



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ -
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς
λεκανών απορροής της Βόρειας Εύβοιας: Η περίπτωση του
Αχλαδορέματος»**



Χαλαστάνη Μαγδαλινή

**Επιβλέπων: Ναλμπάντης Ιωάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής**

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract.....	vii
Κατάλογος συμβόλων.....	viii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1. Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.....	1
1.2. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	1
2 Η επίδραση των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών απορροής.....	2
2.1. Γενικά.....	2
2.2. Επίδραση στο έδαφος.....	2
2.3. Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες.....	5
2.4. Επίδραση στην πλημμυρική απορροή.....	6
3 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού σχεδιασμού πριν και μετά την πυρκαγιά.....	8
3.1. Γενικά.....	8
3.2. Όμβριες καμπύλες.....	9
3.2.1 Γενικά 9	
3.2.2 Μαθηματικές εκφράσεις σχέσης όμβριων καμπυλών.....	10
3.2.3 Συνάρτηση κατανομής.....	12
3.2.4 Τελική εξίσωση όμβριων καμπυλών.....	14
3.3. Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού.....	14
3.4. Περίσσειμα βροχόπτωσης.....	16
3.4.1 Γενικά 16	
3.4.2 Η Μέθοδος SCS.....	18
3.5. Υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος.....	22
3.5.1 Γενικά 22	
3.5.2 Συνιστώσες υδρογραφικού πλημμυρικού γεγονότος.....	24
3.6. Μοναδιαίο υδρογράφημα.....	26
3.6.1 Γενικά 26	
3.6.2 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS.....	27
3.6.3 Υδρογράφημα άμεσης απορροής.....	29
3.6.4 Μέθοδοι εκτίμησης της παροχής.....	29

4 Το Αχλαδόρεμα στη Βόρεια Εύβοια.....	31
4.1. Γενικά.....	31
4.2. Το Αχλαδόρεμα.....	31
4.3. Η πυρκαγιά του 2021.....	33
5 Εφαρμογή της μεθοδολογίας - Αποτελέσματα.....	35
5.1. Γενικά.....	35
5.2. Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής.....	35
5.3. Επιλογή όμβριας καμπύλης.....	39
5.4. Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού.....	39
5.5. Υπολογισμός περισσεύματος βροχόπτωσης.....	43
5.6. Προσδιορισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος.....	47
5.7. Προσδιορισμός παροχής και υπολογισμός CN από μετρήσεις πεδίου, μετά την πυρκαγιά.....	48
5.8. Προσδιορισμός Υδρογραφήματος Άμεσης Απορροής με βάση το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS.....	54
5.9. Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την πυρκαγιά.....	57
6 Συμπεράσματα.....	60
Αναφορές.....	63
Στην ελληνική γλώσσα.....	63
Ξενόγλωσσες.....	63
Από Διαδίκτυο.....	64
Παράρτημα Α: Υετογράμματα Σχεδιασμού.....	65
Παράρτημα Β: Υδρογραφήματα Σχεδιασμού.....	72
Παράρτημα Γ: Φωτογραφικό υλικό από τη λεκάνη.....	77
Παράρτημα Δ: Αεροφωτογραφίες καμένων εκτάσεων.....	79

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση και παράδοση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας κλείνει ένας πολύ σημαντικός κύκλος φοίτησης στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ύστερα από πέντε έτη συνεχούς μάθησης και αξιολόγησης, αποκόμισα σημαντικά εφόδια που θέτουν γερά θεμέλια για ένα αισιόδοξο και ελπιδοφόρο εργασιακό μέλλον.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας κ. Ιωάννη Ναλμπάντη, ο οποίος συνέβαλε καθοριστικά σε αυτήν, με την καθοδήγηση και τις γνώσεις του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και τον κ. Χαρίλαο Βαγγέλη για τη βοήθεια του στη Διπλωματική Εργασία με την καθοδήγησή του και την απόδοση φύλλων χαρτών της περιοχής μελέτης.

Θερμές ευχαριστίες στους κατοίκους και πληγέντες της καμμένης περιοχής της Βόρειας Εύβοιας που μελετάται στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία και ιδιαίτερα στον κ. Νικόλαο Πετράκο για το χρόνο του και τη συμβολή του στις μετρήσεις πεδίου, καθώς και με την παροχή πληροφοριών που βοήθησαν στην επεξεργασία των δεδομένων και, τελικά, στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Ολοκληρώνοντας, το μεγαλύτερο ευχαριστώ πάει στους γονείς και τα αδέρφια μου, οι οποίοι με στήριξαν όλα τα χρόνια φοίτησής μου και είναι ο κύριος παράγοντας για την εξέλιξη μου ως άνθρωπο και ως επαγγελματία.

Χαλαστάνη Μαγδαλινή

Οκτώβριος 2022

Περίληψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, μελετάται η επίδραση των πυρκαγιών της Βόρειας Εύβοιας, στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής και συγκεκριμένα, της λεκάνης του Αχλαδορέματος, που περνά από τα χωριά Κοτσικιά και Αχλάδι. Η ενασχόληση με τη επιλεγείσα περιοχή, δημιουργεί ανάμεικτα συναισθήματα, καθότι αυτή είναι τόπος στον οποίο έχω περάσει ένα σημαντικό κομμάτι της ζωής μου. Η καταστροφική πυρκαγιά που ξέσπασε τον Αύγουστο του 2021 στην Εύβοια, έκαψε χιλιάδες στρέμματα (508.800 στρέμματα) παρθένου δάσους που αφορούν το 1/3 της έκτασης-ολόκληρου του νησιού. Μελετάται η επίδραση της πυρκαγιάς στην πλημμυρική παροχή, πολύ κοντά στο στόμιο εξόδου της λεκάνης που επιλέχτηκε. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιείται μια καταξιωμένη μεθοδολογία για τον καθορισμό της πλημμυρικής παροχής της λεκάνης πριν και μετά την πυρκαγιά.

Πρώτος και κύριος παράγοντας μιας πλημμύρας σε καμμένη έκταση, είναι η απώλεια φυτοκάλυψης του εδάφους. Αυτό προκαλεί μείωση της κατακράτησης και αύξηση του περισεύματος της βροχόπτωσης κάτι που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγαλύτερης πλημμυρικής παροχής σε σχέση με εκείνη πριν την πυρκαγιά. Παράλληλα, η πυρκαγιά προκαλεί αύξηση της διάβρωσης του εδάφους, γεγονός που προκαλεί επίσης αύξηση πλημμυρικής παροχής. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για πριν την πυρκαγιά, χρησιμοποιήθηκε και για φαινόμενα μετά την πυρκαγιά ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα για τις πλημμυρικές παροχές.

Το πρώτο στάδιο της γενικής μεθοδολογίας, αφορά την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών για περίοδο επαναφοράς 50 έτη. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες όμβριες καμπύλες. Η περίοδος επαναφοράς που επιλέχτηκε για την πραγματοποίηση των βασικών υπολογισμών και για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, είναι τα 50 έτη, η οποία αποτελεί τη συνηθέστερη επιλογή σε πολλές μελέτες υδρολογίας. Βάσει των όμβριων καμπυλών, εξήχθησαν τα υετογράμματα σχεδιασμού, με χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών. Εν συνεχεία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SCS, προκειμένου να μετατραπούν τα ύψη βροχόπτωσης σε περισεύματα βροχόπτωσης. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το αδιάστατο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα κατά SCS, το οποίο εκτιμήθηκε βάσει των γεωμετρικών και γεωμορφολογικών στοιχείων της λεκάνης. Τελικά, εξάγονται τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής για πριν και μετά την πυρκαγιά και γίνονται συγκρίσεις αυτών.

Εκτός από τους υπολογισμούς που έγιναν, πραγματοποιήθηκε και μέτρηση πεδίου. Πραγματοποιήθηκε αναγνώριση της περιοχής και αυτή περπατήθηκε κατά μήκος του ρέματος. Εν συνεχεία, κοντά στην απόληξη του Αχλαδορέματος, έγιναν κάποιες μετρήσεις. Οι μετρήσεις αφορούσαν βάθος και πλάτος ποταμού καθώς και ταχύτητα ροής. Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκε το ύψος της μέγιστης στάθμης εκείνη την στιγμή (16 Απριλίου) και προσδιορίστηκε από μαρτυρίες κατοίκων και το ύψος της στάθμης κατά το πλημμυρικό γεγονός στις 2 Απριλίου. Παράλληλα, μετρήθηκε και το πλάτος του ποταμού και λήφθηκε και μια μέτρηση προσεγγιστικά, σχετικά για την ταχύτητα ροής του ρέματος. Όλα αυτά σε συνδυασμό και με άλλα δεδομένα, εισήχθησαν στην εξίσωση του Manning, από την οποία εξήχθησαν συμπεράσματα για τα πλημμυρικά γεγονότα μετά την πυρκαγιά όπως αυτά αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια. Ο σκοπός αυτής της μέτρησης πεδίου, ήταν η όσο το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούσαν στη λεκάνη (μετά την πυρκαγιά) σε πλημμυρικό γεγονός. Προσδιορίστηκε η παροχή αιχμής μετά την πυρκαγιά, η οποία συγκρίθηκε με την παροχή αιχμής πριν την πυρκαγιά.

Η ανάλυση, επιλέχθηκε να γίνει με αδρομερή προσέγγιση, μιας και όλη η έκταση της συγκεκριμένης λεκάνης είναι καμένη, οπότε θεωρήθηκε ως μια χωρική ενότητα, χωρίς διαφορές χαρακτηριστικών σε διάφορες εκτάσεις. Η υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό Excel.

Όσον αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Αχλαδορέματος, η ανάλυση και η εξαγωγή πληροφοριών, έγινε μέσω του λογισμικού QGIS. Σε αυτό, αφού έγινε γεωαναφορά όλων των απαραίτητων χαρτών κλίμακας 1:50000, εξήχθησαν πληροφορίες όπως: το υδρογραφικό δίκτυο, οι ισοϋψείς, οι λεκάνες απορροής, υδροκρίτες, αποτυπώσεις καμμένων εκτάσεων, και μετρήσεις των απαραίτητων μηκών και εμβαδών.

Βάσει των αποτελεσμάτων, η επίδραση της καταστροφικής πυρκαγιάς στη Βόρεια Εύβοια, επέδρασε σημαντικά στο πλημμυρικό καθεστώς της λεκάνης που μελετάται. Όπως προέκυψε από τις συγκρίσεις που έγιναν, η πλημμυρική παροχή μετά την πυρκαγιά, αυξάνεται κατά 77% σε σχέση με αυτή που υπολογίστηκε πριν την πυρκαγιά στην ίδια λεκάνη απορροής.

Οι παραπάνω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν και για άλλες περιόδους επαναφοράς ($T=5-10000$) και το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η ποσοστιαία αύξηση της πλημμυρικής αιχμής είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη με την περίοδο επαναφοράς.

Abstract

The purpose of this study is the evaluation of the devastating effect that forest fires have with regard to the hydrological behaviour of a river basin. Motivated by the recent fires in North Evia in August 2021, we investigate the torrent of Achladorema, which is located in Kotsikias, North Evia, Greece. The devastating fire, burned thousands of stremmas (508.800) of virgin forest, which was covering approximately one third of the entire island. For this purpose, a widely accepted methodology is being used (after some modifications) for defining the basin's flood peak discharge before and after the fires.

The first and main factor for a flood in a burned area is the loss of vegetation land cover. This causes the reduction of retention and the increase of excess rainfall depths, higher flood discharge compared with those of the period before the fire. At the same time, the fire causes an increase in soil erosion, which also leads to a further increase in flood peak discharge.

The first stage of the general methodology, concerns the construction of the IDF curves for return period $T = 50$ years. Second, rainfall depths are transformed into excess rainfall depths via the SCS method. Third, a unit hydrograph is constructed based on the dimensionless unit hydrograph proposed by SCS. The necessary morphometric information of the basin results from processing geographical information within GIS. Fourth, the direct runoff hydrograph is derived and the total discharge hydrograph is obtained by assuming negligible baseflow which is realistic for the test basin. The parameter known as the curve number (CN) plays a crucial role in the above modelling process. Particular attention is paid to the antecedent moisture condition (AMC) and, where needed, CN is modified. For the lumped approach, the above classical methodology was applied as follows: the flood peak discharge is estimated for the design event with a return period $T = 50$ years before the fire with time step 15' and 10'. In addition, the flood stage was measured for a significant rainfall event after the fire (in April 2022) and the flood peak discharge at the outlet after the fire was estimated based on the Manning formula. The curve number (CN) value was taken by the study of Lymberopoulos (2008).

The study basin was considered as a single homogenous spatial entity, since the entire area of the specific basin was burned and differences in characteristics for various sub-areas had no meaning. Calculations were performed in Excel software.

For the geomorphological characteristics of the Achladorema basin, the analysis and extraction of spatial information was done within QGIS software. The first step was georeferencing all the necessary maps at a scale of 1:50000 and the extraction of information such as: the hydrographic network, contour lines and polygons of burned areas.

Based on the results, the impact of the devastating fire in North Evia, significantly affected the hydrological behaviour of the study river basin. As it emerged from the comparisons made, the flood discharge after the fires increases by 18% compared to that calculated before the fires.

The above calculations for $T = 50$ years were also carried out for the remaining return periods that we mentioned previously and the resulting conclusion is that the percentage of increase of the flood peak is roughly inversely proportional to the return period.

Finally, all the tested cases are compared to each other.

Κατάλογος συμβόλων

i	Ένταση βροχόπτωσης
h	Ύψος βροχόπτωσης
d	Διάρκεια βροχόπτωσης
T	Περίοδος επαναφοράς
a, n, b, c	Σταθερές έντασης
ω, θ, η	Παράμετροι όμβριων καμπυλών
κ, λ, ψ	Αριθμητικές παράμετροι όμβριων καμπυλών
f_m	Μέση ταχύτητα διήθησης
C	Συντελεστής απορροής
h_R	Όγκος άμεσης απορροής
h_t	Όγκος βροχόπτωσης
CN	Αριθμός καμπύλης
Q	Παροχή
Q_p	Παροχή αιχμής
t_c	Χρόνος συγκέντρωσης
A	Εμβαδόν λεκάνης
L	Μήκος υδατορεύματος
S_m	Μέση κλίση λεκάνης
T_p	Χρόνος ανόδου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος
t_p	Χρόνος υστέρησης
t_r	Διάρκεια του περισσεύματος της βροχόπτωσης
R	Υδραυλική ακτίνα
S_f	Κλίση γραμμής ενέργειας
H	Υψόμετρο
n	Συντελεστής Manning
S_0	Κλίση πυθμένα
c	Ταχύτητα διάδοσης κύματος
q_0	Παροχή ανά μονάδα μήκους από το υδρογράφημα εισροής
z_m	Μέσο υψόμετρο λεκάνης
V	Όγκος
x	Βάρος συμμετοχής της εισροής στη διόδευση με μέθοδο Maskingum
P	Βρεχόμενη περίμετρος
A_w	Εμβαδόν υγρής διατομής
K	Μέσος χρόνος διαδρομής αιχμής πλημμύρας διαμέσου τμήματος υδατορεύματος
b	Πλάτος πυθμένα
y	Στάθμη νερού
I	Υδρογράφημα εισροής στη διόδευση με μέθοδο Maskingum
U	Τεταγμένες Μοναδιαίου Υδρογραφήματος
C_u	Συντελεστής αδιάστατου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά SCS
S_x	Τυπική απόκλιση

1 Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη σχετικά με την επίδραση των πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς των λεκανών απορροής και συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Αχλαδορέματος στη Βόρεια Εύβοια. Αναλύεται η επίδραση της πυρκαγιάς του Αυγούστου του 2021 που έπληξε τη Βόρεια Εύβοια και κήκων πολύ μεγάλες εκτάσεις, κυρίως δασικές.

Η μελέτη βασίζεται στις πλημμυρικές αιχμές πριν και μετά την πυρκαγιά, οι οποίες συγκρίνονται και εξάγουν τα ζητούμενα αποτελέσματα και συμπεράσματα. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, είναι η πλέον ενδεδειγμένη για τέτοιες μελέτες, αυτή της SCS, αλλά σε πολλές περιπτώσεις, ο υπολογισμός κάποιων παραμέτρων και μεγεθών ήταν καθαρά ποιοτικός και προσεγγιστικός, καθώς υπήρχε έλλειψη δεδομένων και δεν επιτρεπόταν αυτά να μετρηθούν με ακρίβεια. Προσεγγιστική ήταν επίσης και η μέτρηση της παροχής πεδίου που πραγματοποιήθηκε μετά από ένα ισχυρό γεγονός βροχόπτωσης, καθώς η εξίσωση του Manning που χρησιμοποιήθηκε, βασίζεται περισσότερο σε παραδοχές παρά σε ακριβή στοιχεία.

Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν αδρομερής, η οποία θεωρεί τη λεκάνη ως μία ενότητα, χωρίς διαφορές στα χαρακτηριστικά της σε όλη της την έκταση.

1.2. Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η Διπλωματική Εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια τα οποία χωρίζονται σε υποκεφάλαια. Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικά τα περιεχόμενα κάθε κεφαλαίου.

Το πρώτο κεφάλαιο, αποτελεί μία γενική εισαγωγή σχετικά με το αντικείμενο και τη διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρατίθενται γενικά στοιχεία σχετικά με την επίδραση μιας πυρκαγιάς στις λεκάνες απορροής (έδαφος, υδάτινους αποδέκτες κλπ). Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύονται στο θεωρητικό κομμάτι όλες οι μεθοδολογίες και το τυπολόγιο που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την εξαγωγή ομβρίων καμπυλών, την κατασκευή υετογραμμάτων και την κατάρτιση υδρογραφήματων άμεσης απορροής. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται γενικά στοιχεία σχετικά με την περιοχή μελέτης και την πυρκαγιά που έπληξε τη Βόρεια Εύβοια τον Αύγουστο του 2021 καθώς και κάποια γενικά στοιχεία που αφορούν το ρέμα ενδιαφέροντος, το Αχλαδόρεμα. Στο πέμπτο κεφάλαιο υπολογίζονται τα γεωμετρικά στοιχεία της λεκάνης και γίνεται εφαρμογή της μεθοδολογία και του θεωρητικού υποβάθρου που παρουσιάστηκε στο τρίτο κεφάλαιο, ώστε να εξαχθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους οι διάφορες παροχές αιχμής. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή την εργασία, ενώ το τελευταίο κομμάτι της παρούσας έκθεσης περιλαμβάνει τα παραρτήματα στα οποία περιέχονται υετογράμματα, υδρογραφήματα, φωτογραφίες και χάρτες της περιοχής μελέτης.

2 Η επίδραση των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών απορροής

2.1. Γενικά

Τα δάση αποτελούν ίσως το σημαντικότερο φυσικό πόρο στην Ευρώπη. Αυτά, ρυθμίζουν το κλίμα, ενισχύουν τη βιοποικιλότητα, εμπλουτίζουν με νερό τους υπόγειους υδροφορείς και προστατεύουν το έδαφος. Παράλληλα, λειτουργούν ως «κατοικία» για πολλά και διάφορα είδη ζώων, όπως πτηνά, ερπετά και θηλαστικά. Η Ελλάδα, λόγω πολύμορφου ανάγλυφου, έχει αρκετά μεγάλη ποικιλία χλωρίδας. Ταυτόχρονα, το ανάγλυφο αυτό δημιουργεί διαφορετικά υψόμετρα όπου δημιουργούνται διαφορές στις βροχοπτώσεις και στη θερμοκρασία, παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα της βλάστησης κάθε περιοχής.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι μεσογειακό. Διακρίνεται από ξηρά καλοκαίρια και ισχυρούς ανέμους. Συνεπώς, αυτό σε συνδυασμό με τους αρκετούς εύφλεκτους τύπους βλάστησης που υπάρχουν στην Ελλάδα, την κάνουν «ευάλωτη» στην προστασία από την εκδήλωση και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Κάθε χρόνο, η χώρα έρχεται αντιμέτωπη με την πύρινη λαίλαπα, χάνοντας χιλιάδες στρέμματα δάσους και δασικών εκτάσεων κατά τη θερινή κυρίως περίοδο. Κάτι τέτοιο επηρεάζει το έδαφος, τη χλωρίδα, την παραγωγή δασικών προϊόντων, την πανίδα και πολλά άλλα. Παράλληλα, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών απορροής, πράγμα που μελετάται στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία.

Οι δασικές πυρκαγιές και η μετάδοσή τους στο περιβάλλον επηρεάζουν τη διάβρωση του εδάφους, τους υδάτινους αποδέκτες και την απορροή γενικότερα. Για ένα δασικό οικοσύστημα οι πυρκαγιές αποτελούν μία απότομη και καταστρεπτική αλλαγή στην υπάρχουσα κατάσταση της οικονομίας των θρεπτικών στοιχείων. Οι σημαντικότερες άμεσες ή έμμεσες καταστρεπτικές επιδράσεις της πυρκαγιάς σε ένα δασικό οικοσύστημα, συνοψίζονται στην καύση της ζώσας βιομάζας και του δασικού τάπητα, στην πανίδα (Ahlgren and Ahlgren, 1960), στην υδατική οικονομία (Βουζαράς και Καραμήτρος, 1981), στην αισθητική αξία της περιοχής, στη μικροχλωρίδα και μικροπανίδα (Ahlgren, 1974, Dunn and De Bano, 1977), στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στην αλλαγή μικροκλίματος κυρίως όσο αφορά τις ακραίες θερμοκρασίες (Uhlrich, 1980), και στην έντονη διάβρωση και καταστροφή του επιφανειακού και παραγωγικότερου εδάφους, στις καταστροφές σε οικίες.

2.2. Επίδραση στο έδαφος

Πολλές εδαφικές ιδιότητες επηρεάζονται από τις δασικές πυρκαγιές. Η ένταση και το είδος της πυρκαγιάς και, κυρίως, το ύψος των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια και στη μάζα του εδάφους, ως και η χρονική διάρκειά τους, επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στις μεταβολές που παρουσιάζονται (De Bano et al., 1979). Οι κυριότερες αλλαγές, παρατηρούνται στη θρεπτική κατάσταση του εδάφους, στην οξύτητά του αλλά και σε μερικές φυσικές ιδιότητές του. Έμμεσα, επηρεάζονται και η χλωριδική σύνθεση της νεοεμφανιζόμενης βλάστησης, αλλά κυρίως η έντονη διάβρωση που παρατηρείται στο γυμνό και συχνά με μεγάλες κλίσεις έδαφος.

Μια από τις σπουδαιότερες εδαφικές ιδιότητες είναι η οξύτητα. Για πολλά δασικά είδη, υπάρχει ένα εύρος τιμής οξύτητας που χαρακτηρίζει την άριστη ανάπτυξή τους. Όταν αυτό μεταβάλλεται με οποιονδήποτε τρόπο, έχει επίδραση στις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητές του. Η καύση μεγάλων ποσοτήτων ζώσης και νεκρής οργανικής ουσίας στην επιφάνεια των δασικών εδαφών, έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση υπό μορφή οξειδίων αλκαλί – και γαιοαλκαλιμετάλλων, τα οποία γρήγορα μετατρέπονται σε υδροξείδια με αποτέλεσμα την ελάττωση της οξύτητας του εδάφους (Sampson 1944, Christensen and Muller, 1975, Hetsch, 1980). Η ποσότητα και το είδος των κατιόντων που απελευθερώνονται από τη φωτιά, η έντασή της και η ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, καθορίζουν το ύψος της μεταβολής. Η αλλαγή στην οξύτητα, ποικίλει ανάλογα με τον τύπο και το βάθος του εδάφους. Σύμφωνα με τον Lunt (1950), παρατηρείται αύξηση της τιμής στο επιφανειακό έδαφος 0-2, 5 cm, σε δάση μαύρης πεύκης, η οποία κυμαίνεται από 4,3 σε 5,0, ενώ για μεγαλύτερα με βάθος έως 20 cm, δεν παρουσιάστηκε καμία σημαντική αλλαγή. Ο Hess, όπως αναφέρουν οι Ahlgren και Ahlgren (1960), μέτρησε μείωση της οξύτητας σε όξινα εδάφη, ενώ δε μεταβλήθηκαν τα ουδέτερα. Οι Pery και Cover κατά τους ίδιους ερευνητές, δεν παρατήρησαν στον ορίζοντα Α πρόσφατα καμένων εκτάσεων, αξιοσημείωτες αλλαγές σε αντίθεση με τον ορίζοντα Β που βρέθηκε με υψηλότερη τιμή pH και αυτό αποδόθηκε στην έντονη ενδοεδαφική μετακίνηση των υδροξειδίων των μετάλλων της τέφρας προς τα βαθύτερα στρώματα.

Η διάρκεια του φαινομένου της μεταβολής της οξύτητας του εδάφους, διαφέρει πολύ. Σύμφωνα με τον Hetsch (1980), τα σχηματισθέντα υδροξείδια εξουδετερώνονται με την πάροδο του χρόνου από το ανθρακικό οξύ της βροχής. Ο Lunt (1950) αναφέρει ότι σε 5-10 χρόνια, η μείωση της οξύτητας που προέρχεται από δασική πυρκαγιά, εξαφανίζεται. Κατά τους De Bano et al. (1979) στα ουδέτερα εδάφη chararral της Καλιφόρνιας, σημειώνεται μικρή ελάττωση της οξύτητας του εδάφους έτσι ώστε σε 6 έως 10 χρόνια αργότερα, αυτή επανέρχεται πάλι στην αρχική της τιμή. Αντίθετα, ο Viro (1974), για τα δάση της Φιλανδίας, τονίζει ότι η αλλαγή του pH, μπορεί να διαρκέσει από λίγους μήνες έως και 50 χρόνια εξαρτώμενη από το ύψος της μεταβολής, τον τύπο του εδάφους και άλλους παράγοντες.

Οι δασικές πυρκαγιές παράλληλα, επηρεάζουν περισσότερο τα εδάφη με μικρό ποσοστό αργίλου και μειωμένη ρυθμιστική ικανότητα. Ο Hetsch (1980), ένα χρόνο μετά από πυρκαγιά, μέτρησε σε αμμώδες έδαφος στη Γερμανία, μείωση της οξύτητας από 3,2 σε 5,3 ενώ τέσσερα χρόνια μετά, η τιμή είχε κατέβει στο 4,9. Αντίθετα, η Αριανούτσου – Φαραγγιτάκη (1979), σε εδάφη με υψηλό ποσοστό αργίλου, στον Υμηττό, με pH από 7,17 έως 8,24, μέτρησε μετά από πυρκαγιά σε φρύγανα, τιμές pH 7,39 έως 8,18.

Παράλληλα, μετά από μία πυρκαγιά, μεταβάλλεται η διάβρωση του εδάφους και σαφώς και η παραγωγικότητά του. Η αύξηση της διάβρωσης του εδάφους έχει ως συνέπεια την εμφάνιση χειμαρρικών φαινομένων. Κάτι τέτοιο, τροφοδοτεί τους χειμάρρους με φερτά υλικά από τα οποία μεγάλο ποσοστό είναι γόνιμο λεπτό έδαφος. Παράλληλα, με τη φωτιά, καίγεται το οργανικό στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, γεγονός που καθιστά το χώμα υδατοαποθητικό και αυξάνεται η παραγωγή των ιζημάτων. Οι λιβαδικές εκτάσεις που καλύπτονται από λιβαδικά φυτά και λίγους θάμνους, διαβρώνονται ευκολότερα απ ό τι το πυκνό δάσος. Για το λόγο αυτό, η καλλιέργεια και η προετοιμασία του καμένου δάσους προς αναδάσωση, συνίσταται να γίνεται λίγους μήνες πριν ξεκινήσουν οι φθινοπωρινές βροχές.

Επιπλέον, σημειώνονται αλλαγές και στη θερμοκρασία του εδάφους. Όταν ξεσπάσει πυρκαγιά σε δασική έκταση και καεί η οργανική ύλη, οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους φθάνουν τους 300-400 °C , ενώ οι θερμοκρασίες σε βάθος εδάφους 1 cm, 3 cm και 5 cm, φθάνουν αντίστοιχα τους 200-300 °C, τους 60-80 °C και τους 40-50 °C. Η θερμοκρασία εδάφους αυξάνει, κατά μέσο όρο, κατά 10 °C μετά την πυρκαγιά και αυτό οφείλεται στη θανάτωση της οργανικής

ύλης, στην αποκάλυψη του εδάφους και στη μεταβολή των φυσικοχημικών του ιδιοτήτων (Λυμπερόπουλος, 2008). Αξίζει να αναφερθεί ότι τα αργιλώδη εδάφη θερμαίνονται λιγότερο σε σχέση με τα αμμώδη.

Τέλος, επηρεάζεται σημαντικά και η συγκράτηση υγρασίας του εδάφους. Το έδαφος, παρουσιάζει τη δυνατότητα να συγκρατεί ορισμένη ποσότητα βροχής υπό τη μορφή υγρασίας. Η ποσότητα αυτή της υγρασίας διαφέρει ανά τύπο εδάφους που καθορίζεται από παράγοντες όπως το βάθος, η υφή και η δομή. Είναι σαφές, πως όταν η βλάστηση καεί, συγκρατείται λιγότερη ποσότητα υγρασίας στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της καύσης των επιφανειακών φυτικών υπολειμμάτων (φυλλάδας, χούμου κ.λπ).

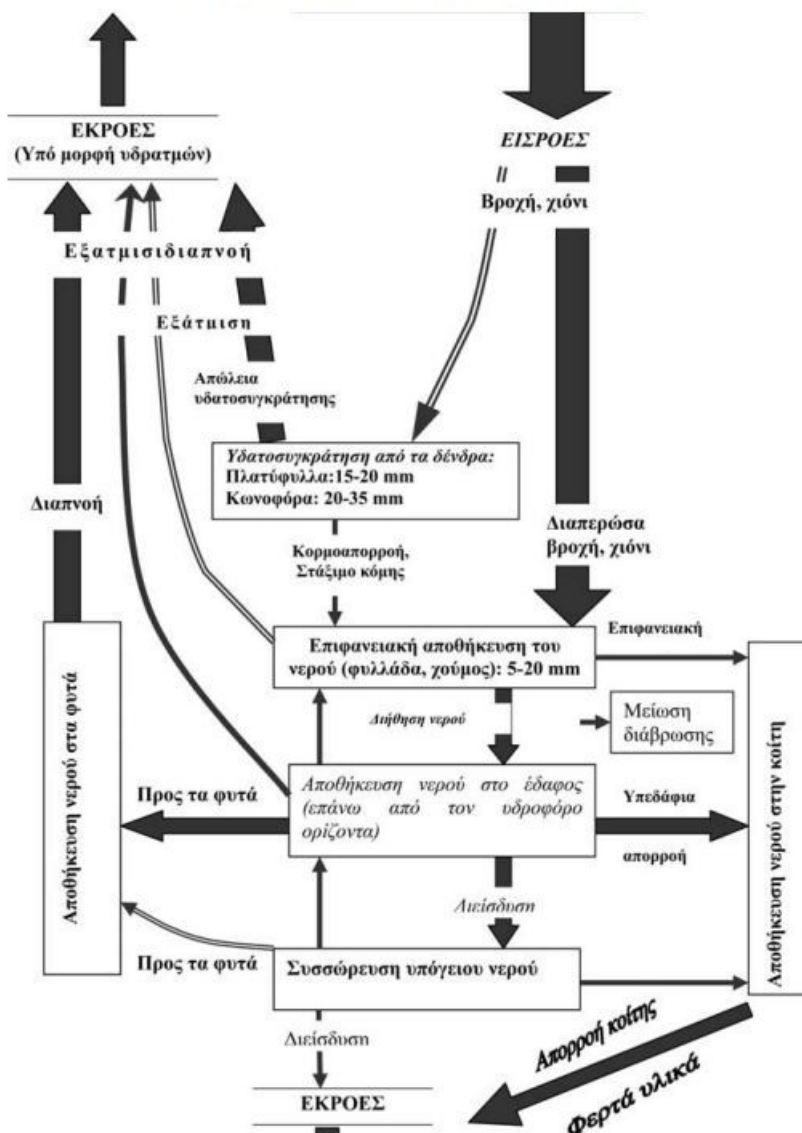
Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται και η συγκράτηση υγρασίας από διάφορες κατηγορίες εδαφών, όπως αυτές εκτιμήθηκαν από πολλές μετρήσεις εδαφικών δειγμάτων στην Αμερική και μπορεί να υποστηριχθεί πως ισχύουν, κατά μεγάλη προσέγγιση, και στα αντίστοιχα εδάφη στον Ελλαδικό χώρο (Μπαλούτσος κ.ά., 2008).

Πίνακας 2.1: Είδη εδαφών (Πηγή: Μπαλούτσος κ.ά., 2008).

Είδος εδαφών	Πορώδες εδάφους (αναλογία κατ' όγκο)	Συγκράτηση υγρασίας (mm/1 cm βάθους)		
		Μέχρι το σημείο μόνιμου μαρασμού	Μεταξύ του σημείου μόνιμου μαρασμού και υδατοχωρητικότητας	Χώρος μικροπόρων
Εδάφη λεπτής άμμου	0,41	0,6	0,5	3
Αμμοπηλώδη	0,42	0,6	0,8	2,8
Αμμοπηλώδη λεπτής γης	0,44	0,7	1,2	2,5
Πηλώδη	0,46	1	1,4	2,2
Ιλυοπηλώδη	0,47	1,3	15	1,9
Ελαφρά αργιλοπηλώδη	0,48	1,5	1,5	1,8
Αργιλοπηλώδη	0,49	1,7	1,5	1,7
Βαριά αργιλοπηλώδη	0,5	2	1,3	1,7
Αργιλώδη	0,52	2,3	1,2	1,7

Στο Σχήμα 2.1 αποτυπώνονται σε σχεδιάγραμμα οι υδρολογικές διεργασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή στο στόμιο μιας δασωμένης λεκάνης απορροής.

