοιχεία της λεκάνης απορροής (Global Summary) και τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο (Summary Table) για υγρασιακή κατάσταση AMC _{III} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών	41
Εικόνα 17: Υετόγραμμα και Υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC _{III} για την λεκάνη της απορροής του ρέματος Παλιουριάς με περίοδο επαναφοράς τα 50έτη.....	41
Εικόνα 18: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	43
Εικόνα 19: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	43
Εικόνα 20: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	44
Εικόνα 21: Διάγραμμα απορροής-χρόνου T=100 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	44
Εικόνα 22: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης.....	46
Εικόνα 23: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης.....	46
Εικόνα 24: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης.....	47
Εικόνα 25: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMC _{II} , του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης.....	47

Εικόνα 26: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	49
Εικόνα 27: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	49
Εικόνα 28: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	50
Εικόνα 29: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	50
Εικόνα 30: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	52
Εικόνα 31: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	52
Εικόνα 32: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	53
Εικόνα 33: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	53
Εικόνα 34: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	55
Εικόνα 35: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	55
Εικόνα 36: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	56
Εικόνα 37: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	56
Εικόνα 38: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	58
Εικόνα 39: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	58
Εικόνα 40: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	59
Εικόνα 41: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	59
Εικόνα 42: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	61
Εικόνα 43: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	61
Εικόνα 44: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	62
Εικόνα 45: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης	62
Εικόνα 46: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	64
Εικόνα 47: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	64
Εικόνα 48: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	65
Εικόνα 49: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης	65
Εικόνα 50: Περίπτωση Α - Ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC _{III} . T = 100 έτη	66

Εικόνα 51: Περίπτωση Β - Τριγωνική κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC _{III} . T = 100 έτη	66
Εικόνα 52: Περίπτωση Γ– Τραπεζοειδής κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC _{III} . T = 100 έτη	66
Εικόνα 53: Περίπτωση Δ – Συνθετικά δεδομένα βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC _{III} . T = 100 έτη	66
Εικόνα 54: Υδρογράφημα εισροής και εκροής	97
Εικόνα 55: Επιλογή του προγράμματος HEC-HMS.....	97
Εικόνα 56: Αρχική οθόνη του προγράμματος HEC-HMS	98
Εικόνα 57: Δημιουργία προσομοίωσης	98
Εικόνα 58: Εισαγωγή μοντέλου της λεκάνης απορροής.....	99
Εικόνα 59: Εισαγωγή στοιχείων της λεκάνης απορροής.....	99
Εικόνα 60: Φάκελος Basin Models.....	99
Εικόνα 61: Εργαλειοθήκη.....	100
Εικόνα 62: Τοποθέτηση της υπό λεκάνης	101
Εικόνα 63: Συμπλήρωση στοιχείων στην καρτέλα Subbasin.....	102
Εικόνα 64: Συμπλήρωση στοιχείων της καρτέλας Loss.....	102
Εικόνα 65: Συμπλήρωση στοιχείων της καρτέλας Transform.....	102
Εικόνα 66: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου	103
Εικόνα 67: Ορισμός χρονικού ελέγχου.....	104
Εικόνα 68: Ορισμός μονάδων μέτρησης και χρονικού βήματος	104
Εικόνα 69: Ορισμός χρονικού διαστήματος των βροχομετρικών δεδομένων	104
Εικόνα 70: Αναλυτική εισαγωγή μετρήσεων βροχόπτωσης.....	105
Εικόνα 71: Υετογράφημα	106
Εικόνα 72: Ορισμός των δεδομένων στο Μετεωρολογικό μοντέλο.....	106
Εικόνα 73: Δημιουργία εκτέλεσης του προγράμματος.....	107
Εικόνα 74: Εκτέλεση προσομοίωσης	107
Εικόνα 75: Υετογράφημα - Πλημμυρογράφημα βροχόπτωσης-απορροής	107

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Στάδια Μεθοδολογίας. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	25
Σχήμα 2: Διάγραμμα Τροποποιημένης Αθροιστικής Καμπύλης Βροχόπτωσης για T 10, 20, 50 και 100 έτη. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	36
Σχήμα 3: Πλημμυρικές παροχές για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης για την εκάστοτε περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη με 10λεπτο βήμα υπολογισμού. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	73
Σχήμα 4: Πλημμυρικές παροχές για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης για την εκάστοτε περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη με 5λεπτο βήμα υπολογισμού. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	74
Σχήμα 5: Τριγωνικό Υδρογράφημα της S.C.S.	115

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Υφιστάμενες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.....	29
Πίνακας 2: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή - Τωρινή Κατάσταση, Υγρασιακής Κατάστασης II & III. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	29
Πίνακας 3: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή – Μελλοντική Κατάσταση, Υγρασιακής Κατάστασης II & III. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.....	30
Πίνακας 4: Κατηγορίες υδρογεωλογικών τύπων. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018. 30	
Πίνακας 5: Δεδομένα λεκάνης απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.....	31
Πίνακας 6: Υγρασιακές Κατάσταση AMC II/III - Περίοδος Επαναφοράς 10/25/50/100 έτη – Τωρινές/Μελλοντικές Χρήσεις Γης	32
Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης	42
Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης.....	45
Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης	48
Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης.....	51
Πίνακας 11: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης	54
Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης.....	57
Πίνακας 13: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης	60
Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης.....	63
Πίνακας 19: Αποτελέσματα υπολογισμών για υφιστάμενες χρήσεις γης (10λεπτο βήμα). ...	68
Πίνακας 20: Αποτελέσματα υπολογισμών για μελλοντικές χρήσεις γης (10λεπτο βήμα).....	68
Πίνακας 21: Αποτελέσματα υπολογισμών για υφιστάμενες χρήσεις γης (5λεπτο βήμα).	69
Πίνακας 22: Αποτελέσματα υπολογισμών για μελλοντικές χρήσεις γης (5λεπτο βήμα).....	69
Πίνακας 23: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης	71
Πίνακας 24: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης	71
Πίνακας 25: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης	72
Πίνακας 26: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης	72
Πίνακας 23: Ενδεικτικές τιμές του απορροϊκού συντελεστή C, για διάφορες χρήσεις γης. Πηγή: Houghtalen & Hwang 1996, Chow et al. 1988, Κωτσόπουλος 2006.....	110
Πίνακας 24: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή. Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, 2002	112
Πίνακας 25: Ενδεικτικές τιμές απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S. για προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση τύπου II (AMC II). Πηγή: Chow et al., 1988	114

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η σημασία του νερού για τη ζωή και την ανάπτυξη έχει αναγνωριστεί από την αρχαιότητα. Ωστόσο, τον 20ό αιώνα, η έλλειψη νερού σε πολλά μέρη του κόσμου έκανε την κατάσταση πιο δύσκολη. Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού, η ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων πόρων, η ανάγκη επέκτασης της παραγωγής τύρφης και πολλές ανθρωπογενείς και κλιματικές αλλαγές (μόνιμες ή μη) κατέστησαν τη διαχείριση των υδάτινων πόρων μια δύσκολη και απαιτητική επιστήμη (Τσακίρης, 2010).

Ταυτόχρονα, αρχίζουν να αναδύονται συγκρούσεις για το νερό σε όλο τον κόσμο, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα απόσπασμα από την ομιλία του Προέδρου J.F. Kennedy. 'Αυτός που θα λύσει το πρόβλημα του νερού δεν αξίζει ένα βραβείο Νόμπελ, αλλά δύο - ένα για την επιστήμη και ένα για την ειρήνη' (Τσακίρης, 2010).

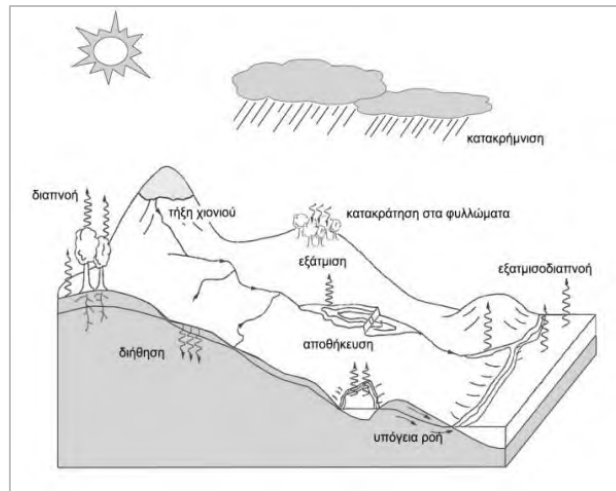
Οι ανησυχίες για το μέλλον είναι πραγματικές. Ενώ η κατανάλωση αυξάνεται παγκοσμίως, οι υδάτινοι πόροι μειώνονται. Ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού καταδεικνύει το μέγεθος του προβλήματος: από 1 δισεκατομμύριο στα τέλη του 18ου αιώνα, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε σε 1,7 δισεκατομμύρια στα τέλη του 19ου αιώνα και σε 6 δισεκατομμύρια στα τέλη του 20ού αιώνα. Ο ΟΗΕ προβλέπει ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα φθάσει τα 8 δισεκατομμύρια μέχρι το 2025 και τα 9,2 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050. Αυτό σημαίνει αύξηση από 1 δισεκατομμύριο σε 9,2 δισεκατομμύρια ανθρώπους μέσα σε δυόμισι αιώνες ή 900% (Gleick, 2000) (Τσακίρης, 2013).

1.2 Υδρολογικός Κύκλος

Η αιτία αυτής της διαδικασίας κυκλοφορίας του νερού είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η φυσική κατάσταση του νερού αλλάζει συνεχώς. Παίρνει τη μορφή στερεού πάγου, υγρών ποταμών, λιμνών και ωκεανών και αέριων υδρατμών (Τσακίρης, 2013).

Καθώς ο αέρας στην επιφάνεια της γης θερμαίνεται, η υγρασία του εξατμίζεται και σχηματίζει υδρατμούς, οι οποίοι σχηματίζουν σύννεφα. Στη συνέχεια, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης (όπως ωκεανοί και λίμνες) ή υπόγεια, μέσω βροχής ή άλλων μορφών βροχοπτώσεων (Τσακίρης, 2013).

Ο χρόνος υλοποίησης του κύκλου δεν είναι σταθερός, για παράδειγμα κατά τη διάρκεια παρατεταμένων κύκλων ξηρασίας που φαίνεται να έχουν σπάσει. Όταν η ατμοσφαιρική βροχόπτωση πέφτει απευθείας στον ωκεανό, δεν υφίσταται επιφανειακή απορροή, επομένως η διάρκεια μειώνεται (Τσακίρης, 2013).



Εικόνα 1: Απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου του νερού.
Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999

1.3 Ορισμοί - Λεκάνης Απορροής

Στην υδρολογία, ορισμένες έννοιες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των υδρολογικών διεργασιών σε μια λεκάνη απορροής. Για την ανάλυση έχουν επιλεγεί οι ακόλουθοι βασικοί όροι (Τσακίρης, 2013):



Εικόνα 2: Επιλεγόμενοι Ορισμοί Ανάλυσης.

1.3.1 Υδρολογική Λεκάνη ή Λεκάνη Απορροής

Ως λεκάνη απορροής νοείται μια καθορισμένη τοπογραφική και υδρολογική μονάδα που αντιπροσωπεύει τη βασική χωρική μονάδα αποστράγγισης της επεξεργασμένης επιφάνειας. Τα όρια της λεκάνης απορροής καθορίζονται από το ανάγλυφο του εδάφους. Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής είναι οι κλίσεις της και η διακλάδωση του υδρολογικού δικτύου. Στην ουσία, πρόκειται για μια περιοχή που αποστραγγίζεται από ένα δίκτυο υδατορευμάτων (Τσακίρης, 2010).

1.3.2 Υδροκρίτης ή Υδροκριτική Γραμμή

Είναι μια νοητή γραμμή που συνδέει τα υψηλότερα σημεία υψομέτρου στο έδαφος της γης και διαχωρίζει τη ροή του νερού της βροχής. Κάθε υδραυλικά κρίσιμο τμήμα γραμμής ορίζει δύο αντίθετες κατευθύνσεις ροής. Η γραμμή απορροής της λεκάνης απορροής συμπίπτει με το εξωτερικό όριο της λεκάνης απορροής και διακόπτεται μόνο στην έξοδο του νερού (Τσακίρης, 2010).

1.3.3 Υδρογεωλογικές Λεκάνες

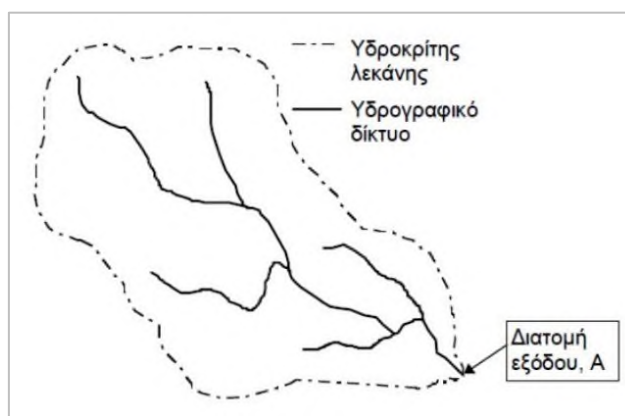
Μια υδρογεωλογική λεκάνη είναι μια λεκάνη που συγκεντρώνει επιφανειακά και υπόγεια ύδατα και τα κατευθύνει σε μια έξοδο (Τσακίρης, 2010).

1.3.4 Υδατόρρευμα

Τα υδατόρρευμα είναι φυσικά διαμορφωμένες εδαφικές επιφάνειες που αποτελούν τους κύριους αποδέκτες της επιφανειακής απορροής και εξασφαλίζουν τη μεταφορά της απορροής σε άλλους αποδέκτες σε χαμηλότερα επίπεδα (Τσακίρης, 2013).

Το φυσικό σχήμα του εδάφους στο οποίο ρέει το νερό του ποταμού ονομάζεται κοίτη ποταμού. Είναι αυλακωμένη και διαμορφωμένη από τις δυνάμεις του νερού, ώστε να μεταφέρει όσο το δυνατόν περισσότερο προς τα κατάντη τη μάζα του νερού και των ιζημάτων που αποτελούν τη διάβρωση του ποταμού (Δίκος, 2015).

Τα υδρολογικά δίκτυα διακρίνονται βάσει μορφής και πυκνότητας. Ανάλογα με το σχήμα του, μπορεί να έχει τη μορφή δενδριτικών, παράλληλων, κλιμακωτών, ορθογώνιων, κυκλικών, πολλαπλών δοχείων ή πολύπλοκων παραμορφώσεων. Η μορφή του δικτύου εξαρτάται από κλιματικούς και γεωλογικούς παράγοντες, καθώς και από ανθρώπινη παρέμβαση. Η πυκνότητά του ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα της βροχόπτωσης που πέφτει στο δίκτυο κάθε χρόνο, και η ποσότητα του νερού που ρέει μέσω του δικτύου εξαρτάται επίσης από τους ανέμους και τη θερμοκρασία που επικρατούν.

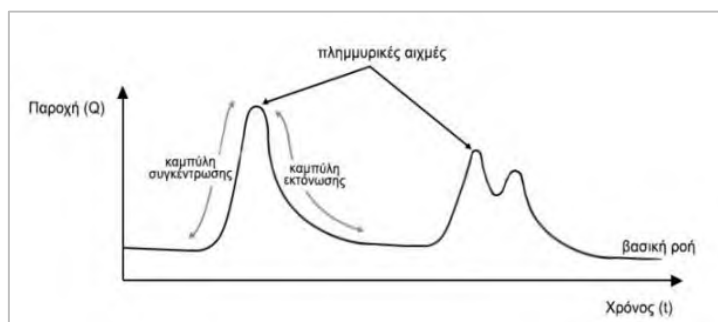


Εικόνα 3: Σκαρίφημα απλής υδρολογικής λεκάνης. Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 2016

1.3.5 Υδρογράφημα Απορροής

Ένα υδρογράφημα απορροής απεικονίζει τον ρυθμό ροής σε ένα δεδομένο σημείο της κοίτης ενός ποταμού ως συνάρτηση του χρόνου [$Q = Q(t)$]. Εάν η ροή είναι χαμηλή και σχετικά σταθερή σε αυτή την χρονική περίοδο, η βροχόπτωση είναι ασήμαντη ή δεν παρατηρείται καθόλου (Βαφειάδης, 2004).

Όταν παρατηρούνται υψηλές παροχές στα υδρογραφήματα, αυτό αντιστοιχεί σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης, όταν η βροχόπτωση μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή (Βαφειάδης, 2004).



Εικόνα 4: Υδρογράφημα απορροής. Πηγή: Βαφειάδης, 2004

Κεφάλαιο 2: Κίνδυνοι Πλημμύρας

2.1 Εισαγωγή

Η οδηγία 2007/60/EK με κύριο θέμα την εκτίμηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο στις 23 Οκτωβρίου 2007 και τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου 2007.

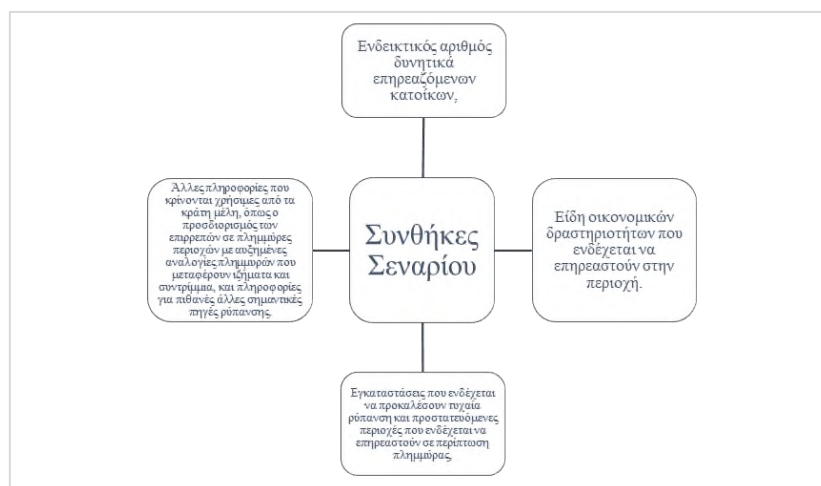
Η οδηγία 2007/60/EK αποτελείται από τρία στάδια εφαρμογής. Αρχικά, παρουσιάζεται η εφαρμογή της προκαταρκτικής εκτίμησης κινδύνου πλημμύρας. Στη συνέχεια, παράγονται χάρτες κινδύνου πλημμύρας και χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και αναπτύσσονται σχέδια διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής.

Ως εκ τούτου, σύμφωνα με το άρθρο 6 της οδηγίας 2007/60/EK, τα κράτη μέλη χαρτογραφούν τον κίνδυνο πλημμύρας στο επίπεδο των περιοχών λεκάνης απορροής και σε περιοχές όπου τα κράτη μέλη θεωρούν ότι υπάρχει η καταλληλότερη αναλογία. Αν υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης σοβαρής πλημμύρας ή πιθανότητα πλημμύρας.

Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας καλύπτουν γεωγραφικές περιοχές στις οποίες είναι πιθανό να εμφανιστούν πλημμύρες σύμφωνα με τα σενάρια τα οποία είναι εμφανή παρακάτω:

- Σενάρια πλημμύρας ή ακραίων συμβάντων χαμηλής πιθανότητας.
- Μέση πιθανότητα πλημμύρας (πιθανή περίοδος αποκατάστασης ≥ 100 ετών),
- Υψηλή πιθανότητα πλημμύρας (υπό προϋποθέσεις).

Ο Χάρτης Κινδύνων Πλημμύρας απεικονίζει τις πιθανές αρνητικές συνέπειες που σχετίζονται με τις πλημμύρες υπό τις παραπάνω συνθήκες του σεναρίου, οι οποίες εκφράζονται ως εξής:



Εικόνα 5: Συνθήκες Σεναρίου. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η μελέτη της συμπεριφοράς της λεκάνης απορροής με βάση τα χαρακτηριστικά της είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη λήψη ποικίλων σημαντικών αποφάσεων, όπως ο σχεδιασμός και η

διαχείριση εγκαταστάσεων αντιπλημμυρικής προστασίας, η προετοιμασία και οι ενέργειες για μεγάλα πλημμυρικά συμβάντα.

Αυτή η έρευνα μπορεί να διευκολυνθεί ιδιαίτερα με τη χρήση προγραμμάτων υδρολογικής μοντελοποίησης. Αφού πρώτα περιγράψει τη λεκάνη απορροής και τα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της, επιτρέπει πολύ ακριβείς εκτιμήσεις της απόκρισης της λεκάνης απορροής στα γεγονότα βροχοπτώσεων.

Το πρόγραμμα HEC-HMS είναι ένα πρόγραμμα υδρολογικής προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από το Σώμα Μηχανικών Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών (USACE). Αυτό το πρόγραμμα προσομοιώνει την απορροή της βροχόπτωσης και τις διεργασίες διοχέτευσης μέσω φυσικών ρευμάτων ή ανθρωπογενών δομών.

Το HEC-HMS είναι μια εξέλιξη του προγράμματος HEC1, ενσωματώνοντας νέα χαρακτηριστικά και βελτιώνοντας τα υπάρχοντα, αξιοποιώντας τις εξελίξεις στην επιστήμη των υπολογιστών και τη μηχανική για να παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα μέσω ενός πιο φιλικού προς τον χρήστη περιβάλλοντος.

Για να επιβεβαιωθούν οι διαφορές που βρέθηκαν στις υλοποιήσεις των μοντέλων που χρησιμοποιήσαν, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε επιλεγμένα παραδείγματα.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εκτιμήσει και να αξιολογήσει τις αναμενόμενες πλημμυρικές παροχές του υδατορρέυματος μελέτης, με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS με βάση διαφοροποιήσεις στις χρήσεις γης, τις υδρολογικές και υδραυλικές συνθήκες και τους εδαφικούς τύπους της υδρολογικής λεκάνης.

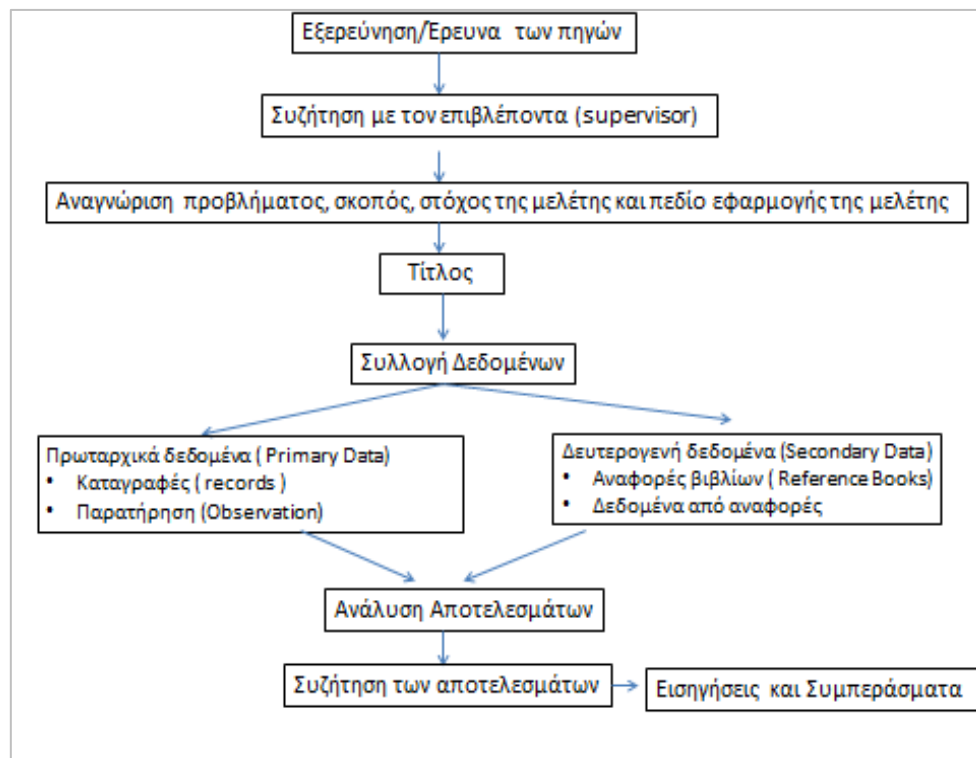
2.2 Μεθοδολογία Έρευνας

Η ερευνητική μέθοδος βασίζεται στην ανάλυση των στόχων της έρευνας, με τον γενικό τίτλο "Εκτίμηση των πλημμυρικών ροών σε υδατορεύματα με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS με βάση τις αλλαγές στις χρήσεις γης, τις υδρολογικές και υδραυλικές συνθήκες και τους τύπους εδάφους στη λεκάνη απορροής" ως κύριο θέμα εκτενούς περιγραφής και επεξήγησης.

Επιπλέον, παρέχεται μια πιο τεχνική ανάλυση των δεδομένων από τις μελέτες που αναπτύχθηκαν, ενώ ακολουθεί ένα τμήμα συμπερασμάτων, συζήτησης και προτάσεων βελτίωσης.

Η ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του διαδικτύου, της βιβλιογραφίας σχετικά με την εκτίμηση της πλημμυρικής ροής σε υδατορεύματα και του οδηγού λειτουργίας του λογισμικού HEC-HMS.

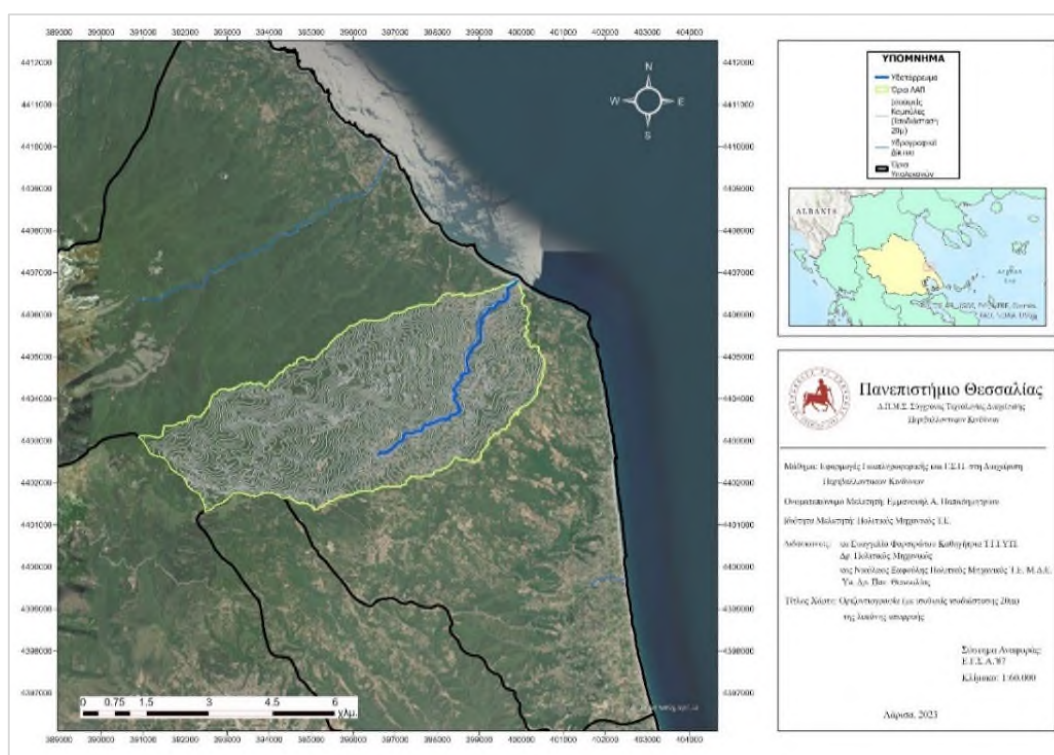
Όλες οι πληροφορίες που ελήφθησαν χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του παρόντος εγγράφου, δηλαδή για την παραγωγή ενός αντιπροσωπευτικού εγχειριδίου που είναι χρήσιμο για τους ειδικούς στα σχετικά πεδία.



Σχήμα 1: Στάδια Μεθοδολογίας. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κεφάλαιο 3: Μελέτη Περίπτωσης – Ανάλυση Περιοχής

Στην παρούσα ενότητα παρέχεται λεπτομερής περιγραφή της περιοχής μελέτης, η οποία ανήκει στην Περιφερειακή Περιοχή Μελιβοίας, και συγκεκριμένα στην περιοχή Ανατολικής Μελιβοίας. Παρουσιάζονται η διοικητική υπαγωγή, ορισμένα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, το κλίμα και η κάλυψη γης, καθώς και αναφορές για πρόσφατες μεγάλες πλημμύρες στην περιοχή. Οι υπό μελέτη λεκάνες απορροής εκτείνονται μέχρι την περιοχή της Παλιουριάς. Αντίστοιχα, οι προαναφερθείσες λεκάνες απορροής φαίνονται στον ακόλουθο χάρτη απεικόνισης που δημιουργήθηκε με τη χρήση του GISpro (Εικόνα 4).



Εικόνα 6: Χάρτης Οριζοντιογραφίας (με ισοϋψείς ισοδιάστασης 20m) της λεκάνης απορροής, του υδρογραφικού δικτύου (ή του κυρίως υδατορρέυματος). Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

3.1 Περιγραφή Περιοχής

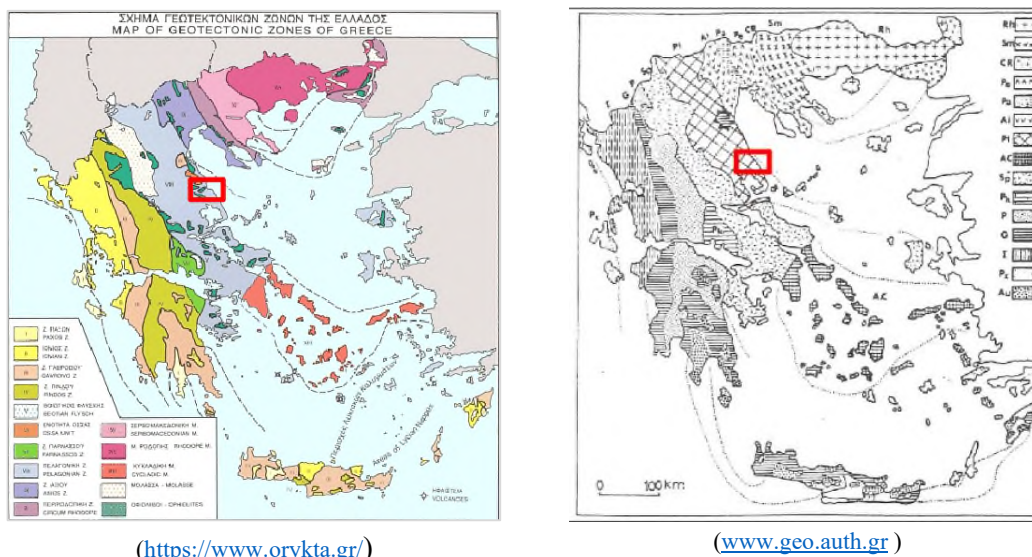
Η Παλιουριά είναι τμήμα της Περιφερειακής Ενότητας Λάρισας του Δήμου Αγιάς, που βρίσκεται στη Θεσσαλία, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας σύμφωνα με το σχέδιο "Καλλικράτης". Η επίσημη ονομασία της είναι Παλιουριά. Πρωτεύουσά της είναι η Αγιά και γεωγραφικά ανήκει στο νομό Θεσσαλίας.

Μέχρι το 2010, όταν πραγματοποιήθηκε η διοικητική διαίρεση της Ελλάδας σύμφωνα με το σχέδιο "Καποδίστριας", η Παλιουριά ανήκε στην περιοχή Μελιβοίας (πρώην Δήμος Μελιβοίας) του νομού Λάρισας.

3.2 Γεωλογία Περιοχής

Η Ελλάδα παρουσιάζει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή με μεγάλη ποικιλία στρωμάτων, ως αποτέλεσμα της πολύπλοκης γεωλογικής ιστορίας και εξέλιξής της. Γεωλογικά, η Ελλάδα μπορεί να χωριστεί στις ακόλουθες τεκτονικές ζώνες. Κάθε τεκτονική ζώνη αποτελείται από μια στρωματογραφική διαδοχή ιζημάτων, λιθολογικά χαρακτηριστικά και τεκτονική συμπεριφορά, τα οποία εξαρτώνται γενικά από την παλαιογεωγραφική θέση.

Μια σχηματική αναπαράσταση των παραπάνω ζωνών γεωλογικών χαρακτηριστικών σε όλη την Ελλάδα παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 5):



Εικόνα 7: Χάρτες Ζωνών Γεωλογικού Χαρακτηρισμού

Με βάση τον παραπάνω χάρτη των τεκτονικών ζωνών της Ελλάδας, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η περιοχή μελέτης μας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, η οποία καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της ελληνικής ξηράς και αποτελείται από κρυσταλλικούς σχιστόλιθους (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, κερατόλιθοι με μεγάλες διεισδύσεις γρανίτη), μάρμαρα, φυλλίτες, σχιστόλιθους, σχιστόλιθους, σχιστόλιθους, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και δολομίτες.

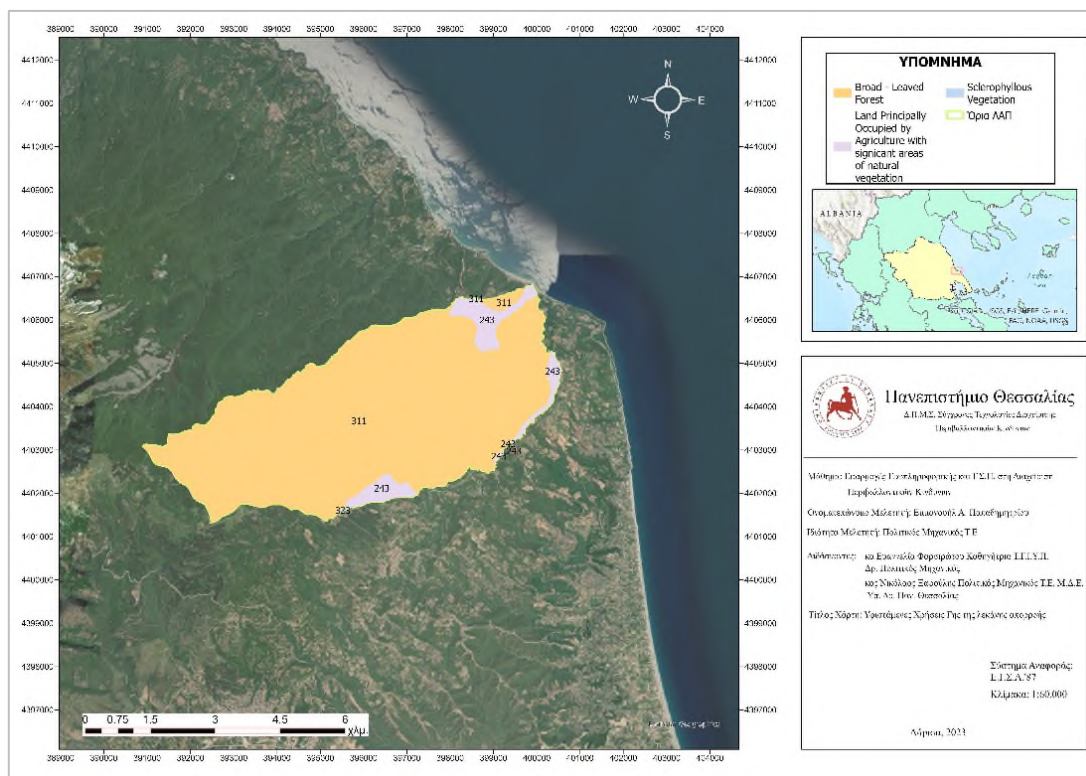
3.3 Χρήσεις Γης Περιοχής Μελέτης

Στον ακόλουθο χάρτη παρουσιάζονται οι χρήσεις γης όπως ορίζονται στο ΦΕΚ τ. Β' 2685/06.07.2018. Στους παρακάτω πίνακες και χάρτες παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (EL08) σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ για το 2015.



Εικόνα 8: Χάρτης Χρήσεων Γης στο ΥΔ Θεσσαλίας (EL08).
Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015

Στην παρακάτω εικόνα είναι εμφανείς οι Χρήσεις Γης της υπό μελέτη Λεκάνης Απορροής.



Εικόνα 9: Χάρτης Υφιστάμενων Χρήσεων Γης στη Λεκάνη Απορροής Ρέματος Παλιουριάς. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της περιοχής μελέτης, προκύπτουν οι χρήσεις γης και οι αντίστοιχες εκτάσεις της σε km² (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Υφιστάμενες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ								
1. Broad - Leaved Forest			2. Land Principally Occupied by Agriculture with significant areas of natural vegetation			3. Sclerophyllous Vegetation		
E _{1i} (km ²)	=	26.65	E _{2i} (km ²)	=	0.95	E _{3i} (km ²)	=	0.02
E _{1ii} (km ²)	=	0.24	E _{2ii} (km ²)	=	0.35			
			E _{2iii} (km ²)	=	0.0153			
			E _{2iv} (km ²)	=	0.57			

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις μετατροπής του απορροϊκού συντελεστή CN_{II} της SCS σε CN_I ή CN_{III} με βάση το σύγγραμμα Applied Hydrology (Chow *et al.*, 1988):

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10-0.058CN_{II}} \quad (3.1)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10+0.13CN_{II}} \quad (3.2)$$

Στην υπό μελέτη περιοχή, υπολογίσθηκαν, τα παρακάτω στοιχεία σχετιζόμενα με τους απορροϊκούς συντελεστές, τωρινής και μελλοντικής χρήσης αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή - Τωρινή Κατάσταση, Υγρασιακής Κατάστασης II & III. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

		Τωρινή Χρήση -II				Τωρινή Χρήση - III	
a/a	Χρήση Γης	E (km ²)	Τύπος Εδάφους	CN	CN * E _i	CN	CN * E _i
1	Δασώδεις Περιοχές (1)	26.65	B	55	1465.75	73.76	1965.73
2	Δασώδεις Περιοχές (2)	0.24	B	55	13.2	73.76	17.70
3	Βοσκότοποι (1)	0.95	B	69	65.55	83.66	79.48
4	Βοσκότοποι (2)	0.35	B	69	24.15	83.66	29.28
5	Βοσκότοποι (3)	0.02	B	69	1.38	83.66	1.67
6	Βοσκότοποι (4)	0.57	B	69	39.33	83.66	47.69
7	Δασώδεις Περιοχές (3)	0.02	B	60	1.2	77.53	1.55
		28.80			1610.56		2143.10
				CN	55.92		74.41

Πίνακας 3: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή – Μελλοντική Κατάσταση, Υγρασιακής Κατάστασης II & III. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

a/a	Χρήση Γης	Τωρινή Χρήση -II				Τωρινή Χρήση - III	
		E (km ²)	Τύπος Εδάφους	CN	CN * E _i	CN	CN * E _i
1	Δασώδεις Περιοχές	21.89	B	55	1203.95	73.76	1614.63
2	Αγροκτήματα	5.00	B	74	370	86.75	433.74
3	Χέρσο Έδαφος	0.95	C	91	86.45	95.88	91.08
4	Βοσκότοποι (1)	0.35	B	78	27.3	89.08	31.18
5	Βοσκότοποι (2)	0.02	B	78	1.56	89.08	1.78
6	Βοσκότοποι (3)	0.57	B	78	44.46	89.08	50.77
7	Δρόμοι	0.02	D	89	1.78	94.90	1.90
		28.80			1735.50		2225.08
				CN	60.26		77.26

3.4 Υδρογεωλογική Επισκόπηση – Κατάταξη Γεωλογικών Σχηματισμών Περιοχής Μελέτης

Η υδρογεωλογική ταξινόμηση των σχηματισμών της περιοχής βασίζεται σε ένα συνδυασμό υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με τα κριτήρια της Διεθνούς Υδρογεωλογικής Ένωσης (Struckmeier and Margat, 1995; Nikas et al., 2010), ο Πίνακας 4 συνοψίζει τις κατηγορίες και τις υποκατηγορίες υδρογεωλογικών τύπων.

Πίνακας 4: Κατηγορίες υδρογεωλογικών τύπων. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018

		A	B
1	Πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί) σχηματισμοί	Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
2	Συνεκτικοί (κυρίως ανθρακικοί) σχηματισμοί με δευτερογενή περατότητα	Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
3	Πορώδεις και συνεκτικοί σχηματισμοί με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – Γενικά άνευ πρακτικής σημασίας	Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών σχηματισμών	Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί

3.5 Ένταση Βροχόπτωσης – Όμβριες Καμπύλες

Για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των όμβριων καμπυλών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016) στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/EK, η οποία είναι κοινή για όλα τα Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιείται η γενική εξίσωση:

$$i = a(T)/b(d) \quad (3.3)$$

όπου:

i (mm/h) η ένταση βροχής διάρκειας d (h) για περίοδο επαναφοράς T (έτη).

Τα $a(T)$ και $b(d)$ είναι οι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς, T και της διάρκειας, d , αντίστοιχα.

Η συνάρτηση $b(d)$ εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$b(d) = \left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^\eta \quad (3.4)$$

όπου:

θ και η παράμετροι, με $\theta \geq 0$ και $0 < \eta < 1$.

Τελικά, οι όμβριες καμπύλες εκφράζονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$i(d, T) = \frac{\lambda'(T^k - \psi')}{(1 + d/\theta)^\eta} \quad (3.5)$$

όπου:

κ παράμετρος θέσης, λ' παράμετρος κλίμακας, ψ' παράμετρος θέσης της συνάρτησης κατανομής, και θ , η οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας. Οι παράμετροι αυτές είναι χαρακτηριστικές για κάθε Υδατικό Διαμέρισμα και αντίστοιχο μετεωρολογικό σταθμό.

Κάποια από τα βασικά δεδομένα της υπό μελέτης λεκάνης απορροής, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5: Δεδομένα λεκάνης απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία.

Υπολογισμός Χρόνου Συγκέντρωσης (hr)		
Δεδομένα		
A (km ²)	Εμβαδόν της λεκάνης απορροής	28.80
L (km)	Μήκος της κύριας μισγάγγειας	6.66
H _o (m)	Υψόμετρο εκβολής	0.32
H̄ (m)	Μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής	658.76
Ζητούμενα		
t _c (hr)	Χρόνος συγκέντρωσης	1.53

Εν συνεχεία αξίζει να παρατεθούν όλα εκείνα τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, για να εκτιμηθεί η παροχή αιχμής για περιόδους επαναφοράς (T) 10, 20, 50 και 100 έτη για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} και AMC_{III} αντίστοιχα.

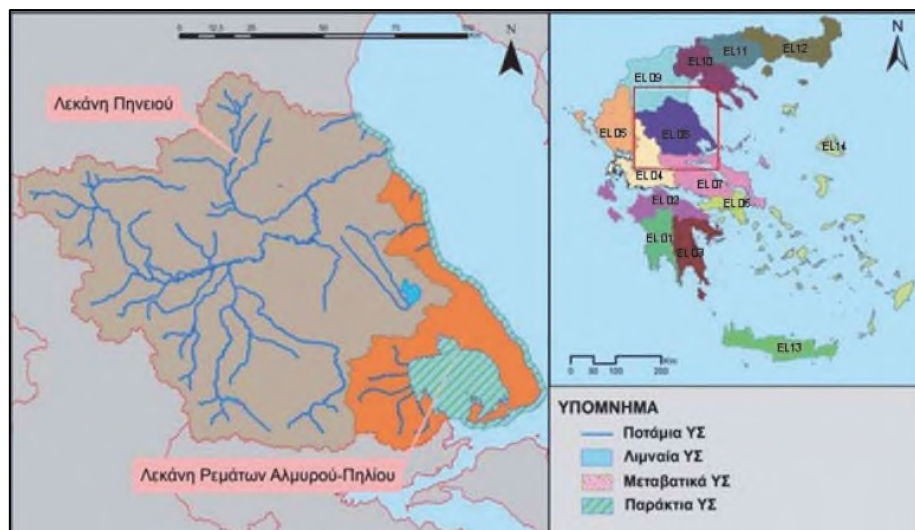
Πίνακας 6: Υγρασιακές Κατάσταση AMC II/III - Περίοδος Επαναφοράς
10/25/50/100 έτη – Τωρινές/Μελλοντικές Χρήσεις Γης

Υγρασιακή Κατάσταση (AMC)	Περίοδος Επαναφοράς T (έτη)	Βροχόπτωση (mm)	Απορροϊκός Συντελεστής CN
II - Τωρινές Χρήσεις	10	52.27	55.92
	20	63.18	
	50	72.06	
	100	81.53	
III - Τωρινές Χρήσεις	10	52.27	74.41
	20	63.18	
	50	72.06	
	100	81.53	
II - Μελλοντικές Χρήσεις	10	52.27	60.26
	20	63.18	
	50	72.06	
	100	81.53	
III - Μελλοντικές Χρήσεις	10	52.27	77.26
	20	63.18	
	50	72.06	
	100	81.53	

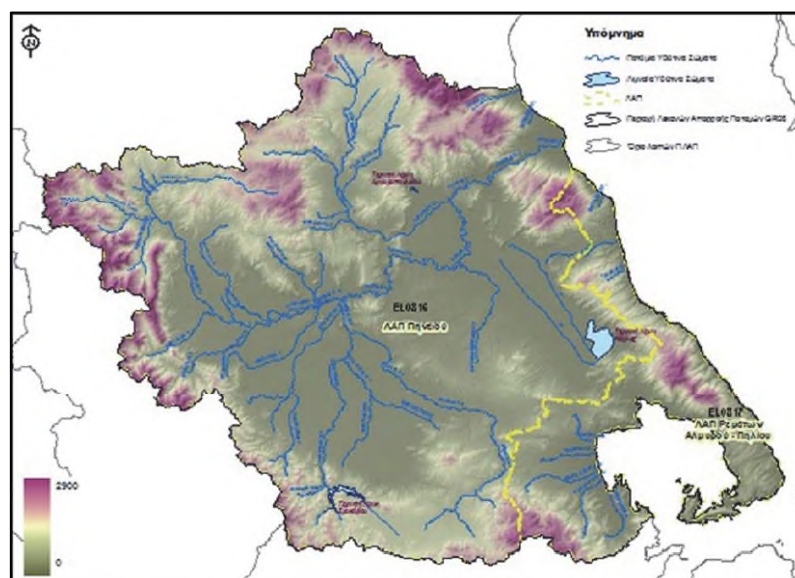
3.6 Μορφολογία και Κλίμα Περιοχής Μελέτης

Το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας ή EL08 είναι ένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας, σύμφωνα με τον κωδικό αριθμό του. Αντιστοιχεί περίπου στη γεωγραφική περιοχή της Θεσσαλίας. Η Θεσσαλία είναι κυρίως υδατικό διαμέρισμα με ένα μικρό τμήμα του νότιου και νοτιοδυτικού τμήματος της επαρχίας να ανήκει στο παρακείμενο υδατικό διαμέρισμα. Η συνολική έκταση της επαρχίας είναι 13.377 km².

Η τοπογραφία της επαρχίας Θεσσαλίας είναι απλή, με ορεινές περιοχές στην περιφέρεια και πεδινές στο κέντρο. Το Θεσσαλικό Πεδίο καταλαμβάνει μεγάλο μέρος των υδάτων της Θεσσαλίας, ένα τεκτονικό βύθισμα που οριοθετείται από την οροσειρά Ολύμπου-Καμβουνίων στα βόρεια, την Πίνδο στα δυτικά, το Όθριο στα νότια και το Πήλιο-Όσσα στα ανατολικά (Εικόνα 10).



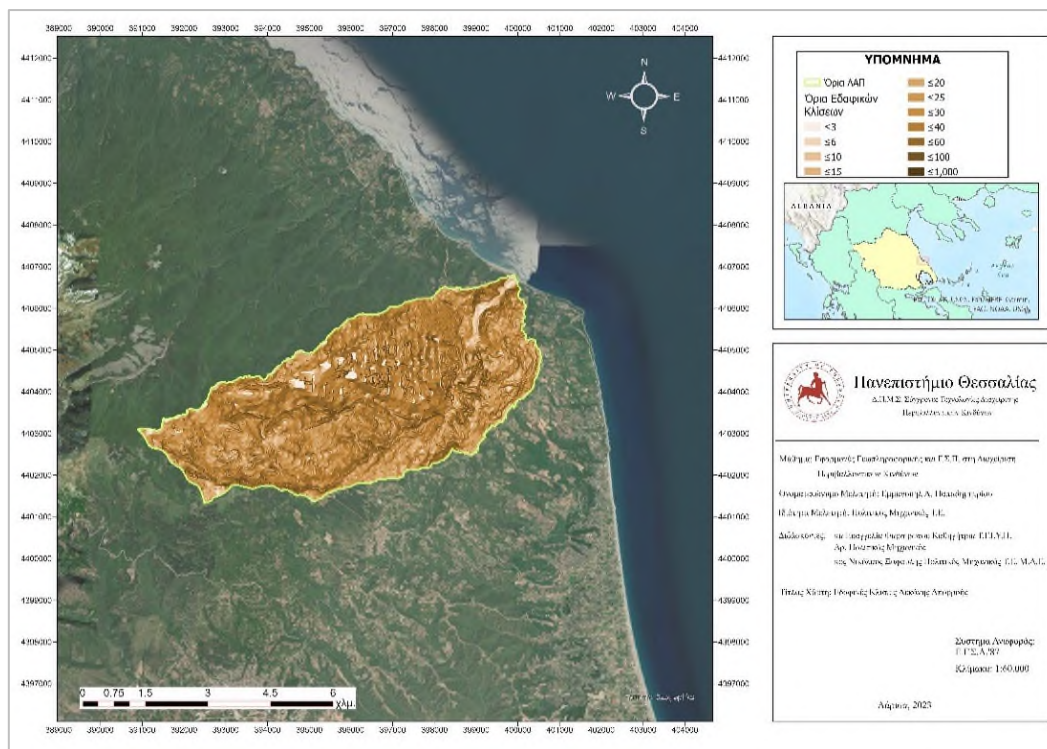
Εικόνα 10: Χάρτης - θέση, όρια και κύριες λεκάνες του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018



Εικόνα 11: Μορφολογικός Χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Πηγή: ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018

3.7 Εδαφικές Κλίσεις Περιοχής Μελέτης

Μέσω της εφαρμογής ArcGISpro η μέση κλίση στη λεκάνη απορροής J(%) ισούται με 34.28%.



Εικόνα 12: Χάρτης Εδαφικών Κλίσεων Λεκάνης Απορροής. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κεφάλαιο 4: Μελέτη Περίπτωσης – Υπολογισμός Απορροής με το λογισμικό HEC-HMS

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της περιοχής μελέτης, του υδατορρέυματος και της υδρολογικής λεκάνης Παλιουριάς, μέσω χρήσης του προγράμματος HEC - HMS.

Δημιουργήθηκαν (8) περιπτώσεις υπολογισμού δεδομένων, οι οποίες σχετίζονται τόσο με την μεθοδολογία υπολογισμού χρόνου συγκέντρωσης και την περίοδο επαναφοράς (10, 20, 50 και 100) όσο και με τις τιμές του απορροϊκού συντελεστή και τις χρήσεις γης που εφαρμόστηκαν τόσο για τωρινές συνθήκες όσο και για μελλοντικές.

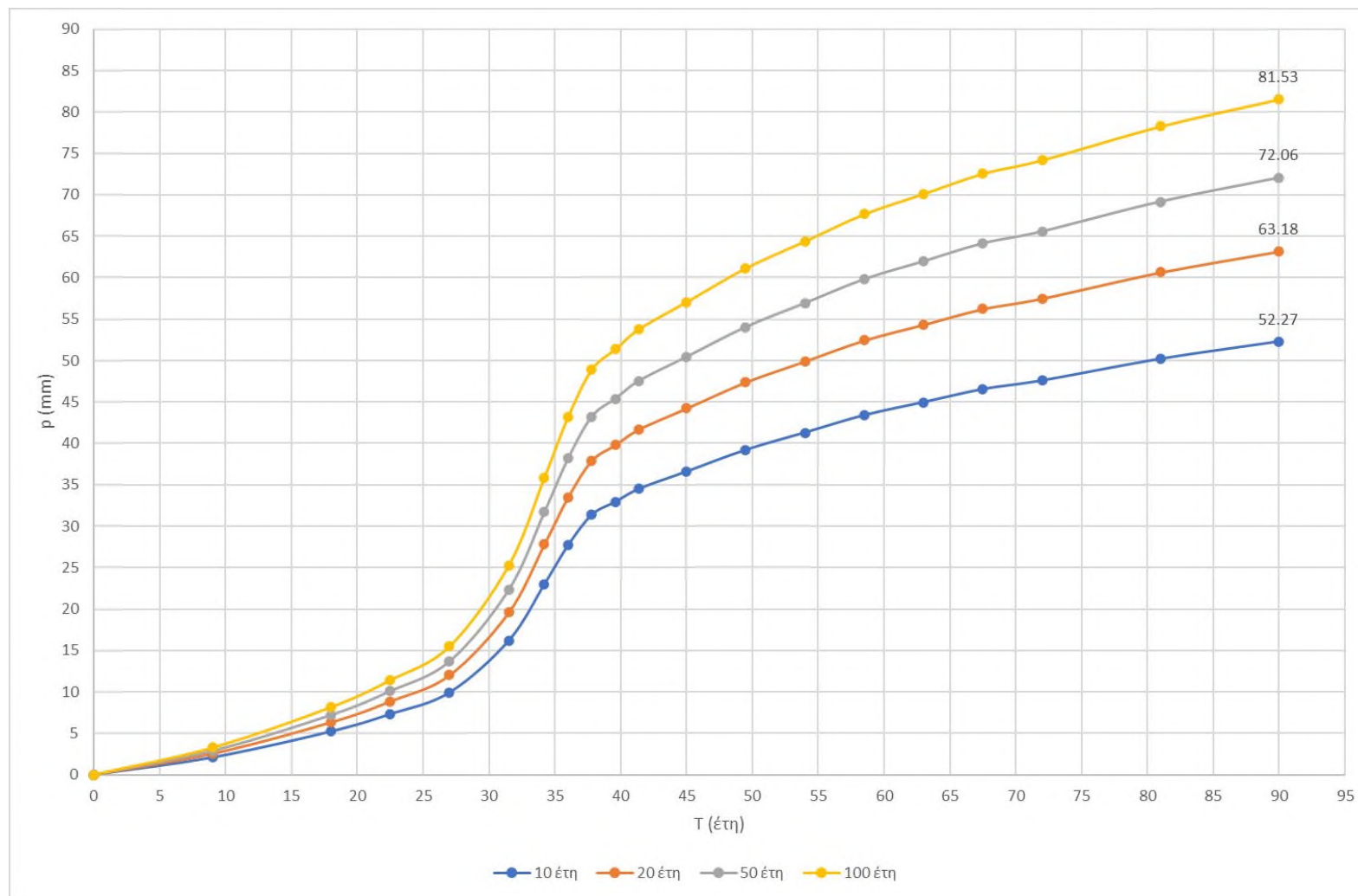
Παρακάτω είναι εμφανείς όλες εκείνες οι γενικές περιπτώσεις υπολογισμού για χρονικό διάστημα 10λεπτου και 5λεπτου:

- Περίπτωση Υπολογισμού 1: Giandotti - CN_{II} – Τωρινή Χρήση
- Περίπτωση Υπολογισμού 2: Giandotti - CN_{II} – Μελλοντική Χρήση
- Περίπτωση Υπολογισμού 3: Giandotti - CN_{III} – Τωρινή Χρήση
- Περίπτωση Υπολογισμού 4: Giandotti - CN_{III} – Μελλοντική Χρήση

4.1 Χρονική Κατανομή Βροχόπτωσης

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αναφορικά με την χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων εξετάστηκαν οι περιπτώσεις της ομοιόμορφης κατανομής, της τριγωνικής, της τραπεζοειδούς καθώς επίσης και της τροποποιημένης αθροιστικής καμπύλης της SCS (Chow et al., 1988) όπως αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.

Αναφορικά με το χρονικό βήμα δεδομένων βροχόπτωσης /υπολογισμών χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 10λεπτου και 5λεπτου.



Σχήμα 2: Διάγραμμα Τροποποιημένης Αθροιστικής Καμπύλης Βροχόπτωσης για T 10, 20, 50 και 100 έτη. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

4.2 Αποτελέσματα

Όλα τα παραπάνω και αναλυμένα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για 128 προσομοιώσεις; και για κάθε κατάσταση υγρασίας στην περιοχή (κανονικό έδαφος) (AMC_{II}) και υγρό έδαφος (AMC_{III}) για την περιοχή.

Οι υπόλοιπες 32 προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με παρόμοιο τρόπο, με αλλαγή της χρήσης γης για κάθε μία από τις περιόδους επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 ετών (κατανομή 10 λεπτών) και για κάθε μία από τις συνθήκες υγρασίας στην περιοχή, δηλαδή υγρό έδαφος (AM_{III}) και κανονικό έδαφος (AMC_{II}).

Πραγματοποιήθηκαν επίσης τριάντα δύο προσομοιώσεις λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη χρήση γης για καθεμία από τις περιόδους επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 ετών (κατανομή 5 λεπτών) και για καθεμία από τις συνθήκες υγρασίας στην περιοχή, δηλαδή κανονικό έδαφος (AMC_{II}) και υγρό έδαφος (AMC_{III}).

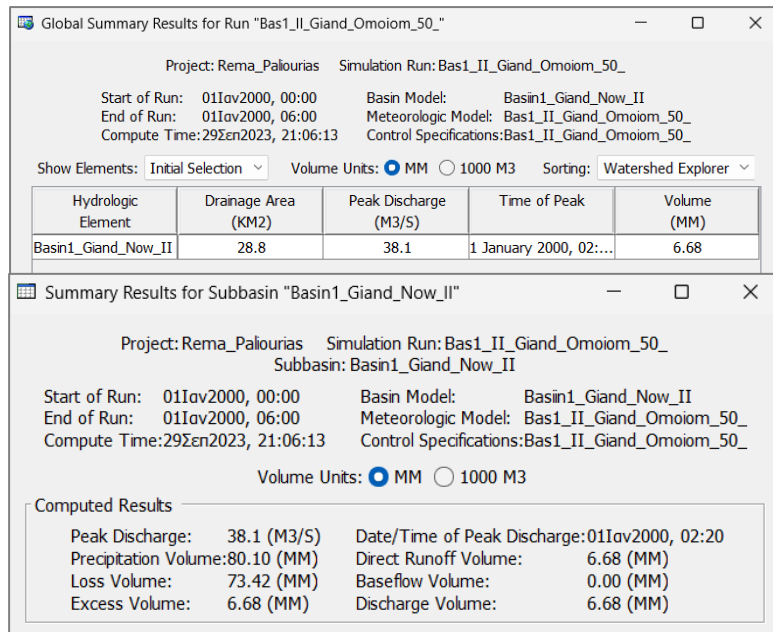
Τα υπόλοιπα 32 μοντέλα εκτελέστηκαν με παρόμοιο τρόπο, συμπεριλαμβανομένης της τροποποίησης των χρήσεων γης για κάθε περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 ετών (κατανομή 5 λεπτών) και για κάθε κατάσταση υγρασίας στην περιοχή, δηλαδή κανονικό έδαφος (AMC_{II}) και υγρό έδαφος (AMC_{III}).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης περιγράφονται και αναλύονται παρακάτω.

4.5.1 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{II}

Μετά την επίλυση του μοντέλου και την εκτέλεση των υπολογισμών, το πρόγραμμα εμφανίζει αποτελέσματα όπως υδρογραφήματα της λεκάνης, βροχοπτώσεις, απώλειες, άμεση απορροή και άλλα στοιχεία και πίνακες. Ως παράδειγμα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για δύο υδροτοπικές συνθήκες, AMC_{II} και AMC_{III} , με περίοδο επαναφοράς 50 ετών.

Για την υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} , στην Εικόνα 13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σύνολο και για κάθε στοιχείο της λεκάνης απορροής.



Εικόνα 13: Συνοπτικοί πίνακες με τα στοιχεία της λεκάνης απορροής (Global Summary) και τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο (Summary Table) για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Σε αυτή την υγρασιακή κατάσταση παρατηρείται:

η παροχή αιχμής (Peak Discharge) είναι 38,10 m³/s,

η συνολική βροχόπτωση (Precipitation Volume) είναι 80,10 mm,

οι συνολικές απώλειες (Loss Volume) είναι 73,42 mm,

η συνολική περίσσεια βροχόπτωσης (Excess Volume) είναι 6,68 mm,

η ώρα αιχμής είναι μετά από 2 ώρες και 20 λεπτά από την έναρξη της βροχόπτωσης,

η άμεση απορροή είναι (Run off Volume) 6,68 mm,

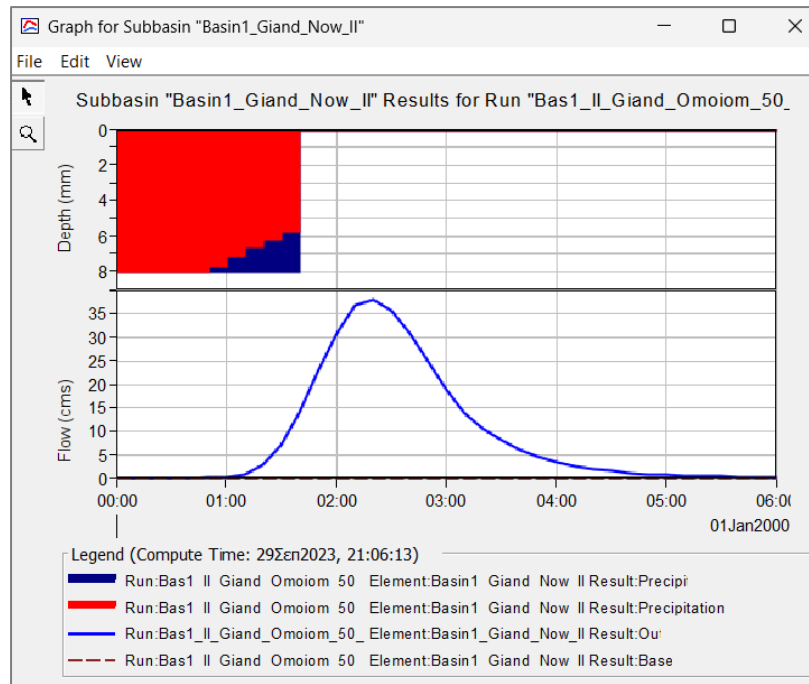
η συνολική βασική απορροή (Baseflow) είναι 0,0 mm και

η μέση παροχή (Discharge Volume) είναι 6,68 mm.

Time-Series Results for Subbasin "Basin1_Giand_Now_II"							
Project: Rema_Paliourias				Simulation Run: Bas1_II_Giand_Omoiom_50_			
				Subbasin: Basin1_Giand_Now_II			
Start of Run: 01Iav2000, 00:00		Basin Model: Basin1_Giand_Now_II					
End of Run: 01Iav2000, 06:00		Meteorologic Model: Bas1_II_Giand_Omoiom_50_					
Compute Time: 29Σεπ2023, 21:06:13		Control Specifications: Bas1_II_Giand_Omoiom_50_					
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01Iav2000	00:00				0.0	0.0	0.0
01Iav2000	00:10	8.01	8.01	0.00	0.0	0.0	0.0
01Iav2000	00:20	8.01	8.01	0.00	0.0	0.0	0.0
01Iav2000	00:30	8.01	8.01	0.00	0.0	0.0	0.0
01Iav2000	00:40	8.01	8.01	0.00	0.0	0.0	0.0
01Iav2000	00:50	8.01	8.01	0.00	0.0	0.0	0.0
01Iav2000	01:00	8.01	7.70	0.31	0.1	0.0	0.1
01Iav2000	01:10	8.01	7.13	0.88	0.8	0.0	0.8
01Iav2000	01:20	8.01	6.62	1.39	2.8	0.0	2.8
01Iav2000	01:30	8.01	6.16	1.85	6.9	0.0	6.9
01Iav2000	01:40	8.01	5.75	2.26	13.8	0.0	13.8
01Iav2000	01:50	0.00	0.00	0.00	22.4	0.0	22.4
01Iav2000	02:00	0.00	0.00	0.00	30.9	0.0	30.9
01Iav2000	02:10	0.00	0.00	0.00	36.8	0.0	36.8
01Iav2000	02:20	0.00	0.00	0.00	38.1	0.0	38.1
01Iav2000	02:30	0.00	0.00	0.00	35.6	0.0	35.6
01Iav2000	02:40	0.00	0.00	0.00	30.8	0.0	30.8
01Iav2000	02:50	0.00	0.00	0.00	24.9	0.0	24.9
01Iav2000	03:00	0.00	0.00	0.00	18.9	0.0	18.9
01Iav2000	03:10	0.00	0.00	0.00	14.0	0.0	14.0
01Iav2000	03:20	0.00	0.00	0.00	10.6	0.0	10.6
01Iav2000	03:30	0.00	0.00	0.00	8.1	0.0	8.1
01Iav2000	03:40	0.00	0.00	0.00	6.2	0.0	6.2
01Iav2000	03:50	0.00	0.00	0.00	4.6	0.0	4.6
01Iav2000	04:00	0.00	0.00	0.00	3.5	0.0	3.5
01Iav2000	04:10	0.00	0.00	0.00	2.7	0.0	2.7
01Iav2000	04:20	0.00	0.00	0.00	2.0	0.0	2.0
01Iav2000	04:30	0.00	0.00	0.00	1.5	0.0	1.5
01Iav2000	04:40	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
01Iav2000	04:50	0.00	0.00	0.00	0.9	0.0	0.9
01Iav2000	05:00	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
01Iav2000	05:10	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
01Iav2000	05:20	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
01Iav2000	05:30	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3
01Iav2000	05:40	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2
01Iav2000	05:50	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2
01Iav2000	06:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1

Εικόνα 14: Πίνακας χρονοσειρών για την λεκάνη απορροής για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Στην Εικόνα 15 εμφανίζεται το υετόγραμμα και υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} για την λεκάνη της απορροής.



Εικόνα 15: Υετόγραμμα και Υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} για την λεκάνη απορροής του ρέματος Παλιουριάς με περίοδο επαναφοράς τα 50έτη

Στην υγρασιακή κατάσταση AMC_{III}, στην Εικόνα 14:

η παροχή αιχμής (Peak Discharge) είναι 134,62 m³/s,

η συνολική βροχόπτωση (Precipitation Volume) είναι 80,10 mm,

οι συνολικές απώλειες (Loss Volume) είναι 53,95 mm,

η συνολική περίσσεια βροχόπτωσης (Excess Volume) είναι 26,15 (mm),

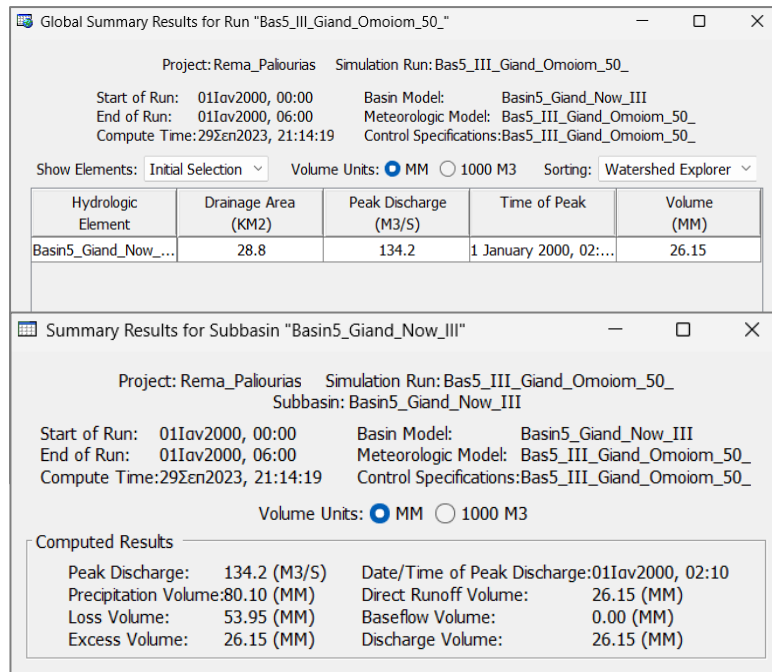
η ώρα αιχμής είναι μετά από 2 ώρες και 10 λεπτά από την έναρξη της βροχόπτωσης,

η άμεση απορροή (Run off Volume) 26,15 mm,

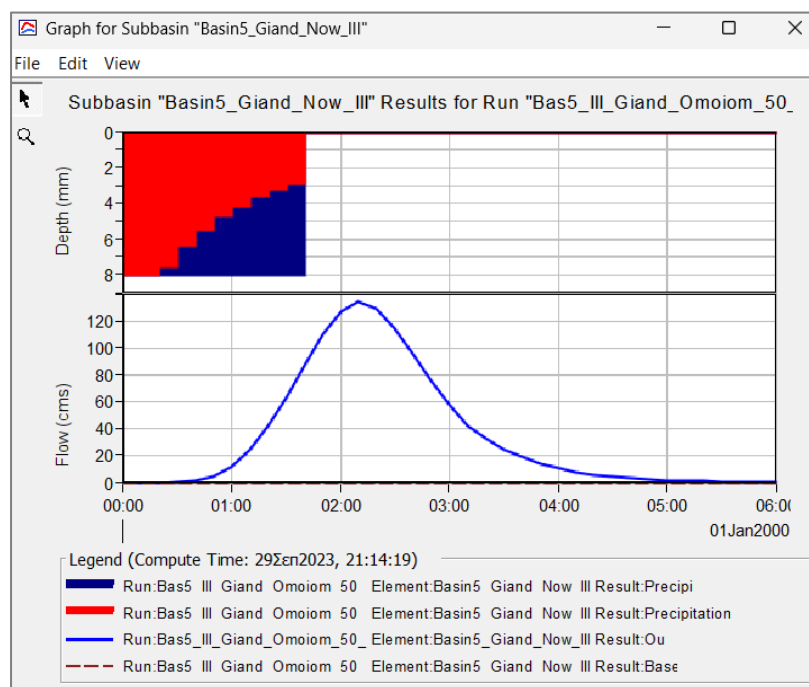
η συνολική βασική ροή (Baseflow) είναι 0,0 mm και

η μέση παροχή (Discharge Volume) είναι 26,15 mm.

Στην Εικόνα 17 εμφανίζεται το υετόγραμμα και υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC_{II} για την λεκάνη της απορροής του ρέματος Παλιουριάς με περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη.