ΝΕΡΟ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ (ΥΓΡΑΣΙΑ)



Σχήμα 2.1: Σχεδιάγραμμα και οι υδρολογικές διεργασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (Πηγή: Μπαλούτσος κ.ά., 2008).

2.3. Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες

Κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων εκχειλίζονται από την τέφρα, αρκετά μεγάλα φορτία αμμωνιακού αζώτου που μετατρέπονται σε νιτρικά, απειλώντας με ευτροφισμό τους επιφανειακούς και υπόγειους υδάτινους αποδέκτες. Ο ευτροφισμός είναι το περιβαλλοντικό φαινόμενο κατά το οποίο η υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων, συνεπάγεται τη μείωση του φωτός στα κατώτερα στρώματα, γεγονός που μειώνει ή/και αναστέλλει τη φωτοσύνθεση, κάτι που συντελεί στη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και στην αλλοίωση της βιοποικιλότητας σε αυτό. Κατά τη διαδικασία αυτή, ψάρια και οργανισμοί που ζουν στο νερό, οδηγούνται σε ασφυξία, ενώ και η έκλυση αέριας αμμωνίας είναι πολύ τοξική γι αυτά. Συνεπώς, διαταράσσεται και η ποιότητα του νερού, καθώς δημιουργείται πράσινο χρώμα, μειώνεται η διαφάνειά του και

δημιουργείται αρνητική οσμή και γεύση. Γενικά, η μεγάλη ποσότητα φυτοπλαγκτόν σε ευτροφικά ποτάμια με μικρή ταχύτητα ροής, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην άμεση χρήση του ποταμού ως πηγής πόσιμου νερού ή νερού για χρήση σε άλλες διεργασίες (Οικονομόπουλος, 2001).

2.4. Επίδραση στην πλημμυρική απορροή

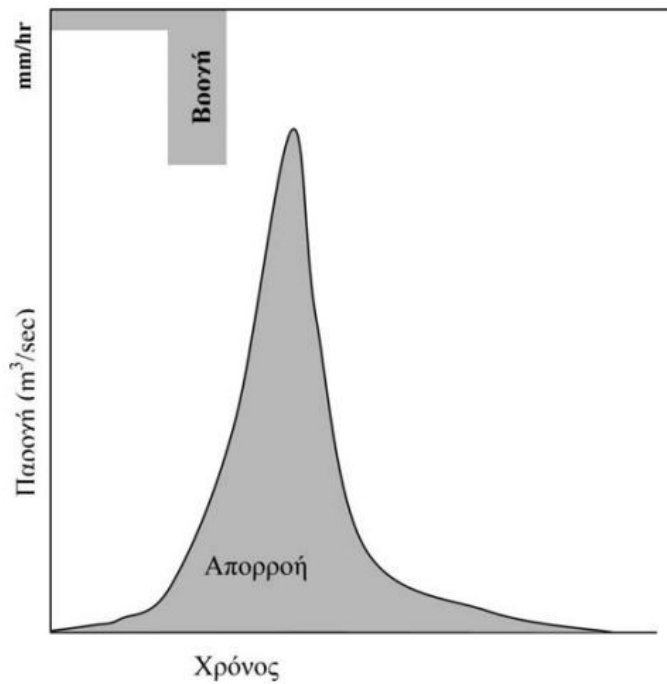
Πλημμυρική απορροή θεωρείται η απορροή που ακολουθεί κάποια ραγδαία βροχόπτωση ή απότομη τήξη μεγάλων ποσοτήτων χιονιού και χαρακτηρίζεται από απότομη αύξηση της παροχής κάτι που οφείλεται κυρίως σε επιφανειακή απορροή. Μπορεί να έχει διάρκεια λίγες ώρες μέχρι και λίγες μέρες.

Όπως προαναφέρθηκε, μια δασική πυρκαγιά επηρεάζει τις ιδιότητες του εδάφους, φυσικές και χημικές, τη συγκράτηση και εν συνεχεία, την κατανομή της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους και την ποιότητα τόσο του νερού, όσο και του αέρα. Παράλληλα, επηρεάζει και τους μηχανισμούς μετατροπής της βροχής σε απορροή που προϋπήρχαν στο υδρογραφικό δίκτυο και δημιουργούν νέες συνθήκες, που οδηγούν στην εκδήλωση πλημμύρας, ακόμη και από ύψη βροχής μικρής σχετικά περιόδου επαναφοράς.

Οι μεταβολές που υφίστανται οι λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά, είναι διαχρονικές. Συνοπτικά, μπορούν να αποτυπωθούν οι εξής:

- ◆ Πτώση μεγαλύτερου ύψους βροχής στην επιφάνεια της λεκάνης λόγω έλλειψης βλάστησης – υδατοσυγκράτησης.
- ◆ Κατακερματισμός των εδαφικών συσσωμάτων λόγω μεγαλύτερης ενέργειας των σταγόνων βροχής.
- ◆ Μείωση της ταχύτητας διήθησης της βροχής στο έδαφος λόγω απόφραξης των πόρων αυτού.
- ◆ Δημιουργία επιφανειακής απορροής στις πλαγιές της λεκάνης.
- ◆ Μείωση της αντίστασης στην παράσυρση από την επιφανειακή απορροή.
- ◆ Σημαντική και απότομη αύξηση υδατοστερεοπαροχής στην κοίτη των υδατορευμάτων.
- ◆ Διάβρωση του πυθμένα και των πρανών της κοίτης των υδατορευμάτων και μεταφορά των υλικών προς τα κατόντη.
- ◆ Υπερχείλιση της πεδινής κοίτης του υδατορεύματος και επιδείνωση της κατάστασης σε περίπτωση ύπαρξης ανθρώπινων παρεμβάσεων.
- ◆ Δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων στην πεδινή γεωργική και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης, με πληθώρα δυσμενών επιπτώσεων.

Στο Σχήμα 2.2, αποτυπώνεται η υδρολογική συμπεριφορά μιας λεκάνης απορροής μετά από πυρκαγιά (Μπαλούτσος κ.ά., 2008).



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα από την υδρολογική συμπεριφορά μιας λεκάνης απορροής μετά από πυρκαγιά (Πηγή: Μπαλούτσος κ.ά., 2008).

Κατά καιρούς έχουν συνταχθεί μελέτες και έχουν γίνει μετρήσεις σχετικά με την εκτίμηση – αλλαγή στην απορροή του υδρολογικού κύκλου, μετά από μια πυρκαγιά, ή γενικότερα, ενός φαινομένου που πραγματοποίησε αλλαγές στην ποσότητα της βλάστησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, μέσω της εξατμισοδιαπνοής, να μετατρέπεται σε ατμό μικρότερο ποσό της κατακρήμνισης με συνέπεια περισσότερο νερό να είναι διαθέσιμο για απορροή. Οποιαδήποτε αλλαγή στη σύνθεση και δομή της βλάστησης θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής και την αύξηση της απορροής (Γκόφας, 2001). Έτσι μια μικρή αλλαγή στις απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής μετά από επεισόδιο πυρκαγιάς, μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της απορροής.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα (Ffolliott and Brooks, 1996), αναφέρει ένα σενάριο στις Νοτιοδυτικές ΗΠΑ, όπου πριν την αλλαγή στη βλάστηση, η ετήσια κατακρήμνιση και εξατμισοδιαπνοή είχαν τιμές 635 και 500 mm αντίστοιχα, και η απορροή 85 mm. Μετά από πυρκαγιά που προκλήθηκε στην ίδια περιοχή, μετρήσεις έδειξαν πως η ετήσια απορροή αυξήθηκε κατά 25 mm, λόγω μείωσης της εξατμισοδιαπνοής κατά 25 mm, που αποδίδεται στην απώλεια βλάστησης λόγω πυρκαγιάς. Έχει υποτεθεί ότι η κατακρήμνιση δεν έχει επηρεαστεί από τη φωτιά. Η απορροή δηλαδή αυξήθηκε κατά 30%, ενώ η εξατμοδιαπνοή μειώθηκε μόλις κατά 5%. Το ποσοστό μείωσης της εξατμοδιαπνοής γενικά αναμένεται να είναι μικρό, όποια και αν είναι η αλλαγή στη βλάστηση της λεκάνης απορροής.

3 Μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικού σχεδιασμού πριν και μετά την πυρκαγιά

3.1. Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο μετά από μία δασική πυρκαγιά, είναι αναμενόμενο ένα πλημμυρικό φαινόμενο. Ως πλημμυρικό φαινόμενο μπορεί να χαρακτηριστεί, η αύξηση παροχής νερού, που καλύπτει μέρος της ξηράς. Πιο συγκεκριμένα και σύμφωνα με την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ως πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κάλυψη του εδάφους από νερό, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Οι πλημμύρες μπορούν να προκύψουν από τον όγκο νερού μέσα σε ένα υδάτινο σώμα (ποτάμι, λίμνη, χείμαρρος, ρέμα κ.α.), το οποίο υπερχειλίζει ή θραύει τα αναχώματα, με αποτέλεσμα το νερό να διαφύγει από τα συνήθη όριά του.

Ανάλογα με τα αίτια που προκαλούν τις πλημμύρες, αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες. Χωρίζονται σε πλημμύρες που προκαλούνται από ισχυρές ή παρατεταμένες βροχοπτώσεις, πλημμύρες που προκαλούνται από ισχυρούς ανέμους και πλημμύρες που προκαλούνται από υποθαλάσσιους σεισμούς ή από έκρηξη υποθαλάσσιου ή νησιωτικού ηφαιστείου.

Παράλληλα, οι πλημμύρες, κατηγοριοποιούνται, ανάλογα με το είδος του υδάτινου σώματος. Υπάρχουν οι ποτάμιες πλημμύρες (σε αυτήν την κατηγορία ανήκει και το αντικείμενο της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας), που προκαλούνται κατά μήκος της κοίτης των ποταμών και είναι οι πιο συχνές πλημμύρες. Αυτές, μπορούν να χωριστούν σε 5 ομάδες, ανάλογα με το είδος τους, ως εξής: υπερχείλιση καναλιών ποταμών (είναι οι πιο συχνές και προκαλούνται από την υπερχείλιση της κοίτης), στιγμιαίες (ή αστραπιαίες) πλημμύρες (που προκαλούνται από ισχυρές βροχοπτώσεις που διαρκούν σύντομο χρονικό διάστημα), οι πλημμύρες αλλουβιακών ριπιδίων (αυτό το είδος είναι σύνηθες σε ορεινές και ηφαιστειογενείς περιοχές και σπάνιο σε άλλες περιοχές), οι πλημμύρες λόγω τήξης των πάγων (προκαλούνται από την ταχεία τήξη των πάγων και των παγετώνων) και οι πλημμύρες λόγω διάρρηξης φράγματος (συμβαίνουν πολύ σπάνια, αλλά, αν συμβούν, μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές). Επίσης, υπάρχουν οι πλημμύρες που προκαλούνται από την τοπική αποστράγγιση ή υψηλά επίπεδα υπόγειων υδάτων, που προκαλούνται κυρίως λόγω κακής συντήρησης/ελέγχου των υδραυλικών συστημάτων. Εάν οι τοπικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την αντιμετώπιση έντονων βροχοπτώσεων μέσω ενός συνδυασμού διήθησης και επιφανειακής απορροής, το νερό μπορεί να συσσωρευτεί και να προκαλέσει πλημμύρες. Ακόμα, υπάρχουν περιπτώσεις που προκαλούνται από διακυμάνσεις του επιπέδου μιας λίμνης. Οι πλημμύρες αυτές συνήθως εκτείνονται σε επίπεδες περιοχές κοντά στις ακτές λιμνών και διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα. Η στάθμη των υδάτων στις λίμνες μπορεί να εμφανίζει διακυμάνσεις τόσο βραχυχρόνια, σε εποχιακή βάση, όσο και μακροχρόνια για πολλούς μήνες ή και χρόνια. Οι ισχυρές εποχιακές βροχοπτώσεις μπορούν να αυξήσουν τη στάθμη των υδάτων των λιμνών για μικρές περιόδους, ενώ η τήξη χιονιού μπορεί να αυξήσει τη στάθμη κατά την άνοιξη. Οι μακροχρόνιες διακυμάνσεις είναι ένα λιγότερο προσδιορισμένο φαινόμενο το οποίο μπορεί να προκαλέσει άνοδο της στάθμης των υδάτων και στη συνέχεια πλημμυρικά προβλήματα που διαρκούν χρόνια ή και δεκαετίες. Τέλος, υπάρχουν οι παράκτιες πλημμύρες, οι οποίες προκαλούν τεράστιες ανθρώπινες και οικονομικές απώλειες. (EUR-OPA Major Hazards Agreement).

Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία μελετάται η περίπτωση πλημμύρας στο Αχλαδόρεμα της Βόρειας Εύβοιας μετά από την πυρκαγιά που ξέσπασε τον Αύγουστο του 2021, πλήττοντας τεράστια έκταση της Βόρειας Εύβοιας. Για τη διερεύνησή της, αρχικά καταρτίστηκαν τα υετογράμματα σχεδιασμού, από τα οποία απορρέουν τα περισσεύματα βροχής. Εν συνεχεία, δημιουργήθηκαν τα μοναδιαία υδρογραφήματα σχεδιασμού, χρησιμοποιώντας ως βάση το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS. Παράλληλα, έγινε η ίδια διαδικασία για μετά την πυρκαγιά καθώς και με βάση τις μετρήσεις στάθμης νερού, εξήχθη η παροχή αιχμής και καταρτίστηκαν τα υετογράμματα και στη συνέχεια, τα υδρογραφήματα σχεδιασμού μετά την πυρκαγιά, για να βγουν τα τελικά συμπεράσματα.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων όλων των παραπάνω περιπτώσεων αλλά και γενικότερα για την εξαγωγή των συμπερασμάτων όλης της Διπλωματικής Εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα λογισμικά και προγράμματα όπως, το Microsoft Excel και το QGIS.

3.2. Όμβριες καμπύλες

3.2.1 Γενικά

Για τον καθορισμό της πλημμύρας και κατά συνέπεια των αντιπλημμυρικών έργων που πρόκειται να γίνουν, είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός του φαινομένου βροχόπτωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Τα κύρια μεγέθη που χαρακτηρίζουν μία βροχόπτωση είναι η ένταση, η διάρκεια και η περίοδος επαναφοράς. Οι σχέσεις μεταξύ αυτών των μεγεθών αποτυπώνεται μέσω των όμβριων καμπυλών, που είναι καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης. Πρόκειται για απλές αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής i συναρτήσει της διάρκειας d και της περιόδου επαναφοράς T . Για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών πρέπει να είναι διαθέσιμες ιστορικές σειρές μέγιστων εντάσεων βροχής ξεκινώντας από την ελάχιστη διάρκεια που επιτρέπει η ευκρίνεια των παρατηρήσεων (π.χ. 5 min - 1 h) και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη διάρκεια βροχής που ενδιαφέρει στα τυπικά προβλήματα υδατικών πόρων.

Για τη χρονική κλίμακα d , βρίσκεται το ετήσιο μέγιστο ύψος βροχής $h(d)$, δηλαδή το μέγιστο ύψος βροχής που πραγματοποιήθηκε μέσα στη δεδομένη χρονική κλίμακα για ένα υδρολογικό (ή ημερολογιακό) έτος, και υπολογίζεται η αντίστοιχη ετήσια μέγιστη μέση ένταση:

$$i = \frac{h}{d} \quad (3.1)$$

όπου h το ύψος βροχής.

Αν η διαδικασία αυτή επαναληφθεί για όλα τα έτη που υπάρχουν δεδομένα, προκύπτει το στατιστικό δείγμα (ή σειρά) ετήσιων μέγιστων υψών ή εντάσεων βροχής.

Στην πραγματικότητα, οι παραπάνω εργασίες γίνονται ταυτόχρονα για ένα σύνολο k χρονικών κλιμάκων $d_j, j=1, \dots, k$, ξεκινώντας από ελάχιστη κλίμακα ίση με την ευκρίνεια (ή διακριτότητα, δ) των παρατηρήσεων και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη χρονική κλίμακα βροχής που ενδιαφέρει στα τυπικά προβλήματα του μηχανικού. Κανονικά όλες οι k σειρές θα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό δεδομένων n , αλλά λόγω των ελλείψεων που συχνά υπάρχουν στα πρωτογενή δεδομένα, είναι δυνατό, ο αριθμός αυτός (n_j), να διαφέρει για διαφορετικές χρονικές κλίμακες.

Η χρονική ευκρίνεια δ των πρωτογενών δεδομένων (βροχογραφημάτων ή ψηφιακών μετρήσεων) είναι προφανές ότι επηρεάζει τις τιμές των μέγιστων εντάσεων βροχής και συγκεκριμένα, μεγάλη διακριτότητα έχει συνέπεια την υπεκτίμηση των μέγιστων εντάσεων. Είναι προφανές ότι το μέγεθος του σφάλματος, εξαρτάται από το λόγο της χρονικής κλίμακας αναφοράς προς ευκρίνεια (d/δ), και αν ο λόγος αυτός είναι αρκετά μεγάλος, τότε το σφάλμα γίνεται αμελητέο. Για την άρση του

σφάλματος για μικρές τιμές του λόγου d/δ , συνήθως γίνεται αναγωγή των τιμών $i(d)$, με πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή που εξαρτάται από το λόγο d/δ . Τιμές αυτού του συντελεστή έχουν βρεθεί από έρευνες στην Αμερική και δίνονται στη βιβλιογραφία, π.χ. Linsley et al. (1975, σ.357), απ' όπου προέρχεται και ο Πίνακας 3.1:

Πίνακας 3.1: Τυπικές τιμές του συντελεστή άρσης του σφάλματος διακριτοποίησης (Πηγή: Linsley et al. (1975, σ.357)).

Λόγος χρονικής κλίμακας αναφοράς προς ευκρίνεια (d/δ)	Συντελεστής άρσης του σφάλματος διακριτοποίησης (πολλαπλασιαστικός)
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Η περίοδος επαναφοράς είναι το μέσο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανισθεί μόνο μια φορά με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσης. Αν η σειρά που εξετάζεται είναι σειρά ετησίων μεγίστων η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται στο μέγεθος του φαινομένου ως ετήσιο μέγιστο, πράγμα που δε συμβαίνει αν η σειρά είναι μερική. Η περίοδος επαναφοράς δίνεται από τον τύπο:

$$T = \frac{1}{P(x \geq X)} \quad (3.2)$$

όπου P είναι η πιθανότητα υπέρβασης, δηλαδή η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί υπέρβαση της τιμής x κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους.

3.2.2 Μαθηματικές εκφράσεις σχέσης όμβριων καμπυλών

Στην Ελλάδα, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις (Τσακίρης, 1995):

$$i = at^n \text{ (διαφορετική για κάθε περίοδο επαναφοράς)} \quad (3.3)$$

και

$$i = c * \left(\frac{t^n}{T^b}\right) \quad (3.4)$$

όπου a , η , b και c σταθερές που προσδιορίζονται από την ανάλυση.

Οι όμβριες καμπύλες ως μια απλούστερη περίπτωση, παρουσιάζονται ως υπερβολικές συναρτήσεις της διάρκειας και είναι της μορφής:

$$i = \frac{\omega}{(d+\theta)^\eta} \quad (3.5)$$

$$i = \frac{\omega}{d^\eta + \theta} \quad (3.6)$$

$$i = \frac{\omega}{d^\eta} \quad (3.7)$$

$$i = \frac{\omega}{d+\theta} \quad (3.8)$$

όπου ω , θ και η είναι παράμετροι των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από την περίοδο επαναφοράς. Οι όμβριες καμπύλες, όπως είναι προφανές, απεικονίζονται ως ευθείες γραμμές παράλληλες μεταξύ τους και δεν τέμνονται. Έτσι, δεν προκύπτει η ίδια ένταση βροχής για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς και δεδομένη διάρκεια. Για την επιλογή των παραμέτρων θ και η , οι Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος (1999), πρότειναν την απλουστευτική παραδοχή, σύμφωνα με την οποία μόνο ο αριθμητής ω στις εκφράσεις 3.5 – 3.8 επιτρέπεται να εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς T , οπότε ελήφθη η παρακάτω γενική συναρτησιακή σχέση όμβριων καμπυλών:

$$i = \frac{\alpha(T)}{b(d)} \quad (3.9)$$

όπου οι $\alpha(T)$ και $b(d)$, είναι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και διάρκειας, αντίστοιχα. Η σχέση $b(d)$ παίρνει μια από τις ακόλουθες μορφές:

$$b(d) = (d+\theta)^\eta \quad (3.10)$$

$$b(d) = d^\eta + \theta \quad (3.11)$$

$$b(d) = d^\eta \quad (3.12)$$

$$b(d) = d + \theta \quad (3.13)$$

Η σχέση $\alpha(T)$, προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής που ισχύει για τη μέγιστη ένταση βροχής και υπό εξέταση περιοχή, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων, ενώ αποφεύγεται η χρήση εμπειρικών συναρτήσεων (Κουτσογιάννης, 1997). Η $\alpha(T)$ παίρνει μία από τις ακόλουθες μορφές:

$$\alpha(T) = \lambda T^\kappa \quad (3.14)$$

$$\alpha(T) = i = \frac{1}{\lambda} (\psi + \ln(T)) \quad (3.15)$$

όπου κ , λ και ψ είναι αριθμητικές παράμετροι. Μια πιο συνεπής στατιστική θεώρηση, προσδιορίζει τη συνάρτηση $\alpha(T)$ απευθείας από τη συνάρτηση κατανομής της μέγιστης έντασης βροχής. Έτσι, για συναρτήσεις κατανομής Pareto και Gumbel μεγίστων, προτάθηκαν αντίστοιχα οι σχέσεις:

$$\alpha(T) = \lambda (T^\kappa - \psi) \quad (3.16)$$

$$\alpha(T) = \frac{1}{\lambda} \left(\psi - \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \quad (3.17)$$

Συνδυάζοντας τις Σχέσεις 3.10 και την 3.14, προκύπτει η εξής ημειμπειρική έκφραση όμβριων καμυλών:

$$i = \frac{\lambda T^\kappa}{(d+\theta)^\eta} \quad (3.18)$$

Επιπλέον, συνδυάζοντας τη Σχέση 3.10 και την 3.16, προκύπτουν οι γενικευμένες εκφράσεις όμβριων καμυλών:

$$i = \frac{\lambda(T^\kappa - \psi)}{(d+\theta)^\eta} \quad (3.19)$$

$$i = \frac{1}{\lambda(d+\theta)^\eta} \left(\psi - \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right) \quad (3.20)$$

3.2.3 Συνάρτηση κατανομής

Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων (Κουτσογιάννης, 2004a, b, 2007) είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ – διεθνώς GEV – General Extreme Value). Αυτή η κατανομή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II και III και έχει την έκφραση:

$$F(x) = \exp \left(- \left(1 + \kappa \left(\frac{x}{\lambda} - \psi \right) \right)^{-1/\kappa} \right), x \geq \lambda(\psi - 1/\kappa) \quad (3.21)$$

όπου $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής της μεταβλητής x , και $\kappa > 0$ (αδιάστατη), $\lambda > 0$ (μονάδες ίδιες με αυτές του x) και ψ (αδιάστατη) είναι οι παράμετροι σχήματος, κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα. (Η περίπτωση $\kappa < 0$, αν και μαθηματικά είναι δυνατή, δεν είναι κατάλληλη για μέγιστες εντάσεις βροχής, γιατί συνεπάγεται άνω φραγμένη τιμή της έντασης, γεγονός που αντίκειται στη φυσική πραγματικότητα). Η μεταβλητή x αντιπροσωπεύει είτε την ένταση βροχής i είτε, ισοδύναμα, το γινόμενο $I b(d)$ (για δεδομένη έκφραση της $b(d)$). Στην τελευταία περίπτωση, η επίλυση της Σχέσης 3.21 ως προς x , δίνει αμέσως τη συνάρτηση $\alpha(T)$ και, στη συνέχεια, η επίλυση ως προς i , δίνει αμέσως την έκφραση της όμβριας καμπύλης χωρίς να απαιτείται καμία πρόσθετη, εμπειρική ή όχι, παραδοχή (Κουτσογιάννης, 1997).

Η Σχέση 3.21 επιλύεται άμεσα ως προς x . Με την προϋπόθεση ότι αναλύονται σειρές ετήσιων μέγιστων, οπότε $F(x) = 1 - \Delta / T$, όπου $\Delta = 1$ έτος, προκύπτει:

$$x = \lambda \left(\psi + \frac{(-\ln((1 - \frac{\Delta}{T})^{-\kappa}) - 1)}{\kappa} \right) = \lambda' \left((-\ln(1 - \frac{\Delta}{T^{-\kappa}})) - \psi' \right) \quad (3.22)$$

Στη δεύτερη εξίσωση για απλοποίηση έχει τεθεί $\lambda' = \lambda/\kappa$ και $\psi' = 1 - \kappa\psi$ (Κουτσογιάννης et. al., 1998). Οι παράμετροι κ , ψ και ψ' είναι αδιάστατες ενώ οι λ και λ' έχουν διαστάσεις ίδιες με αυτές του x , πράγμα που εξασφαλίζει την πλήρη διαστατική συνέπεια της εξίσωσης.

Για $\kappa=0$, η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel), οπότε η Σχέση 3.21 παίρνει την ειδική μορφή:

$$F(x) = \exp(-e^{-\kappa/\lambda + \psi}) \quad (3.23)$$

όπου λ και ψ , είναι οι παράμετροι κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα, της κατανομής. Αντίστοιχα, η Σχέση 3.22 παίρνει τη μορφή (Κουτσογιάννης, 1997, Κουτσογιάννης et. al., 1998):

$$x_T = \lambda(\psi - \ln(-\ln(1 - \frac{\Delta}{T}))) \quad (3.24)$$

Η κατανομή Gumbel είχε γίνει αποδεκτή ευρύτατα στην Ελλάδα και διεθνώς για την περιγραφή μέγιστων εντάσεων βροχής, χρησιμοποιώντας συνήθως δείγματα μήκους λίγων δεκάδων ετών. Ωστόσο, πρόσφατη μελέτη (Koutsoyiannis and Baloutsas, 2000) του δείγματος ημερήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων του Αστεροσκοπείου Αθηνών, μήκους 136 ετών, έδειξε ότι η κατανομή Gumbel απορρίπτεται στατιστικώς, παρόλο που δε θα απορριπτόταν αν το μήκος του δείγματος ήταν μικρότερο. Αντίθετα, η κατανομή ΓΑΤ με παράμετρο σχήματος $\kappa = 0.16$ έως 0.19 , φάνηκε να είναι κατάλληλη για το υπόψη δείγμα.

Εξάλλου, από στατιστική διερεύνηση (Koutsoyiannis, 1999) των δεδομένων από 2645 σταθμούς όλου του κόσμου, με συνολικό πλήθος μετρήσεων 95.000 σταθμών-ετών, τα οποία είχαν μελετηθεί παλιότερα από τον Hershfield (1961, 1965) ως ΠΜΚ, διατυπώθηκε ότι: (α) η κατανομή ΓΑΤ είναι γενικά κατάλληλη για ετήσιες σειρές μέγιστων βροχοπτώσεων, (β) η τιμή που υπολογίζεται τη μέθοδο Hershfield (1961, 1965) ως ΠΜΚ, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς περίπου 60.000 ετών, και (γ) η τιμή της παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ δίνεται ως συνάρτηση της μέσης τιμής της ετήσιας μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης \bar{h} από τη σχέση:

$$\kappa = 0.183 - 0.00049 \bar{h} \quad , \quad (\bar{h} \text{ σε mm}) \quad (3.25)$$

Η σύγκριση της παραπάνω εναλλακτικής διατύπωσης της μεθόδου Hershfield με την κατανομή που προκύπτει από το δείγμα 136 ετών του Αστεροσκοπείου Αθηνών, έδειξε πλήρη συμφωνία (Koutsoyiannis, 1999).

Τέλος, σε πρόσφατη μελέτη (Koutsoyiannis, 2004b) εξετάστηκε μια σειρά μεγάλου μήκους δειγμάτων ημερήσιας βροχής από 169 σταθμούς από όλο τον κόσμο. Καθένα από τα δείγματα είχε τουλάχιστον 100 χρόνια μετρήσεων. Η στατιστική ανάλυση των 169 δειγμάτων, όπως αναμενόταν, έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μέσες τιμές των επιμέρους σταθμών, τόσο μεταξύ διάφορων κλιματικών ζωνών, όσο και μέσα στην κάθε ζώνη. Η προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στους επιμέρους σταθμούς έδειξε να είναι εν γένει ικανοποιητική. Ειδικότερα, στο 92% των δειγμάτων προέκυψε θετικός συντελεστής σχήματος, πράγμα που αποτελεί σοβαρή ένδειξη για γενικευμένη εφαρμογή της κατανομής ΓΑΤ με θετική παράμετρο κ . Καταρχάς φάνηκε να υπάρχει αξιοσημείωτη διασπορά στις 169 επιμέρους τιμές των συντελεστών σχήματος, η οποία όμως δε φάνηκε να σχετίζεται με τις κλιματικές διαφοροποιήσεις. Ίδια συμπεριφορά έδειξαν και μια σειρά άλλων αδιάστατων στατιστικών χαρακτηριστικών. Λεπτομερέστερη διερεύνηση κατέδειξε ότι οι διασπορές που εμφανίζονται, οφείλονται πρωτίστως σε στατιστικούς λόγους παρά σε φυσικά (κλιματικά) αίτια. Συγκεκριμένα, με προσομοιώσεις Monte Carlo, δέχτηκε ότι η διασπορά όλων των αδιαστατοποιημένων στατιστικών παραμέτρων εξηγείται, πρακτικώς στο σύνολό της, από στατιστικούς (δειγματοληπτικούς) λόγους, ενώ για τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στις μέσες τιμές δεν αρκούν οι στατιστικοί λόγοι, αλλά χρειάζεται να υποτεθούν επιπρόσθετα φυσικά αίτια. Με βάση τις αναλύσεις αυτές προέκυψε το εντυπωσιακό συμπέρασμα ότι αν οι τιμές κάθε σταθμού αναχθούν με διαίρεση με τη μέση τιμή του δείγματος του υπόψη σταθμού, τότε όλα τα ανηγμένα δείγματα έχουν πρακτικώς την ίδια κατανομή, ανεξάρτητα από την κλιματική ζώνη ή τη γεωγραφική και υψομετρική θέση. Ως αποτέλεσμα, μπορούν να ενοποιηθούν όλα τα ανηγμένα δείγματα, οπότε μπορεί να αποκτηθεί ευκρινέστερη εικόνα για την ενιαία αυτή κατανομή. Τα τελικά συμπεράσματα αυτής της μελέτης είναι τα ακόλουθα: (α) η κατανομή Gumbel είναι

ακατάλληλη, (β) η κατανομή ΓΑΤ προσαρμόζεται πολύ καλύτερα στις εμπειρικές πιθανότητες, και (γ) η τελική εκτίμηση του συντελεστή σχήματος κ της κατανομής ΓΑΤ για το σύνολο των δεδομένων είναι $\kappa = 0.15$.

Τα παραπάνω συνηγορούν στην αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, η χρήση της κατανομής Gumbel (μεγίστων τύπου I) θα πρέπει να αποφεύγεται, δεδομένου ότι οδηγεί σε σοβαρή υπεκτίμηση των εντάσεων βροχής για μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλου μήκους δείγμα, η παράμετρος σχήματος της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να υιοθετείται η «παγκόσμια» τιμή $\kappa = 0.15$.

3.2.4 Τελική εξίσωση όμβριων καμπυλών

Η αποδοχή της κατανομής ΓΑΤ σε συνδυασμό με τις Σχέσεις 3.9 και 3.10 οδηγεί στην ακόλουθη γενικευμένη έκφραση όμβριων καμπυλών:

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \left(\left(-\ln \left(1 - \frac{\Delta}{T} \right) \right)^{-\kappa} - \psi' \right)}{(1 + d/\theta)^\eta}, (\kappa \neq 0) \quad (3.26)$$

Στην εξίσωση 3.26 η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται σε σειρές ετησίων μεγίστων και κατά συνέπεια παίρνει τιμές μεγαλύτερες από $\Delta = 1$ έτος. Εφόσον η περίοδος επαναφοράς οριστεί με αναφορά σε σειρές υπεράνω κατωφλίου και συνεπώς μπορεί να πάρει και τιμές μικρότερες από ένα έτος, η αντίστοιχη εξίσωση προκύπτει θεωρητικά ότι έχει την ακόλουθη απλούστερη έκφραση (Koutsoyiannis et al., 1998):

$$i(d, T) = \frac{\lambda' \left((T/\Delta)^\kappa - \psi' \right)}{(1 + d/\theta)^\eta}, (\kappa \neq 0) \quad (3.27)$$

όπου το T εκφράζεται σε έτη. Η Σχέση 3.27 ουσιαστικά αποτελεί έκφραση της πιθανοτικής κατανομής Pareto. Για μικρές περιόδους επαναφοράς, η Σχέση 3.27 είναι προφανώς δυσμενέστερη από την αντίστοιχη της Σχέσης 3.26, ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς ($T > 10$ χρόνια), πρακτικώς η πρώτη ταυτίζεται με τη δεύτερη, δεδομένου ότι για μικρές τιμές του Δ/T ισχύει $\ln [1 - (\Delta/T)] = -(\Delta/T) - (\Delta/T)^2 - \dots \sim -\Delta/T$.