Εικόνα 16: Συνοπτικοί πίνακες με τα στοιχεία της λεκάνης απορροής (Global Summary) και τα αποτελέσματα για κάθε στοιχείο (Summary Table) για υγρασιακή κατάσταση AMC_{III} για περίοδο επαναφοράς 50 ετών



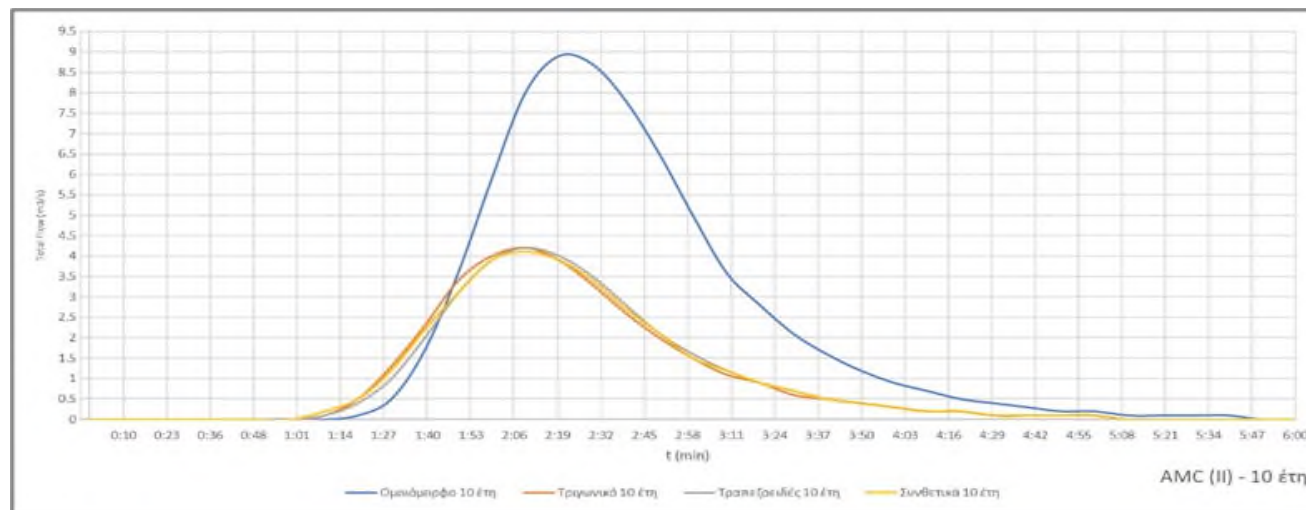
Εικόνα 17: Υετόγραμμα και Υδρογράφημα για υγρασιακή κατάσταση AMC_{III} για την λεκάνη της απορροής του ρέματος Παλιουριάς με περίοδο επαναφοράς τα 50έτη

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις υφιστάμενες χρήσεις γης εμφανίζονται στον Πίνακα 7 ενώ στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται το γράφημα με τις παροχές αιχμής για κάθε περίοδο επαναφοράς και τις υφιστάμενες χρήσεις γης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα απορροής συναρτήσει του χρόνου της ίδιας

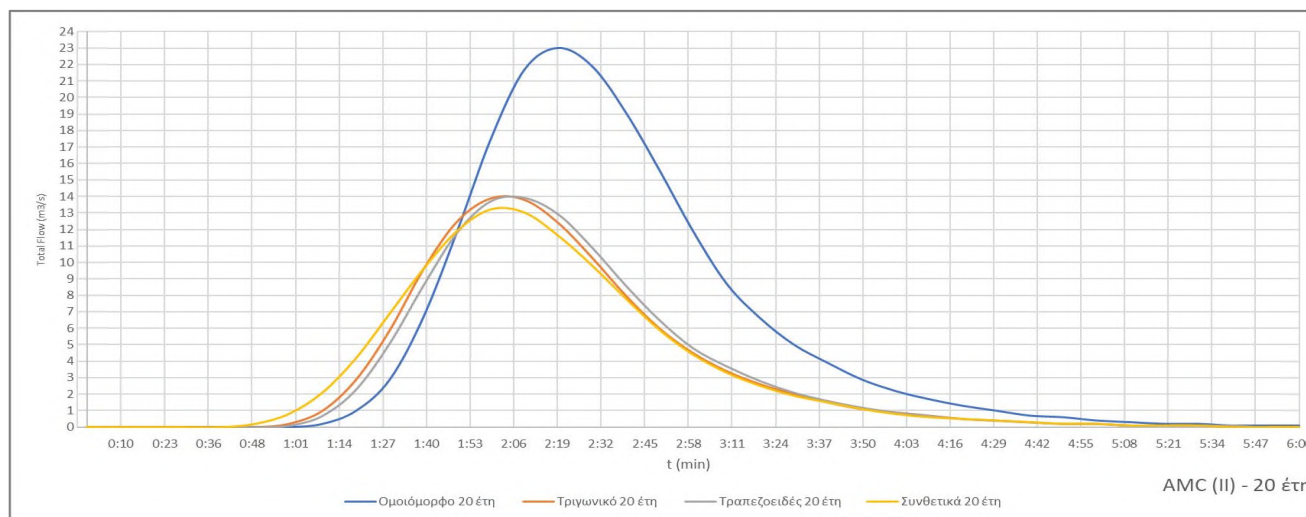
περιόδου επαναφοράς για κάθε διαφορετική υγρασιακή κατάσταση (Εικόνα 18 έως 21).

Πίνακας 7: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης

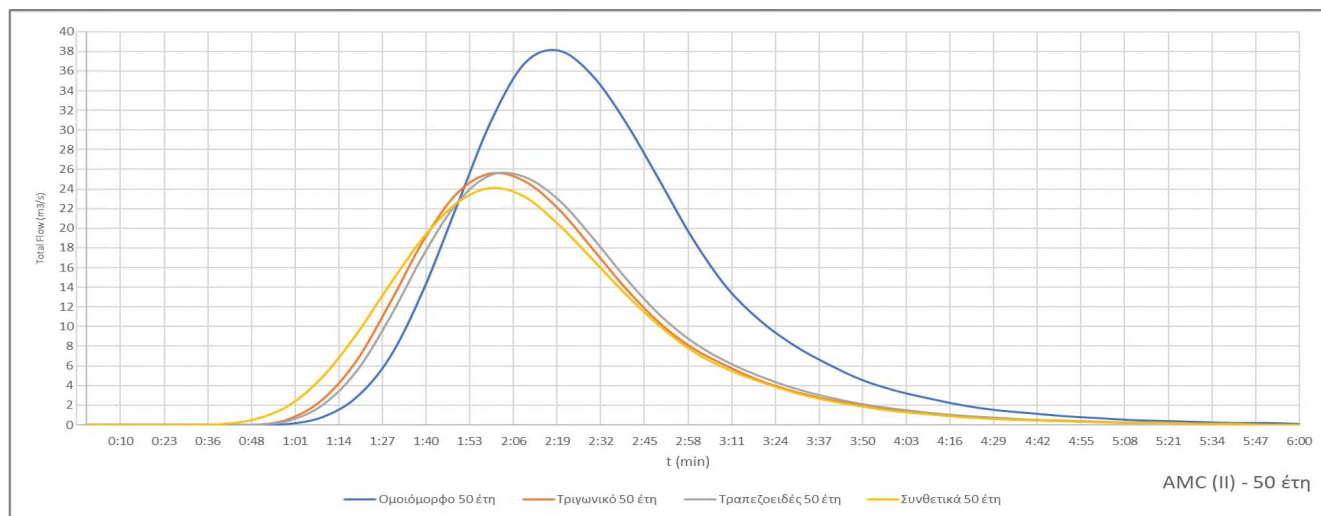
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m³/s)
AMC _{II} , T=10	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	8,90
AMC _{II} , T=10	Τριγωνική	Υφιστάμενες	4,20
AMC _{II} , T=10	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	4,20
AMC _{II} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	4,10
AMC _{II} , T=20	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	23,00
AMC _{II} , T=20	Τριγωνική	Υφιστάμενες	13,90
AMC _{II} , T=20	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	13,90
AMC _{II} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	13,20
AMC _{II} , T=50	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	38,10
AMC _{II} , T=50	Τριγωνική	Υφιστάμενες	25,60
AMC _{II} , T=50	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	25,40
AMC _{II} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	24,10
AMC _{II} , T=100	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	56,90
AMC _{II} , T=100	Τριγωνική	Υφιστάμενες	41,00
AMC _{II} , T=100	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	40,80
AMC _{II} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	38,20



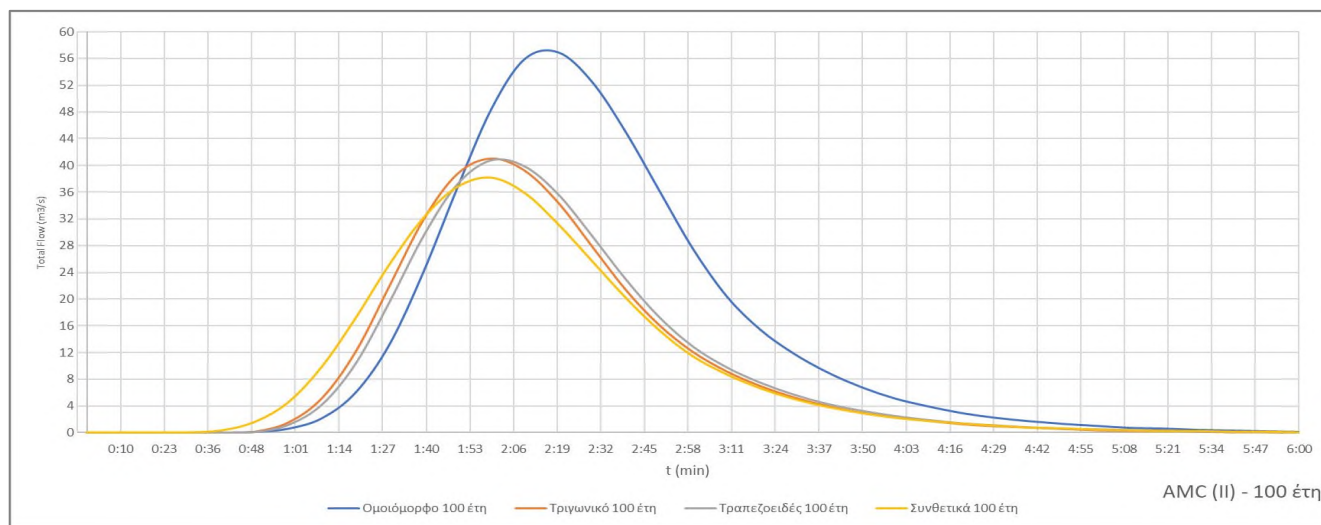
Εικόνα 18: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 19: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 20: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



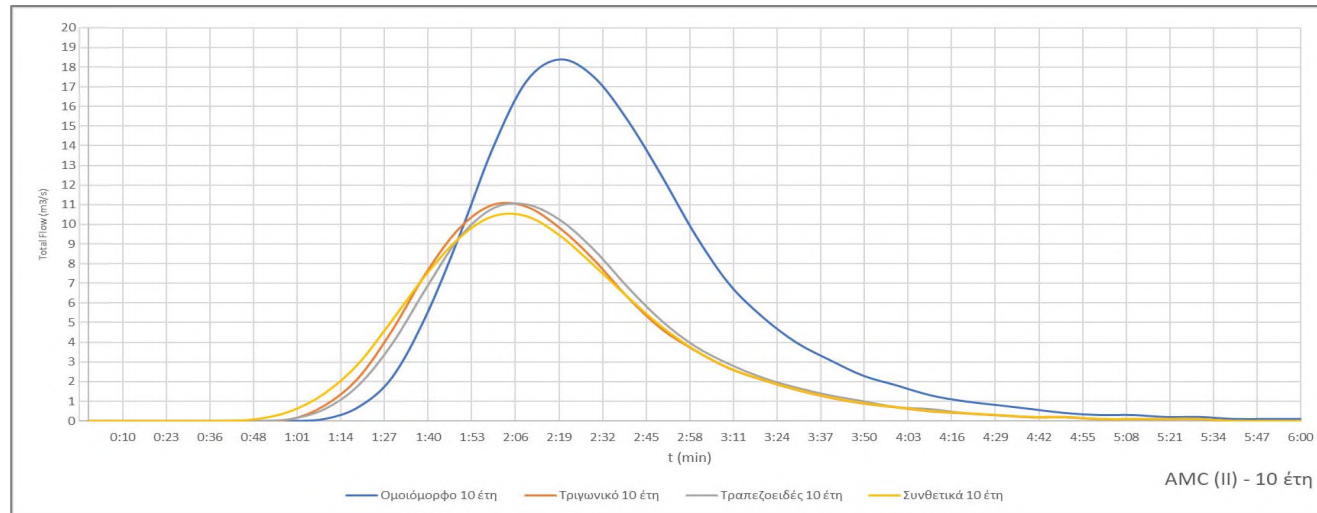
Εικόνα 21: Διάγραμμα απορροής-χρόνου T=100 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης

4.5.2 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{II}

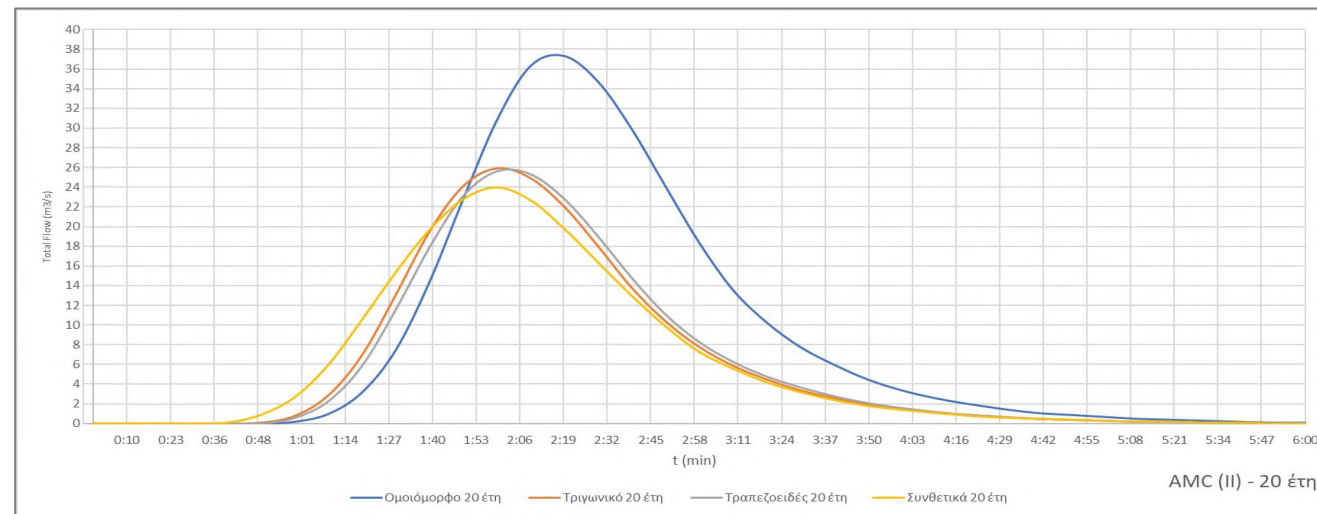
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης

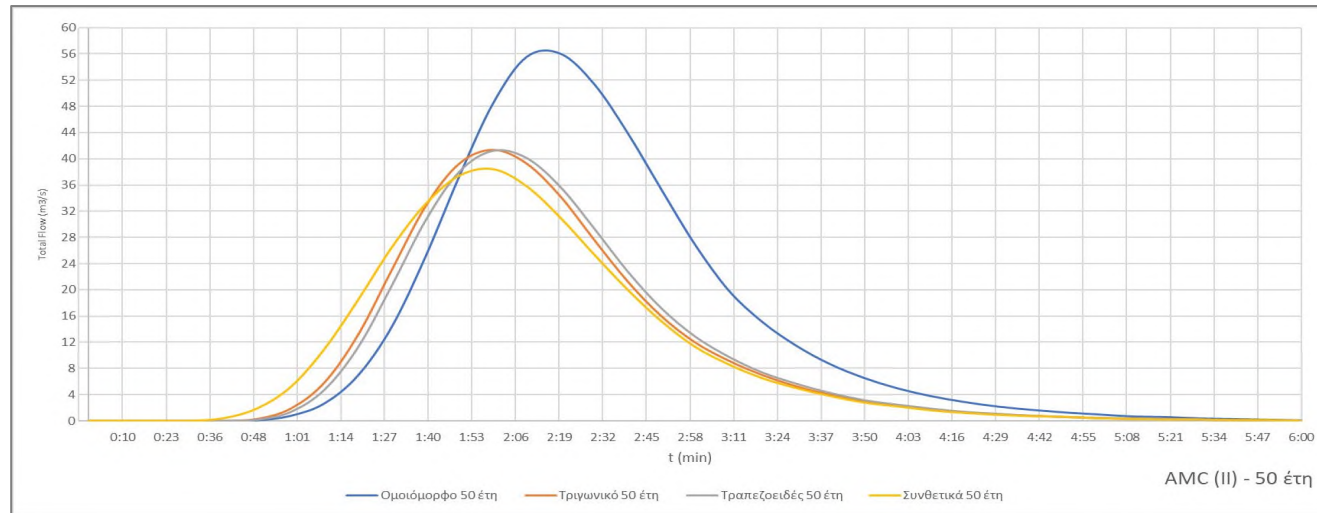
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{II} , T=10	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	18,40
AMC _{II} , T=10	Τριγωνική	Μελλοντικές	11,00
AMC _{II} , T=10	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	11,00
AMC _{II} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	10,40
AMC _{II} , T=20	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	37,30
AMC _{II} , T=20	Τριγωνική	Μελλοντικές	25,90
AMC _{II} , T=20	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	25,60
AMC _{II} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	24,00
AMC _{II} , T=50	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	56,00
AMC _{II} , T=50	Τριγωνική	Μελλοντικές	41,40
AMC _{II} , T=50	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	41,20
AMC _{II} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	38,40
AMC _{II} , T=100	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	78,70
AMC _{II} , T=100	Τριγωνική	Μελλοντικές	61,10
AMC _{II} , T=100	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	60,80
AMC _{II} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	56,00



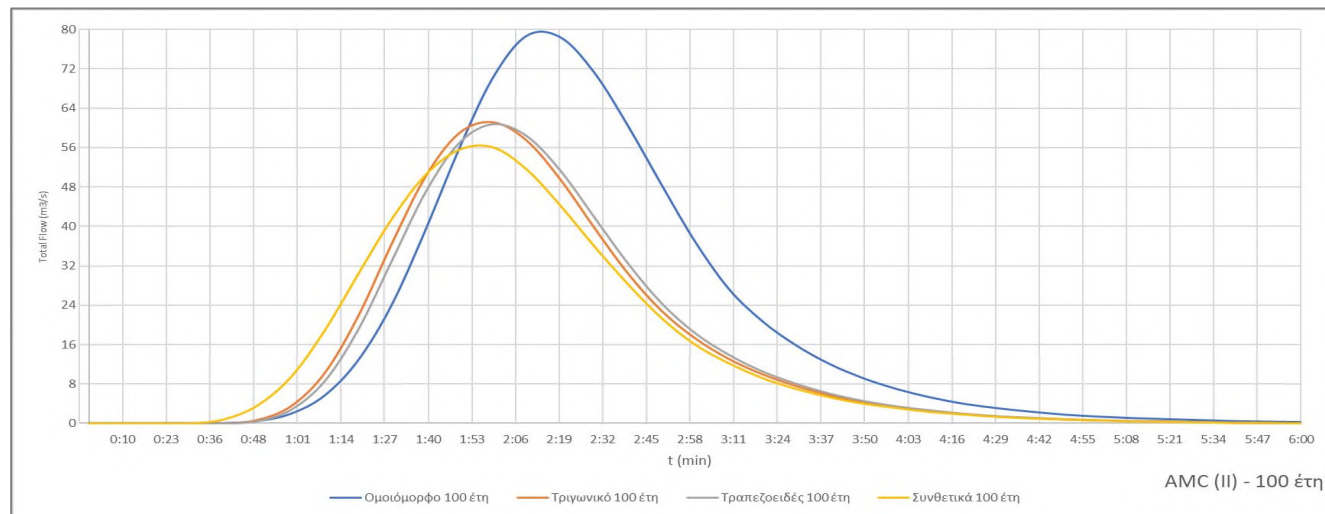
Εικόνα 22: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=10$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 23: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=20$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 24: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=50$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



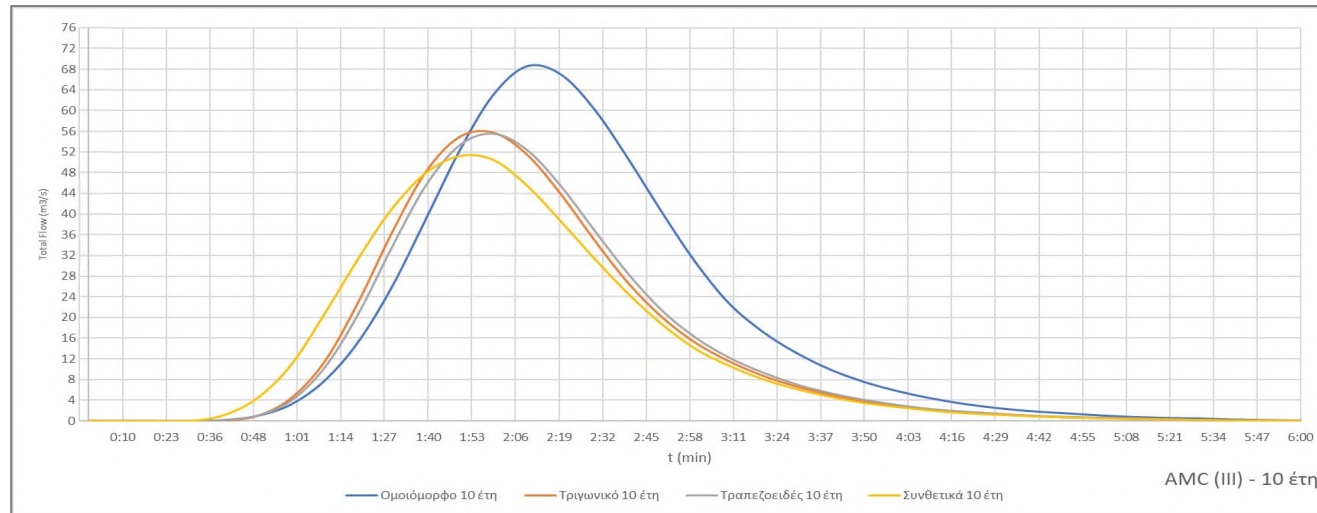
Εικόνα 25: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=100$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης

4.5.3 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{III}

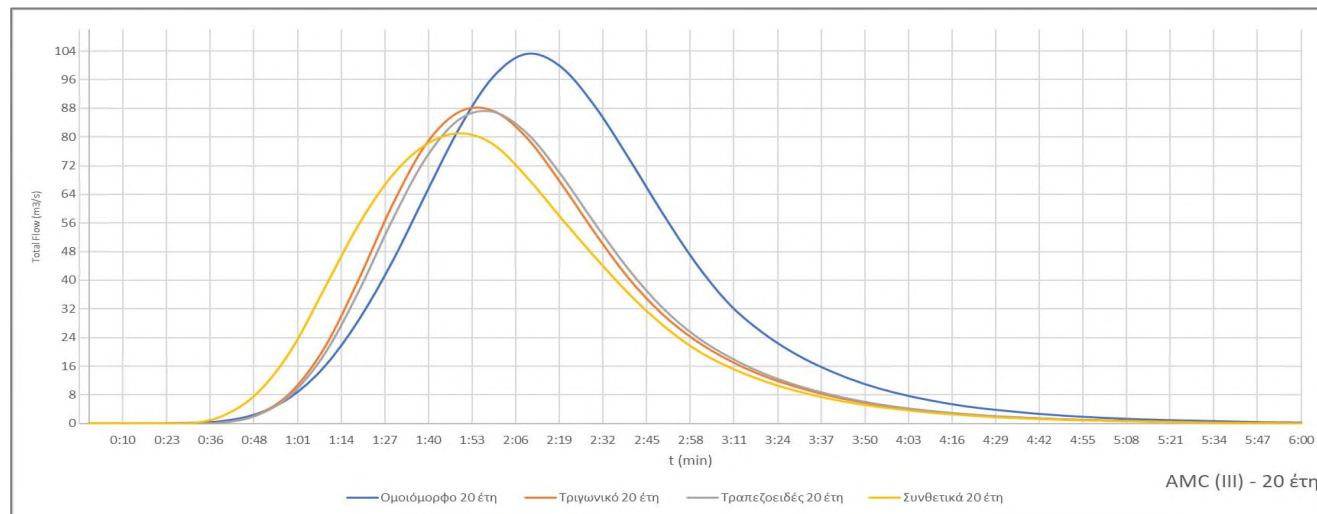
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης

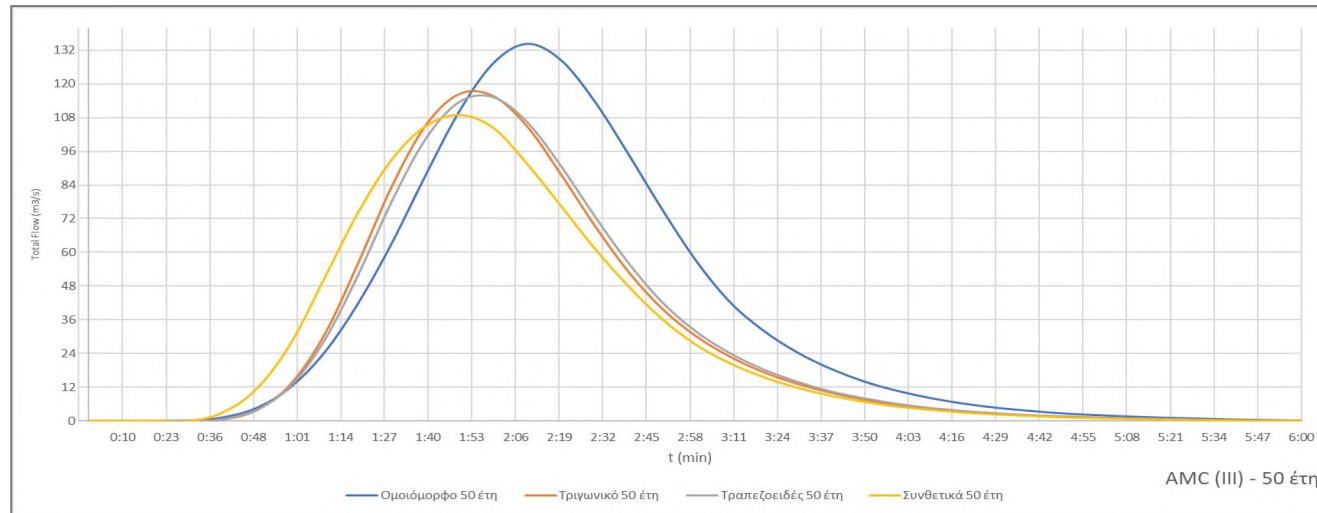
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{III} , T=10	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	68,50
AMC _{III} , T=10	Τριγωνική	Υφιστάμενες	55,80
AMC _{III} , T=10	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	55,60
AMC _{III} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	51,20
AMC _{III} , T=20	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	103,30
AMC _{III} , T=20	Τριγωνική	Υφιστάμενες	87,40
AMC _{III} , T=20	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	87,00
AMC _{III} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	81,10
AMC _{III} , T=50	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	134,20
AMC _{III} , T=50	Τριγωνική	Υφιστάμενες	116,40
AMC _{III} , T=50	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	115,30
AMC _{III} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	109,00
AMC _{III} , T=100	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	168,70
AMC _{III} , T=100	Τριγωνική	Υφιστάμενες	150,30
AMC _{III} , T=100	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	147,60
AMC _{III} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	140,50



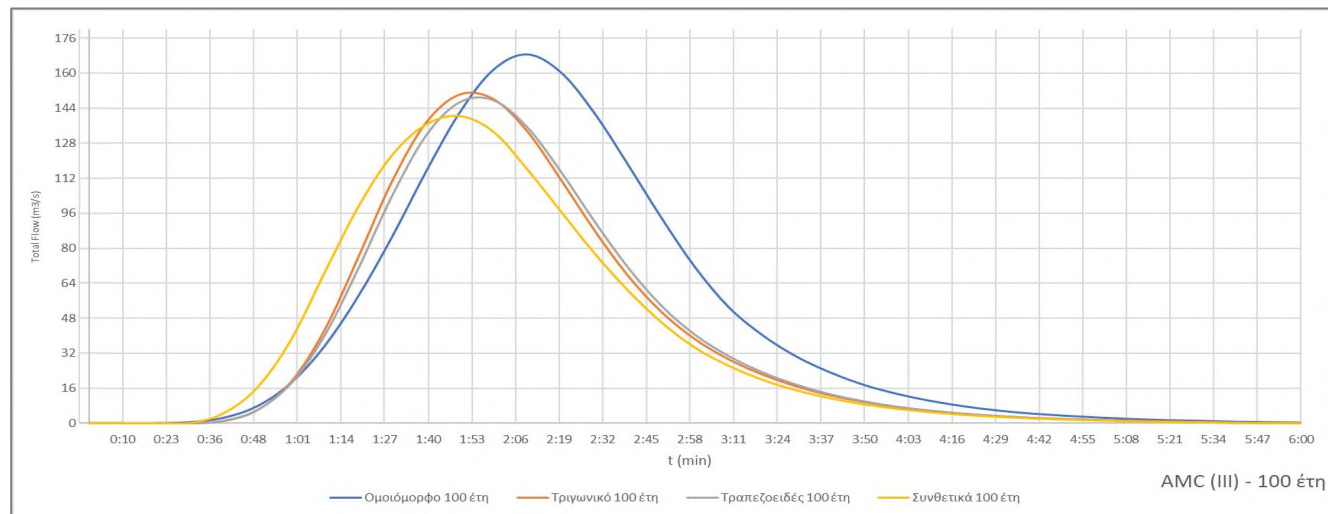
Εικόνα 26: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=10$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 27: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=20$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 28: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=50$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



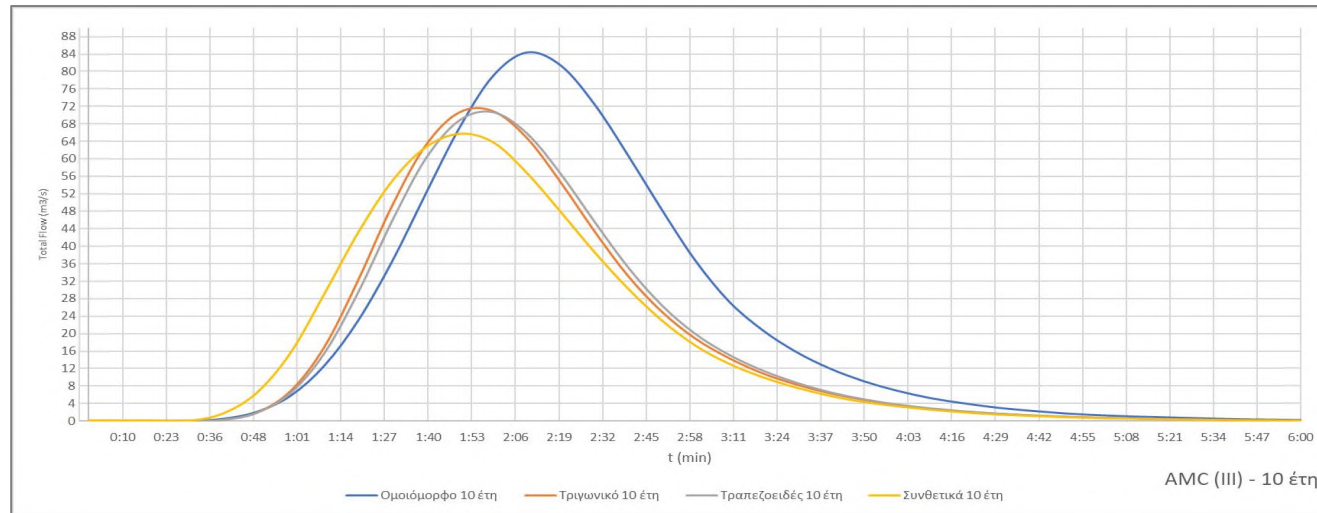
Εικόνα 29: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=50$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης

4.5.4 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (10λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{III}

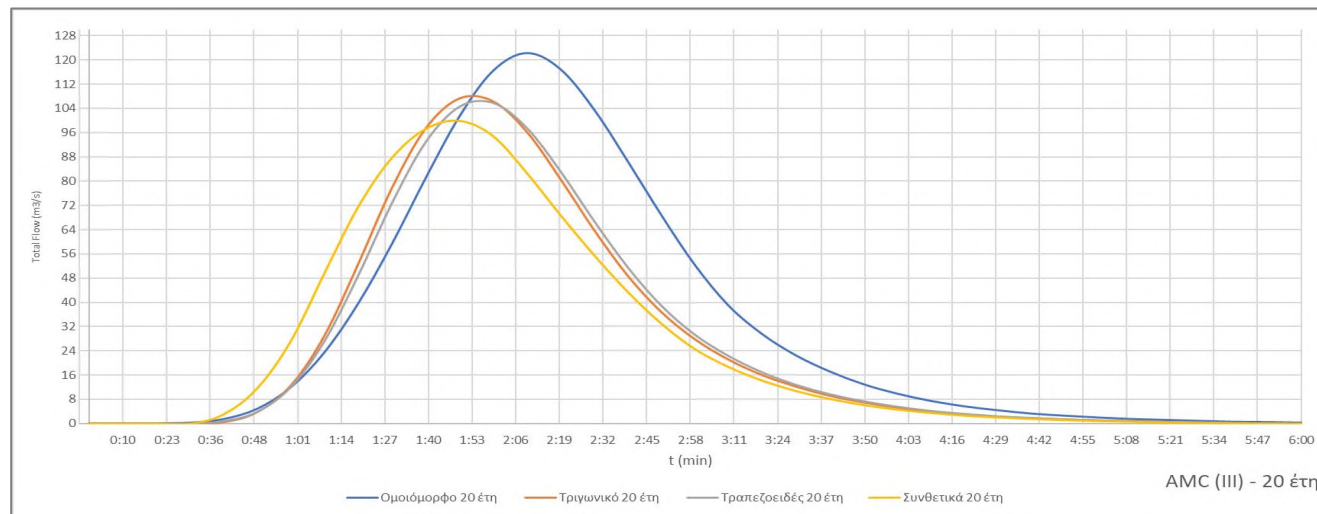
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης

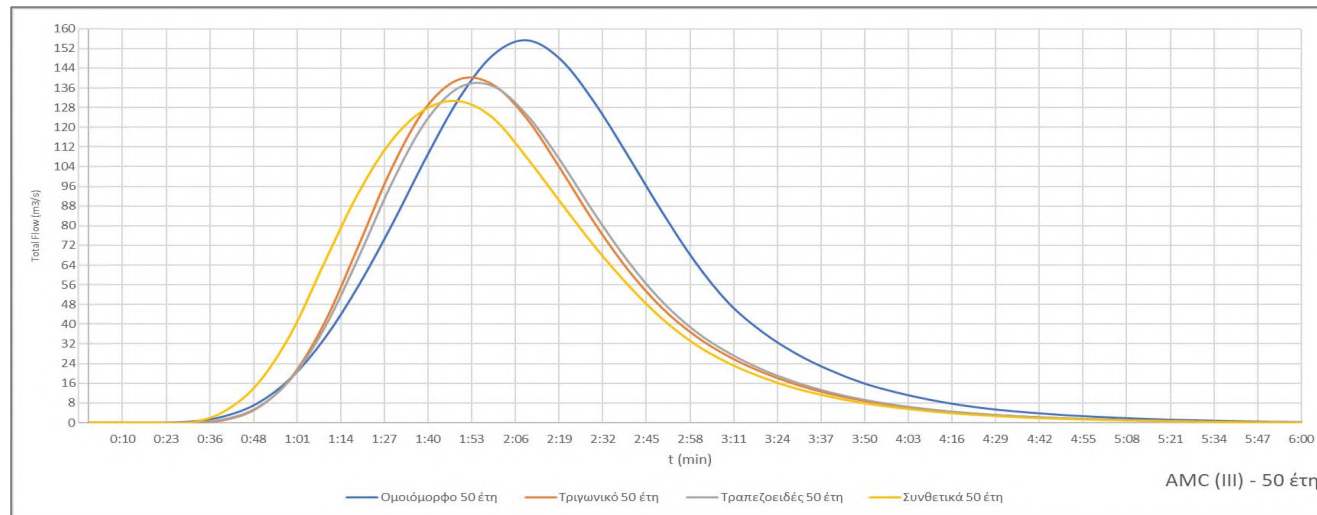
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{III} , T=10	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	84,30
AMC _{III} , T=10	Τριγωνική	Μελλοντικές	71,00
AMC _{III} , T=10	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	70,70
AMC _{III} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	65,80
AMC _{III} , T=20	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	122,20
AMC _{III} , T=20	Τριγωνική	Μελλοντικές	107,20
AMC _{III} , T=20	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	105,80
AMC _{III} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	99,80
AMC _{III} , T=50	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	155,30
AMC _{III} , T=50	Τριγωνική	Μελλοντικές	139,60
AMC _{III} , T=50	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	136,80
AMC _{III} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	130,50
AMC _{III} , T=100	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	191,90
AMC _{III} , T=100	Τριγωνική	Μελλοντικές	176,50
AMC _{III} , T=100	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	172,10
AMC _{III} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	164,80



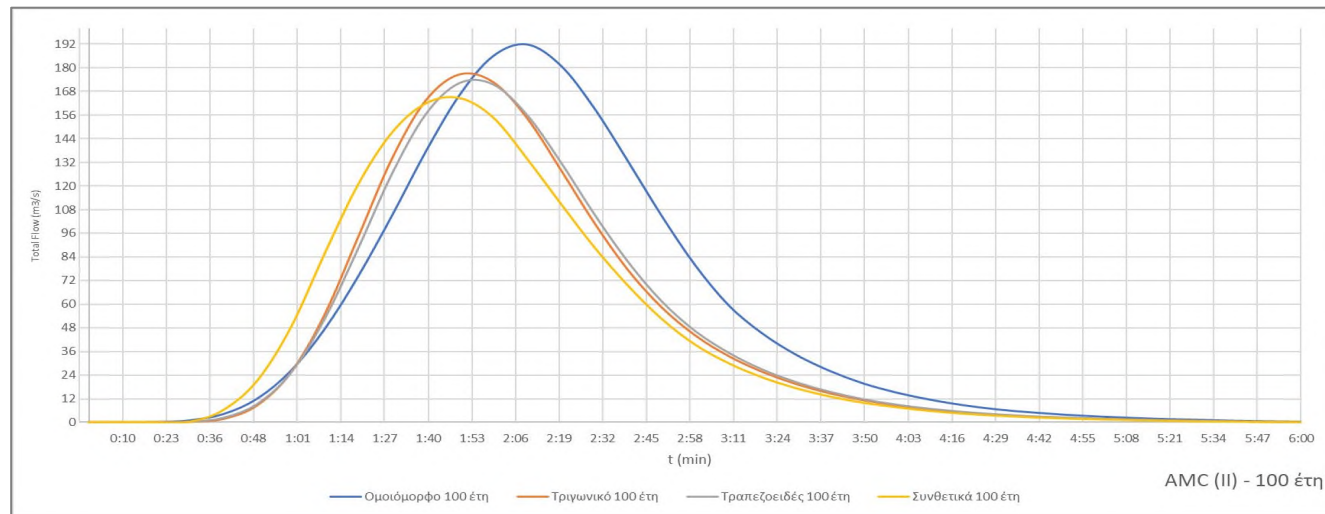
Εικόνα 30: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=10$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 31: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=20$ έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 32: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



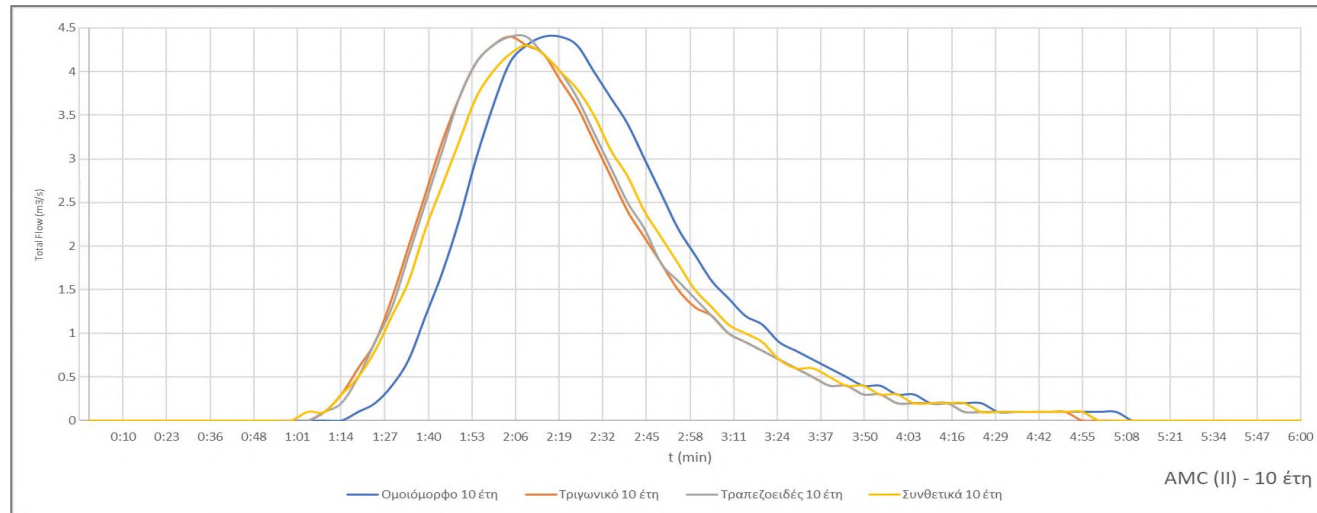
Εικόνα 33: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης

4.5.5 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{II}

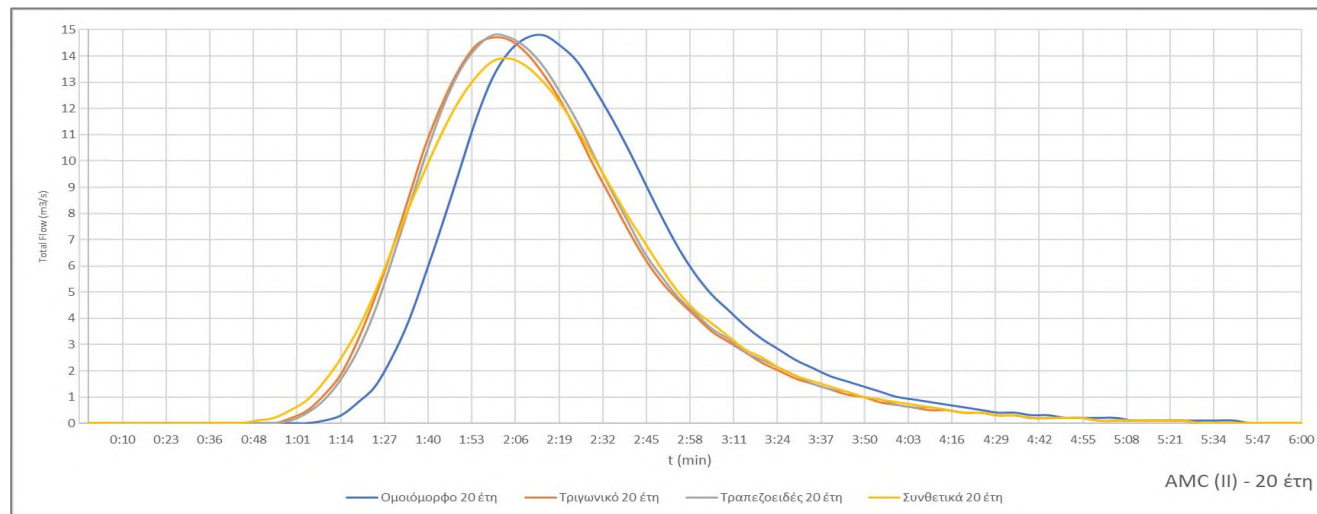
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης

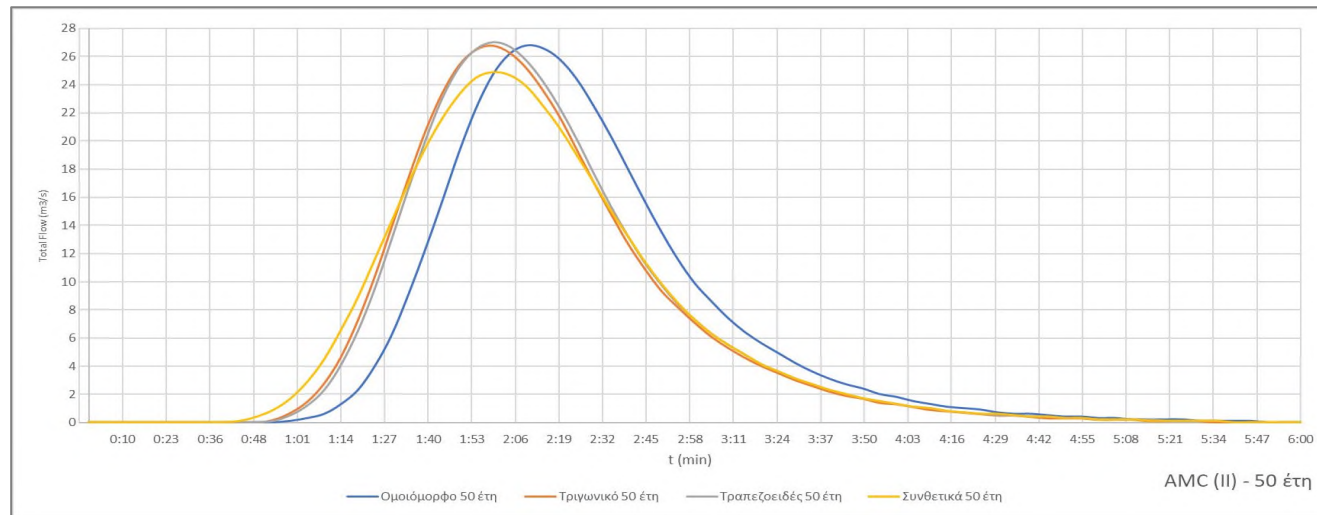
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{II} , T=10	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	4,40
AMC _{II} , T=10	Τριγωνική	Υφιστάμενες	4,40
AMC _{II} , T=10	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	4,40
AMC _{II} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	4,30
AMC _{II} , T=20	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	14,80
AMC _{II} , T=20	Τριγωνική	Υφιστάμενες	14,70
AMC _{II} , T=20	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	14,80
AMC _{II} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	13,90
AMC _{II} , T=50	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	26,80
AMC _{II} , T=50	Τριγωνική	Υφιστάμενες	26,80
AMC _{II} , T=50	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	27,00
AMC _{II} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	24,90
AMC _{II} , T=100	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	42,70
AMC _{II} , T=100	Τριγωνική	Υφιστάμενες	42,80
AMC _{II} , T=100	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	43,00
AMC _{II} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	39,60



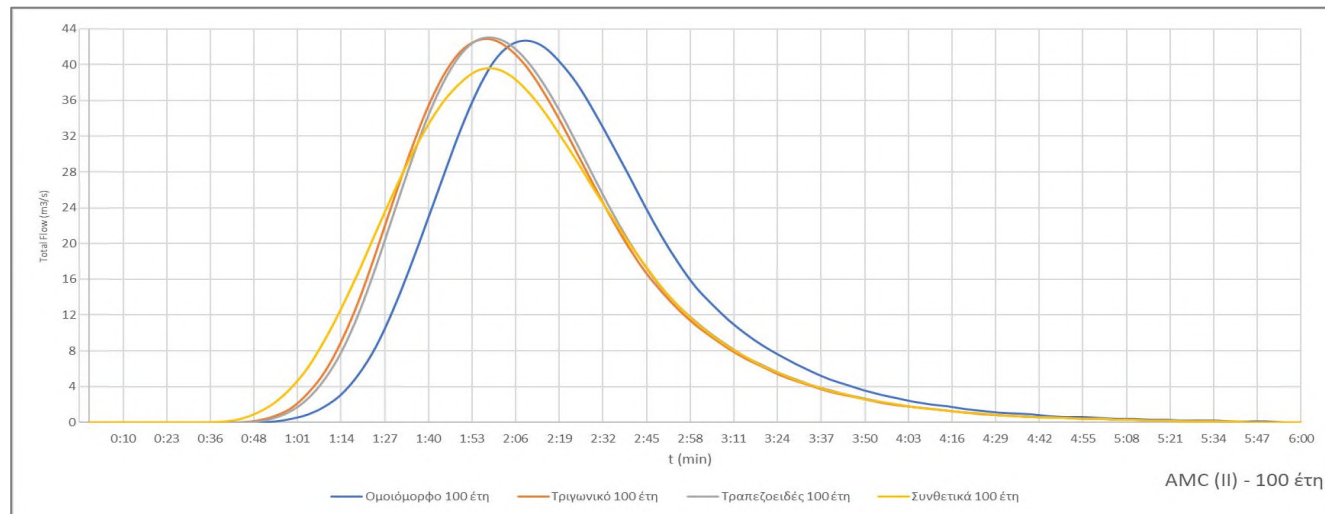
Εικόνα 34: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 35: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 36: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=50$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



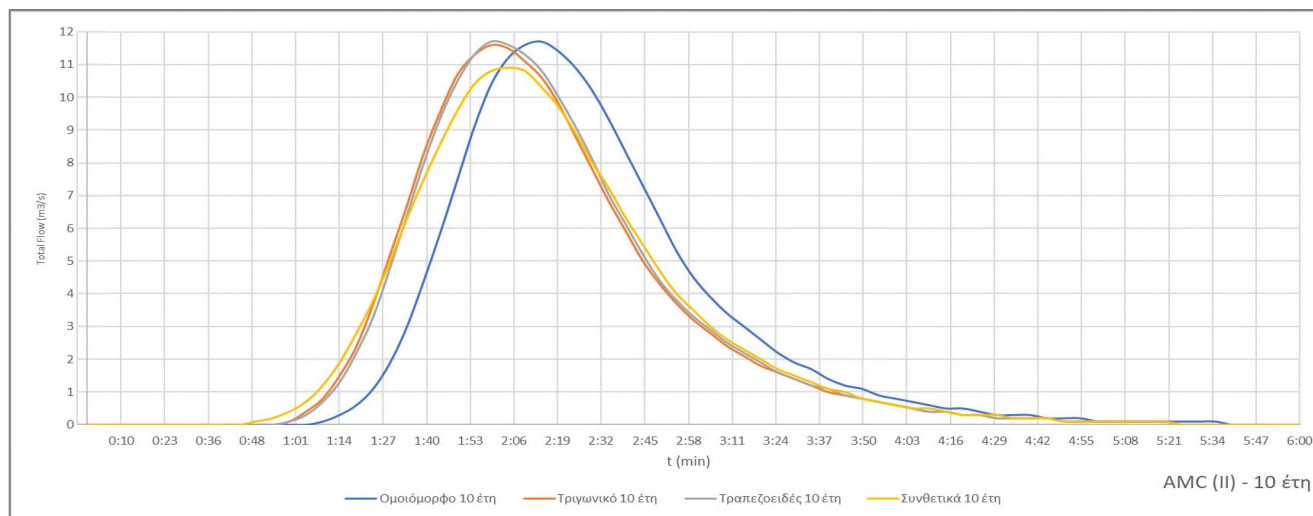
Εικόνα 37: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=100$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης

4.5.6 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{II}

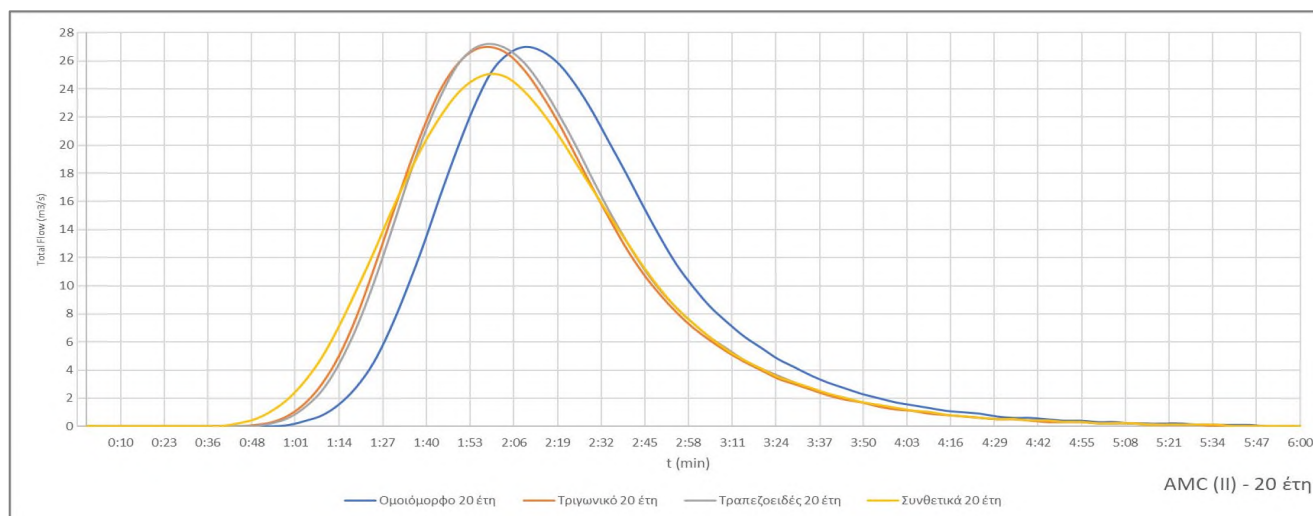
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης

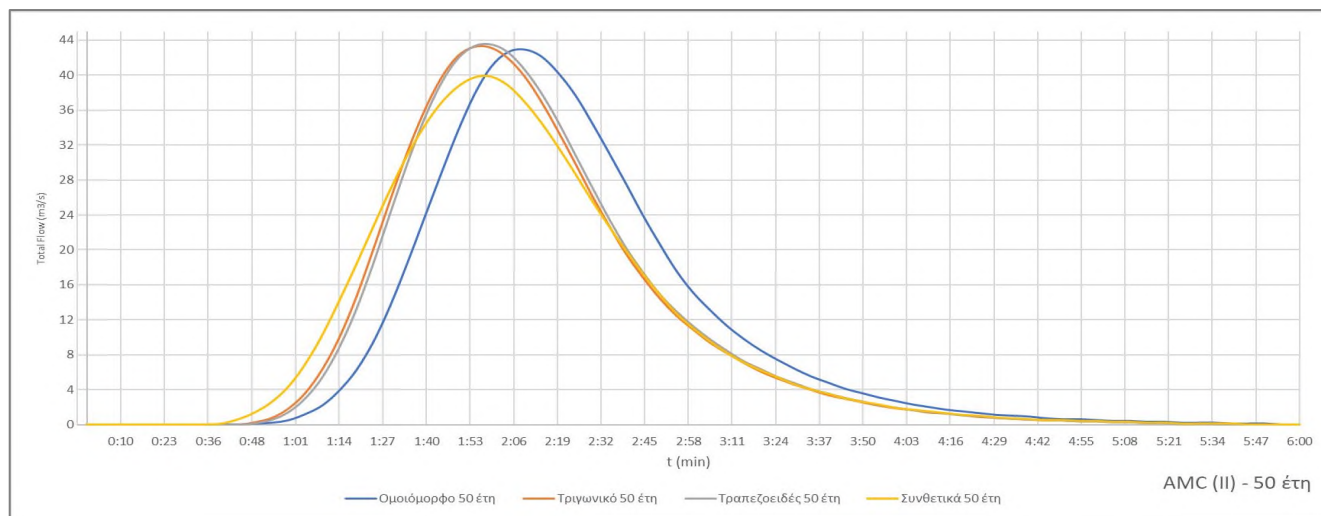
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{II} , T=10	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	11,70
AMC _{II} , T=10	Τριγωνική	Μελλοντικές	11,60
AMC _{II} , T=10	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	11,70
AMC _{II} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	10,90
AMC _{II} , T=20	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	27,00
AMC _{II} , T=20	Τριγωνική	Μελλοντικές	27,00
AMC _{II} , T=20	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	27,20
AMC _{II} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	25,10
AMC _{II} , T=50	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	42,90
AMC _{II} , T=50	Τριγωνική	Μελλοντικές	43,20
AMC _{II} , T=50	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	43,50
AMC _{II} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	39,80
AMC _{II} , T=100	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	62,50
AMC _{II} , T=100	Τριγωνική	Μελλοντικές	63,80
AMC _{II} , T=100	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	63,90
AMC _{II} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	58,50



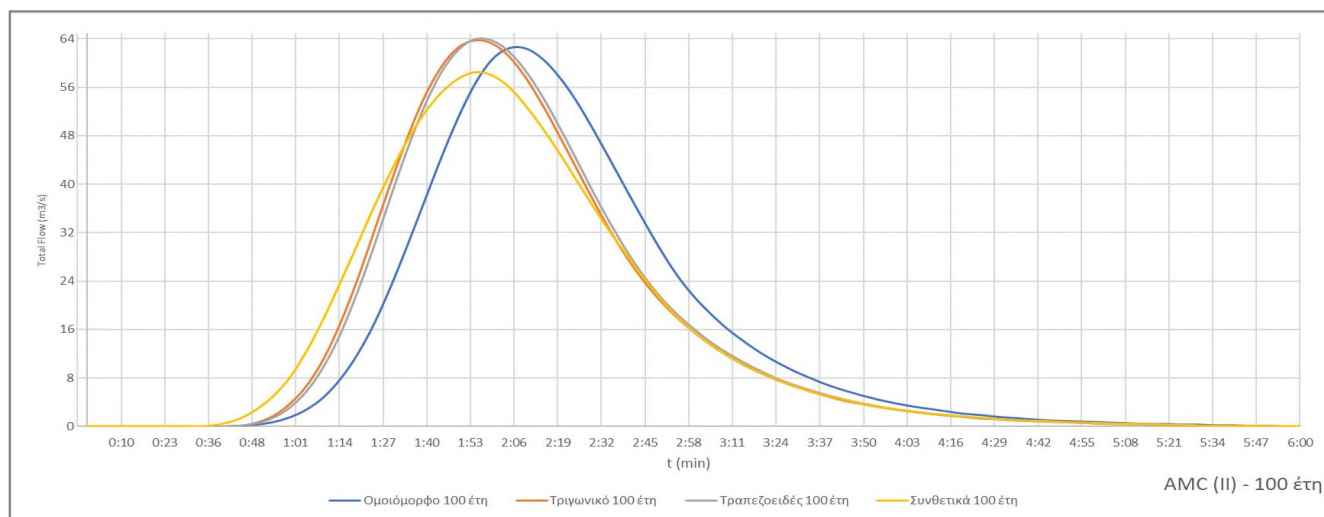
Εικόνα 38: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=10$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 39: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=20$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 40: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=50$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



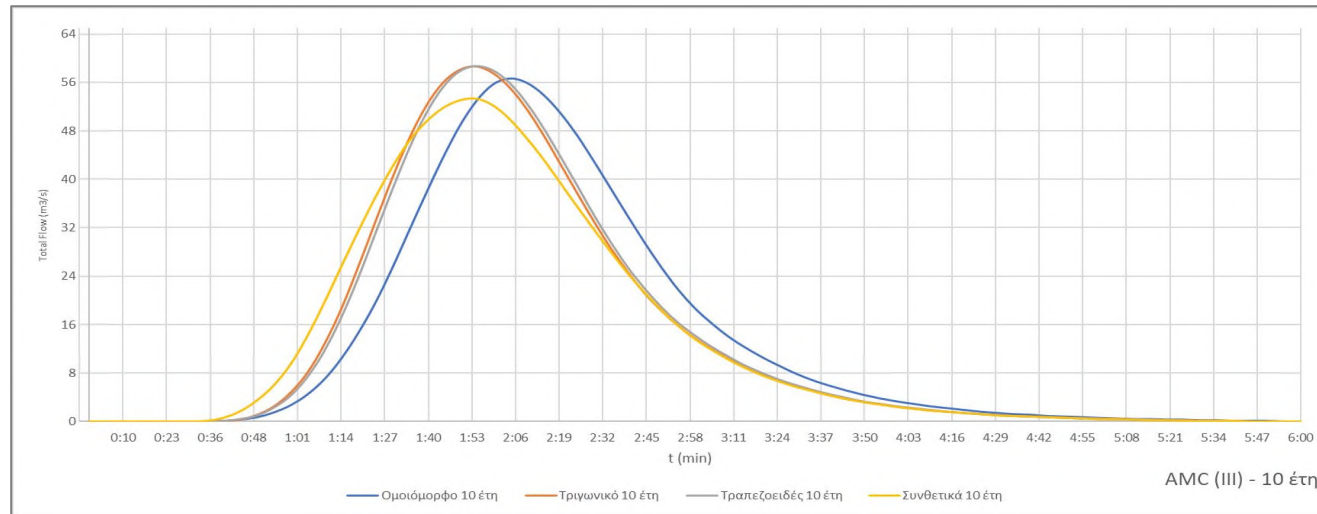
Εικόνα 41: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για $T=100$ έτη και για AMCII, του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης

4.5.7 Υφιστάμενες Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{III}

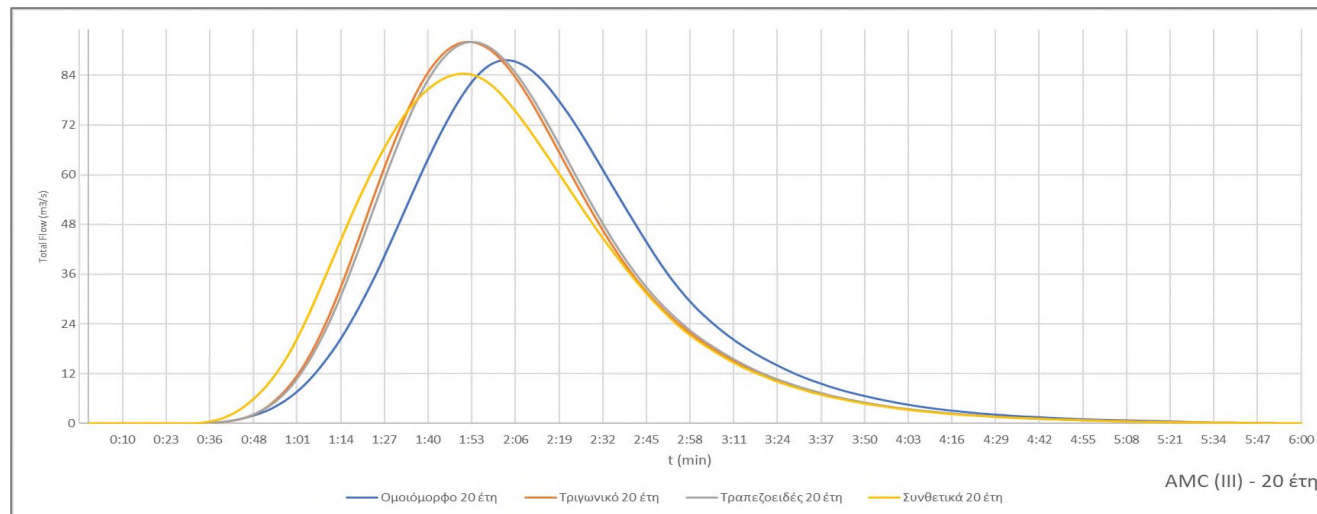
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - υφιστάμενες χρήσεις γης

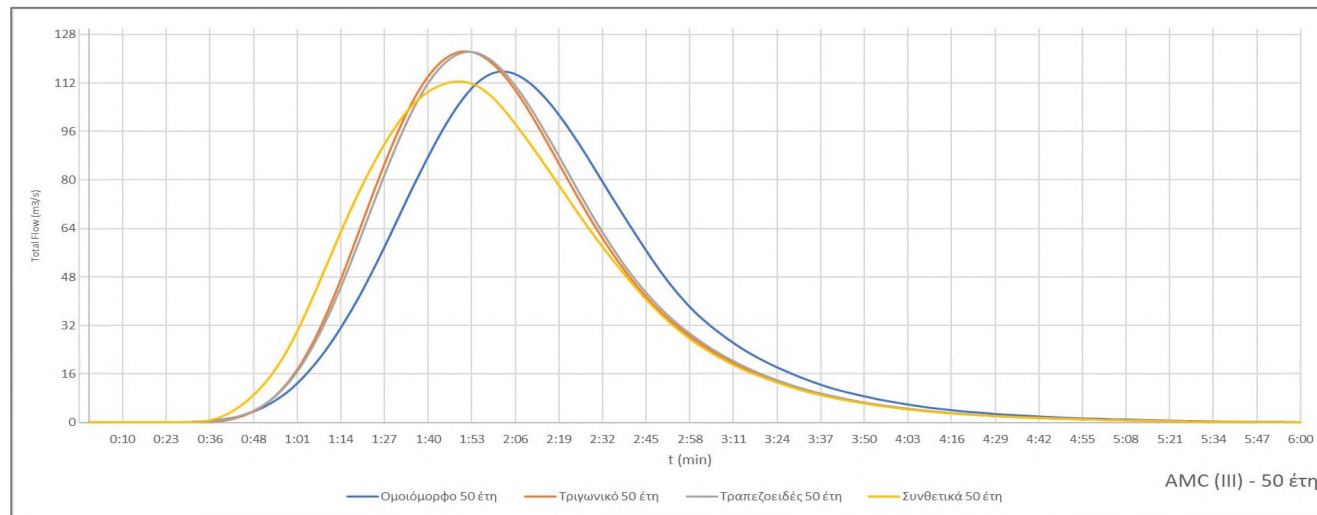
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{III} , T=10	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	56,70
AMC _{III} , T=10	Τριγωνική	Υφιστάμενες	58,60
AMC _{III} , T=10	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	58,70
AMC _{III} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	53,30
AMC _{III} , T=20	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	87,70
AMC _{III} , T=20	Τριγωνική	Υφιστάμενες	91,80
AMC _{III} , T=20	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	92,00
AMC _{III} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	84,30
AMC _{III} , T=50	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	115,50
AMC _{III} , T=50	Τριγωνική	Υφιστάμενες	122,30
AMC _{III} , T=50	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	122,00
AMC _{III} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	112,50
AMC _{III} , T=100	Ομοιόμορφη	Υφιστάμενες	147,10
AMC _{III} , T=100	Τριγωνική	Υφιστάμενες	157,30
AMC _{III} , T=100	Τραπεζοειδής	Υφιστάμενες	156,10
AMC _{III} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Υφιστάμενες	144,60



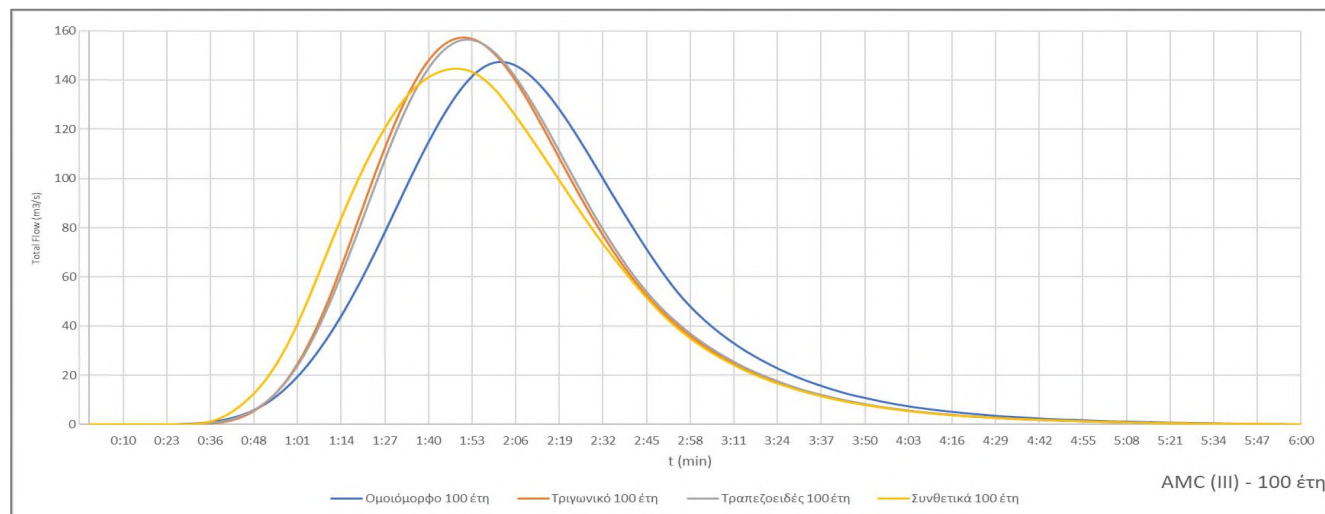
Εικόνα 42: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 43: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



Εικόνα 44: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης



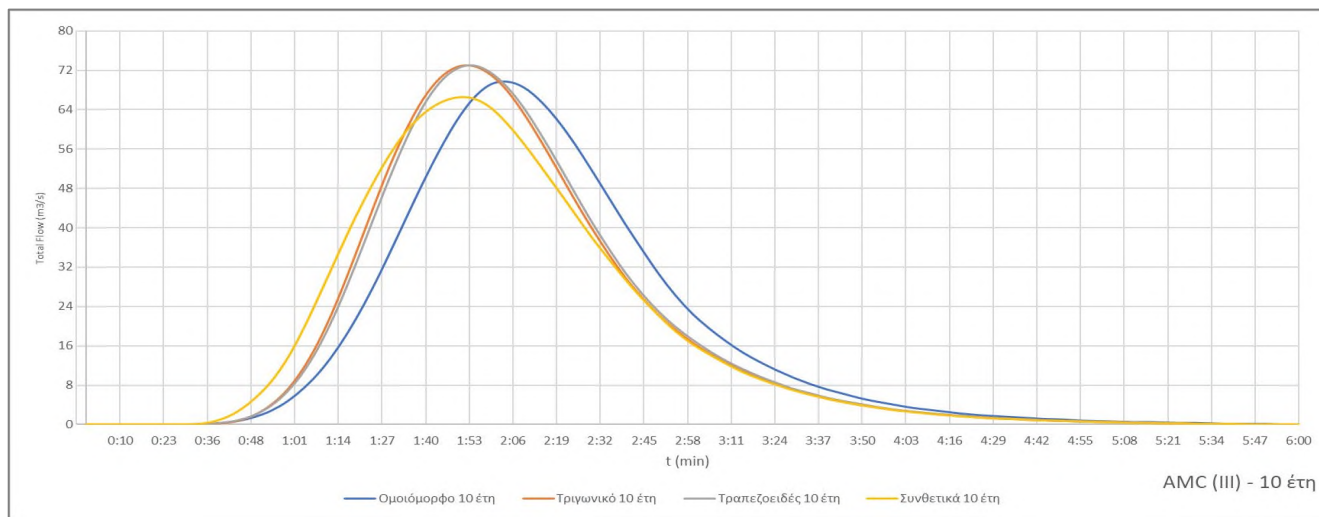
Εικόνα 45: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις υφιστάμενες χρήσεις γης

4.5.8 Μελλοντικές Χρήσεις Γης (5λεπτο χρονικό βήμα βροχόπτωσης) - AMC_{III}

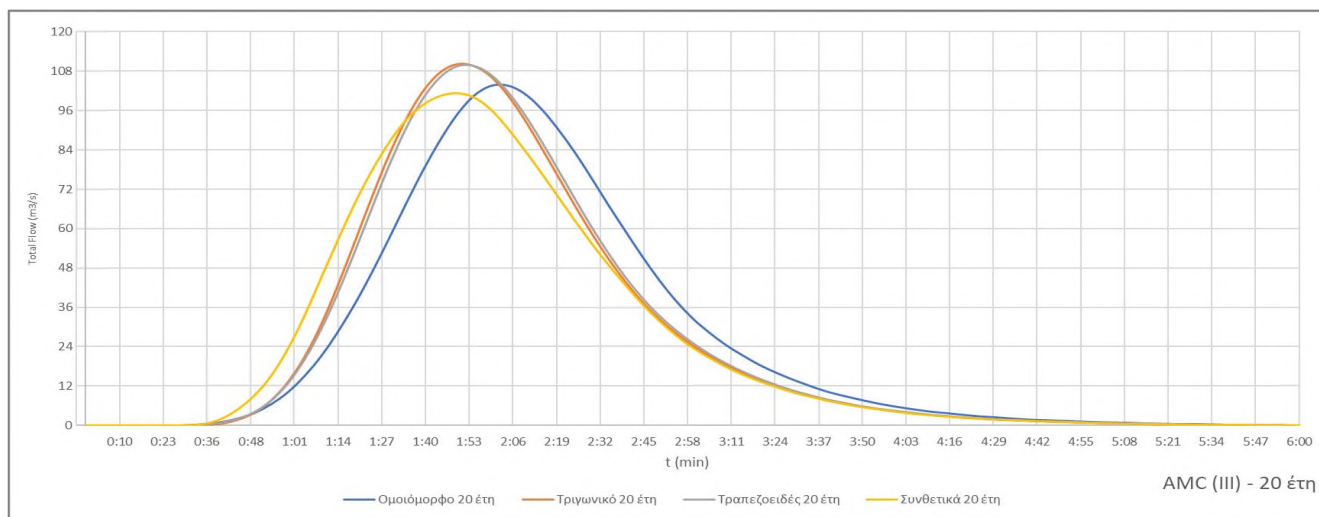
Τα αποτελέσματα υπολογίζονται και παρουσιάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως αν είχε αλλάξει η χρήση γης. Μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης παρουσιάζεται στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα προσομοιώσεων - μελλοντικές χρήσεις γης

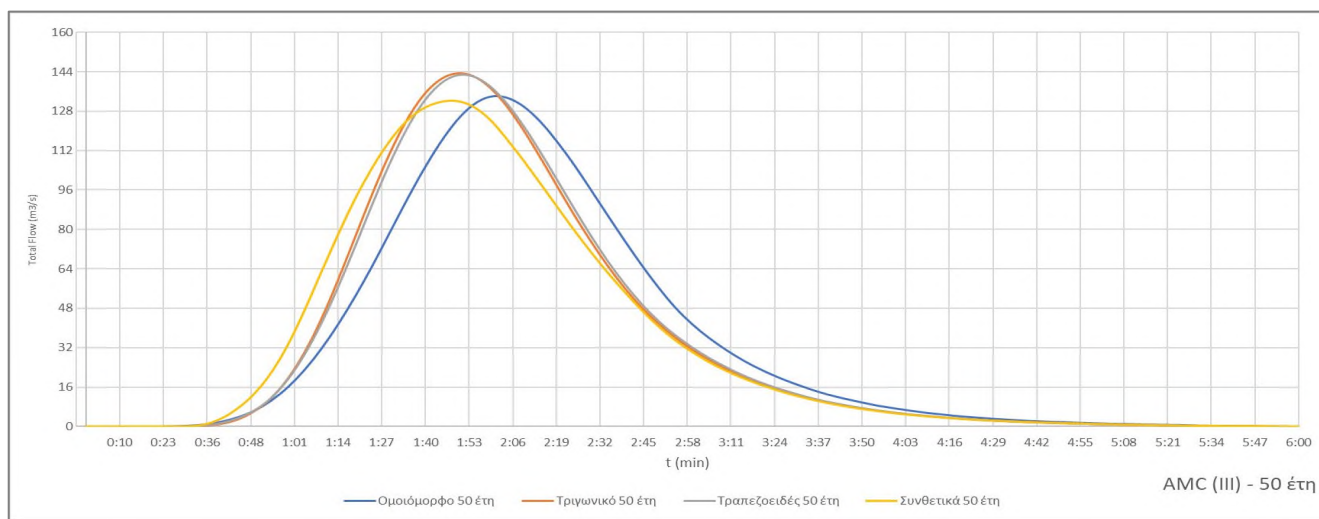
Υγρασιακή κατάσταση AMC, Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	Κατανομή Βροχόπτωσης	Χρήσεις Γης	Παροχή αιχμής (m ³ /s)
AMC _{III} , T=10	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	69,70
AMC _{III} , T=10	Τριγωνική	Μελλοντικές	72,80
AMC _{III} , T=10	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	73,00
AMC _{III} , T=10	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	66,40
AMC _{III} , T=20	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	103,70
AMC _{III} , T=20	Τριγωνική	Μελλοντικές	110,10
AMC _{III} , T=20	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	109,70
AMC _{III} , T=20	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	101,30
AMC _{III} , T=50	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	133,90
AMC _{III} , T=50	Τριγωνική	Μελλοντικές	143,40
AMC _{III} , T=50	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	142,60
AMC _{III} , T=50	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	132,10
AMC _{III} , T=100	Ομοιόμορφη	Μελλοντικές	168,00
AMC _{III} , T=100	Τριγωνική	Μελλοντικές	181,20
AMC _{III} , T=100	Τραπεζοειδής	Μελλοντικές	179,70
AMC _{III} , T=100	Τροποποιημένα Συνθετικά	Μελλοντικές	166,80



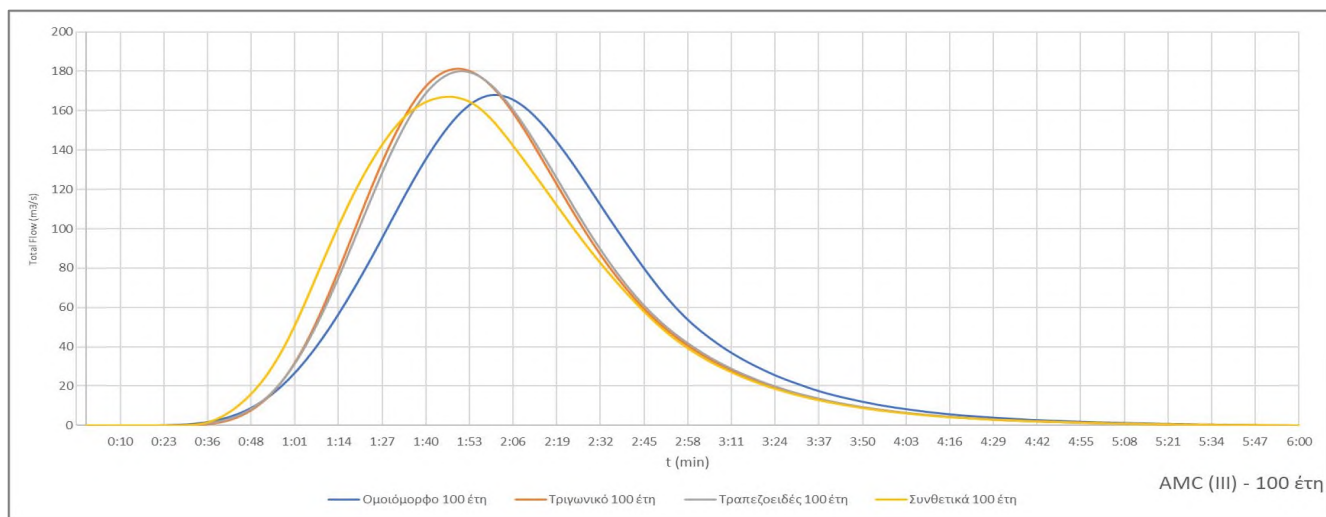
Εικόνα 46: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=10 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



Εικόνα 47: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=20 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



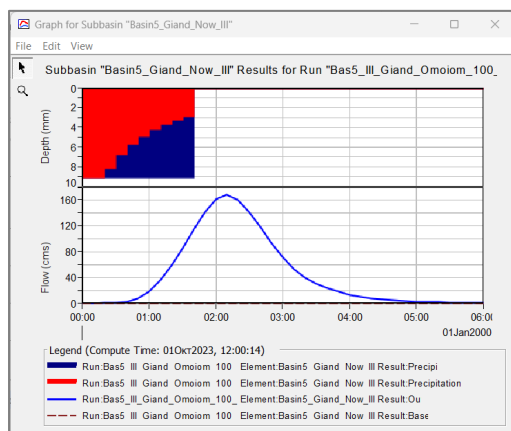
Εικόνα 48: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=50 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης



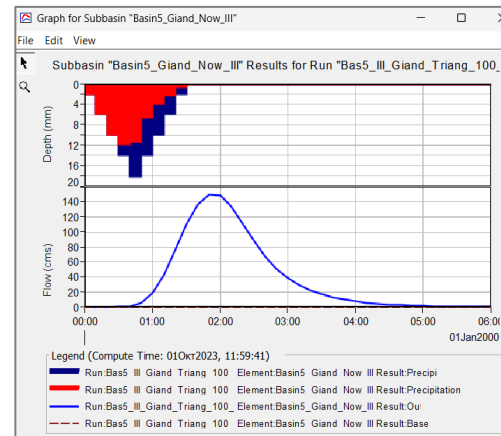
Εικόνα 49: Διάγραμμα απορροής-χρόνου για T=100 έτη και για AMCIII του ρέματος Παλιουριάς για τις μελλοντικές χρήσεις γης

4.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

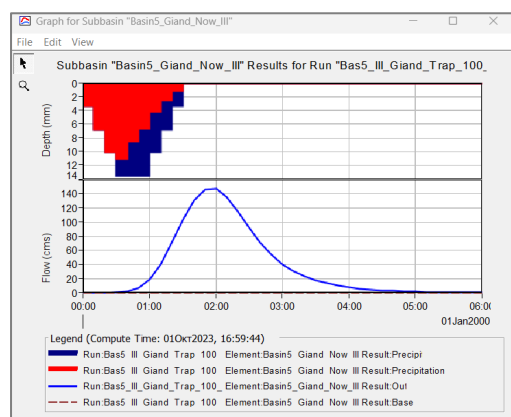
Παρακάτω παρουσιάζονται επιλεγόμενα υετογραφήματα για ομοιόμορφη, τριγωνική, τραπεζοειδής και με τροποποιημένα συνθετικά δεδομένα κατανομή βροχόπτωσης. Στα σχήματα αυτά είναι εμφανής η μεταξύ τους διαφοροποίηση.



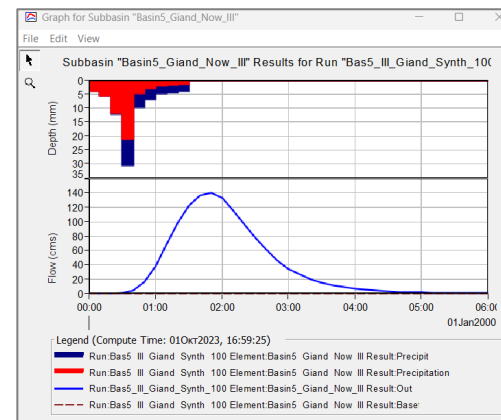
Εικόνα 50: Περίπτωση Α - Ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC_{III}. T = 100 έτη



Εικόνα 51: Περίπτωση Β - Τριγωνική κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC_{III}. T = 100 έτη



Εικόνα 52: Περίπτωση Γ- Τραπεζοειδής κατανομή βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC_{III}. T = 100 έτη



Εικόνα 53: Περίπτωση Δ – Συνθετικά δεδομένα βροχόπτωσης (χρονικό βήμα 10 min). AMC_{III}. T = 100 έτη

Παρατηρώντας τα υετογραφήματα - πλημμυρογραφήματα εύκολα είναι κατανοητό ότι με βάσει τη μέθοδο χρήσης το υδρογράφημα της ομοιόμορφης κατανομής βροχόπτωσης δίδει μεγαλύτερη απορροή και μεγαλύτερη αιχμή πλημμύρας. Αισθητή είναι και η εμφάνιση διαφοροποίησης του χρόνου αιχμής. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απορροή σχετίζεται με το ύψος αθροιστικής βροχόπτωσης και όχι με την ένταση αυτής.

4.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες 19 έως 22 δείχνουν ότι η κατάσταση της εδαφικής υγρασίας πριν από τις έντονες βροχοπτώσεις έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος της επιφανειακής απορροής. Επομένως, θα πρέπει να αξιολογείται η κατάσταση της εδαφικής υγρασίας πριν από τη βροχόπτωση.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα υπολογισμών για υφιστάμενες χρήσεις γης (10λεπτο βήμα).

Κατανομή Δεδομένων Βροχόπτωσης	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)
Ομοιόμορφη	10	AMC II	55,92	8,90	AMC III	74,41	68,50
Τριγωνική				4,20			55,80
Τραπεζοειδής				4,20			55,60
Συνθετικά				4,10			51,20
Ομοιόμορφη	20			23,00			103,30
Τριγωνική				13,90			87,40
Τραπεζοειδής				13,90			87,00
Συνθετικά				13,20			81,10
Ομοιόμορφη	50			38,10			134,20
Τριγωνική				25,60			116,40
Τραπεζοειδής				25,40			115,30
Συνθετικά				24,10			109,00
Ομοιόμορφη	100			56,90			168,70
Τριγωνική				41,00			150,30
Τραπεζοειδής				40,80			147,60
Συνθετικά				38,20			140,50

Πίνακας 16: Αποτελέσματα υπολογισμών για μελλοντικές χρήσεις γης (10λεπτο βήμα).

Κατανομή Δεδομένων Βροχόπτωσης	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)
Ομοιόμορφη	10	AMC II	60,26	18,40	AMC III	77,26	84,30
Τριγωνική				11,00			71,00
Τραπεζοειδής				11,00			70,70
Συνθετικά				10,40			65,80
Ομοιόμορφη	20			37,30			122,20
Τριγωνική				25,90			107,20
Τραπεζοειδής				25,60			105,80
Συνθετικά				24,00			99,80
Ομοιόμορφη	50			56,00			155,30
Τριγωνική				41,40			139,60
Τραπεζοειδής				41,20			136,80
Συνθετικά				38,40			130,50
Ομοιόμορφη	100			78,70			191,90
Τριγωνική				61,10			176,50
Τραπεζοειδής				60,80			172,10
Συνθετικά				56,00			164,80

Πίνακας 17: Αποτελέσματα υπολογισμών για υφιστάμενες χρήσεις γης (5λεπτο βήμα).

Κατανομή Δεδομένων Βροχόπτωσης	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)
Ομοιόμορφη	10	AMC II	55,92	4,40	AMC III	74,41	56,70
Τριγωνική				4,40			58,60
Τραπεζοειδής				4,40			58,70
Συνθετικά				4,30			53,30
Ομοιόμορφη	20			14,80			87,70
Τριγωνική				14,70			91,80
Τραπεζοειδής				14,80			92,00
Συνθετικά				13,90			84,30
Ομοιόμορφη	50			26,80			115,50
Τριγωνική				26,80			122,30
Τραπεζοειδής				27,00			122,00
Συνθετικά				24,90			122,50
Ομοιόμορφη	100			42,70			147,10
Τριγωνική				42,80			157,30
Τραπεζοειδής				43,00			156,10
Συνθετικά				39,60			144,60

Πίνακας 18: Αποτελέσματα υπολογισμών για μελλοντικές χρήσεις γης (5λεπτο βήμα).

Κατανομή Δεδομένων Βροχόπτωσης	Περίοδος επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Υγρασιακή Κατάσταση	Αριθμός καμπύλης CN	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)
Ομοιόμορφη	10	AMC II	60,26	11,70	AMC III	77,26	69,70
Τριγωνική				11,60			72,80
Τραπεζοειδής				11,70			73,00
Συνθετικά				10,90			66,40
Ομοιόμορφη	20			27,00			103,70
Τριγωνική				27,00			110,10
Τραπεζοειδής				27,20			109,70
Συνθετικά				25,10			101,30
Ομοιόμορφη	50			42,90			133,90
Τριγωνική				43,20			143,40
Τραπεζοειδής				43,50			142,60
Συνθετικά				39,80			132,10
Ομοιόμορφη	100			62,50			168,00
Τριγωνική				63,80			181,20
Τραπεζοειδής				63,90			179,70
Συνθετικά				58,50			166,80

Οι τιμές της καμπύλης CN είναι σαφώς χαμηλότερες στην κατάσταση υγρασίας II από ό,τι στην κατάσταση υγρασίας AMCII. Επιπλέον, η διαπερατότητα και η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι υψηλότερες στην κατάσταση υγρασίας II από ό,τι στην κατάσταση υγρασίας II. Επομένως, υπάρχει μεγαλύτερη διήθηση και λιγότερη επιφανειακή απορροή.

Επομένως, εάν αλλάξει η χρήση γης, η επιφανειακή απορροή θα αυξηθεί και τα πλημμυρικά φαινόμενα θα ενταθούν. Όταν αναπτύσσονται οικιστικές περιοχές, η βλάστηση μειώνεται, γεγονός που με τη σειρά του μειώνει τη διαπερατότητα του εδάφους, γεγονός που αυξάνει τις τιμές των καμπυλών CN. Για το λόγο αυτό, οι χρήσεις γης πρέπει να υπολογίζονται προσεκτικά και μετά από αλλαγή χρήσης, π.χ. πυρκαγιά, πρέπει να γίνονται νέοι σχεδιασμοί για την αποφυγή επικίνδυνων πλημμυρικών φαινομένων.

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 23-26, οι αλλαγές στη χρήση γης είναι εξίσου σημαντικές στις αλλαγές στις ροές αιχμής. Επομένως, μετά από αλλαγές όπως π.χ. πυρκαγιά, πρέπει να γίνονται επανυπολογισμοί για να αποφεύγονται οι δυσμενείς επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων.

Πίνακας 19: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Μεταβολή για ίδια AMC σε σχέση με προηγούμενη T (%)
10	AMC II	8,90	18,40	51.63
		23,00	37,30	38.34
		38,10	56,00	31.96
		56,90	78,70	27.70
20		4,20	11,00	61.82
		13,90	25,90	46.33
		25,60	41,40	38.16
		41,00	61,10	32.90
50		4,20	11,00	61.82
		13,90	25,60	45.70
		25,40	38,40	33.85
		40,80	60,80	32.89
100		4,10	10,40	60.58
		13,20	24,00	45.00
		24,10	38,40	37.24
		38,20	56,00	31.79

Πίνακας 20: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Μεταβολή για ίδια AMC σε σχέση με προηγούμενη T (%)
10	AMC III	68,50	84,30	18.74
		103,30	122,20	15.47
		134,20	155,30	13.59
		168,70	191,90	12.09
20		55,80	71,00	21.41
		87,40	107,20	18.47
		116,40	139,60	16.62
		150,30	176,50	14.84
50		55,60	70,70	21.36
		87,00	105,80	17.77
		115,30	136,80	15.72
		147,60	172,10	14.24
100		51,20	65,80	22.19
		81,10	99,80	18.74
		109,00	130,50	16.48
		140,50	164,80	14.75

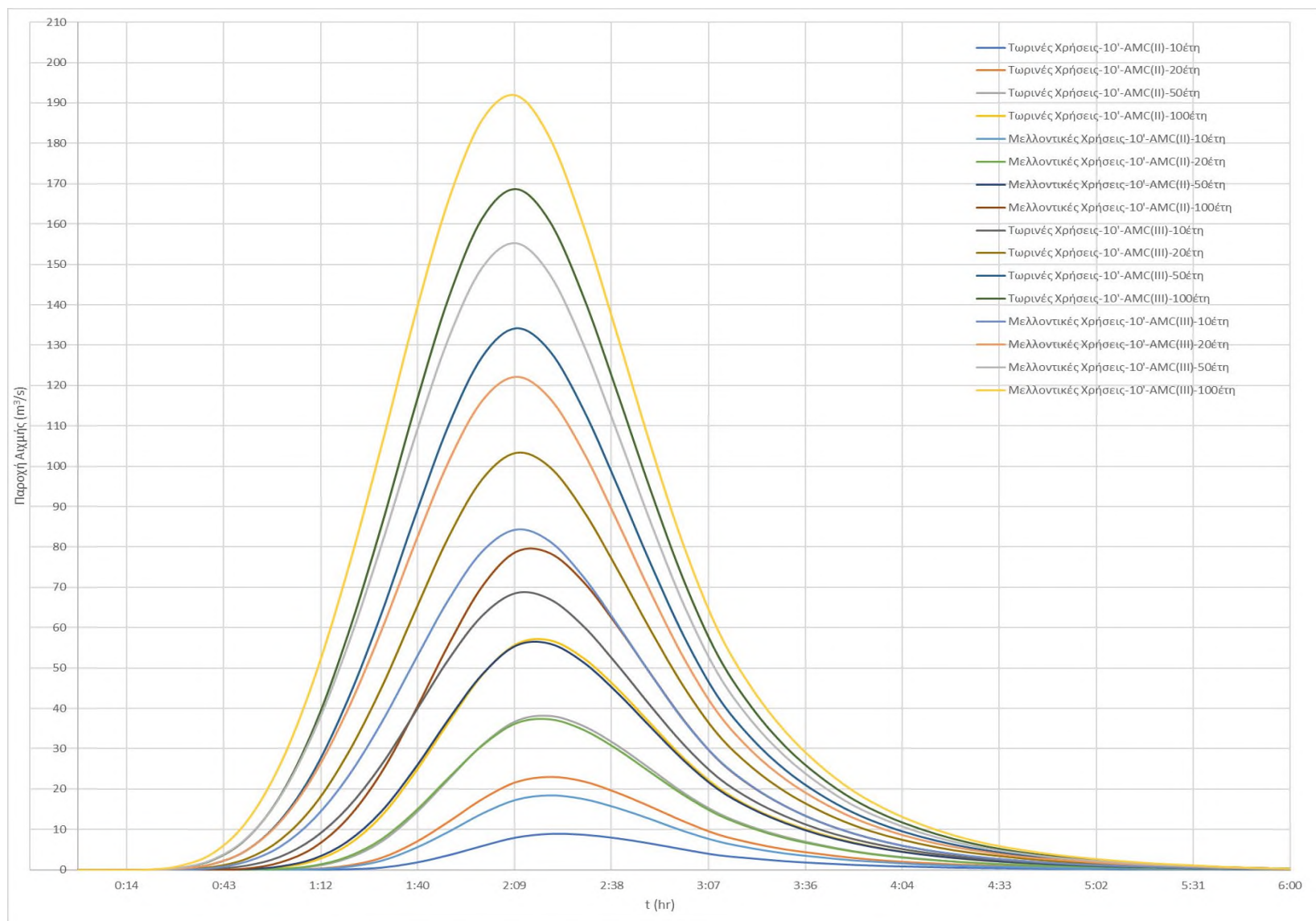
Πίνακας 21: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Μεταβολή για ίδια AMC σε σχέση με προηγούμενη T (%)
10	AMC II	4,40	11,70	62.39
		14,80	27,00	45.19
		26,80	42,90	37.53
		42,70	62,50	31.68
20		4,40	11,60	62.07
		14,70	27,00	45.56
		26,80	43,20	37.96
		42,80	63,80	32.92
50		4,40	11,70	62.39
		14,80	27,20	45.59
		27,00	43,50	37.93
		43,00	63,90	32.71
100		4,30	10,90	60.55
		13,90	25,10	44.62
		24,90	39,80	37.44
		39,60	58,50	32.31

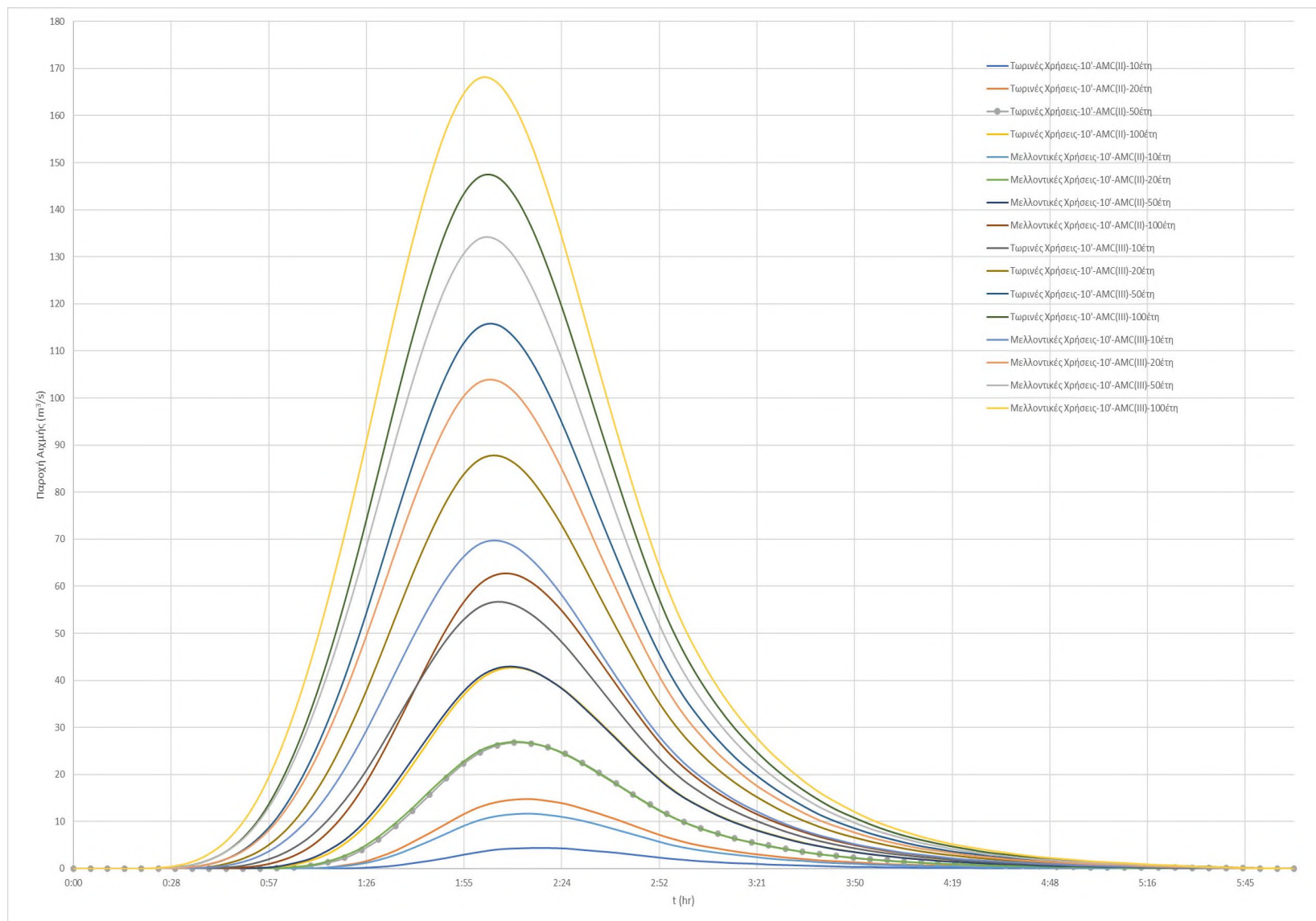
Πίνακας 22: Συγκριτικά αποτελέσματα παροχών αιχμής υφιστάμενης/μελλοντικής κατάστασης

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Υγρασιακή Κατάσταση	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Παροχή Αιχμής (m ³ /s)	Μεταβολή για ίδια AMC σε σχέση με προηγούμενη T (%)
10	AMC III	56,70	69,70	18.65
		87,70	103,70	15.43
		115,50	133,90	13.74
		147,10	168,00	12.44
20		58,60	72,80	19.51
		91,80	110,10	16.62
		122,30	143,40	14.71
		157,30	181,20	13.19
50		58,70	73,00	19.59
		92,00	109,70	16.13
		122,00	142,60	14.45
		156,10	179,70	13.13
100		53,30	66,40	19.73
		84,30	101,30	16.78
		112,50	132,10	14.84
		144,60	166,80	13.31

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι πλημμυρικές παροχές για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη.



Σχήμα 3: Πλημμυρικές παροχές για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης για την εκάστοτε περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη με 10λεπτο βήμα υπολογισμού. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Σχήμα 4: Πλημμυρικές παροχές για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης για την εκάστοτε περίοδο επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη με 5λεπτο βήμα υπολογισμού. Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα – Συστάσεις

Το φαινόμενο των πλημμυρών προκάλεσε ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα στην περιοχή, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν σπίτια κοντά στον ποταμό Παλιούρια, δυσκολεύοντας την επικοινωνία στο οδικό δίκτυο εκατέρωθεν του ποταμού και επηρεάζοντας τη ζωή κατοίκων και τουριστών. Η περιφερειακή ανάπτυξη έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να διερευνηθεί η υδρολογική επάρκεια της φυσικής κοίτης του οικισμού, των κατασκευασμένων αντιπλημμυρικών αντιπλημμυρικών και του υπάρχοντος οδικού δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης του ρέματος Παλιουριάς οι εκτιμήσεις για την επιφανειακή απορροή και την παροχή αιχμής έχουν ως ακολούθως:

- Για την περίπτωση της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης και μεθοδολογίας υπολογισμών το 10λεπτο χρονικό βήμα των δεδομένων βροχόπτωσης έδωσε διαφοροποιήσεις στον όγκο απορροής καθώς και στην παροχή αιχμής. Πιο συγκεκριμένα, οι παροχές αιχμής για ομοιόμορφη κατανομή βροχόπτωσης ήταν πολύ μεγαλύτερες έναντι αυτών που υπολογίστηκαν για τριγωνική, τραπεζοειδής και για τροποποιημένη συνθετική καμπύλη κατά SCS (Σχήματα 18-21, 22-25, 26-29, 30-33, 34-37, 38-41, 42-45, 46-49, 50-53). Η διαφοροποίηση ειδικότερα εξαλείφεται όταν το χρονικό βήμα μικραίνει (5λεπτο) (Σχήματα 34-37, 38-41, 42-45, 46-49).
- Για 5λεπτο χρονικό βήμα και για υφιστάμενες χρήσεις γης η παροχή αιχμής μεταβάλλεται από 4,40 m³/s σε 14,80 m³/s, 26,80 m³/s και 42,70 m³/s για περιόδους επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 έτη αντίστοιχα. Αντίστοιχες τιμές έχουμε για τριγωνική, τραπεζοειδής και τροποποιημένη κατανομή κατά SCS. Για τις υφιστάμενες χρήσεις γης στην περίπτωση που υγρασιακή κατάσταση είναι AMC_{II} οι παροχές είναι 56,70 m³/s, 87,70 m³/s, 115,50 m³/s και 147,10 m³/s που αντιστοιχούν σε αυξήσεις παροχών από περίπου 240% έως και 1200%.
- Για μελλοντικές χρήσεις γης οι τιμές των παροχών αιχμής και για υγρασιακή κατάσταση AMC_{III}, η εκτίμηση του απορροϊκού συντελεστή για υγρασιακή κατάσταση III εκτιμάται 60,26 αυξημένος κατά 7,8%. Οι αντίστοιχες παροχές διαμορφώνονται σε 11,70 m³/s, 27,00 m³/s, 42,90 m³/s και 62,50 m³/s που αντιστοιχούν σε αυξήσεις παροχών από περίπου 46% έως και 166%.
- Για μελλοντικές χρήσεις γης και υγρασιακή κατάσταση AMC_{III}, οι παροχές αιχμής είναι ακόμα μεγαλύτερες σε ποσοστό από περίπου 14,00% έως και 23,00%.

Στην περιοχή είναι εμφανή τα φαινόμενα διάβρωσης στις ορεινές περιοχές της λεκάνης απορροής του ρέματος Παλιουριάς, οι οποίες τροφοδοτούν το ρέμα με μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών. Επιπλέον, η βαθιά διάβρωση είναι εμφανής στα κατώτερα τμήματα του ρέματος, λόγω των διαφορετικών τεχνικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών των σχιστολίθων, δηλαδή της ταξινόμησής τους, του βαθμού αποσάθρωσης, των εντατικών κατολισθητικών θέσεων και των κατολισθητικών θέσεων που βρίσκονται σε ζώνες με κλίση προς τα ανατολικά και σχηματίζουν αναβαθμίδες με διάφορες μορφολογικές κλίσεις, δημιουργώντας ένα ποικίλο ανάγλυφο.

Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρά γεγονότα διαφορετικής διάβρωσης, ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων, αυξημένες ταχύτητες νερού στον κύριο ρου στα σημεία όπου αυξάνεται η μορφολογική κλίση και εκτροπή του νερού στις παραποτάμιες περιοχές λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά.

Οι παρεμβάσεις στην κοίτη του ποταμού ήταν επαρκείς αλλά όχι επαρκείς για τον έλεγχο των πλημμυρών. Η κατασκευή αναχωμάτων με συρματοκιβώτια ή τοιχίων στο ρέμα Παλιουριάς είναι η κοινότερη τακτική αντιπλημμυρικής προστασίας, για να περιορίζει τις πλημμύρες και έτσι να προστατεύει περιοχές δεξιά και αριστερά της ροής του νερού.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, 56, 300.

Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L. W., (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill International Book Company, N.Y., U.S.A.

Crawford, H.H. and Linsley, R.K. (1966) Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Technical Report No. 39, *Department of Civil and Environmental Engineering*, Stanford University, Stanford.

Coie, J. D., Dodge, K. A., & Coppotelli, H. (1982). Dimensions and types of social status: A cross-age perspective. *Developmental Psychology*, 18(4), 557–570. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.18.4.557>

Džubáková, K., Molnar, P. and Schindler, K. (2015). Monitoring of riparian vegetation response to flood disturbances using terrestrial photography. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19. 195-208. 10.5194/hessd-11-3359-2014.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56 (3): 275–370, doi:10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2, S2CID 129509551.

Kerkhoff, A. J., Martens, S. N., & Milne, B. T. (2004). An Ecological Evaluation of Eagleson's Optimality Hypotheses. *Functional Ecology*, 18(3), 404–413. <http://www.jstor.org/stable/3599201>

Moore, R. (2006). Watershed Models. Edited by V. P. Singh and D. K. Frevert. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, (2006), pp. 653, £79.99. ISBN 0-8493-3609-0. *Experimental Agriculture*, 42(3), 370-370. doi:10.1017/S0014479706293797

Prasad, V. (1967) Biology of the Predatory Mite *Phytoseiulus macropilis* in Hawaii (Acarina: Phytoseiidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 60, 905-908. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.5.905>

Saghafian, Bahram & Golian, Saeed & Elmi, Mohammad & Akhtari, Rouhangiz. (2012). Monte Carlo analysis of the effect of spatial distribution of storms on prioritization of flood source areas. *Natural Hazards*. 66. 10.1007/s11069-012-0537-2.

Sharma M.M., Lalazissis G.A., Hillebrandt W, Ring P. Sharma et al. reply: *Phys Rev Lett*. (1994) Sep 26;73(13):1870. doi: 10.1103/PhysRevLett.73.1870. PMID: 10056908.

Shaw E. M. (1984). Hydrology in Practice. *Van Nostrand Reinhold* (UK) Co. Ltd., U.K., 569 pp.