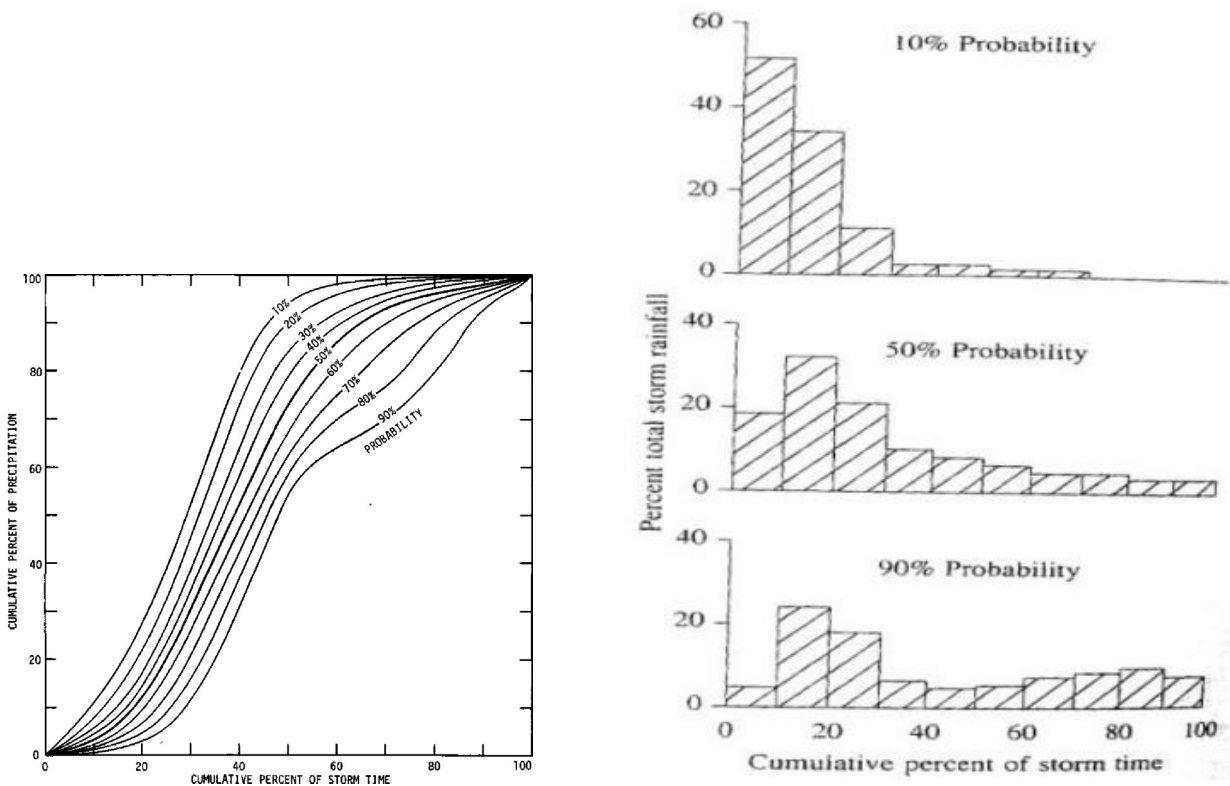
Τονίζεται ότι και οι δύο εξισώσεις 3.26 και 3.27 είναι διαστατικά συνεπείς, με δεδομένο ότι οι παράμετροι κ και ψ' είναι αδιάστατες ενώ η λ' έχει διαστάσεις έντασης βροχής.

3.3. Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού

Η βροχόπτωση σχεδιασμού είναι ένα πρότυπο βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό ενός υδρολογικού συστήματος. Για την εξαγωγή τιμών παροχών, χρησιμοποιούνται σχέσεις βροχόπτωσης – απορροής και διαδικασίες διόδευσης. Η βροχόπτωση σχεδιασμού μπορεί αν προσδιοριστεί με την τιμή του ύψους βροχόπτωσης σε ένα σημείο, με ένα υετόγραμμα σχεδιασμού που καθορίζει τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας ή με ένα χάρτη ισοέτιων καμπύλων, που προσδιορίζει το χρονικό πρότυπο της βροχόπτωσης (Shaw, 1983).

Από την ανάλυση παρατηρούμενων γεγονότων βροχόπτωσης, μπορεί να καθοριστεί η χρονική σειρά βροχόπτωσης σε τυπικές καταιγίδες. Ο Huff (1967) ανέπτυξε πρότυπα χρονικής κατανομής για ισχυρά γεγονότα βροχόπτωσης σε περιοχές μέχρι το 400 mi² στο Illinois των ΗΠΑ. Οι βροχοπτώσεις χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες στις οποίες αναπτύχθηκαν τα πρότυπα. Χωρίζονται

σε τεταρτημόρια, από την ομάδα με τις πιο ισχυρές (πρώτο τεταρτημόριο), έως την ομάδα με τις λιγότερες ισχυρές καταιγίδες (τελευταίο τεταρτημόριο). Στο Σχήμα 3.1, φαίνεται η πιθανοτική κατανομή βροχοπτώσεων:



Σχήμα 3.1: Πιθανοτική κατανομή βροχοπτώσεων (Πηγή: Chow, 1988).

Τα παραπάνω ιστογράμματα δείχνουν το ποσοστό συνολικής βροχόπτωσης για αύξηση της διάρκειας της καταιγίδας κατά 10%. Για παράδειγμα, το ιστογράμμο 50% απεικονίζει ένα πρότυπο αθροιστικής βροχόπτωσης που θα ξεπεραστεί σε περίπου μισές από τις καταιγίδες. Οι καμπύλες του σχήματος είναι ομαλές και απεικονίζουν τη μέση κατανομή της βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το χρόνο, κι όχι τα έντονα χαρακτηριστικά παρατηρούμενων καταιγίδων.

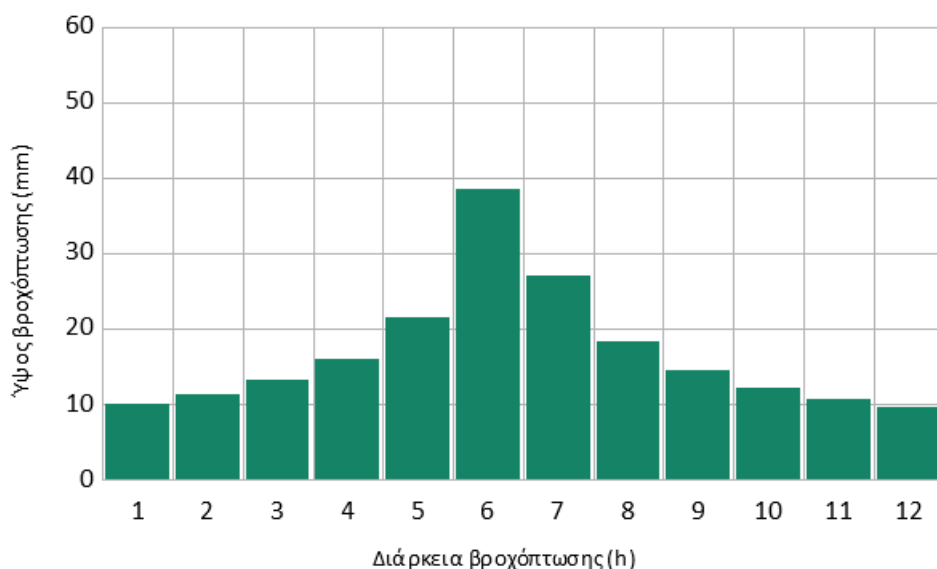
Στον υδρολογικό σχεδιασμό, οι μέθοδοι που είχαν αναπτυχθεί, όπως η ορθολογική μέθοδος, χρησιμοποιούσαν μόνο την παροχή αιχμής και δε λαμβάνονταν υπόψη η χρονική κατανομή της παροχής, ούτε εκείνη της βροχόπτωσης. Οι πρόσφατες αναπτυχθείσες μέθοδοι χρησιμοποιούν προβλέψεις του νετογράμματος σχεδιασμού. Γι' αυτόν το λόγο, προτάθηκαν υποθετικές καταιγίδες με ύψη βροχόπτωσης για διάφορες διάρκειες μέσα στην καταιγίδα που έχουν μία πιθανότητα υπέρβασης συνεπή με την υπάρχουσα πληροφορία που συμπυκνώνεται μια όμβρια καμπύλη.

Ένας απλός τρόπος παραγωγής νετογράμματος σχεδιασμού από μια όμβρια καμπύλη, είναι η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternative block method). Με τη μέθοδο αυτή, η συνολική διάρκεια της βροχής χωρίζεται σε μικρά χρονικά διαστήματα έτσι ώστε το καθένα να αντιστοιχεί ένα τμήμα του συνολικού ύψους βροχής και διατάσσονται κατά το δυνατόν συμμετρικά και σε φθίνουσα σειρά ύψους βροχής γύρω από την κεντρική τιμή, η οποία συμπίπτει με το μέγιστο τμηματικό ύψος βροχής. Το νετόγραμμα σχεδιασμού που παράγεται από αυτήν τη μέθοδο, ορίζει το ύψος βροχόπτωσης που συμβαίνει σε n διαδοχικά χρονικά διαστήματα διάρκειας Δt και συνολική

διάρκεια $n\Delta t$. Μετά την επιλογή της περιόδου επαναφοράς, η ένταση της βροχόπτωσης μπορεί να βρεθεί από την όμβρια καμπύλη για κάθε μία από τις χρονικές διάρκειες Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$ κ.ο.κ. και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης μπορεί να βρεθεί ως το γινόμενο της έντασης και της διάρκειας. Επιλέγοντας διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών υψών βροχόπτωσης, βρίσκεται το ποσό της βροχόπτωσης που είναι να προστεθεί για κάθε επιπρόσθετη μονάδα χρόνου Δt . Τα μπλοκ βροχόπτωσης που προκύπτουν, καταγράφονται με φθίνουσα σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερα. Τέλος, ανακατανέμονται ώστε το μέγιστο ύψος να τοποθετείται στο κεντρικό μπλοκ και τα εναπομείναντα μπλοκ με φθίνουσα σειρά και με εναλλαγή μία στα δεξιά και μία στα αριστερά του κεντρικού μπλοκ, σχηματίζοντας έτσι το υετόγραμμα σχεδιασμού (Chow, 1988).

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού με επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς τα $T = 10$ έτη και διάρκεια = 1 h:

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ



Σχήμα 3.2: Τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς 50 έτη και διάρκεια 1 h.

3.4. Περίσσειμα βροχόπτωσης

3.4.1 Γενικά

Μετά το σχηματισμό και την πτώση της βροχής και πριν τη δημιουργία της απορροής, αρχίζουν διάφορες διεργασίες που συντελούν σ' αυτό που ονομάζεται απώλειες της βροχής. Πιο συγκεκριμένα, από την ποσότητα της βροχής (και πριν αυτή φτάσει στο έδαφος) ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και λέγεται Συγκράτηση (interception). Συνήθως το τμήμα αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκόμη και εξατμίζεται λέγεται Απώλεια Συγκράτησης (interception loss).

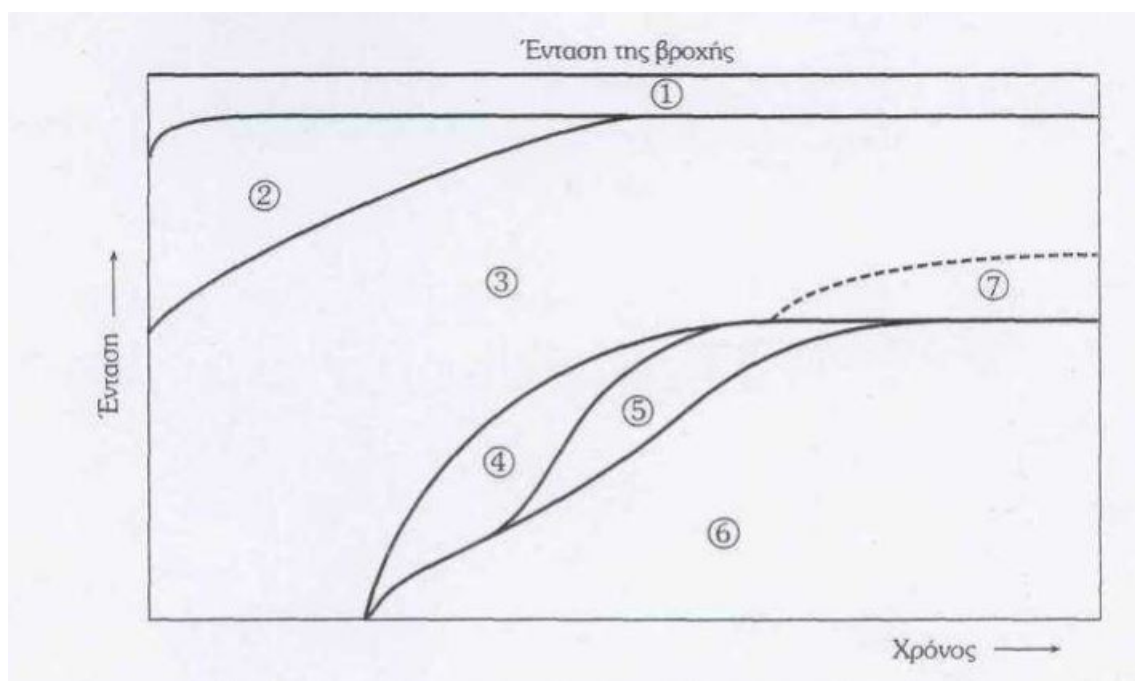
Χρονικά έπεται η πτώση της βροχής στο έδαφος και ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης που αποτελεί επίσης απώλεια. Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και των απωλειών διήθησης και εφόσον η βροχή συνεχίζεται παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του ανάγλυφου και επιφανειακή αποθήκευση.

Το νερό που συγκεντρώνεται σ' αυτές τις κοιλότητες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί επίσης απώλεια.

Για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής του νερού της βροχής παρουσιάζεται το Σχήμα 3.3 όπου φαίνεται η τυπική χρονική εξέλιξη των φαινομένων: Εξάτμιση και Διαπνοή, Συγκράτηση από τη φυτοκόμη, Διήθηση, Συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες. Επιφανειακή αποθήκευση, Επιφανειακή απορροή και Ταχεία υπεδάφια ροή. Το τμήμα 6 που δημιουργεί την επιφανειακή απορροή και είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους απώλειες λέγεται Καθαρή Βροχή (Net Precipitation).

Όμως στην απορροή είναι δύσκολο να απομονώσουμε την επιφανειακή απορροή επειδή στο μέρος της επιπλέον απορροής που ακολουθεί ένα γεγονός βροχής, γνωστής ως άμεσης απορροής, εμπεριέχεται και η ταχεία υπεδάφια ροή. Για το λόγο αυτό το μέρος της βροχής που προκαλεί την άμεση απορροή είναι η καθαρή βροχή και το τμήμα που προκαλεί την ταχεία υπεδάφια ροή (που ουσιαστικά εμπεριέχεται στο μέρος που διηθείται), που μαζί αναφέρονται απλοποιητικά Περίσσειμα Βροχής (Rainfall Excess).

Πολλές φορές και σε πολλά βιβλία το περίσσειμα βροχής και η καθαρή βροχή θεωρούνται ταυτόσημες έννοιες. Το ίδιο και ως προς την άμεση και την επιφανειακή απορροή.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα τυπικής κατανομής του νερού της βροχής (Πηγή: Μάρης, 2013).

- 1) Εξάτμιση και Διαπνοή
- 2) Συγκράτηση από τη φυτοκόμη
- 3) Διήθηση
- 4) Συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες
- 5) Επιφανειακή αποθήκευση
- 6) Επιφανειακή απορροή
- 7) Ταχεία υπεδάφια ροή (ή ενδορροή)

Παράλληλα, υπάρχει η ανάγκη αδρομερούς εκτίμησης των συνολικών απωλειών με τέτοιο τρόπο ώστε αυτές να μπορούν να συσχετιστούν με την άμεση απορροή. Αυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, επιτυγχάνεται με μετρημένα στοιχεία βροχόπτωσης και απορροής. Με τον τρόπο αυτό,

προσδιορίζονται διάφοροι δείκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά για τη λεκάνη και για οποιαδήποτε βροχή για τον προσδιορισμό του περισσεύματος της βροχής. Τέτοιοι δείκτες, είναι ο δείκτης Φ , ο δείκτης W και ο συντελεστής απορροής C . Επισημαίνεται ότι, η εκτίμηση του περισσεύματος βροχής, θα επιτευχθεί με τη μέθοδο SCS. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μόνον η μέθοδος SCS η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

3.4.2 Η Μέθοδος SCS

Η υπηρεσία Soil Conservation Service (SCS) των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής από μια δεδομένη βροχή με τη βοήθεια τριών μεταβλητών:

- του ύψους βροχής,
- της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους – καλύμματος (SCS, 1972).

Η μέθοδος της SCS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας (π.χ. βροχή 24ώρου).

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης και εξάτμισης) είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής (h_r) και περισσεύματος βροχής (h_R). Σύμφωνα με τη μέθοδο:

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2S)^2}{(h_r - 0.8S)} \text{ , για } h_r > 0.2S \quad \text{και αν } h_r < 0.2S, h_R = 0 \quad (3.31)$$

Η Σχέση 3.31, εφαρμόζεται για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος απωλειών, μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση μεγάλου ύψους) την τιμή $0.2S + S = 1.2S$.

Σε περίπτωση που είναι γνωστό το τελικό περίσσειμα h_r (από μέτρηση της απορροής), τότε αυτό είναι το τελικό ολικό ύψος h , μπορεί να υπολογιστεί η παράμετρος S . Πράγματι, η Σχέση 3.32 για $h_r > 0$, γράφεται:

$$0.04S^2 - (0.4h + 0.8h_r)S + h(h - h_r) = 0 \quad (3.32)$$

και επιλύεται ως προς S , δίνοντας:

$$S = 5h + 10h_r - 10\sqrt{h_r(h_r + 1.25h)} \quad (3.33)$$

Εκφράζοντας τις συνολικές απώλειες με μια παράμετρο γνωστή ως αριθμός καμπύλης CN, με την εξίσωση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ , (σε mm)} \quad (3.34)$$

μπορεί να προκύψει η σχέση μεταξύ h_R και h_r .

Πριν την παρουσίαση του τρόπου εκτίμησης της παραμέτρου CN, είναι χρήσιμο να παρουσιαστούν οι κατηγορίες που αναφέρονται στην αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους και οι κατηγορίες των εδαφών από υδρολογική άποψη.

Με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών, διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους:

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972).

Κατηγορία	Συνολικό ύψος βροχής των 5 προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
I	< 13	< 35
II	13 – 28	35 – 53
III	> 28	> 53

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι Κατηγορίες Εδαφών από Υδρολογική Άποψη:

Κατηγορία Α:

Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα.

Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη.

Κατηγορία Β:

Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφρός σύστασης εδάφη.

Κατηγορία C:

Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης.

Κατηγορία D:

Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.

Το σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης που αντιπροσωπεύει τον τύπο του εδάφους από υδρολογική άποψη και την κατηγορία φυτοκάλυψης και χρήσης γης μπορεί να εκφραστεί με τον αριθμό καμπύλης απορροής CN που προκύπτει για την κατηγορία II της αρχικής υγρασίας του Πίνακα 3.2. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι τιμές του CN ανάλογα με την κατηγορία εδάφους και τη χρήση γης που έχουν δοθεί από τη SCS (Τσακίρης, 1995).

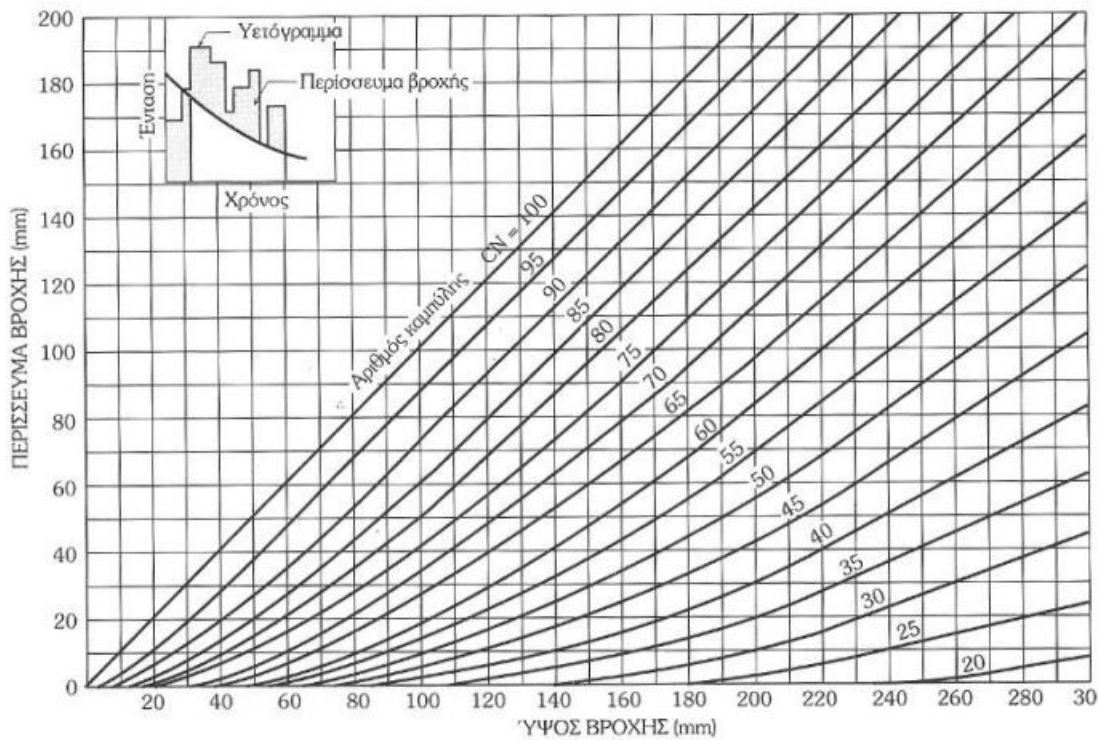
Πίνακας 3.3: Τιμές CN που προσαρμόζονται καλύτερα στις ελληνικές συνθήκες (Πηγη: Wanielista).

Χρήση Γης	Υδρολογικός Τύπος Εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις				
• Χωρίς έργα συντήρησης	72	81	88	91
• Με έργα συντήρησης	62	71	78	81
Ορεινοί βοσκότοποι				
• Κακή κατάσταση	68	79	86	89
• Καλή κατάσταση	39	61	74	80
Λιβαδικές εκτάσεις				
• Καλή κατάσταση	30	58	71	78
Δασικές εκτάσεις				
• Αραιή συστάδα	45	66	77	83
• Πυκνή συστάδα	25	55	70	77
Ελεύθερες εκτάσεις, γήπεδα γκολφ, πάρκα				
• Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης	39	61	74	80
• Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες)	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές				
Μέσο μέγεθος οικόπεδου				
Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας				
<500	77	85	90	92
1000	61	75	83	87
1500	57	72	81	86
2000	54	70	80	85
4000	51	68	79	84
Χώροι πάρκινγκ, στέγες κτλ.	98	98	98	98
Δρόμοι				
• με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίους	98	98	98	98
• χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
• χωματόδρομοι	72	82	87	89
Αστικές συνθήκες				
• Γυμνό έδαφος	77	86	91	94
• Κήποι ή θάμνοι	72	81	88	91
• Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (75% της διαπερατής περιοχής)	39	61	74	80
• Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50 – 75% της διαπερατής περιοχής)	49	69	79	84
• Μικρή κάλυψη πρασίνου (< 50% της διαπερατής περιοχής)	68	79	86	89
• Άλση	36	60	73	79

Πίνακας 3.4: Τιμές του S τιμές CN και ελάχιστη τιμή του h_r για έναρξη απορροής.

Αριθμός καμπύλης	Αντίστοιχος αριθμός καμπύλης απορροής για		Τιμές του S για τιμές CN της στήλης (1) (mm)	Ελάχιστη τιμή του h_r για έναρξη απορροής (mm)
	Κατηγορία I	Κατηγορία III		
Κατηγορία II				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
100	100	100	0.0	.0.0
95	87	99	13.4	2.7
90	78	98	28.2	5.6
85	70	97	44.8	9.0
80	63	94	63.5	12.7
75	57	91	84.7	16.9
70	51	87	108.9	21.8
65	45	83	136.8	27.4
60	40	79	169.3	33.9
55	35	75	207.8	41.6
50	31	70	254.0	50.8
45	27	65	310.4	62.1
40	23	60	381.0	76.2
35	19	55	471.7	94.3
30	15	50	592.7	118.5
25	12	45	762.0	152.4
20	9	39	1016.0	203.2
15	7	33	1439.0	287.9
10	4	26	2286.0	457.2
5	2	17	4826.0	965.2
0	0	0		

Στο Σχήμα 3.4 αποτυπώνεται η σχέση του CN με το ύψος και το περίσσειμα βροχής σε διάγραμμα:



Σχήμα 3.4: Τιμές του CN συναρτήσει του ύψους και του περισσέυματος βροχής (Πηγή: Λουκάς, 2015).

Για τους άλλους δύο τύπους συνθηκών υγρασίας γίνεται αναγωγή του CN βάσει των σχέσεων:

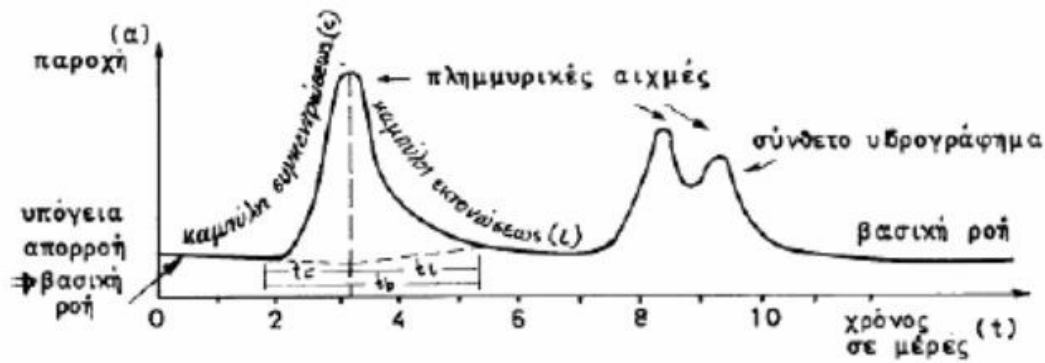
$$CN_I = \frac{0.42 CN_{II}}{1 - 0.0058 CN_{II}} \quad (3.35)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 CN_{II}}{1 + 0.013 CN_{II}} \quad (3.36)$$

3.5. Υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος

3.5.1 Γενικά

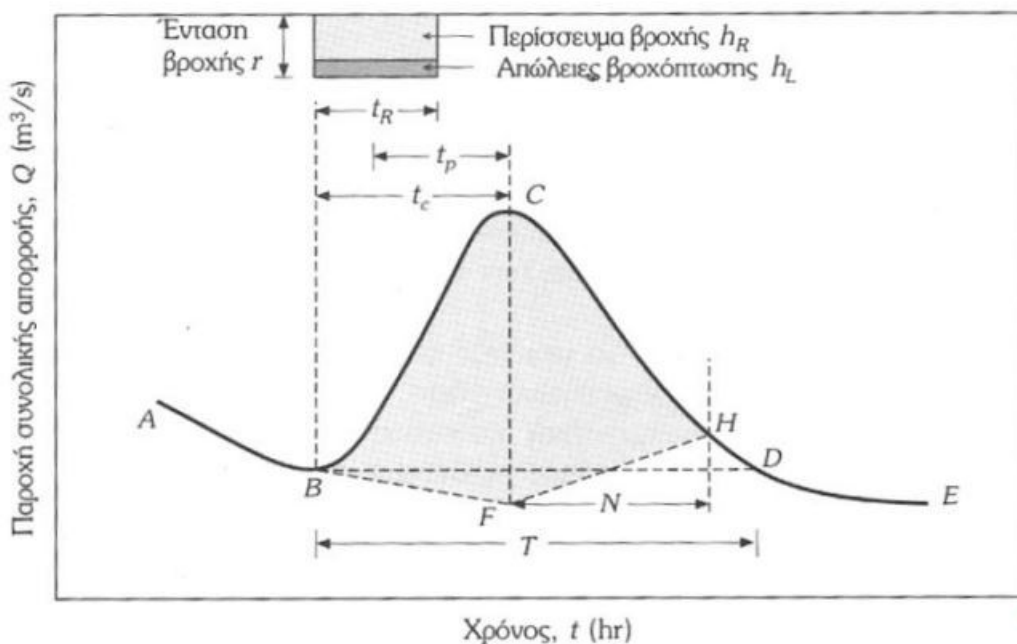
Το διάγραμμα της παροχής σαν συνάρτηση του χρόνου σε ένα ορισμένο σημείο της κοίτης ενός υδατορεύματος [$Q=Q(t)$], καλείται υδρογράφημα και έχει τα γενικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.5: Το υδρογράφημα και τα χαρακτηριστικά του (Πηγή: Βαφειάδης, 2004).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το σχεδιασμό των υδραυλικών έργων παρουσιάζουν τα υδρογραφήματα των πλημμυρών, δηλαδή των απορροών που αποτελούνται κυρίως από επιφανειακή απορροή. Η επιφανειακή απορροή αναλύεται σε δύο συνιστώσες: την άμεση ή ταχεία (direct runoff quickflow) και την βασική ή βραδεία (baseflow, base runoff). Η άμεση απορροή σχετίζεται ευθέως με το περίσσειμα της βροχής, ενώ η βασική απορροή οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο μηχανισμό της υπόγειας ροής και, γι' αυτό, δεν επηρεάζεται αισθητά κατά τη διάρκεια των πλημμυρών (Τσακίρης, 1995).

Στο Σχήμα 3.5 αναλύεται ένα τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας που προέρχεται από μια μεμονωμένη ραγδαία βροχή σταθερής έντασης:



Σχήμα 3.5: Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας (Πηγή: Μάρης, 2013).

Κατά τη χρονική στιγμή που η απορροή έχει φτάσει στο σημείο B (συνεχώς μειούμενη) αρχίζει η ραγδαία βροχή που δημιουργεί περίσσειμα βροχόπτωσης διάρκειας t_R , όπως φαίνεται στο υετόγραμμα του ίδιου σχήματος. Αμέσως μετά την απορροή, αυξάνει με τη δημιουργία του ανιόντος κλάδου BC και εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και της βροχής. Στο

σημείο C, συνήθως μετά το τέλος της βροχής, παρουσιάζεται η αιχμή της απορροής και ακολουθεί ο κατιών κλάδος CD. Ο χρόνος από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης ως την αιχμή, λέγεται χρονική επιβράδυνση (ή χρόνος υστέρησης), t_p . Από το σημείο D και μετά επικρατούν περίπου οι ίδιες συνθήκες απορροής όπως και πριν το B. Αν ενωθεί το B με το D, επιτυγχάνεται ένας κατά προσέγγιση διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή (Τσακίρης, 1995). Η χρονική περίοδος κατά την οποία παρατηρείται άμεση απορροή, είναι γνωστή ως χρονική βάση του υδρογραφήματος T . Ο κλάδος AB, αντιπροσωπεύει τη βασική ροή του ποταμού, η οποία στα διαστήματα μεταξύ των πλημμυρικών επεισοδίων, μειώνεται με το χρόνο σε ήπιο ρυθμό. Ο κλάδος αυτός, ονομάζεται κλάδος στείρευσης της βασικής ροής και συνήθως περιγράφεται μαθηματικά από μία εξίσωση εκθετικής μείωσης της παροχής ως προς το χρόνο, που έχει τη μορφή:

$$Q = Q_0 e^{-(t-t_0)/a} \quad (3.37)$$

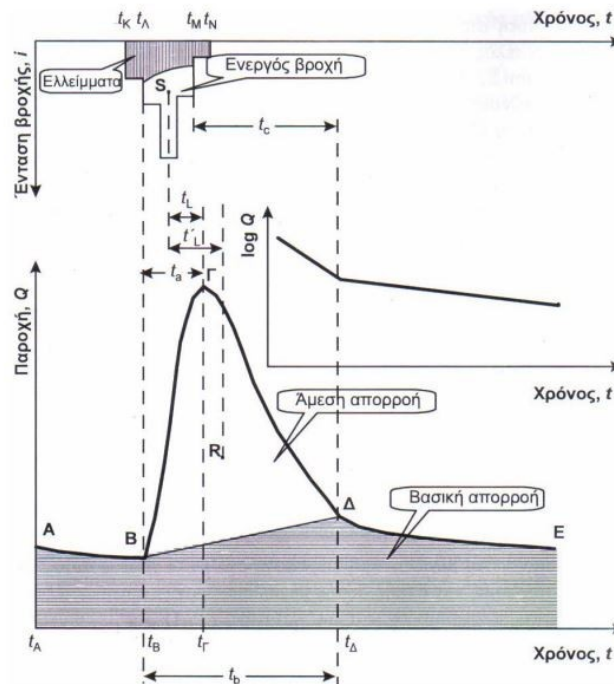
όπου Q_0 , η παροχή στο χρόνο t_0 και a , ένας συντελεστής με διαστάσεις χρόνου, γνωστός ως συντελεστής στείρευσης.