Struckmeier, W.F. and Margat, J. (1995). Hydrogeological Map. A Guide and a Standard Legend. *International Association of Hydrogeologists*.

Tikhonov, A.N. (1963). Solution of Incorrectly Formulated Problems and the Regularization Method. *Soviet Mathematics Doklady*, 4, 1035-1038.

United States Army Corps of Engineers (USACE) (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center.

United States Army Corps of Engineers (USACE) (2010). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual*, Version 3.5. Hydrologic Engineering Center.

United States Army Corps of Engineers (USACE) (2010). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Applications Guide*, Version 3.5. Hydrologic Engineering Center.

Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. (1997). *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Wiener, N. (1949) *Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series: With Engineering Applications*. MIT Press, Cambridge.

Ελληνική

Βαφειάδης, Μ. (2004). Σημειώσεις «Υδρογραφήματα», Εκδόσεις ΤΥΤΠ-ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Δοϊκος, Κ. (2015). Προσομοίωση της ροής του ποταμού Στρυμόνα και διερεύνηση των πλημμυρών της άνοιξης του 2015, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών: Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Θεσσαλονίκη.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2016). Κατάρτιση όμβριων καμπύλων σε επίπεδο χώρας, Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, κατ' εφαρμογή της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ.

Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ. (1999). Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, ΕΜΠ, Αθήνα.

Κωτσόπουλος, Σ. (2006). Υδρολογία, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, ISBN 960-411-548-0.

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. και Μπαμπατζιμόπουλος, Χ. Σ. (2014). Εφαρμοσμένη Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, σελ. 550.

Παπαμιχαήλ, Δ. Μ. (2001). Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Τσακίρης, Γ.Π. (2010). Υδραυλικά Έργα. Σχεδιασμός & Διαχείριση. Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ.Π. (2013). Υδατικοί Πόροι. Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΦΕΚ Τεύχος Β' 2685/06.07.2018. Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΓρΕΓΥ/41377/329. Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (ΕΛ08) και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Διαδικτυακή

<https://www.orykta.gr/>. Πρόσβαση στις 01/09/2023.

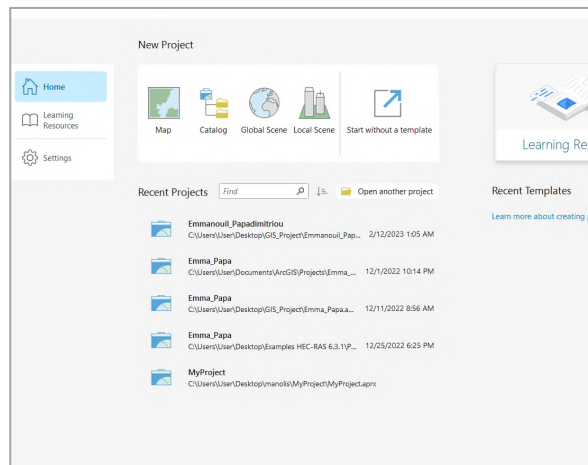
www.geo.auth.gr. Πρόσβαση στις 01/09/2023.

USACE, 2010, www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/. Πρόσβαση στις 01/09/2023.

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>. Πρόσβαση στις 01/09/2023.

Παράρτημα Ι: Περιγραφή Μεθοδολογίας GISpro

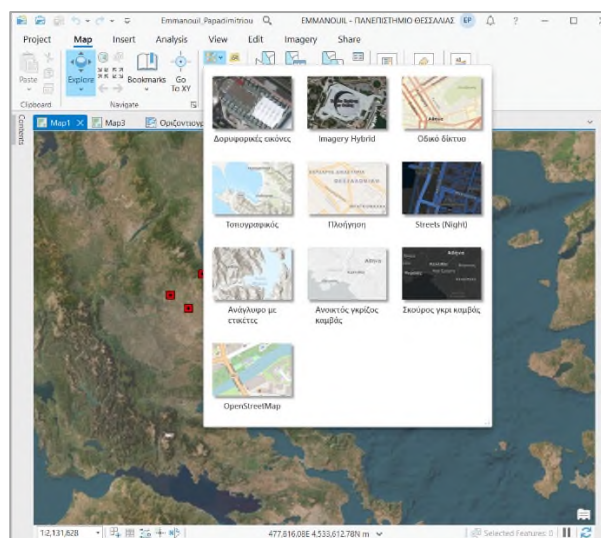
- Map



- Name → με κάτω παύλα
- Save → επιφάνεια εργασίας
- View → Contents (εμφανίζει τους χάρτες)
- Χάρτες → δεξί κλικ → properties → coordinate systems → Greek grid (ή αν δεν είναι εμφανές – projected coordinate system) → RUN
- Επιφάνεια Εργασίας → βελάκι σε m

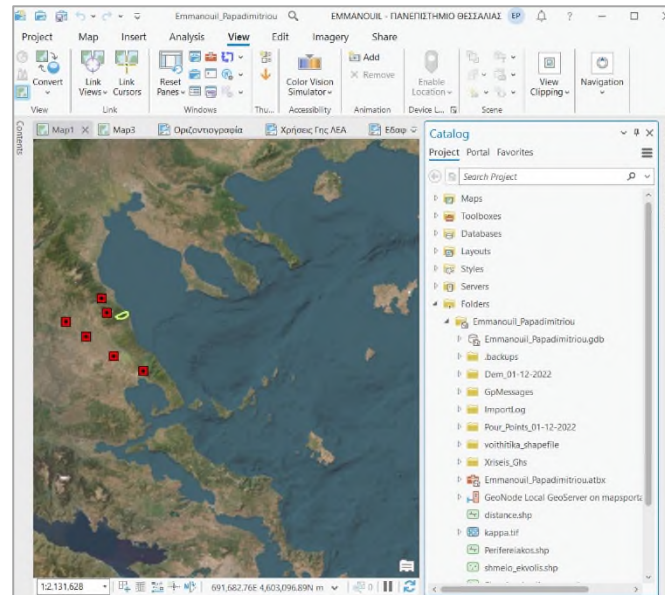


- Map → base map → δορυφορικές εικόνες

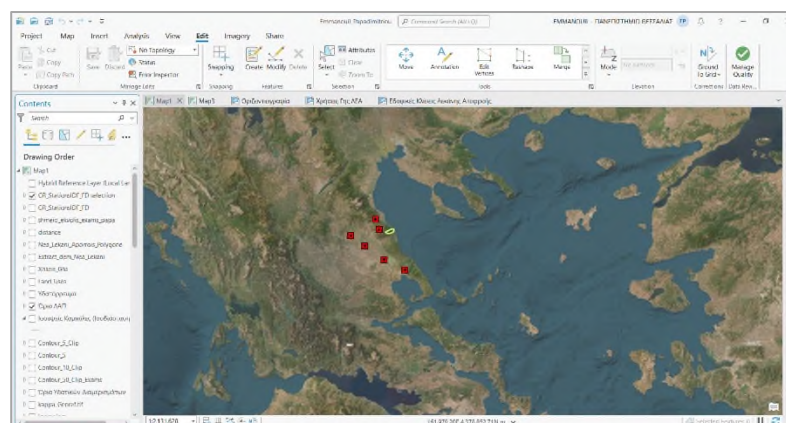


- Οτιδήποτε θέλω να σχεδιάσω σε μορφή vector πρέπει πρώτα να το δημιουργήσω

- Πρέπει πρώτα να δημιουργήσω και μετά να ψηφιοποιήσω
- Folders → δεξί κλικ new → shapefile (.shp → είναι όλα vector data που δημιουργώ για να προσθέσω) → συμπληρώνω τα στοιχεία → διαλέγω τον τύπο δημιουργίας e.g. point, polyline, etc. → διαλέγω τον τύπο δημιουργίας e.g. Greek_grid (current_map) → run (προς δημιουργία στα contents)



- Edit → create → drawing → πατάω ✓



- Δεξί κλικ → attribute table (πίνακας χαρακτηριστικών)
- Διόρθωση σχημάτων → moving features (or) edit vertex
- Δημιουργώ → Catalog pain → folder → new shapefile
- Εμφάνιση → δεξί κλικ στα contents → e.g. sxoli G.E. – ZOOM to layout

Φάκελος GIS_Project → σε αυτόν τον φάκελο θα αποθηκεύω ότι υπάρχει και ότι κάνουμε για το μάθημα. Ο φάκελος πρέπει να μεταφέρεται ολόκληρος

- 1) Table of contents (layers) → view – contents
- 2) Right click – map – properties – projected coordinate systems – national grid – Europe – Greek grid → RUN
- 3) Tools – geoprocessing (analysis)

4) Γεωαναφορά/classification (imagery)

5) Basemap – hybrid

Σχεδιάζω σε vector αρχεία → ότι παράγεται από το GIS πάει στη γεωβάση και ότι εισάγω πάει στο folder

✓ Ισοϋψείς → analysis → toolboxes – contours (input – raster/output – vector). → contour interval (25)

✓ Ένωση raster αρχείων → προϋπόθεση να γνωρίζω τις ιδιότητες (με δεξί κλικ τα properties των raster) – έλεγχος number of bands (rgb ή gb) – βάθος των pixel eg. 16 bit – pixeltype (short – σύντομος ακέραιος)

Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **mosaic to new raster** → (output data set – gbd/raster data set – dem_enosi_USGS)

Προβολικό σύστημα → spatio of reference

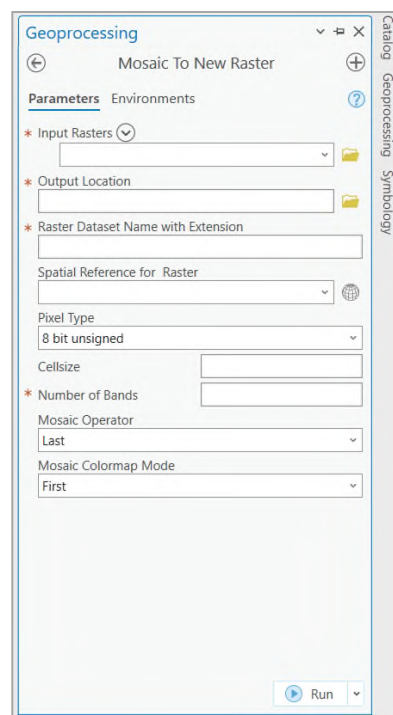
Pixel type → properties – source_raster_informed – επειδή δεν δίνεται επιλέγω unsight.

Number of bands – e.g. 1

RUN

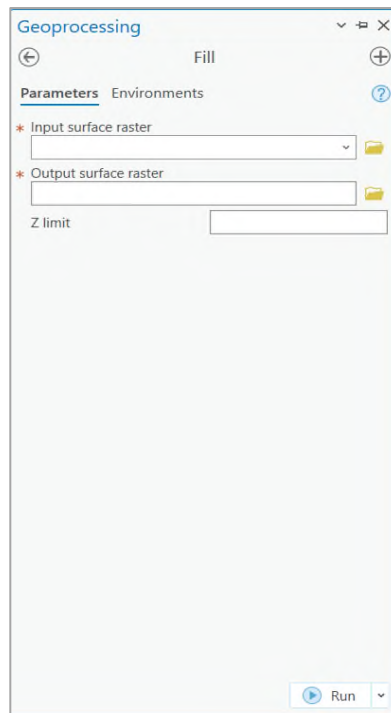
✂ Σημείωση: Αν δεν φαίνεται → map – add

✂ Σημείωση: Η σειρά που παρατίθενται τα contents ορίζει και την προβολή



✓ Διόρθωση Σφαλμάτων (βελτιστοποίηση) «γεμίζω ουσιαστικά τα κενά» →

Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **fill** → (input → dem_lar_kat / output → filled_dem (ότι παράγω στο GIS πρέπει να πηγαίνει σε gdb γεωβάση) → RUN

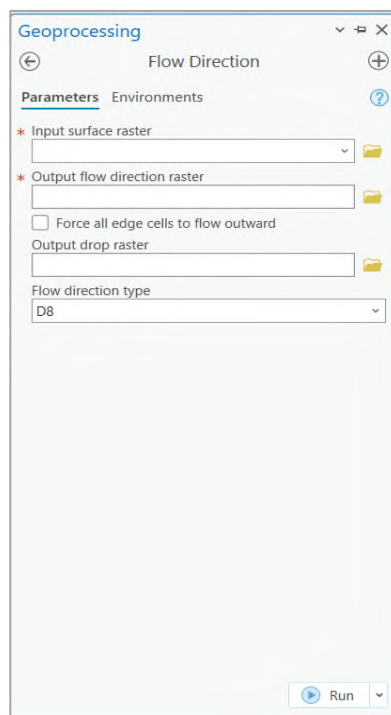


✓ **Λεκάνες Απορροής (υδρολογικά δεδομένα)** → βασικό πρέπει πρώτα βρω πως πηγαίνει η ροή, ουσιαστικά το Υδρογραφικό Δίκτυο

1) **Χάραξη Διεύθυνση Ροής** → Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **flow direction** (Spatial Analyst Tools – Hydrology) (**APXEIO RASTER**)→

(input → filled_dem / output → Flow_Dir / flow direction type – D8 ¹→ RUN)

* 1 → τα χαμηλά υψόμετρα



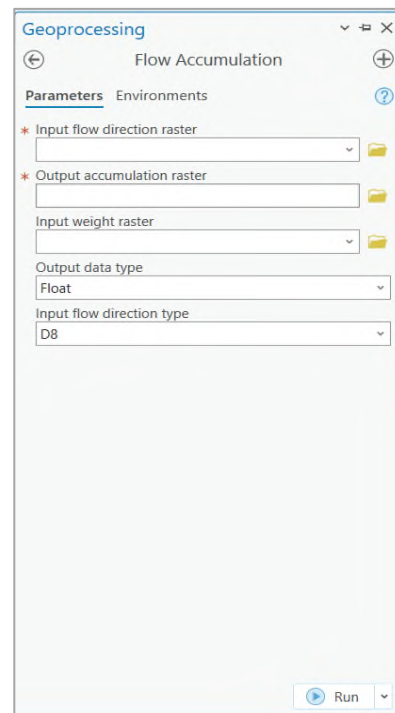
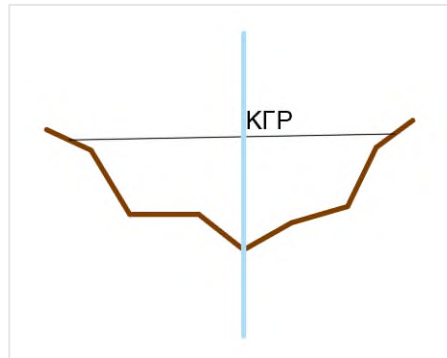
¹ Η μέθοδος ροής D8 μοντελοποιεί την κατεύθυνση ροής από κάθε κελί προς τον πιο απότομο γείτονά του σε κατωφέρεια. Η έξοδος του εργαλείου κατεύθυνσης ροής που εκτελείται με τον τύπο κατεύθυνσης ροής D8 είναι ένας ακέραιος ράστερ του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 1 έως 255.

2) Δημιουργία Υδρογραφικών Δικτύων (Δημιουργία Χάρτη Συγκέντρωσης Ροής) – Δημιουργία Κεντρικής Γραμμής Ροής (ΚΓΡ) → Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **flow accumulation** (Spatial Analyst Tools – Hydrology) →

(input → Flow_Dir / output → Flow_Accum / flow direction type – D8 → RUN)

** Symbology → Primary Symbology → Classify → Classes → 2 → upper value → 50.000 or 20.000 (κατά τύχη)

*** Χρώμα – no color - blue



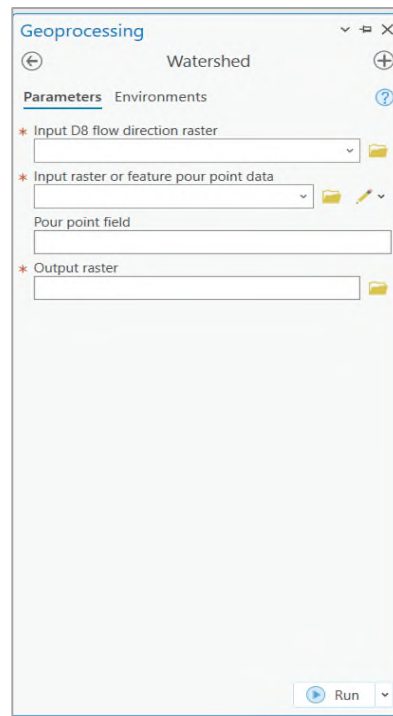
3) Εξαγωγή Αυτόματα Λεκάνης Απορροής

- Δίνω Κατάντη Σημείο (vector.shp → catalogpain → point)

- Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **watershed** → (input D8 flow direction → Flow_Dir / input Raster or field pour point data → shmeio_ekvolis / ouput → watersh_raster → RUN)

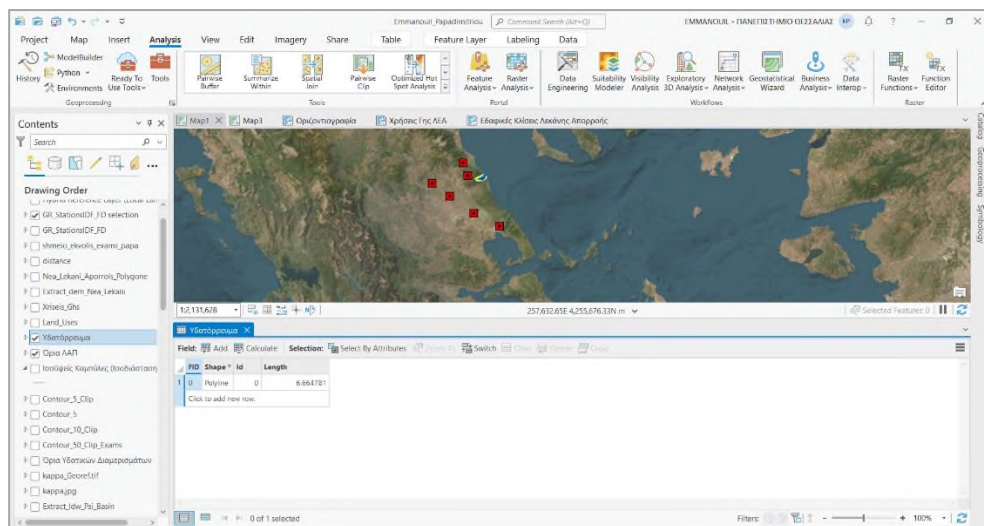
- ▲ Εάν έχω πολλά σημεία → **pour point field** → FID → RUN

- Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → **raster polygon** → (input → shmeio_ekvolis → RUN)



✂ Ydrografiko_Diktyo

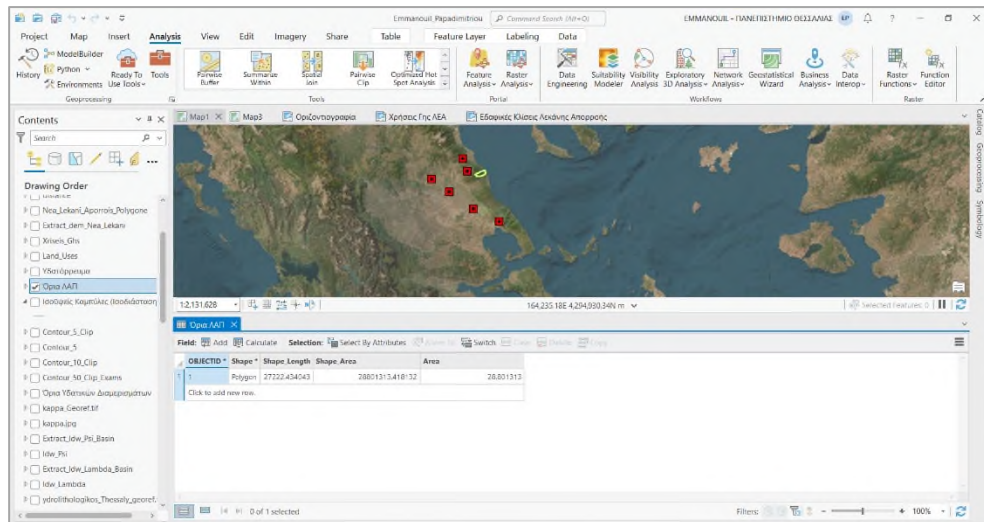
- 1) **Ydrografiko_Diktyo** → Attribute table → add field → field name (eg. Mikos) → data type² (float) → number format (numeric) → ok → right click → save
- 2) **Ydrografiko_Diktyo** → Προσθήκη Ιδιότητας (e.g. Πρόσθεση) → επιλογή στήλης → δεξί κλικ → calculate geometry → field (mikos) / property (length) / length unit (meter) / coordinate system (Greek Grid) → ok



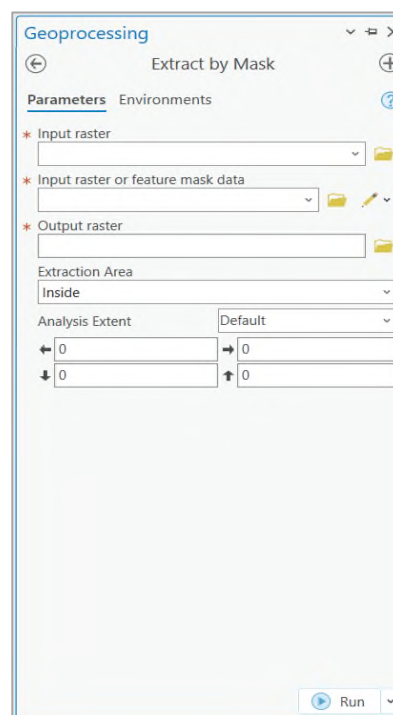
✂ Lekanes_Aporois

² Short → σύντομος ακέραιος
 Long → μεγάλος ακέραιος
 Float → δεκαδικός
 Double → ακέραιος και δεκαδικό μαζί
 Date → ημερομηνία
 Text → κείμενο

- 1) **Lekanes_Aporois** → Attribute table → add field → field name (eg. area) → data type (float) → number format (numeric) → ok → right click → save
- 2) **Lekanes_Aporois** → Προσθήκη Ιδιότητας (e.g. εμβαδόν) → επιλογή στήλης → δεξί κλικ → calculate geometry → field (area) / property (area) / area unit (km²) / coordinate system (Greek Grid) → ok

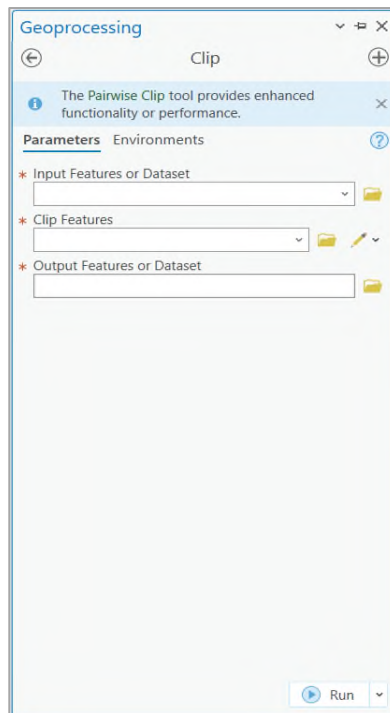


- ✓ Πώς κόβω vector με όριο vector/Πώς κόβω raster με όριο vector →
- **Extract by mask** → input raster - filled_dem (eg το 5μ)/input (το όριο που θέλω να κόψω) – basin_papa/output – dem_select_exams/inside/run

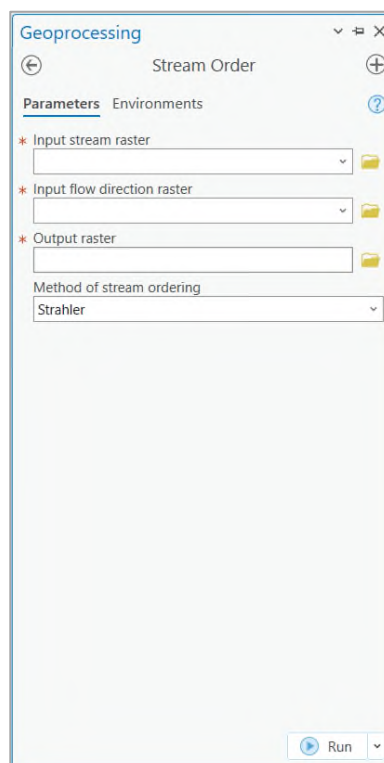


- **Clip** → (κόβω)/contour_50/basin_papa/contour_50_basin³

³ Feature to polygone



- Διαχωρισμός σε τάξεις → κάνω τροποποίηση στο classification/raster calculator για $\text{Flow_Accum} \geq 1500$ / output (flow_ac_algebra) / RUN
- **Stream Order** → input (eg. Flow_ac_algebra) / input raster (eg. Flow_Dir_exams) / output (eg. Stream_Order) / Method (Strahler) / RUN



- ✂ **Λεκάνη Απορροής** → δεξί κλικ → properties → source → statistics → maximum height, minimum height, mean height, std deviation (τυπική απόκλιση)
- ✂ **Κομμένο dem** → δεξί κλικ → data → export raster → output (θέση αποθήκευσης) → coordinate system (GGRS_1987) → output format (grid – μορφή καννάβου) → export

✂ **Κομμένο dem** → δεξί κλικ → data → export raster → output (θέση αποθήκευσης) → coordinate system (GGRS_1987) → output format (tiff) → export

✓ Χάρτης Κλίσεων → Εργαλειοθήκη → analysis → tools → toolboxes → Slope → input (extract_dem_1_exams) → output (slope_d_s) → output measurement (percent rise) → method (planar – οριζοντιογραφία) → z factor (όταν υπάρχουν κατοικίες βάζω τιμή διαφορετική του 1)

Γενικές Προσεγγίσεις Κλίσεων

Ορεινή Περιοχή (%)	30 – 60
Ημι-ορεινή Περιοχή (%)	20 – 30
Πεδινή Περιοχή (%)	< 20

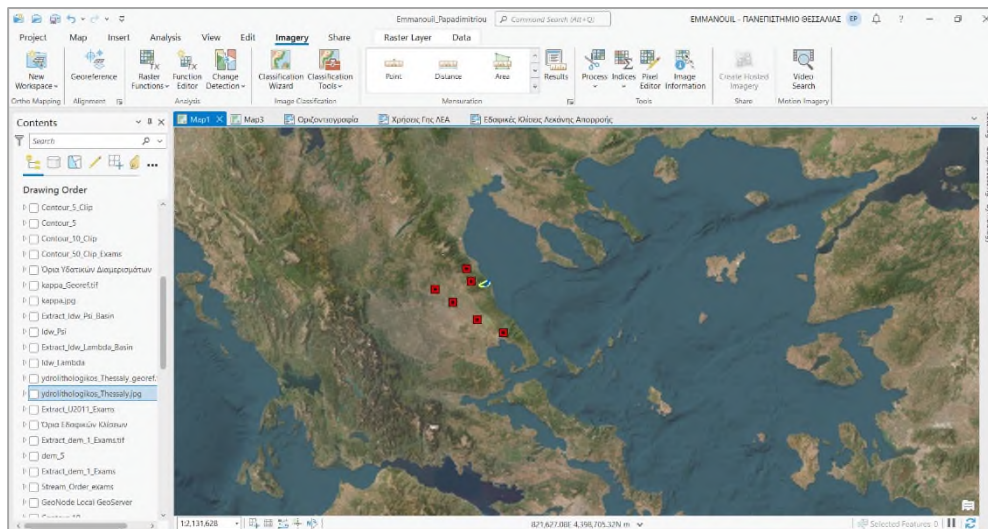
✂ Εισαγωγή **Χρήσεων Γης** – Add → Server (Geo...) → Χρήσεις Γης 2018

✂ Εφαρμογή **Extract by mask**

✂ Εφαρμογή **Labelling** → Attribute Table (έχοντας κάνει ως polygons την κάθε χρήση μέσα στη λεκάνη) → Add → Name (Text) → Save → Προσθέτω την ονομασία → Labeling Properties → Σβήνω και Τσεκάρω το name → Apply.

Συντελεστής Διηθητικότητας → πρέπει να γνωρίζουμε ουσιαστικά την Γεωλογία, τον γεωλογικό χάρτη καθώς επίσης να υπάρχει γνώση του εκάστοτε πετρώματος του εδάφους περί διαπερατότητας ή μη. Άρα χρειάζεται και γνώση Εδαφολογίας. Συμπερασματικά πρέπει να γνωρίζουμε τη χημική σύσταση του εδάφους. Η καλύτερη επιλογή αποτελεί η λήψη του γεωλογικού χάρτη από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) καθώς και η λήψη εκείνου του χάρτη πετρωμάτων.

✂ Εισαγωγή → Υδρολογικός Χάρτης → (επειδή δεν εισάγεται με γεωαναφορά) → **Imagery** → Georeference → πρέπει να προσθέσω σημεία για τον γεωαναφέρω πιο ακριβώς → Add Control Points → με ζουμ αρκετό στο σημείο του χάρτη και το μεταφέρω στο σχετιζόμενο σημείο στην πραγματικότητα (σχετιζόμενο με τα υδατικά διαμερίσματα) – τα σημεία πρέπει να λαμβάνονται αντιδιαμετρικά και όσο περισσότερα γίνεται → Georeference – Save as new → output - georef



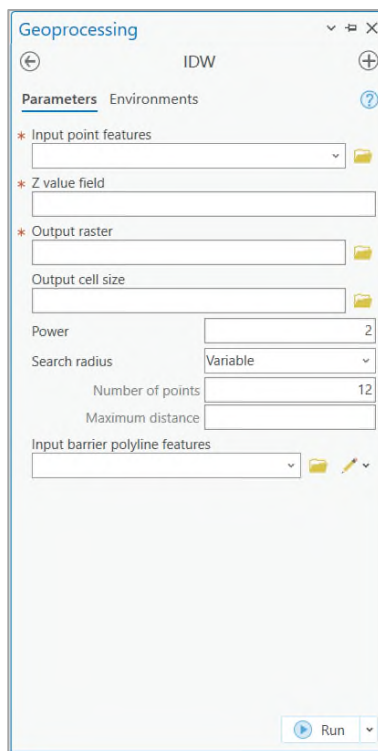
✂ **Αποθηκευτικότητα της επιφάνειας εδάφους** (λιμνάζεται ή φεύγει το νερό από μένα;) → 1^{ος} Τρόπος: Σκανάροντας την περιοχή βλέπουμε/ 2^{ος} Τρόπος: Μέσω των κλίσεων του εδάφους (εάν έχουμε ανάποδες) → συνήθως λαμβάνουμε τιμή 0,08-0,09-0,10 (A-B-C-D → πόσο διηθείται η εκάστοτε κατηγορία)

✂ IDF Report → Όμβριες Καμπύλες σε επίπεδο Χώρας (οι παράμετροι θ/η είναι ίδιες καθότι εξαρτώνται από το εκάστοτε υδατικό διαμέρισμα) → κατεβάζουμε το shp file τους βροχομετρικούς σταθμούς και τα εισάγω στο πρόγραμμα (https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=174&Itemid=604#)

*** μέχρι 2χλμ. – αν δεν υφίσταται σταθμός μέσα σε ετούτη την χιλιομετρική απόσταση λαμβάνεται η χωρική κατανομή από τους 5-6 όμορους βροχομετρικούς σταθμούς → select → lasso → εκτελώ την επιλογή χωρίς να επιλέξω κάτι άλλο) → make layer from selected features (αφού από τα contents) έχω επιλέξει τους σταθμούς

✂ **Εύρεση λ** → εντολή **IDW (3D Analyst)** → 2 value field → η τιμή που θέλω να κάνω χωρική κατανομή → output ... Idw_Lambda → RUN

• Extract By Mask → Idw_Lambda/Basin_Papa_Exams → Extract_Idw_Lambda_Basin → RUN (properties → statistics →)



✂ Εύρεση ψ → εντολή **IDW (3D Analyst)** → 2 value field → η τιμή που θέλω να κάνω χωρική κατανομή → output ... Idw_Psi → RUN

- Extract By Mask → Idw_Psi/Basin_Papa_Exams → Extract_Idw_Psi_Basin → RUN (properties → statistics →)

✂ IDF Report → Εύρεση κ → https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=182&Itemid=795 → ΖΩΝΕΣ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ κ → Εισαγωγή → Υδρολογικός Χάρτης → (επειδή δεν εισάγεται με γεωαναφορά) → **Imagery** → Georeference → πρέπει να προσθέσω σημεία για τον γεωαναφέρω πιο ακριβώς → Add Control Points → με ζουμ αρκετό στο σημείο του χάρτη και το μεταφέρω στο σχετιζόμενο σημείο στην πραγματικότητα (σχετιζόμενο με τα υδατικά διαμερίσματα) – τα σημεία πρέπει να λαμβάνονται αντιδιαμετρικά και όσο περισσότερα γίνεται → Georeference – Save as new → output - georef

ή

Δουλεύω με συντεταγμένες

✂ Χαρτογραφία:

- Τσεκάρω την κλίμακα – κάτω αριστερά
- Insert → New Layout → eg. A3 – Horizontal
- Εισαγωγή απαραίτητων αντικειμένων:

A) Χαρτογραφούμενη Περιοχή → Map Frame → επιλέγω τον χάρτη (*δεξί κλικ activate/close activation)

B) Τοποθέτηση βορρά

Γ) Τοποθέτηση scale bar

Δ) Κάβναβος → grid → measured grid → black horizontal label grid → μετά δοκιμάζω τα στυλ και τη μορφή που μου ταιριάζει περισσότερο

Ε) Υπόμνημα – Legend – οπότε και αλλάζω α) την ονοματολογία β) το τον τίτλο του υπομνήματος με δεξί κλικ σε αυτό → properties → legend (όχι general) γ) γράμματα στο υπόμνημα → καρτέλα επεξεργασίας → label → επεξεργασία γραμμάτων δ) γράμματα στο υπόμνημα → καρτέλα επεξεργασίας → title → επεξεργασία γραμμάτων

Παράρτημα II: Θεωρητική Περιγραφή Προσομοίωσης

II.1 Εισαγωγή

Οι πρώτες προσπάθειες προσομοίωσης των διαδικασιών βροχόπτωσης-απορροής εντοπίζονται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι περισσότεροι μηχανικοί χρησιμοποιούσαν εμπειρικούς τύπους ή λογικές μεθόδους, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως η πρώτη ορθολογική προσέγγιση του προβλήματος της "πρόβλεψης της απορροής" από δεδομένα βροχόπτωσης (Dooge, 1957- Dooge, 1959).

Ωστόσο, οι περισσότερες ιστορικές εξελίξεις στον τομέα της προσομοίωσης βροχόπτωσης-απορροής σημειώθηκαν στο πρώτο μισό του 20^{ού} αιώνα, όταν έγινε εμφανής η ανάγκη για παρόμοιους τύπους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερες λεκάνες απορροής.

Τη δεκαετία του 1930 σημειώθηκε μια έκρηξη ανάπτυξης σε όλους τους τομείς της υδρολογίας (Džubáková, 2010). Το 1932, ο Sherman εισήγαγε την έννοια του μοναδιαίου υδρογραφήματος με βάση την αρχή της υπέρθεσης. Η μέθοδος αυτή κυριάρχησε στην υδρογραφία για περισσότερα από 25 χρόνια. Ωστόσο, η αρχή της υπέρθεσης έχει πολλές παραδοχές και προβλήματα. Για παράδειγμα, με βάση αυτή την αρχή, η λεκάνη συμπεριφέρεται ως ένα γραμμικό, χρονικά αμετάβλητο σύστημα όσον αφορά τη βροχόπτωση και τη μετατροπή της σε επιφανειακή ροή, δεν υπάρχει διαχωρισμός της επιφανειακής και της υπόγειας ροής και δεν υπάρχει προσδιορισμός της πραγματικής βροχόπτωσης.

Ένα χρόνο αργότερα, το 1933, δημοσιεύθηκε από τον R.E. Houghton η θεωρία Houghton για την χερσαία ροή. Ο Robert E. Horton είναι περισσότερο γνωστός ως υποστηρικτής της υπερβολικής χερσαίας ροής, σύμφωνα με την οποία το νερό τείνει να ρέει οριζόντια πάνω από την επιφάνεια του εδάφους όταν η βροχόπτωση υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης και αποθήκευσης, και εισήγαγε την έννοια του υδρογραφήματος βροχόπτωσης.

Στη δεκαετία του 1950 ανακαλύφθηκαν υδρολογικές μέθοδοι, όπως οι μετασχηματισμοί Laplace και οι σειρές Fourier, οι οποίες προώθησαν σημαντικά την προσομοίωση διεργασιών. Έτσι, τέθηκαν οι βάσεις για την ανάπτυξη των πρώτων εννοιολογικών μοντέλων που βασίστηκαν σε υδρολογικές αρχές. Οι διαφορικές εξισώσεις που περιγράφουν τη συμπεριφορά της αποθήκευσης του ταμιευτήρα ως αλληλεπίδραση του χρόνου (Prasad, 1967), για παράδειγμα, χρησιμοποιήθηκαν για τη διακριτοποίηση του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Συνεπώς, το μοναδιαίο υδρογράφημα περιγράφηκε με βάση παραμέτρους που μπορούσαν να εκτιμηθούν από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, ή με βάση στατιστικές όπως οι τάσεις παλινδρόμησης ή οι μέθοδοι μέγιστης πιθανοφάνειας. Ο προσδιορισμός του μοναδιαίου υδρογραφήματος από πραγματικά δεδομένα χρησιμοποιώντας μόνο μετασχηματισμούς δεν ήταν ικανοποιητικός, αλλά έγινε πιο ρεαλιστικός και ικανοποιητικός με την εισαγωγή περιορισμών συνέχειας και κανονικότητας (Wiener, 1949- Tikhonov, 1963- Eagleson et al.).

Οι νέες ανακαλύψεις στην προσομοίωση βροχόπτωσης-απορροής επιταχύνθηκαν σημαντικά με την ψηφιακή επανάσταση της δεκαετίας του 1960. Χάρη στη νέα τεχνολογία, η εστίαση των προγραμματιστών μετατοπίστηκε από τα απλά μοντέλα στα πρώτα υδρολογικά μοντέλα με συνεχή προσομοίωση των διαδικασιών βροχόπτωσης-απορροής (Sharma et al.) Επιπλέον, στη δεκαετία του 1960, η τεχνολογική πρόοδος έφερε την πρώτη προσοχή στην εννοιολογική προσομοίωση. Ένα από τα πρώτα εννοιολογικά μοντέλα ήταν το Stanford Watershed Model (SWM) που αναπτύχθηκε από τους Crawford και Linsley το 1966. Αυτό ήταν ένα από τα πρώτα μοντέλα που προσπάθησαν να προσομοιώσουν σχεδόν ολόκληρο τον κύκλο του νερού. Στις δεκαετίες του 1970 και του 1980, χρειαζόταν μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση των διεργασιών απορροής-καθίζησης με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά (χρήση γης, κάλυψη γης, κλίση κ.λπ.) σε πολύπλοκες, μεγάλες λεκάνες απορροής. Ως εκ τούτου, έχουν αναπτυχθεί φυσικά υδρολογικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν στοιχεία όπως η επιφανειακή απορροή, η εξατμισοδιαπνοή και η εκροή ποταμών. Με άλλα λόγια, πρόκειται για μοντέλα βασισμένα στη φύση, γνωστά ως ντετερμινιστικά μοντέλα, δηλαδή ολοκληρωμένα μοντέλα που σχετίζονται με φυσικές διεργασίες που παρατηρούνται στον πραγματικό κόσμο.

Στη συνέχεια, ένας αριθμός μοντέλων λεκάνης απορροής, όπως το μοντέλο διαχείρισης ομβρίων υδάτων (SWMM), το σύστημα μοντελοποίησης βροχόπτωσης-απορροής (PRMS), το σύστημα πρόβλεψης ποταμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (NWS), το σύστημα σύνθεσης ροής και ρύθμισης ταμιευτήρων (SSARR), το Ευρωπαϊκό Υδρολογικό Σύστημα (SHE), το TOPMODEL, το Ινστιτούτο Υδρολογικής Έρευνας Κατανεμημένης Λειτουργίας (IHDM) έχουν κατασκευαστεί (Frevert and Singh, 2006, Džubáková, 2010).

Σημαντικό μέρος της διαδικασίας βροχόπτωσης-απορροής είναι ο σχηματισμός καναλιών πλημμυρικής ροής. Για την πλημμυρική απορροή, τα μοντέλα μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: υδρολογικά μοντέλα όπως το μοντέλο muskingum (Dooge et al., 1982) και κινηματικά μοντέλα κυμάτων (Price, 1973, Keefer and McQuivey, 1974).

Τα μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της εξίσωσης, το χρονικό και χωρικό βήμα. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες είναι τα μοντέλα που βασίζονται σε συνεχή ή μεμονωμένα γεγονότα και τα μοντέλα που βασίζονται σε αθροιστικά ή κατανεμημένα γεγονότα. Οι συνεχείς προσομοιώσεις των ροών των ποταμών είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη των ροών που σχετίζονται με τις αλλαγές στη χρήση γης και για την εφαρμογή της διαχείρισης των πλημμυρών (McEnroe, 2010). Ωστόσο, η προσομοίωση μεμονωμένων βροχοπτώσεων σε ένα συνεχές υδρολογικό μοντέλο είναι παρόμοια με την προσομοίωση σε ένα μοντέλο που βασίζεται σε γεγονότα.

Τα υδρολογικά έργα βασίζονται στη συμπεριφορά της λεκάνης απορροής, καθώς τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής καθορίζουν την κίνηση του νερού, τον σχεδιασμό του έργου και τη διαχείριση των υδάτων μετά την κατασκευή. Η ολοκλήρωση τέτοιων μελετών διευκολύνεται από τη χρήση προγραμμάτων υδρολογικής μοντελοποίησης που υπολογίζουν

τα γεγονότα βροχόπτωσης με μεγάλη ακρίβεια αφού περιγραφούν τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

Το πρόγραμμα HEC-HMS που εξετάζεται στο παρόν άρθρο αναπτύχθηκε το 1967 από το Σώμα Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ (USACE, 2010, www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/)

II.1.1 HEC-HMS

Το Σύστημα Υδρολογικής Μοντελοποίησης (HEC-HMS) έχει σχεδιαστεί για τον υπολογισμό των τιμών βροχόπτωσης-απορροής που αντιστοιχούν σε μια λεκάνη, αναπαριστώντας τη λεκάνη ως ένα σύστημα διασυνδεδεμένων υδρολογικών και υδραυλικών συνιστωσών. Κάθε συνιστώσα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο. Το πρόγραμμα αντιπροσωπεύει ένα ευρύ γεωγραφικό φάσμα, ώστε να μπορεί να επιλυθεί ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων- μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλες λεκάνες απορροής καθώς και σε μικρές αστικές ή ημιαστικές λεκάνες απορροής και περιλαμβάνει μοντέλα που ανήκουν στην κατηγορία των μαθηματικών μοντέλων. Ειδικότερα, το πρόγραμμα θεωρείται ως ένα ολοκληρωμένο μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει βάση δεδομένων, εργαλεία εισαγωγής δεδομένων, μηχανισμούς υπολογισμού και εργαλεία για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων. Η πλοήγηση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του προγράμματος είναι εύκολα διαχειρίσιμη από τον χρήστη.

Το HEC-HMS είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε ο υδρολογικός κύκλος να μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους τμήματα, επιτρέποντας στο χρήστη να επιλέξει τον τρόπο προσομοίωσης για κάθε τμήμα ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από την εμπειρία και τις γνώσεις του χρήστη, το φυσικό σύστημα που μοντελοποιείται και τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στην περιοχή.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την εκπόνηση υδρολογικών μελετών, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα προγράμματα, όπως μελέτες διαθεσιμότητας νερού, μελέτες αστικής αποστράγγισης, μελέτες καθίζησης ποταμών, μελέτες για το σχεδιασμό φραγμάτων υπερχειλιστών και μελέτες για τον έλεγχο πλημμυρών.

Για να ξεκινήσει η προσομοίωση των υδρογραφημάτων απορροής που υπολογίζονται από το HEC-HMS, πρέπει να εκτιμηθούν ορισμένες παράμετροι, οι οποίες ονομάζονται παράμετροι εισόδου. Οι παράμετροι αυτές εκτιμώνται μέσω παρατηρήσεων και μετρήσεων των χαρακτηριστικών ροής εντός της λεκάνης απορροής. Συνήθως χρησιμοποιούνται εμπειρικά παραγόμενες μονάδες υδρογραφημάτων ή τυποποιημένα σχήματα που ορίζονται από μία ή δύο παραμέτρους, όπως ο χρόνος μέχρι την αιχμή. Τέλος, πρέπει να γίνει έλεγχος για να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα είναι συνεπή με τα αναμενόμενα.

II.2 Η υπολογιστική πλατφόρμα HEC-HMS

Το Σύστημα Υδρολογικής Προσομοίωσης (Hydrologic Modeling System) του Κέντρου Υδρολογικής Μηχανικής (Hydrologic Engineering Center) (HEC-HMS) έχει σχεδιαστεί για

να προσομοιώνει τις πλήρεις υδρολογικές διαδικασίες των συστημάτων δενδριτικών λεκανών απορροής. Το λογισμικό περιλαμβάνει πολλές παραδοσιακές διαδικασίες υδρολογικής ανάλυσης, όπως ανάλυση υδάτινων συστημάτων, ανάλυση επεισοδίων βροχής, ανάλυση ποιοτικών χαρακτηριστικών της απορροής και προσομοίωση μεταφοράς φερτών υλικών. Το HEC-HMS περιλαμβάνει επίσης διαδικασίες που είναι απαραίτητες για τη συνεχή προσομοίωση, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής, της τήξης του χιονιού και της υγρασίας του εδάφους. Οι προχωρημένες δυνατότητες παρέχονται επίσης για προσομοίωση απορροής με πλέγμα χρησιμοποιώντας τον γραμμικό κατανεμημένο μετασχηματισμό απορροής (ModClark).

Το λογισμικό διαθέτει ένα πλήρως ολοκληρωμένο περιβάλλον εργασίας που περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων, βοηθητικά προγράμματα εισαγωγής δεδομένων, μηχανισμό υπολογισμού και εργαλεία αναφοράς αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης αποθηκεύονται σε HEC-DSS (Σύστημα Αποθήκευσης Δεδομένων) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλο λογισμικό για μελέτες διαθεσιμότητας νερού, αστικής αποστράγγισης, πρόβλεψης ροής, μελλοντικής επίδρασης αστικοποίησης, μείωσης των ζημιών από πλημμύρες, ρύθμισης πλημμυρών και λειτουργία των υδρολογικών συστημάτων.

II.3 Μέθοδοι προσομοίωσης των απωλειών (Loss Methods)

II.3.1 Μέθοδος των απώλειών ελλείμματος και σταθερού ρυθμού (Deficit and Constant Loss)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί για την εκτίμηση των αλλαγών της υγρασίας το εδαφικό στρώμα σε συνδυασμό με ένα μετεωρολογικό μοντέλο με το οποίο υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Θα πρέπει δηλαδή να επιλέγεται σε συνδυασμό με κάποια μέθοδο σχετική με τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής, ώστε μεταξύ των επεισοδίων βροχής, να είναι δυνατή η απώλεια υγρασίας του εδάφους και ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά την εφαρμογή του μετεωρολογικού μοντέλου.

Οι παράμετροι που πρέπει να εισάγει ο χρήστης είναι το αρχικό έλλειμμα-Initial Deficit (mm), το μέγιστο έλλειμμα- Maximum Deficit (mm), το ποσοστό των απωλειών- Constant Rate (mm/hr) καθώς και το ποσοστό της αδιαπέραστης έκτασης της λεκάνης- Impervious Area (%).

II.3.2 Μέθοδος των εκθετικών απωλειών (Exponential Loss)

Η μέθοδος αυτή είναι εμπειρική και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται χωρίς βαθμονόμηση. Οι παράμετροι που ορίζονται είναι: το αρχικό εύρος- Initial Range (mm), δηλαδή η ποσότητα της συσσωρευμένης διήθησης κατά διάρκεια της αύξησης του ρυθμού απωλειών, η αναλογία του συντελεστή- Coefficient Ratio, ο αρχικός συντελεστής Initial Coefficient ((mm/hr)(1-x)), το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας της λεκάνης- Impervious (%) και ο εκθέτης της βροχόπτωσης- Exponent. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται μόνο για ειδικές περιπτώσεις (πολύ ξηρό έδαφος πριν την καταιγίδα) και δεν είναι κατάλληλη για συνεχή μοντέλα προσομοίωσης.

II.3.3 Μέθοδος των αρχικών σταθερών απωλειών σε μορφή κανάβου (Gridded Deficit Constant Loss)

Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμογή της μεθόδου απωλειών ελλείμματος και σταθερού ρυθμού σε μορφή κανάβου. Ο χρήστης θα πρέπει να ορίσει το αρχείο κανάβου για το αρχικό έλλειμμα, τη μέγιστη αποθήκευση, τον σταθερό ρυθμό διείσδυσης και την αδιαπέρατη επιφάνεια. Στη συνέχεια επιλέγεται ένας λόγος για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους με τον οποίο θα πολλαπλασιαστούν τα δεδομένα του πλέγματος, για να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα στους υπολογισμούς.

Μέθοδος απωλειών αριθμού καμπύλης SCS σε μορφή κανάβου (Gridded SCS curve number loss) είναι η μέθοδος υπολογισμού των απωλειών με την βοήθεια του αριθμού CN σε μορφή κανάβου.

II.3.4 Μέθοδος απωλειών εδαφικής υγρασίας (Soil moisture accounting)

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, το έδαφος χωρίζεται σε επιμέρους στρώσεις. Η κάτω στρώση είναι το τμήμα του εδάφους, όπου οι απώλειες του σε νερό εξαρτώνται από την εξατμισοδιαπνοή και την διήθηση, ενώ η πάνω στρώση αποτελεί το τμήμα που χάνει νερό μόνο με εξατμισοδιαπνοή. Το νερό που συγκρατείται στην πάνω στρώση του εδάφους, αναπαριστά το νερό που βρίσκεται στα κενά του εδάφους, ενώ η κάτω στρώση αναπαριστά το νερό που βρίσκεται προσκολλημένο στους κόκκους του εδάφους. Το νερό διηθείται στο πάνω υπόγειο στρώμα από το έδαφος και από εκεί στο κατώτερο υπόγειο στρώμα, μέσω του οποίου βγαίνει εκτός συστήματος. Το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο σε ένα υπόγειο στρώμα, μπορεί να περάσει πλευρικά έξω από το σύστημα. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μεθόδους που αφορούν στη φυτοκάλυψη και την επιφάνεια του εδάφους.

Τα στοιχεία εισαγωγής που απαιτούνται είναι το κορεσμένο έδαφος- Soil (%), η αρχική ποσότητα υπογείου νερού 1- Groundwater 1 (%), η αρχική ποσότητα υπογείου νερού 2- Groundwater 2 (%), ο μέγιστος ρυθμός διήθησης- Max Infiltration (mm/hr), το ποσοστό αδιαπερατών εδαφών- Impervious (%), η αποθηκευτικότητα εδάφους- Soil Storage (mm), η αποθηκευτικότητα ζώνης τάσης- Tension Storage (mm), ο ρυθμός διήθησης (έδαφος)- Soil Percolation (mm/h), η αποθηκευτικότητα υπογείου στρώματος 1- GW 1 Storage(mm), ο ρυθμός διήθησης υπογείου στρώματος 1- GW 1 Percolation (mm/hr), ο συντελεστής υπογείου στρώματος 1- GW 1 Coefficient (hr), η αποθηκευτικότητα υπογείου στρώματος 2- GW 2 Storage (mm), ο ρυθμός διήθησης υπογείου στρώματος 2- GW 2 Percolation (mm/hr), ο συντελεστής υπογείου στρώματος 2- GW 2 Coefficient (hr).

Μέθοδος απωλειών εδαφικής υγρασίας (Gridded Soil moisture accounting) είναι η μέθοδος υπολογισμού εδαφικής υγρασίας σε μορφή κανάβου.

II.3.5 Μέθοδος απωλειών Smith Parlange

Η μέθοδος χρησιμοποιεί την εξίσωση του Richards η οποία υπολογίζει τη διήθηση στο έδαφος θεωρώντας ότι το μέτωπο διαβροχής μπορεί να αναπαρασταθεί με εκθετική κλιμάκωση της κορεσμένης αγωγιμότητας. Με αυτήν τη γραμμική προσέγγιση, υπολογίζεται με γρήγορο τρόπο η διήθηση ενώ συγχρόνως επιτυγχάνεται μια καλή προσέγγιση του μετώπου διαβροχής. Η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με δεδομένα θερμοκρασίας του νερού για την προσαρμογή της πυκνότητας του νερού, καθώς και του ιξώδους. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν στοιχεία θερμοκρασίας, τότε λαμβάνεται θερμοκρασία ίση με 25°C.

Τα στοιχεία που εισάγονται είναι η αρχική ποσότητα κορεσμένου εδάφους με μονάδες όγκου- Initial Content, η ποσότητα νερού μετά την αποστράγγιση του εδάφους- Residual Content, η μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης νερού- Saturated Content, η απορρόφηση μετώπου διαβροχής- Bubbling Pressure (mm), η κοκκομετρία-Pore Distribution, η υδραυλική αγωγιμότητα- Conductivity (mm/hr) και το ποσοστό αδιαπερατών εδαφών- Impervious (%).

II.4 Μέθοδοι για τον υπολογισμό της διόδευσης (Routing methods)

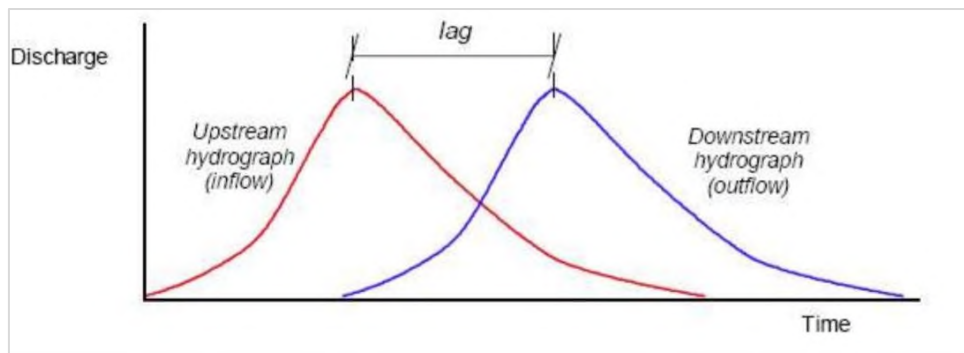
Το τελευταίο βήμα του αλγορίθμου ενός μεμονωμένου εννοιολογικού μοντέλου λεκάνης απορροής είναι η διόδευση του πλημμυρικού κύματος μέσω του κυρίου υδατορρεύματος της λεκάνης απορροής. Γενικά, με την έκφραση διόδευση πλημμύρας εννοείται η μετάδοση πλημμυρικού κύματος σε έναν ανοιχτό αγωγό, δηλαδή σε έναν αγωγό στον οποίο το νερό κινείται με ελεύθερη επιφάνεια. Ειδικότερα, ως διόδευση εννοείται ο υπολογισμός των υδραυλικών στοιχείων της ροής, ήτοι μέση ταχύτητα, παροχή, βάθος ροής σε όλο το υπό μελέτη μήκος του αγωγού συναρτήσει του χρόνου. Οι μέθοδοι υπολογισμού της διόδευσης είναι:

II.4.1 Μέθοδος Υστέρησης (Lag Method)

Η απλούστερη μέθοδος κατά την οποία υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να διανύσει τον αγωγό. Επομένως είναι κατάλληλη μέθοδος κυρίως για μικρά ρέματα. Σε αυτό το μοντέλο το υδρογράφημα εκροής είναι ίδιο με το υδρογράφημα εισροής, μετατιθέμενο κατά ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ροή δεν εξασθενεί, και έτσι το σχήμα δεν αλλάζει. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται ευρέως, και ειδικότερα σε μελέτες αστικών αποστραγγιστικών καναλιών.

$$Q_t = \begin{cases} I_t & t < lag \\ I_{t-lag} & t \geq lag \end{cases}$$

Όπου Q_t η τεταγμένη του υδρογραφήματος εκροής την στιγμή t , I_t η τεταγμένη του υδρογραφήματος εισροής την στιγμή t και lag είναι η χρονική υστέρηση του υδρογραφήματος εισροής με αυτό της εκροής.



Εικόνα 54: Υδρογράφημα εισροής και εκροής

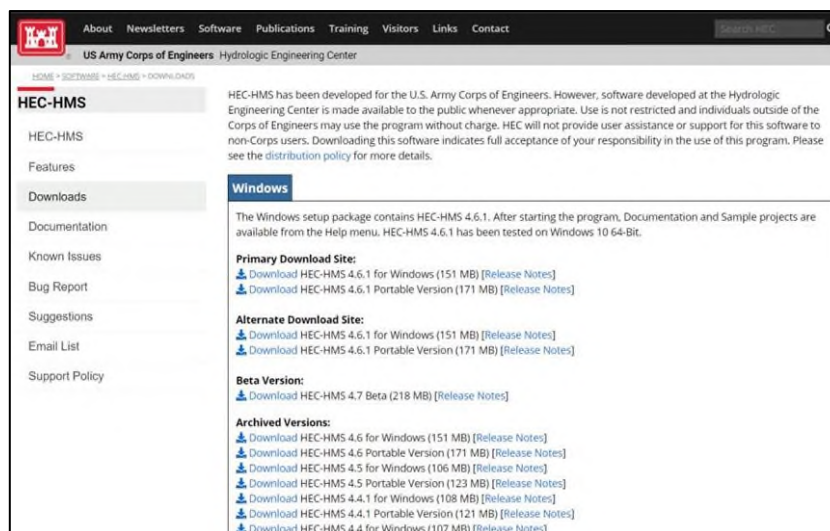
Το μόνο στοιχείο εισαγωγής στο πρόγραμμα είναι ο χρόνος υστέρησης - Lag (min).

II.6 Προσομοίωση HEC – HMS

II.6.1 Περιβάλλον HEC-HMS

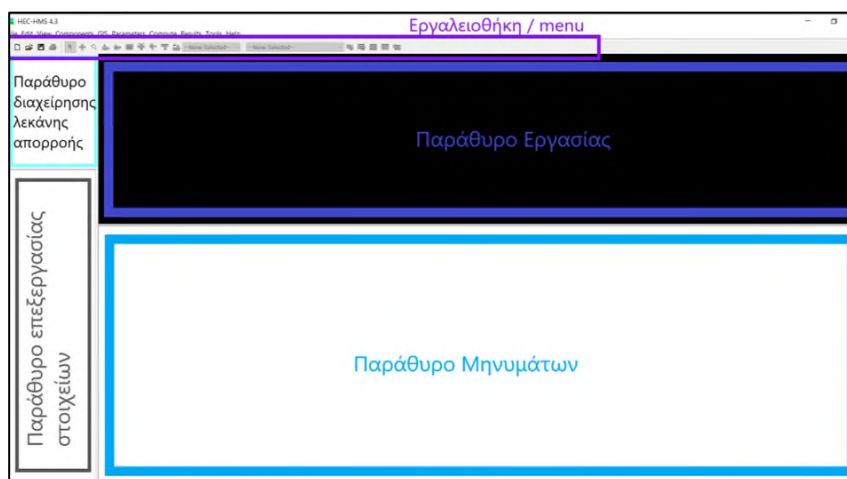
Το πρόγραμμα HEC-HMS διατίθεται δωρεάν στην ιστοσελίδα του Σώματος Μηχανικών Στρατού των ΗΠΑ:
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>

Επιλέγοντας ποια έκδοση επιθυμούμε και σε τι λογισμικό θέλουμε να εγκαταστήσουμε ξεκινάει η διαδικασία εγκατάστασης του προγράμματος, η οποία γίνεται με απλό τρόπο ακολουθώντας τον οδηγό εγκατάστασης.



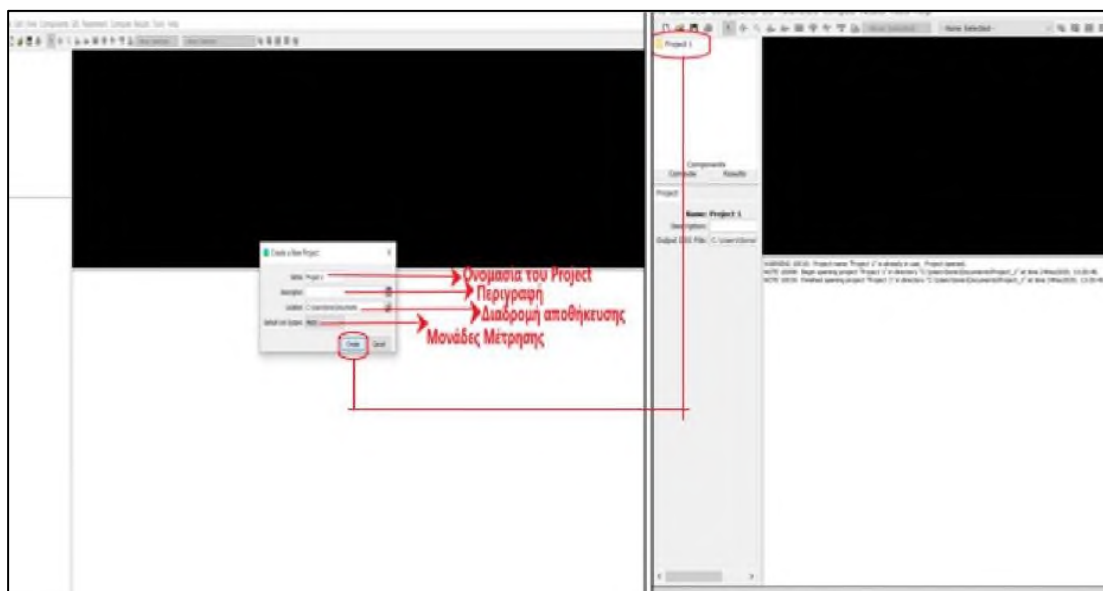
Εικόνα 55: Επιλογή του προγράμματος HEC-HMS

Ανοίγοντας το πρόγραμμα εμφανίζεται η αρχική οθόνη του προγράμματος



Εικόνα 56: Αρχική οθόνη του προγράμματος HEC-HMS

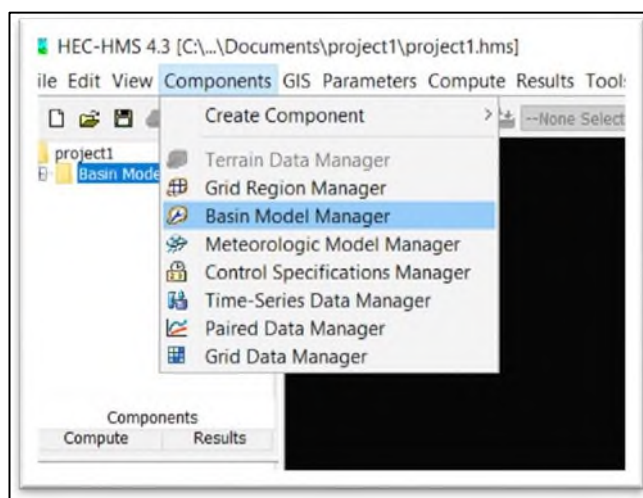
Για να τρέξει το πρόγραμμα πάμε στο menu File και επιλέγουμε New (project). Έχοντας επιλέξει το New εμφανίζεται μια καρτέλα όπου πληκτρολογούμε το όνομα του project, μια περιγραφή (προαιρετικά), επιλέγουμε την διαδρομή (Path) δηλαδή που θα αποθηκευτεί το project μας και μονάδες μέτρησης. Τέλος επιλέγουμε create. Πατώντας την εντολή create, πάνω αριστερά στο παράθυρο διαχείρισης λεκάνης απορροής, εμφανίζεται ένας φάκελος με την ονομασία του project. Οποιαδήποτε αλλαγή κατά την διάρκεια χρήσης του προγράμματος θα εμφανίζεται σε αυτό το παράθυρο από το οποίο μπορούμε να επιλέξουμε κάθε υποενότητα του project που δημιουργείται.



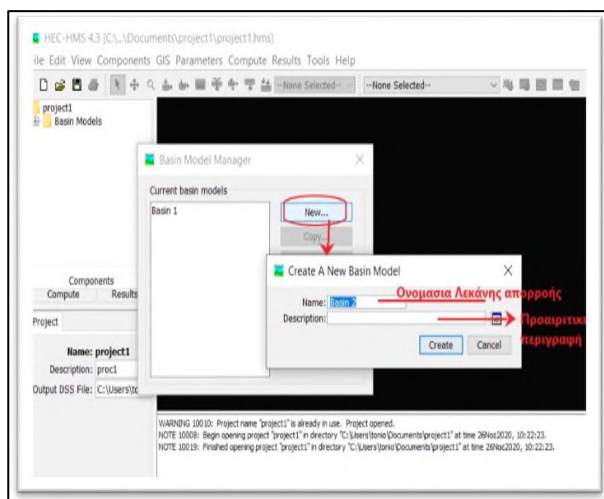
Εικόνα 57: Δημιουργία προσομοίωσης

Π.6.2 Δημιουργία ενός Μοντέλου Λεκάνης

Πηγαίνοντας στο menu Components επιλέγουμε Basin Model Manager για να εισάγουμε το μοντέλο της λεκάνης απορροής.

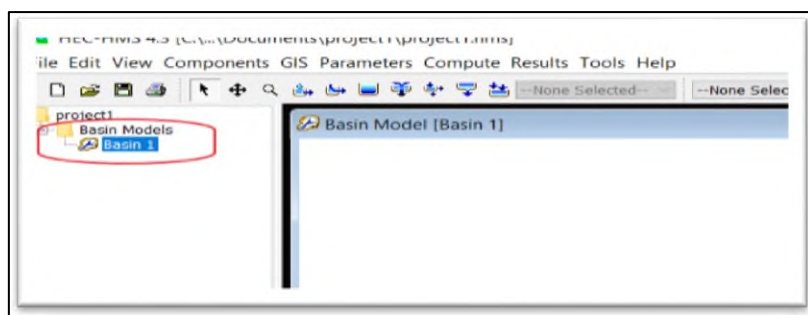


Εικόνα 58: Εισαγωγή μοντέλου της λεκάνης απορροής



Εικόνα 59: Εισαγωγή στοιχείων της λεκάνης απορροής

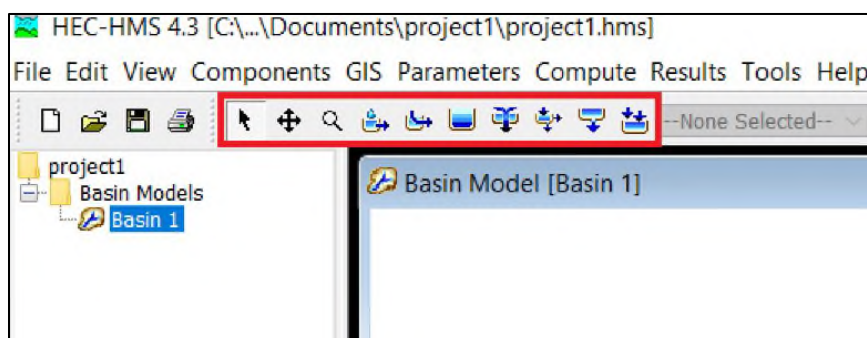
Παρατηρούμε ότι μετά την επιλογή create εμφανίζεται στο παράθυρο διαχείρισης λεκάνης απορροής που βρίσκεται πάνω αριστερά, ένας καινούργιος φάκελος με όνομα Basin Models κάτω από το φάκελο project1 που το δημιουργήσαμε στην αρχή. Στο basin1 γίνεται η διαχείριση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής.



Εικόνα 60: Φάκελος Basin Models

Πατώντας διπλό κλικ στο Basin Models, που δημιουργήθηκε στο παραπάνω βήμα, ενεργοποιείται απευθείας το αντίστοιχο παράθυρο εργασίας για την εισαγωγή του μοντέλου της λεκάνης απορροής.

Με την βοήθεια αυτής της εργαλειοθήκης εύκολα μπορούμε να προσθέσουμε τα στοιχεία εκείνα που δημιουργούν την λεκάνη.



Εικόνα 61: Εργαλειοθήκη

Επεξήγηση στοιχείων:



Υπολεκάνη (Subbasin): Συμβολίζει το φυσικό υδροκρίτη. Έχοντας δεδομένη βροχόπτωση, υπολογίζεται για την κάθε υπολεκάνη η εκροή καθώς αφαιρούνται οι απώλειες, η επιφανειακή απορροή και λαμβάνεται υπόψη η βασική απορροή



Ρέμα (Reach): Συμβολίζει την μεταφορά του νερού στη λεκάνη. Η εισροή στο �έμα μπορεί να προέρχεται από περισσότερα από ένα στοιχεία ανάντη.



Πηγή (Source): Η πηγή χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει με εισροή την λεκάνη απορροής. Η εκροή καθορίζεται από τον χρήστη.



Κόμβος (Junction): Συμβολίζει το σημείο όπου ενώνονται απορροές που προέρχονται από στοιχεία που βρίσκονται ανάντη από την ένωση.



Πηγάδι (Slink): Συμβολίζει τη διέξοδο του φυσικού υδροκρίτη.



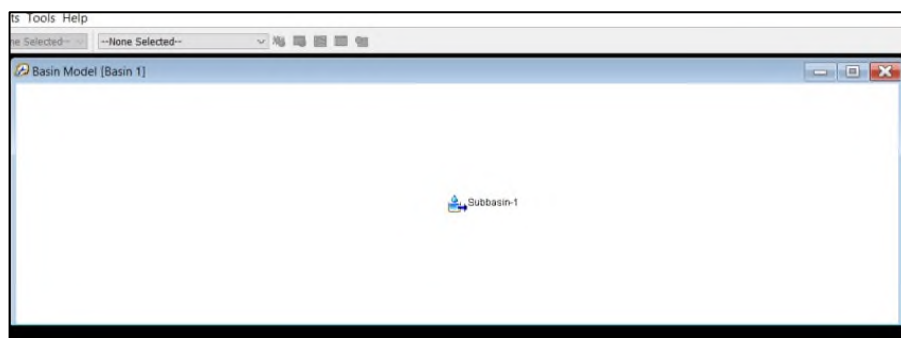
Ταμιευτήρας (Reservoir): Η εισροή του ταμιευτήρα μπορεί να προέλθει από ένα ή περισσότερα στοιχεία ανάντη του.



Εκτροπή (Diversion): Συμβολίζει το σημείο από όπου ποσότητα ροής από το κύριο ρεύμα ακολουθεί διαφορετική πορεία.

Έχοντας ενεργοποιήσει τα εργαλεία αυτά ξεκινάει η εισαγωγή τους στο παράθυρο εργασίας, τα οποία πρέπει να αντιπροσωπεύουν τη λειτουργία της λεκάνης. Για την διευκόλυνση του χρήστη δίνεται η δυνατότητα τοποθέτησης χάρτη ως υπόβαθρο. Η εισαγωγή ενός χάρτη γίνεται ως εξής: Πηγαίνοντας στο menu View επιλέγεται το Background Maps, στο παράθυρο που εμφανίζεται πατάμε το add και με αυτό τον τρόπο μπορούμε να επιλέξουμε το χάρτη που επιθυμούμε.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει τοποθετηθεί μόνο μια υπό λεκάνη.



Εικόνα 62: Τοποθέτηση της υπό λεκάνης

Στην συνέχεια θα πρέπει να δοθούν κάποια χαρακτηριστικά της λεκάνη καθώς και οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν, έτσι ώστε το πρόγραμμα να μπορεί να μας δώσει σωστά αποτελέσματα κατά την εκτέλεση του.

Συγκεκριμένα στην Subbasin-1 συμπληρώνονται 4 καρτέλες, τις οποίες βλέπουμε παρακάτω.

1. Στην πρώτη καρτέλα Subbasin συμπληρώνονται τα εξής:
 - Description: Δίνεται μια περιγραφή της υπό μελέτης λεκάνης.
 - Downstream: Είναι το εργαλείο με το οποίο συνδέεται, το οποίο αν έχει γίνει σωστά εμφανίζεται αυτόματα.
 - Area: Συμπληρώνεται το εμβαδόν της λεκάνης σε km^2 .
 - Loss Method: Ορίζεται η μέθοδος απωλειών.
 - Transform Method: Ορίζεται η μέθοδος μετασχηματισμού.
 - Baseflow Method: Ορίζεται η μέθοδος βασικής απορροής.

Basin Name: lekanh sunorou T=10	
Element Name: Subbasin-1	
Description:	
Downstream:	--None--
*Area (KM2)	12.1
Latitude Degrees:	
Latitude Minutes:	
Latitude Seconds:	
Longitude Degrees:	
Longitude Minutes:	
Longitude Seconds:	
Canopy Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

Εικόνα 63: Συμπλήρωση στοιχείων στην καρτέλα Subbasin

2. Στην καρτέλα Loss συμπληρώνονται:
 - Curve Number: Ο αριθμός CN

Basin Name: lekanh sunorou T=10	
Element Name: Subbasin-1	
Initial Abstraction (MM)	0
*Curve Number:	58.9
*Impervious (%)	0.0

Εικόνα 64: Συμπλήρωση στοιχείων της καρτέλας Loss

3. Στην καρτέλα Transform συμπληρώνονται:
 - Lag Time: αρχική συγκράτηση, η οποία υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$0.6 \times \text{χρόνο συρροής (min)}$$

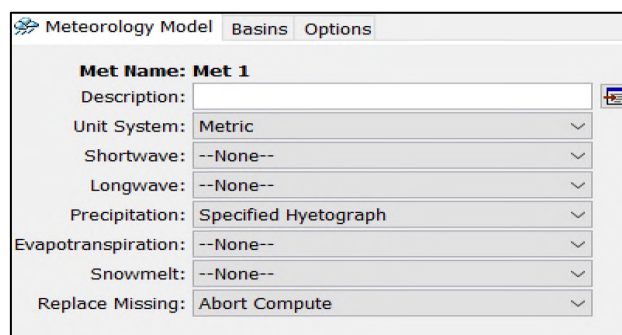
Basin Name: lekanh sunorou T=10	
Element Name: Subbasin-1	
Graph Type:	Standard (PRF 484)
*Lag Time (MIN)	44.4

Εικόνα 65: Συμπλήρωση στοιχείων της καρτέλας Transform

II.6.3 Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Model)

Το μετεωρολογικό μοντέλο αποτελεί κύριο συστατικό στην δημιουργία μιας προσομοίωσης στο HEC-HMS, διότι προετοιμάζει τις μετεωρολογικές συνθήκες των υπολεκανών μιας λεκάνης απορροής κατά την διάρκεια μιας προσομοίωσης.

Επομένως δίνει την δυνατότητα να εισαχθούν δεδομένα για την Βροχόπτωση την Εξατμισοδιαπνοή και την Τήξη χιονιού. Η εισαγωγή αυτών των δεδομένων γίνεται από το menu του HEC-HMS → COMPONENTS → METEOROLOGIC MODEL.



Meteorology Model	
Basins Options	
Met Name:	Met 1
Description:	
Unit System:	Metric
Shortwave:	--None--
Longwave:	--None--
Precipitation:	Specified Hyetograph
Evapotranspiration:	--None--
Snowmelt:	--None--
Replace Missing:	Abort Compute

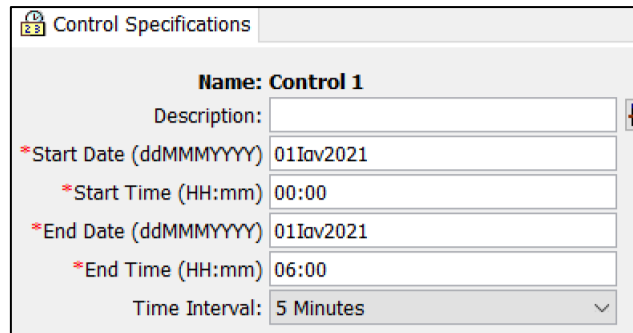
Εικόνα 66: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου

Για την εισαγωγή των βροχομετρικών δεδομένων υπάρχουν επτά διαφορετικοί μέθοδοι, ανάλογα από πού προέρχονται τα βροχομετρικά δεδομένα γίνεται η επιλογή της μεθόδου εισαγωγής στο μοντέλο μας.

Υπάρχει μια περίπτωση όπου η εισαγωγή δεδομένων της βροχόπτωσης δεν είναι απαραίτητη, η οποία είναι όταν το μοντέλο της λεκάνης που επεξεργαζόμαστε δεν έχει καμία υπολεκάνη. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Καθορισμένου Υετογράμματος (Specified Hyetograph method). Με την συγκεκριμένη μέθοδο μπορεί να οριστεί η ακριβής χρονοσειρά που θα χρησιμοποιηθεί ως υετόγραμμα από τις υπολεκάνες.

II.6.4 Χρονικός έλεγχος (Control Specifications)

Με τον χρονικό έλεγχο ελέγχεται το πότε ξεκινάει και πότε τελειώνει η προσομοίωση καθώς και το χρονικό βήμα που θα χρησιμοποιηθεί. Η εφαρμογή του χρονικού ελέγχου γίνεται από το menu → Components → Control Specifications.



Control Specifications

Name: Control 1

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 01Jan2021

*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMYYYY) 01Jan2021

*End Time (HH:mm) 06:00

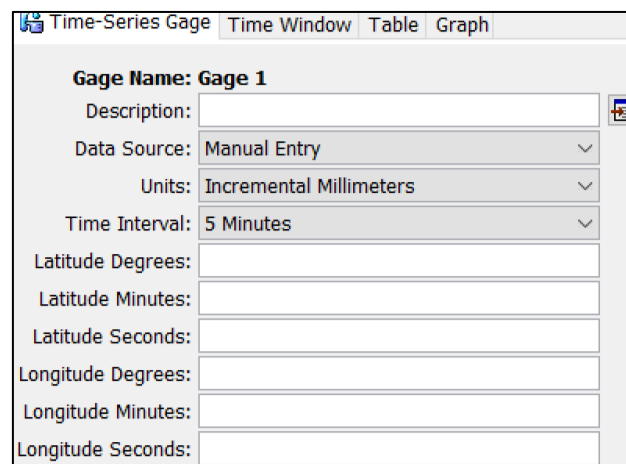
Time Interval: 5 Minutes

Εικόνα 67: Ορισμός χρονικού ελέγχου

II.6.5 Εισαγωγή των παρατηρήσεων της βροχόπτωσης

Η εισαγωγή αυτών των παρατηρήσεων γίνεται σε τρεις καρτέλες.

1. Στην πρώτη καρτέλα (Time-Series Gage) ορίζεται ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων βροχόπτωσης, οι μονάδες μέτρησης και το χρονικό βήμα.



Time-Series Gage Time Window Table Graph

Gage Name: Gage 1

Description:

Data Source: Manual Entry

Units: Incremental Millimeters

Time Interval: 5 Minutes

Latitude Degrees:

Latitude Minutes:

Latitude Seconds:

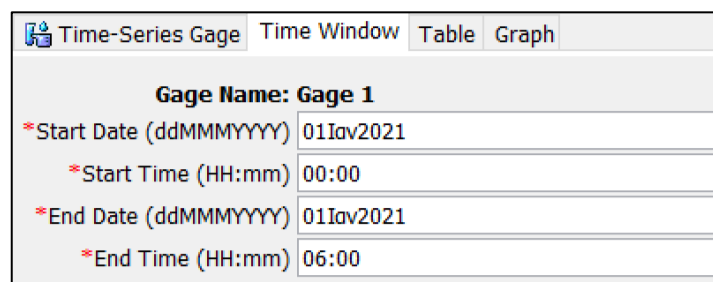
Longitude Degrees:

Longitude Minutes:

Longitude Seconds:

Εικόνα 68: Ορισμός μονάδων μέτρησης και χρονικού βήματος

2. Στην δεύτερη καρτέλα (Time Window) ορίζεται το χρονικό διάστημα των βροχομετρικών δεδομένων.



Time-Series Gage Time Window Table Graph

Gage Name: Gage 1

*Start Date (ddMMYYYY) 01Jan2021

*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMYYYY) 01Jan2021

*End Time (HH:mm) 06:00

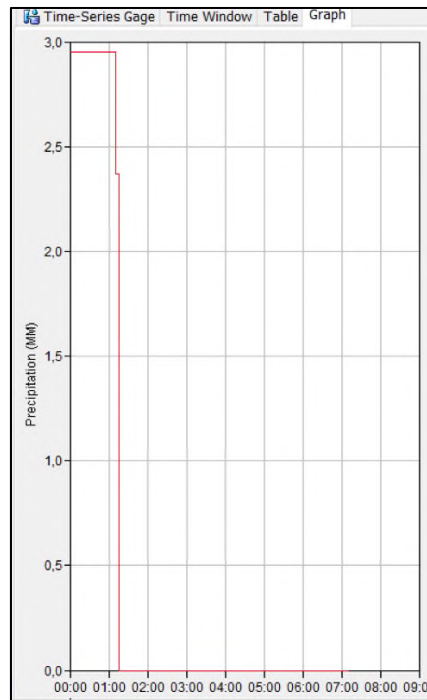
Εικόνα 69: Ορισμός χρονικού διαστήματος των βροχομετρικών δεδομένων

Στην Τρίτη καρτέλα (Table) γίνεται η αναλυτική εισαγωγή των βροχομετρικών δεδομένων, με την ημερομηνία παρατήρησης και την ένταση της βροχόπτωσης.

Time-Series Gage		Time Window	Table	Graph
Time (ddMMYYYY, HH:mm)		Precipitation (MM)		
01Jan2021, 00:00				
01Jan2021, 00:05		2.95		
01Jan2021, 00:10		2.95		
01Jan2021, 00:15		2.95		
01Jan2021, 00:20		2.95		
01Jan2021, 00:25		2.95		
01Jan2021, 00:30		2.95		
01Jan2021, 00:35		2.95		
01Jan2021, 00:40		2.95		
01Jan2021, 00:45		2.95		
01Jan2021, 00:50		2.95		
01Jan2021, 00:55		2.95		
01Jan2021, 01:00		2.95		
01Jan2021, 01:05		2.95		
01Jan2021, 01:10		2.95		
01Jan2021, 01:15		2.37		
01Jan2021, 01:20		0.00		
01Jan2021, 01:25		0.00		
01Jan2021, 01:30		0.00		
01Jan2021, 01:35		0.00		
01Jan2021, 01:40		0.00		
01Jan2021, 01:45		0.00		
01Jan2021, 01:50		0.00		
01Jan2021, 01:55		0.00		
01Jan2021, 02:00		0.00		
01Jan2021, 02:05		0.00		
01Jan2021, 02:10		0.00		
01Jan2021, 02:15		0.00		
01Jan2021, 02:20		0.00		
01Jan2021, 02:25		0.00		

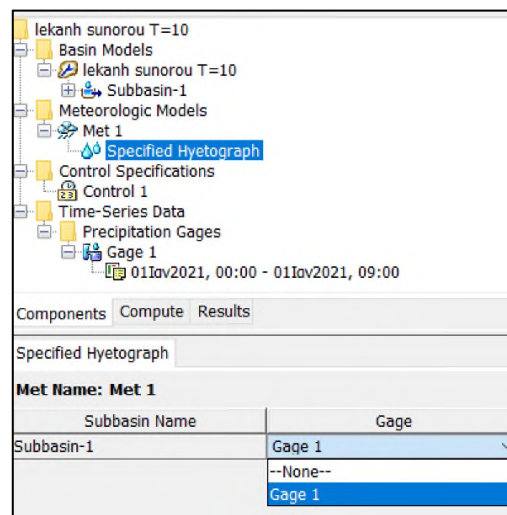
Εικόνα 70: Αναλυτική εισαγωγή μετρήσεων βροχόπτωσης

Στην τέταρτη καρτέλα εμφανίζεται το υετογράφημα της συγκεκριμένης βροχόπτωσης



Εικόνα 71: Υετογράφημα

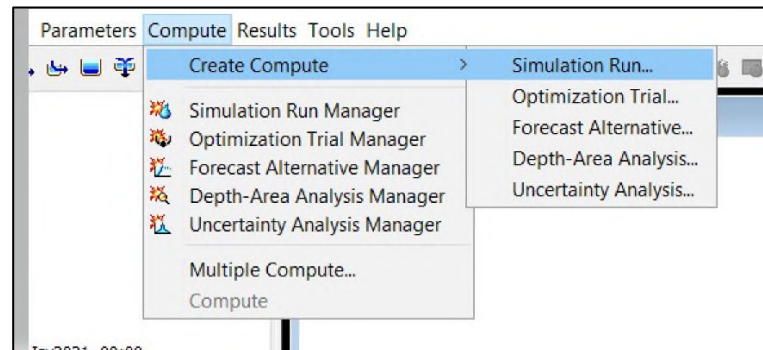
Για να μπορέσει να γίνει σωστά η εκτέλεση της προσομοίωσης θα πρέπει να ορίσουμε στο μετεωρολογικό μοντέλο με ποια δεδομένα θα υπολογιστεί. Αυτή η διαδικασία γίνεται ως εξής:
Meteorologic model → Specified Hyetograph



Εικόνα 72: Ορισμός των δεδομένων στο Μετεωρολογικό μοντέλο

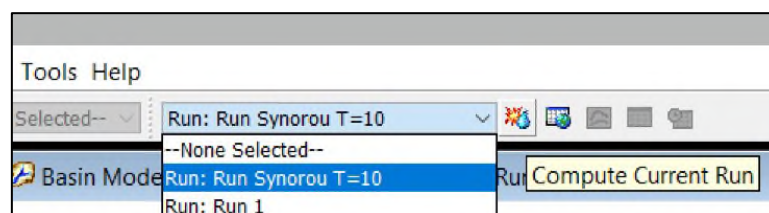
Τέλος η εκτέλεση της προσομοίωσης γίνεται από το menu → Compute → Create Compute → Simulation run

Στην συνέχεια επιλέγεται η εκτέλεση που δημιουργήθηκε παραπάνω και πατώντας το Compute Current Run γίνεται η εκτέλεση της προσομοίωσης.

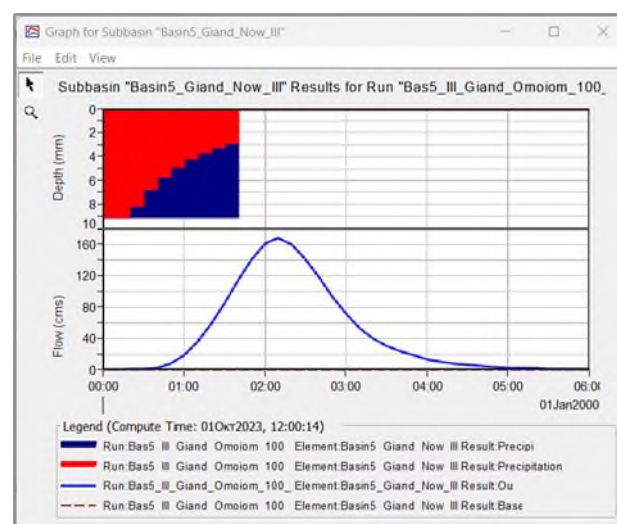


Εικόνα 73: Δημιουργία εκτέλεσης του προγράμματος

Μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης προκύπτει το υετογράφημα-πλημμυρογράφημα βροχόπτωσης – απορροής όπως αυτό παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 74: Εκτέλεση προσομοίωσης



Εικόνα 75: Υετογράφημα - Πλημμυρογράφημα βροχόπτωσης-απορροής

Η κόκκινη περιοχή απεικονίζει τις απώλειες και η μπλε περιοχή την ενεργή βροχόπτωση στην υδρολογική λεκάνη. Στο κάτω μέρος παρουσιάζεται το γράφημα χρόνου – απορροής, στο οποίο το υψηλότερο σημείο του γραφήματος αναφέρεται στη μέγιστη παροχή σε m^3/s .

Επίσης η τιμή της μέγιστης παροχής εμφανίζεται και σε πίνακες μαζί με γενικά στοιχεία της προσομοίωσης.

Παράρτημα III: Περίσσειμα Βροχόπτωσης

III.1 Χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής

Ο χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής μιας λεκάνης απορροής εκφράζει την χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής σε σχέση με τον χρόνο που άρχισε η βροχή στην λεκάνη.

Ο χρόνος συγκέντρωσης ή χρόνος συρροής κανονικά προκύπτει από την ανάλυση ζευγών υετογραμμάτων και υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης. Όταν δεν διατίθενται κατάλληλες μετρήσεις για τον υπολογισμό του χρόνου συγκεντρώσεως τότε χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι.

Οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στην Ελλάδα για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης ή χρόνου συρροής μιας υδρολογικής λεκάνης είναι οι ακόλουθες:

- 1) Μέθοδος Giandotti
- 2) Μέθοδος Kirpich

III.1.1 Υπολογισμός του χρόνου συρροής με τη μέθοδο Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{mean} - H_{min}}} \quad (\text{III.1})$$

A : επιφάνεια σε km^2

L : μέγιστος υδραυλικός δρόμος σε km

H_{mean} : μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

H_{min} : ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (σημείο εξόδου)

T_c : Χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες

III.1.2 Υπολογισμός του χρόνου συρροής με τη μέθοδο Kirpich

$$T_c = 0.0663 \times \left[\frac{L}{\sqrt{J}} \right]^{0.77} \quad (\text{III.2})$$

L : μέγιστος υδραυλικός δρόμος σε km

J : μέση κλίση στη λεκάνη απορροής

T_c : Χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες

III.2 Μέθοδοι εκτίμησης της απορροής

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι από τις οποίες οι πλέον γνωστές είναι οι ακόλουθες (Κωτσόπουλος, 2006, Τσακίρης, 2013, Παπαμιχαήλ, 2001):

- ορθολογιστική μέθοδος,
- μέθοδος του απορροϊκού συντελεστή CN της $S.C.S.$ και
- μέθοδος υδρογραφήματος.

III.2.1 Ορθολογιστική Μέθοδος

Ο υπολογισμός της απορροής με τη μέθοδο αυτή βασίζεται σε μια έκφραση της απορροϊκής παροχής που δίνεται από την παρακάτω σχέση (Shaw 1984, Houghtalen & Hwang 1996, Τσακίρης, 2013, Κωτσόπουλος, 2006) :

$$Q_p = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot E \quad (\text{III.4})$$

όπου:

Q_p = παροχή αιχμής σε m^3/s ,

C = συντελεστής απορροής (0.05 για επίπεδες αμμώδεις επιφάνειες - 0.95 για αδιαπέρατες εμπορικές περιοχές). Τιμές του συντελεστή C για διάφορες χρήσεις γης δίνονται στον Πίνακα 3 (Houghtalen & Hwang 1996, Chow *et al.*, 1988).

i = ένταση της βροχόπτωσης σε mm/h που αναφέρεται στο χρόνο συρροής ή συγκέντρωσης, t_c , και

E = έκταση της λεκάνης σε km^2 .

Πίνακας 23: Ενδεικτικές τιμές του απορροϊκού συντελεστή C , για διάφορες χρήσεις γης. Πηγή: Houghtalen & Hwang 1996, Chow *et al.* 1988, Κωτσόπουλος 2006

Χρήση γης	Απορροϊκός συντελεστής C
Εμπορικές περιοχές	0.70 - 0.95
Κατοικημένες περιοχές	
Μονοκατοικίες	0.30 – 0.50
Διαμερίσματα	0.60 – 0.75
Βιομηχανικές εκτάσεις	0.50 – 0.90
Πάρκα	0.10 – 0.35
Δασωμένες περιοχές	0.05 – 0.25
Κρασπεδωμένες περιοχές	0.85 – 0.95
Καλλιέργειες σε αμμώδες έδαφος	0.10 – 0.25
Καλλιέργειες σε αργιλώδες έδαφος	0.20 – 0.50
Λιβάδια	0.05 – 0.45

Το μέγεθος του απορροϊκού συντελεστή και συνεπώς και της απορροϊκής βροχής εξαρτάται και από την αδιαπερατότητα και την κλίση της επιφάνειας. Αδιαπέρατες επιφάνειες όπως οδοστρώματα ταρατσες και στέγες θα μετατρέψουν σχεδόν το 100% της βροχόπτωσης σε απορροή ανεξάρτητα από την κλίση της επιφάνειας.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του απορροϊκού συντελεστή είναι η ένταση της βροχόπτωσης, η υγρασιακή κατάσταση και το πορώδες του εδάφους και υπεδάφους, η θέση του υδροφόρου ορίζοντα, η κλίση και η συμπίεση του εδάφους, η φυτοκάλυψη και η συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες ή τις φυλλικές επιφάνειες.

Για την ορθή επιλογή του απορροϊκού συντελεστή (C) πρέπει να ληφθεί υπόψη το σύνολο των παραπάνω παραμέτρων (Chow *et al.*, 1988). Αυξημένες τιμές του C συνιστάται να λαμβάνονται για καταιγίδες με μεγάλη περίοδο επαναφοράς (Chow *et al.*, 1988).

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι προτεινόμενες τιμές του απορροϊκού συντελεστή C λαμβάνονται ως άθροισμα των επιμέρους συντελεστών. Αξίζει να αναφερθεί πως οι υπολογισμοί της συνολικής απορροής σε m³/s, υλοποιήθηκε, λαμβάνοντας υπόψη, της χρήσεις για τις οποίες οι επιμέρους επιφάνειες θα λάβουν ανάπτυξη. Όπως είναι φυσικό, ο απορροϊκός συντελεστής CN, εξαρτάται μεταξύ των άλλων και από τον τρόπο χρήσης και διαχείρισης της γης, τις καλλιεργητικές συνθήκες, τη διηθητικότητα του εδάφους και την προηγούμενη υγρασιακή του κατάσταση (Antecedent Moisture Conditions, AMC). Τιμές του απορροϊκού συντελεστή είναι εμφανείς στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 24: Τιμές Απορροϊκού Συντελεστή. Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, 2002

Χαρακτηριστικά επιφάνειας εδάφους		ακραίες	Τιμές συντελεστή απορροής		χαμηλές
#	1		υψηλές	συνήθεις	
2	3	4	5		
1	C _r Ανάγλυφο εδάφους	0,28 - 0,35 επικλινείς, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0,20 - 0,28 λοφώδες, με μέσες κλίσεις 1030%	0,14 - 0,20 κυματώδες με μέσες κλίσεις 510%	0,08 - 0,14 σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
2	C _i Διηθητικότητα εδάφους	0,12 - 0,16 μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0,08 - 0,12 βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0,06 - 0,08 κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλυώδη εδάφη	0,04 - 0,06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο εδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
3	C _v Φυτική κάλυψη εδάφους	0,12 - 0,16 βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0,08-0,12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0,06-0,08 μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0,04 - 0,06 καλή έως άριστη, περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
4	C _s Αποθηκευτικότητα επιφάνειας εδάφους	0,10 - 0,12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα	0,08 - 0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0,06-0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0,04 - 0,06 υψηλή, αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελεμάτων

Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μια χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή C_c:

$$C_c = \frac{\sum C_i \cdot E_i}{\sum E_i} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \varepsilon_i \quad (\text{III.5})$$

όπου:

C_i συντελεστής απορροής,

E_i η επιφάνεια (εμβαδό) και

ε_i η σχετική επιφάνεια (κλάσμα) κάθε περιοχής i.

Ο συντελεστής απορροής, C, μεταβάλλεται για τις διάφορες βροχοπτώσεις - καταιγίδες, και επομένως η χρήση μιας μέσης τιμής του μπορεί να δώσει μόνο γενική εκτίμηση της παροχής αιχμής Q_p (Shaw,1984). Για να είναι πιο αντιπροσωπευτικές οι τιμές του C για τις διάφορες βροχοπτώσεις-καταιγίδες αυτές συσχετίζονται με την περίοδο επαναφοράς, T, του συμβάντος (Chow *et al.*, 1988).

III.2.2 Μέθοδος Απορροϊκού Συντελεστή CN (Curve Number) της Soil Conservation Service (S.C.S.)

Η μέθοδος διακρίνεται για την απλότητα και ικανοποιητική αξιοπιστία της. Για την εφαρμογή της συνήθως απαιτείται η χρήση μιας μόνο παραμέτρου του αδιάστατου απορροϊκού συντελεστή CN. Με βάση τη μέθοδο του απορροϊκού συντελεστή οι εξισώσεις που καθορίζουν το ύψος της απορροϊκής βροχής είναι οι ακόλουθες:

$$Q = \frac{(R-I_a)^2}{R-I_a+S} \quad \text{για } R > I_a \quad (\text{III.6})$$

$$Q = 0 \quad \text{για } R < I_a \quad (\text{III.7})$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{III.8})$$

όπου:

Q = η απορροϊκή βροχή (mm),

R = το ύψος της βροχόπτωσης (mm),

S = η αποθηκευτικότητα του εδάφους (mm),

I_a = η αρχική συγκράτηση υγρασίας στο έδαφος (mm) και

CN = ο απορροϊκός συντελεστής ($0 < CN < 100$).

Σε περίπτωση που το I_a δεν είναι γνωστό μπορεί να προσεγγιστεί από την ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (\text{III.9})$$

Όπως είναι φυσικό ο απορροϊκός συντελεστής (CN) εξαρτάται μεταξύ των άλλων και από τον τρόπο χρήσης και διαχείρισης της γης, τις καλλιεργητικές συνθήκες, τη διηθητικότητα του εδάφους και την προηγούμενη υγρασιακή του κατάσταση (antecedent moisture conditions, AMC). Τιμές του απορροϊκού συντελεστή δίνονται στον παρακάτω Πίνακα. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε προηγούμενη υγρασιακή του κατάσταση (AMC) τύπου II και θα πρέπει να τροποποιούνται για την υγρασιακή κατάσταση I και III σύμφωνα με τον παρακάτω Πίνακα (S.C.S., 1972).

Πίνακας 25: Ενδεικτικές τιμές απορροϊκού συντελεστή CN της S.C.S. για προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση τύπου II (AMC II). Πηγή: Chow *et al.*, 1988

χρήση γης	διαχείριση ή πρακτική *1	Υδρολογικές συνθήκες *2	τύπος εδάφους *3			
			A	B	C	D
χέρσο έδαφος γραμμικές καλλιέργειες	ευθείες γραμμές	φτωχές	77	86	91	94
	ευθείες γραμμές	φτωχές	72	81	88	91
		καλές	67	78	85	89
	ισοκλινείς	φτωχές	70	79	81	88
		καλές	65	75	82	86
	αναβαθμοί	φτωχές	66	74	80	92
		καλές	62	71	78	81
	ευθείες γραμμές	φτωχές	65	76	84	88
χαμηλά δημητριακά	ευθείες γραμμές	καλές	63	75	83	87
		φτωχές	63	74	82	85
	ισοκλινείς	καλές	61	73	81	84
		φτωχές	61	72	79	82
	αναβαθμοί	καλές	59	70	78	81
		φτωχές	66	77	85	89
	ισοκλινείς	καλές	58	72	81	85
		φτωχές	64	75	83	85
καλλιέργειες ψυχανθών ή σε εναλλαγή με λιβάδια	ισοκλινείς	καλές	55	69	78	83
		φτωχές	63	73	80	83
	αναβαθμοί	καλές	51	67	76	80
		φτωχές	68	79	86	89
	ισοκλινείς	μέτριες	49	69	79	84
		καλές	39	61	74	80
		φτωχές	47	67	81	88
		μέτριες	25	59	75	83
		καλές	6	35	70	79
		φτωχές	30	58	71	78
λιβάδια		καλές	45	66	77	83
		φτωχές	36	60	73	79
		μέτριες	25	55	70	77
		καλές	59	74	82	86
αγροκτήματα		καλές	72	74	87	89
		φτωχές	74	84	90	92
δρόμοι (χωμα/μοι) (άσφαλτος)		καλές	72	74	87	89
		φτωχές	74	84	90	92

*1 Ευθείες γραμμές = οι γραμμές είναι κάθετα στην κλίση της επιφάνειας του εδάφους

*2 Ουσιαστικά εξαρτώνται από την πυκνότητα της βλάστησης
Για λιβάδια : φτωχές = υπερβοσκούμενες, φτωχή βλάστηση
καλές = πυκνή βλάστηση, μη βοσκούμενες
Για γραμμικές φτωχές = αρχές βλαστικής περιόδου, φτωχή βλάστηση
καλλιέργειες : καλές = πλήρης κάλυψη, πλούσια βλάστηση

*3 Ο διαχωρισμός γίνεται συνήθως βάσει της τελικής διηθητικότητας :

τύπος A	τελική διηθητικότητα	7.6 - 11.4 mm/h
.. B	..	3.8 - 7.6 ..
.. C	..	1.3 - 3.8 ..
.. D	..	0.0 - 1.3 ..

Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες από μια χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη τότε όπως και στην περίπτωση του απορροϊκού συντελεστή C θα πρέπει και για τον CN να λαμβάνεται υπόψη η σταθμισμένη τιμή του απορροϊκού συντελεστή CN_c:

$$CN_c = \frac{\sum CN_i \cdot E_i}{\sum E_i} = \sum_{i=1}^n CN_i \cdot \varepsilon_i \quad (\text{III.10})$$

όπου:

CN_i συντελεστής απορροής,

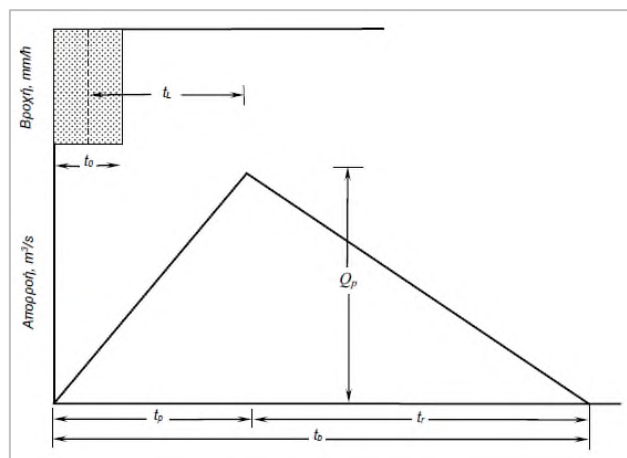
E_i η επιφάνεια (εμβαδό) και

e_i η σχετική επιφάνεια (κλάσμα) κάθε περιοχής i .

III.2.3 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα της S.C.S.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία (ταυτόχρονες παρατηρήσεις βροχής και απορροής) για τη διερεύνηση του μοναδιαίου υδρογραφήματος μιας υδρολογικής λεκάνης γίνεται η χρήση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων που συνδέουν ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης με παραμέτρους του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Μια τέτοια μεθοδολογία αποτελεί το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της S.C.S. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων των Η.Π.Α. (U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service) και βασίζεται στην παραδοχή ότι ένα υδρογράφημα μπορεί να παρασταθεί από ένα τρίγωνο όπως αυτό του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 5: Τριγωνικό Υδρογράφημα της S.C.S.

Από το παραπάνω Σχήματα, φαίνεται ότι η επιφάνεια του τριγώνου αντιπροσωπεύει τον όγκο της άμεσης απορροής, V_r , που μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$V_r = \frac{1}{2} \cdot Q_p \cdot (t_p + t_r) \quad (\text{III.11})$$

Όπου:

Q_p = η αιχμή της απορροής του μοναδιαίου υδρογραφήματος,

t_p = ο χρόνος αιχμής και

t_r = ο χρόνος αποχώρησης.

Ενώ:

$$t_b = t_p + t_r \quad (\text{III.12})$$

είναι η χρονική βάση του υδρογραφήματος. Ανάμεσα στο χρόνο αποχώρησης t_r και στο χρόνο αιχμής t_p υπάρχει η σχέση:

$$t_r = 1.67 \cdot t_p \quad (\text{III.13})$$

Καθώς η περιοχή η περικλειώμενη εντός του τριγώνου αναφέρεται στην άμεση απορροή, τότε για κάθε 1 cm (10 mm) βροχόπτωσης η αιχμή Q_p ισούται με:

$$Q_p = \frac{C \cdot E}{t_p} \quad (\text{III.14})$$

Όπου:

Q_p = η αιχμή της απορροής του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε m³/s,

C = 2.08 (συντελεστής για το συγκεκριμένο σύστημα μονάδων),

E = η έκταση της λεκάνης σε km² και

t_p = ο χρόνος αιχμής σε h.

Ο χρόνος αιχμής, t_p , με βάση το παραπάνω τριγωνικό σχήμα μπορεί να βρεθεί από τη σχέση:

$$t_p = t_L + \frac{t_o}{2} \quad (\text{III.15})$$

όπου:

t_p = ο χρόνος αιχμής (h),

t_L = ο χρόνος καθυστέρησης (h), και

t_o = η διάρκεια της απορροϊκής βροχής (h).

Η S.C.S. συνιστά η διάρκεια της βροχόπτωσης t_o να ισούται με:

$$t_o = 0.133 \cdot t_c \quad (\text{III.16})$$

όπου:

t_c ο χρόνος συγκέντρωσης που αποτελεί χαρακτηριστικό της υδρολογικής λεκάνης και παραμένει σχετικά σταθερός.

Ο χρόνος καθυστέρησης, t_L , είναι ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στο κέντρο μάζας της απορροϊκής βροχής και την αιχμή του υδρογραφήματος και σχετίζεται με το χρόνο συγκέντρωσης με τη σχέση:

$$t_L = 0.60 \cdot t_c \quad (\text{III.17})$$

Έτσι ο χρόνος αιχμής, t_p , ισούται με:

$$t_p = 0.67 \cdot t_c \quad (\text{III.18})$$

Ο χρόνος συγκέντρωσης, t_c , μπορεί να υπολογιστεί από διάφορες εμπειρικές σχέσεις όπως αυτή του Giandotti. Άλλες ανάλογες εξισώσεις για το χρόνο συγκέντρωσης περιγράφονται από τους Chow *et al.*, 1988 και Wanielista *et al.*, 1997. Η παραδοχή ότι το σχήμα του υδρογραφήματος είναι τριγωνικό εκφράζει μια μέση και απλοποιητική κατάσταση και όχι την πραγματική κατανομή της απορροής. Για το λόγο αυτό η S.C.S. κατασκεύασε το μοναδιαίο υδρογράφημα αφού ανέλυσε μεγάλο αριθμό πραγματικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων διάφορων υδρολογικών λεκανών ποικίλου μεγέθους.