Ο κλάδος DE, αποτελεί επίσης κλάδο στείρευσης.

3.5.2 Συνιστώσες υδρογραφικού πλημμυρικού γεγονότος

Ο χρόνος συγκέντρωσης μιας λεκάνης απορροής εκφράζει τη χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής σε σχέση με το χρόνο που άρχισε η βροχή στη λεκάνη. Ο χρόνος συγκέντρωσης κανονικά προκύπτει από την ανάλυση ζευγών υετογραμμάτων και υδρογραφημάτων στην έξοδο της λεκάνης.

Στο Σχήμα 3.6, ο χρόνος συγκέντρωσης εμφανίζεται σαν τη χρονική απόσταση από τη λήξη του περισεύματος βροχής μέχρι τη λήξη της άμεσης απορροής, δηλαδή: $t_c = t_\Delta - t_M$.



Σχήμα 3.6: Σκαρίφημα τυπικού πλημμυρικού υδρογραφήματος με το αντίστοιχο υετόγραμμα. Διαχωρισμός των συνιστωσών του υδρογραφήματος και χαρακτηριστικοί χρόνοι (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Όταν δε διατίθενται κατάλληλες μετρήσεις για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, τότε χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι. Οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στην Ελλάδα για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης μίας υδρολογικής λεκάνης είναι οι ακόλουθες:

- (1) Μέθοδος Giandotti,
- (2) Μέθοδος Kirpich και
- (3) Μέθοδος κατά SCS

Οι αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις των παραπάνω, αποτυπώνονται ως:

- t_c κατά Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A+1.5L}}{0.8\sqrt{H_{mn}-H_{min}}} \quad (3.38)$$

όπου:

A : επιφάνεια σε km^2

L : μέγιστος υδραυλικός δρόμος σε km

H_{mn} : μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής σε m

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

t_c : χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες.

- t_c κατά Kirpich:

$$t_c = 0.0078 L^{0.77} S_m^{-0.385} \quad (3.39)$$

όπου:

L : μέγιστος υδραυλικός δρόμος σε km

S_m : μέση κλίση στη λεκάνη απορροής

t_c : χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες.

- t_c κατά SCS:

$$t_c = \frac{0.57 L^{0.8} [(1000/CN - 9)]^{0.7}}{S_m^{0.5}} \quad (3.40)$$

όπου:

L : το μήκος της κύριας μισγάγγειας σε m

CN: ο αριθμός καμπύλης (Curve Number) της μεθόδου SCS

S_m : μέση κλίση στη λεκάνη απορροής (%)

Στη συγκεκριμένη εργασία, ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης εκτιμήθηκε για τις τυπικές υδρολογικές συνθήκες (συνθήκες εδαφικής υγρασίας II) από την εμπειρική σχέση Giandotti 3.39, η οποία θεωρείται ότι για λεκάνες της Μεσογείου, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Από τον τύπο της SCS, διαιρώντας κατά μέλη μπορούμε να καταλήξουμε στην εξίσωση: (Nalbantis and Lympferopoulos, 2012)

$$t_{c,f} = t_{c,i} \left[\frac{\frac{1000}{CN_f} - 9}{\frac{1000}{CN_i} - 9} \right]^{0.7} \quad (3.41)$$

όπου i και f είναι οι δείκτες που εκφράζουν τα μεγέθη πριν και μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα.

Ο παραπάνω τύπος είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση κάποιων δοκιμών για την εκτίμηση μεγεθών της πλημμύρας μετά την πυρκαγιά, όπως θα αποδειχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

3.6. Μοναδιαίο υδρογράφημα

3.6.1 Γενικά

Η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι εφαρμογή της θεωρίας συστημάτων στην Υδρολογία. Το σύστημα είναι η λεκάνη απορροής που μετατρέπει τη βροχή που δέχεται σε απορροή. Επειδή το μοντέλο αυτό της λεκάνης απορροής, δεν περιγράφει με λεπτομέρεια τις διεργασίες που μετατρέπουν τη βροχή σε (είσοδος) σε απορροή (έξοδος) το αποκαλούμε προσομοίωμα (μοντέλο) μαύρου κουτιού.

Ως Μοναδιαίο Υδρογράφημα μιας βροχής διάρκειας περισσεύματος t_R ομοιόμορφα κατανεμημένης σε μια λεκάνη απορροής, ονομάζεται το αντίστοιχο υδρογράφημα άμεσης απορροής (ΥΑΑ) που προήλθε από περίσσειμα βροχής $h_R = 1$ cm. Το μοναδιαίο υδρογράφημα (ΜΥΓ) είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο που περικλείει όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης που αναφέρεται στη συγκεκριμένη διάρκεια περισσεύματος βροχής. Για κάθε, δηλαδή, διάρκεια περισσεύματος υπάρχει κι ένα διαφορετικό μοναδιαίο υδρογράφημα το οποίο αποτελεί τη βάση (τη μονάδα) για τον υπολογισμό

του υδρογραφήματος άμεσης απορροής από οποιοδήποτε ύψος περισσεύματος της ίδιας διάρκειας (Τσακίρης, 1995).

Για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος έχουν αναπτυχθεί κάποιες παραδοχές από τις οποίες πηγάζουν οι αρχές στις οποίες τελικά στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αυτές οι παραδοχές, αναλύονται ως:

- Η κατανομή του περισσεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο είναι η ίδια για βροχές με την ίδια διάρκεια.
- Η ένταση της βροχής είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του γεγονότος της βροχής.
- Δύο ραγδαίες βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικού ύψους περισσεύματος βροχής, δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες ανάλογες των υψών περισσεύματος βροχής.
- Από δύο ραγδαίες βροχές με το ίδιο ύψος περισσεύματος βροχής και την ίδια διάρκεια που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, προκύπτουν εντελώς όμοια υδρογραφήματα άμεσης απορροής.
- Για δεδομένη λεκάνη απορροής, το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος δεδομένης διάρκειας βροχής αντιπροσωπεύει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (Τσακίρης, 1995).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αρχές στις οποίες στηρίζεται η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι οι ακόλουθες:

- ◆ Αρχή της αναλογίας: Δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση, ενώ ο λόγος των παροχών σε κάθε χρονική στιγμή, είναι ίσος με το λόγο των εντάσεων.
- ◆ Αρχή της επαλληλίας: Το συνολικό υδρογράφημα άμεσης απορροής που προκύπτει από διαδοχικές βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με παροχές που είναι το άθροισμα των παροχών των επιμέρους υδρογραφημάτων άμεσης απορροής.

Το μοναδιαίο υδρογράφημα που αναπτύσσεται από δεδομένα παροχής και βροχόπτωσης σε μια λεκάνη απορροής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για αυτή τη λεκάνη και για το σημείο του υδατορεύματος όπου έχουν ληφθεί τα δεδομένα παροχής. Τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα για άλλες τοποθεσίες του υδατορεύματος στην ίδια λεκάνη ή για γειτονικές λεκάνες παρόμοιων χαρακτηριστικών ή για λεκάνες χωρίς μετρήσεις απορροής. Υπάρχουν τρεις τύποι συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων:

1. Οι τύποι που συνδέουν χαρακτηριστικά υδρογραφημάτων (παροχές αιχμής, χρόνος βασικής απορροής) με χαρακτηριστικά της λεκάνης όπως το συνθετικό υδρογράφημα κατά Snyder.
2. Οι τύποι που βασίζονται σε μοντέλα αποθήκευσης, όπως το συνθετικό υδρογράφημα κατά Clark.
3. Οι τύποι που βασίζονται σε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα, όπως το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της Soil Conservation Service (SCS).

3.6.2 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS

Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS είναι ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στο οποίο η παροχή εκφράζεται από το λόγο της παροχής Q προς την παροχή Q_p , ως συνάρτηση του λόγου του χρόνου t προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος T_p . Εάν δίνονται η παροχή αιχμής

και ο χρόνος υστέρησης για τη διάρκεια του περισεύματος βροχής, το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να υπολογιστεί από το συνθετικό αδιάστατο υδρογράφημα του Σχήματος 3.7 καθόσον, τότε, οι τιμές των Q_p και T_p μπορούν να υπολογιστούν.

Από μια επισκόπηση ενός μεγάλου αριθμού μοναδιαίων υδρογραφημάτων, η Υπηρεσία SCS, προτείνει ο χρόνος να υπολογίζεται ως $1.76T_p$. Μιας και το εμβαδό κάτω από το μοναδιαίο υδρογράφημα πρέπει να είναι ίσο με την άμεση απορροή ενός cm, μπορεί να δειχθεί ότι:

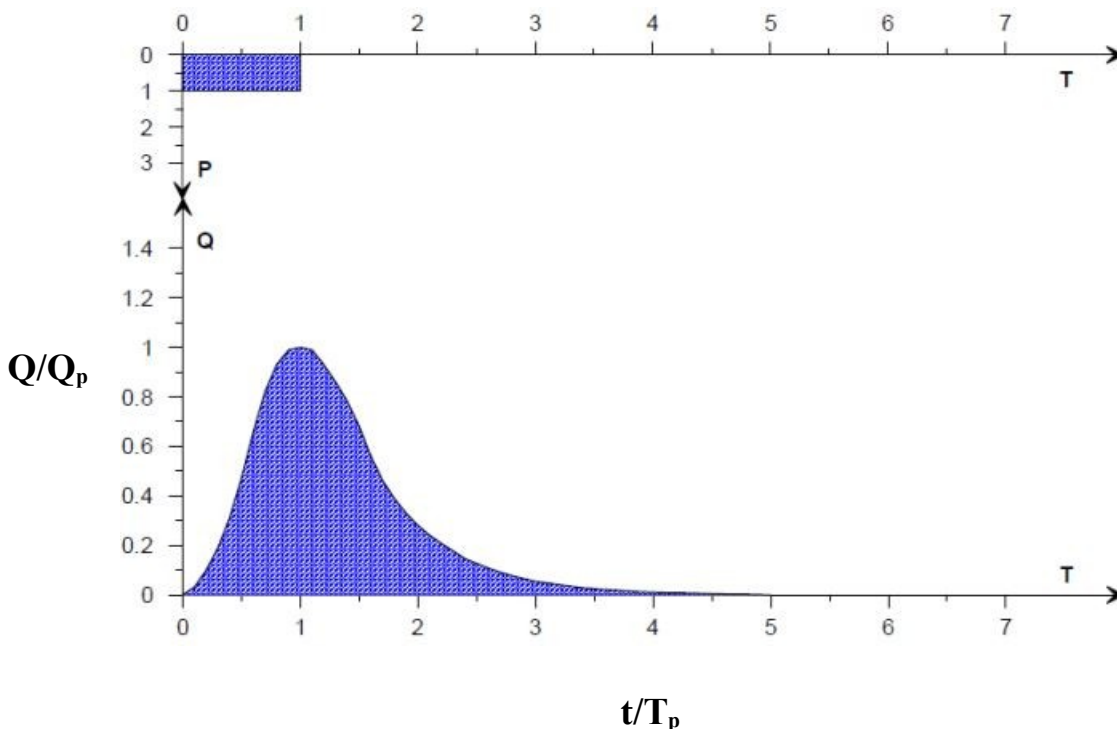
$$Q_p = \frac{C_u A}{T_p} \quad (3.42)$$

όπου ο συντελεστής $C_u = 2.08$ και A είναι το εμβαδόν της λεκάνης απορροής σε km^2 .

Επιπλέον, μια μελέτη μοναδιαίων υδρογραφημάτων πολλών μεγάλων και μικρών λεκανών στην ύπαιθρο, έδειξε ότι ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης είναι $t_p = 0.6 t_c$, όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης. Ο χρόνος ανόδου T_p μπορεί να εκφραστεί μέσω των όρων του χρόνου υστέρησης t_p και τη διάρκεια του περισεύματος της βροχόπτωσης t_r .

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (3.43)$$

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται το Μοναδιαίο Υδρογράφημα $Q(t)$ που αντιστοιχεί σε μία μοναδιαία βροχή $P(t)$, για μια δεδομένη λεκάνη απορροής.



Σχήμα 3.7: Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS (Πηγή: Λουκάς, 2015).

Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα που παριστάνεται στο Σχήμα 3.7 μπορεί να μετατραπεί στις απαιτούμενες διαστάσεις πολλαπλασιάζοντας τις τιμές στον οριζόντιο άξονα με T_p και τις τιμές στον κάθετο άξονα με Q_p . Από το υδρογράφημα που κατασκευάζεται με αυτό τον τρόπο καθίσταται εφικτό με ψηφιοποίηση ανά χρονικά διαστήματα ίσα με διάρκεια περισεύματος t_r να ληφθούν οι τιμές του μοναδιαίου υδρογραφήματος συναρτήσει του χρόνου.

3.6.3 Υδρογράφημα άμεσης απορροής

Το υδρογράφημα άμεσης απορροής για σύνθετες βροχές και με γνωστό το μοναδιαίο υδρογράφημα, προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} h_{r,m} U_{n-m+1} \quad (3.44)$$

που είναι η διακριτή εξίσωση συνέλιξης για ένα γραμμικό σύστημα. Σχετικά με τους όρους της παραπάνω εξίσωσης, $h_{r,m}$ είναι το ύψος του περισσεύματος βροχής και U_m οι τιμές των τεταγμένων του μοναδιαίου υδρογραφήματος, $m = 1, 2, 3, \dots, M$, n τα χρονικά διαστήματα με $n = 1, 2, 3, \dots$. Η σχέση $n \leq M$ σαν το πάνω όριο του αθροίσματος, δείχνει ότι οι όροι προστίθενται για $m = 1, 2, \dots, n$ για $n \leq M$, αλλά για $n > M$, το άθροισμα περιορίζεται για $m = 1, 2, \dots, M$.

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε 3 περισσεύματα βροχής $h_{r,1}$, $h_{r,2}$, $h_{r,3}$. Για το πρώτο χρονικό διάστημα ($n=1$), υπάρχει μόνο ένας όρος για συνέλιξη. Αυτός για $m = 1$:

$$Q_1 = h_{r,1} U_{1-1+1} = h_{r,1} U_1$$

Για $n = 2$ υπάρχουν 2 όροι και $m = 1, 2$:

$$Q_2 = h_{r,1} U_{2-1+1} + h_{r,2} U_{2-2+1} = h_{r,1} U_2 + h_{r,2} U_1$$

Για $n = 3$ υπάρχουν 3 όροι:

$$Q_3 = h_{r,1} U_{3-1+1} + h_{r,2} U_{3-2+1} + h_{r,3} U_{3-3+1} = h_{r,1} U_3 + h_{r,2} U_2 + h_{r,3} U_1$$

Για $n = 4, 5, \dots$ συνεχίζουν να υπάρχουν 3 όροι:

$$Q_n = h_{r,1} U_n + h_{r,2} U_{n-1} + h_{r,3} U_{n-2}$$

Στο παράδειγμα που περιγράφηκε υπάρχουν 3 περισσεύματα βροχόπτωσης και 6 μη μηδενικοί όροι του μοναδιαίου υδρογραφήματος, συνεπώς υπάρχουν $3 + 6 - 1 = 8$ μη μηδενικοί όροι (τεταγμένες) στο εξαγόμενο υδρογράφημα. Οι τιμές για τις 3 τελικές περιόδους είναι:

$$Q_6 = h_{r,1} U_6 + h_{r,2} U_5 + h_{r,3} U_4$$

$$Q_7 = h_{r,2} U_6 + h_{r,3} U_5$$

$$Q_8 = h_{r,3} U_6$$

Τα Q_n και $h_{r,m}$ εκφράζονται σε διαφορετικές διαστάσεις, και το U έχει διαστάσεις που είναι ο λόγος των διαστάσεων του Q_n και $h_{r,m}$ έτσι ώστε η σχέση 3.44 να είναι διαστατικά συνεπής.

3.6.4 Μέθοδοι εκτίμησης της παροχής

Οι μέθοδοι εκτίμησης της παροχής μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μέτρηση ταχύτητας νερού και ολοκλήρωση στη διατομή, που διακρίνεται στη μέθοδο του μέσου τμήματος και στη μέθοδο του διαμέσου τμήματος
- Απευθείας μέτρηση, που διακρίνεται στη χημική μέθοδο και στη μέθοδο με φυσαλίδες συμπιεσμένου αέρα
- Εκτίμηση μέσω εμπειρικών εξισώσεων της Εφαρμοσμένης Υδραυλικής όπως η εξίσωση του Manning και του Chezy (μέθοδος Stevens).

Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, θα χρησιμοποιηθεί η τρίτη μέθοδος μέτρησης της παροχής, αυτή της εξίσωσης του Manning. Η εξίσωση αυτή ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου δεν

υπάρχουν επαρκή στοιχεία ή τεχνικά μέσα για τη μέτρηση της παροχής και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q = \frac{1}{n} A_w R_u^{2/3} S_f^{1/2} \quad (3.45)$$

όπου A_w το εμβαδόν υγρής διατομής (m^2), R η υδραυλική ακτίνα (m), S_f η κλίση της γραμμής ενέργειας και της κοίτης στην περιοχή μετρήσεων και n ο συντελεστής τραχύτητας της κοίτης κατά Manning. Η εκτίμηση του συντελεστή τραχύτητας n γίνεται από κατάλληλους πίνακες συναρτήσεων των χαρακτηριστικών του υδατορεύματος και του υλικού της κοίτης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.5.

Μετά την πλημμύρα, οι παρατηρητές προσδιορίζουν κατά προσέγγιση το εμβαδόν της υγρής διατομής για την αιχμή της πλημμύρας A_w , και την αντίστοιχη στάθμη του νερού, y , από τα ίχνη που αφήνουν τα νερά στα πλευρικά τοιχώματα της κοίτης. Από τη διατομή A_w και τη βρεχόμενη περίμετρο P που της αντιστοιχεί, υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα $R = A_w / P$. Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα είναι της τραπεζοειδούς διατομής, δηλαδή:

$$A_w = (b + zy) y \quad (3.46)$$

$$P = b + 2y \sqrt{1 + z^2} \quad (3.47)$$

όπου b : πλάτος πυθμένα (m), y : βάθος ροής (m) και z : κλίση πρανών.

Πίνακας 3.5: Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή Manning n .

Τύπος εδάφους	Τιμή συντελεστή Manning n
Πρανή επενδεδυμένα από μπετόν	0.013
Λεία χωμάτινα πρανή	0.02
Ευθύ και βαθύ, μη προσχωσιγενές φυσικό υδατόρευμα	0.03
Φυσικό υδατόρευμα με μαιάνδρους	0.035
Πρανή με βλάστηση	0.04
Ορεινά υδατορεύματα με βραχώδεις κοίτες	0.05

4 Το Αχλαδόρεμα στη Βόρεια Εύβοια

4.1. Γενικά

Η Εύβοια είναι κατά σειρά το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και η πρόσβασή της γίνεται και οδικώς. Η έκτασή της είναι 3.654 km² και το συνολικό της μήκος είναι περίπου 180 km. Διοικητικά υπάγεται στην περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας και πρωτεύουσα της είναι η Χαλκίδα. Δυτικά βρέχεται από τον Ευβοϊκό κόλπο και νότια και ανατολικά, από το Αιγαίο Πέλαγος. Αποτελείται από τους δήμους: Διρφύων – Μεσσαπίων, Ερέτριας, Ιστιαίας – Αιδηψού, Καρύστου, Κύμης – Αλιβερίου, Μαντουδίου – Λίμνης – Αγίας Άννας, Σκύρου και Χαλκιδέων.

Γεωλογικά αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους, ενώ παρουσιάζει πολλές γεωλογικές διαπλάσεις και το κλίμα της είναι εύκρατο. Σημαντικότεροι επιμέρους κόλποι της Εύβοιας είναι από τον πορθμό του Ευρίπου και βόρεια: του Βατώντα, της Λίμνης και της Αιδηψού και νότια του Αλιβερίου, της Καρύστου και προς το Αιγαίο της Κύμης. Επίσης κατά μήκος των ακτών της Εύβοιας, απαντώνται πλήθος νησίδων μεταξύ των οποίων είναι οι Λιχάδες, οι Πεταλιοί, η Μυρτώ, η Πρασούδα και το Ποντικονήσι. Μερικά από τα βουνά του νομού είναι: ο Δίρφυς, Όχη, Ξηροβούνι, Σκοτεινή, Πυξαριάς, Καντήλι, Τελέθριο, Όλυμπος, Μαυροβούνι, Ζάρακας κ.α. που μέσα από αυτά κυλάει ο ποταμός Κηρέας και Νηλέας.

Η Βόρεια Εύβοια που θα μελετηθεί εκτενέστερα σε όλη της έκταση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας βρίσκεται από ποτάμια και ρυάκια. Πιο συγκεκριμένα, στη περιοχή που πρόκειται να μελετηθεί ανήκουν:

- Ο Ξηροπόταμος που διέρχεται από την πόλη της Ιστιαίας.
- Το ρέμα Μαρμάκια που διέρχεται από τη Δ.Ε. Ασμηνίου.
- Το ρέμα Βρύσας που διέρχεται από τη Δ.Ε. Γουβών.
- Το ρέμα Μαύρον που διέρχεται από τον οικισμό Ψαροπούλι της Δ.Ε. Βασιλικών.
- Το ρέμα Βόθανος που επίσης καταλήγει σε αραιές κατοικίες κοντά στον οικισμό Ψαροπούλι.
- Ο Ασπροπόταμος που καταλήγει σε μικρό παραλιακό οικισμό της Δ.Ε. Παπάδων.
- Το Αχλαδόρεμα που καταλήγει στην παραλία της Δ.Ε. Κοτσικιά.
- Ο ποταμός Νηλέας, ο οποίος τροφοδοτείται από 8 μεγάλα ρέματα.
- Το ρέμα Σηπιάς που καταλήγει στην παραλία – οικισμό Σηπιάς της Δ.Ε. Λίμνης.
- Το ρέμα Βρυστέλας που ξεκινά από τη Δ.Ε. Κοκκινομηλιάς και καταλήγει στην περιοχή του Ορμού Καμίνι, κοντά στη Δ.Ε. Ροβιών.

4.2. Το Αχλαδόρεμα

Το Αχλαδόρεμα οριοθετείται στη Βόρεια Εύβοια και πιο συγκεκριμένα, διαπερνά τα χωριά του Αχλαδίου και της Κοτσικιάς και καταλήγει στην παραλία του Αχλαδοπόταμου. Το Αχλάδι απ' όπου ξεκινάει το Αχλαδόρεμα, βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 220 m από την επιφάνεια της θάλασσας

και ανήκει στο δήμο Μαντουδίου – Λίμνης – Αγίας Άννας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, έχει 266 κατοίκους και η παραλία του χωριού, ονομάζεται Φραγκάκη. Αντίστοιχα, το χωριό Κοτσικιά όπου καταλήγει το Αχλαδόρεμα, βρίσκεται σε υψόμετρο 102 m. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, έχει 119 κατοίκους, αλλά ο πληθυσμός έχει σημειώσει πτωτική πορεία κατά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της έλλειψης εργασίας μετά την υποβάθμιση των ορυχείων της ευρύτερης περιοχής αλλά και το κλείσιμο μεγάλων παραγωγικών εταιρειών.

Το μήκος του κυρίου υδατορεύματος είναι περίπου 5.9 km και το εμβαδό της λεκάνης απορροής υπολογίζεται περίπου στα 14,80 km². Στη μελετώμενη λεκάνη απορροής, συμβάλλει και το ρέμα Δοκανιώτικο, το οποίο συναντά το Αχλαδόρεμα περίπου στο μέσον του, δηλαδή περίπου στη μέση της διαδρομής Αχλάδι – Κοτσικιά.



Σχήμα 4.1: Εικόνα Αχλαδορέματος.



Σχήμα 4.2: Εικόνα Αχλαδορέματος.

Από το χάρτη χρήσεων γης, από το Corine Land Cover (2018), διαπιστώθηκε πως οι εκτάσεις γης που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του Αχλαδορέματος, καλύπτονται κυρίως από μεικτό δάσος (εκτάσεις Χαλεπίου Πεύκης, Μαύρης Πεύκης, Ελάτης, Δρυός), γεωργο – δασικές περιοχές, ελαιώνες, οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς. Επιπλέον, υπάρχουν εκτάσεις που καλύπτονται από πλατύφυλλα και κωνοφόρα δάση, καθώς και από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (κοντά στην ακτογραμμή). Παράλληλα, από τα διαθέσιμα στοιχεία του εδαφολογικού χάρτη της Δασικής Υπηρεσίας, διαπιστώθηκε ότι οι κατηγορίες του μητρικού πετρώματος στην καμμένη έκταση, είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους (76%) “Τριτογενείς Αποθέσεις”, δηλαδή εδάφη μαλακά και γόνιμα.

4.3. Η πυρκαγιά του 2021

Την 3^η Αυγούστου του 2021, ξέσπασε πυρκαγιά που έπληξε σχεδόν όλη τη Βόρεια Εύβοια. Σύμφωνα με τον αναρτημένο Δασικό Χάρτη της Διεύθυνσης Δασών Π.Ε. Εύβοιας, το σύνολο των δασών και των δασικών εκτάσεων που κάηκαν, ανέρχεται σε 379.392,82 στρέμματα και αποτελούν το 74,1% της καμμένης έκτασης. Από τη συνολική έκταση των δασών και των δασικών εκτάσεων, τα 232.897,76 στρέμματα, βρίσκονται εντός του Δήμου Λίμνης – Μαντουδίου – Αγίας Άννας (ποσοστό 61,39%) και τα 146.495,05, στο Δήμο Ιστιαίας Αιδηψού (ποσοστό 38,61%). Συγκεκριμένα, για τη λεκάνη απορροής του Αχλαδοπόταμου που παρουσιάζεται το ενδιαφέρον, αποτιμήθηκε πως από τη συνολική έκταση της Τοπικής Κοινότητας Αχλαδίου που υπολογίζεται ίση με 19.136,09 στρέμματα, κάηκαν τα 18.772,78 στρέμματα (ποσοστό 98,10%) και για την Τοπική Κοινότητα Κοτσικιά, από τη συνολική έκταση των 9.912,95 στρέμματα, κάηκαν τα 9.431,80 στρέμματα (ποσοστό 95,15%). Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως σχεδόν – αν όχι όλη – η έκταση της λεκάνης απορροής που μελετάται, έχει καεί.

Εξίσου σημαντικός και δραματικός ήταν και ο απολογισμός των καμένων ζώων. Η πυρκαγιά έπληξε σε πολύ σημαντικό βαθμό, την πανίδα της Εύβοιας. Στη λίστα αυτή βρίσκονται τόσο ζώα της άγριας πανίδας, όσο και οικόσιτα ζώα. Το μεγαλύτερο ωστόσο πλήγμα στην πανίδα, παρουσιάστηκε στα ζώα που δέσποζαν στην κτηνοτροφία, όπως πρόβατα, κατσίκες, ενώ παράλληλα κάηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μελισσιών. Επιπλέον, πολλές απώλειες σημειώθηκαν σε βραδυκίνητα ζώα όπως χελώνες, σκαντζόχοιροι.

Όπως είναι γνωστό, οι δασικές πυρκαγιές επιφέρουν αλλαγές στη θερμοκρασία, στη σχετική υγρασία, στη δομή της βλάστησης, συνεπώς μεταβάλλονται και οι συνθήκες ζωής για την πανίδα. Έτσι, ακόμα και για τους οργανισμούς που κατάφεραν να επιβιώσουν από την πυρκαγιά, εμποδίζεται σημαντικά η διαβίωσή τους, από έλλειψη τροφής αλλά και καταφυγίων, αναγκάζοντάς τους συνεχώς να μεταναστεύουν έως ότου βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες για τη διαβίωσή τους.

Στο Σχήμα 4.3 φαίνονται στο απόσπασμα χάρτη, αναλυτικά, οι καμένες εκτάσεις (κόκκινες διαγραμμισμένες εκτάσεις) όπως αυτές αποτυπώθηκαν στο πρόγραμμα QGIS:

5 Εφαρμογή της μεθοδολογίας - Αποτελέσματα

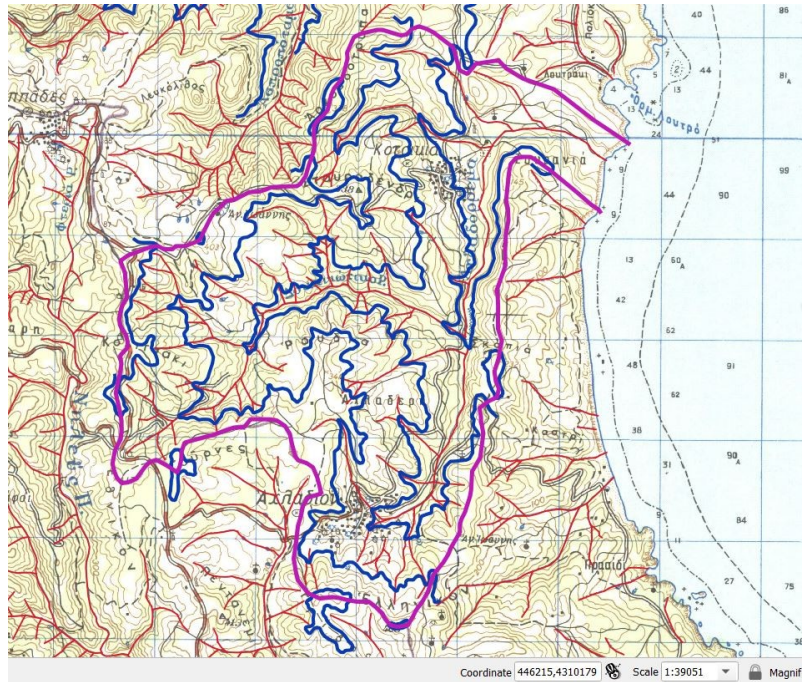
5.1. Γενικά

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, πραγματοποιείται εφαρμογή της μεθοδολογίας βάσει του θεωρητικού υποβάθρου που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3. Με βάση αυτήν την εφαρμογή, θα γίνει η εκτίμηση του πλημμυρικού καθεστώτος του ρέματος Αχλαδόρεμα στην Βόρεια Εύβοια και συγκεκριμένα, στον Κοτσικιά. Ως δεδομένα εισόδου είναι τα ιστορικά στοιχεία που υπάρχουν για την περιοχή, αλλά και οι μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή για τη λεκάνη απορροής του ενδιαφέροντος μας, κυρίως από μαρτυρίες κατοίκων. Για τη θεώρηση της χωρικής μεταβολής των υδρολογικών μεγεθών στη λεκάνη απορροής, θα πραγματοποιηθεί αδρομερής προσέγγιση, η οποία θεωρεί τη λεκάνη ως μία ενιαία οντότητα με συγκεκριμένη συμπεριφορά και χαρακτηριστικά τα οποία δεν αλλάζουν σε όλη την έκτασή της. Η επιλογή αυτή γίνεται καθώς η συγκεκριμένη λεκάνη κάηκε σε όλη της την έκταση στο 100%, οπότε δεν υπάρχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε κάποιο κομμάτι της ώστε αυτό να διερευνηθεί και με ημικατανεμημένη προσέγγιση.

5.2. Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής

Ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής του Αχλαδορέματος, έγινε στο πρόγραμμα QGIS. Αρχικά, έγινε επιλογή των φύλλων χαρτών κλίμακας 1:50000 για την περιοχή ενδιαφέροντος, οι οποίοι δόθηκαν από τη σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής, από το εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Τα φύλλα χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν και αφορούν την περιοχή είναι τα: Αργαλαστή, Σκιάθος, Λάρυμνα, Λίμνη και Ιστιαία. Με την εισαγωγή των χαρτών στο QGIS, έγινε Γεωαναφορά στο ΕΓΣΑ'87 και ακολούθησε η συνένωσή τους. Εν συνεχεία, χαράχθηκε το υδρογραφικό δίκτυο της Βόρειας Εύβοιας, οι ευρύτερες λεκάνες απορροής, οι υδροκρίτες, οι υψογραφικές καμπύλες καθώς και η έκταση που πλήχτηκε από την πυρκαγιά του Αυγούστου 2021 στη Βόρεια Εύβοια.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται απόσπασμα χάρτη (του φύλλου χάρτη «Λίμνη») στο QGIS, όπου αποτυπώνονται: το υδρογραφικό δίκτυο (κόκκινο χρώμα), η λεκάνη απορροής του Αχλαδορέματος (ματζέντα χρώμα) καθώς και οι ισούψείς (μπλε χρώμα). Η λεκάνη απορροής που μελετάται, κάηκε σε όλη της την έκταση.



Σχήμα 5.1: Απόσπασμα χάρτη με τη λεκάνη απορροής του Αχλαδορέματος.

Μετά από εμβαδομέτρηση όλης της έκτασης της λεκάνης απορροής προέκυψε ίση με: 14776133 m^2 , δηλαδή ίση με $14,78 \text{ km}^2$ περίπου.

Παράλληλα, υπολογίστηκαν τα εμβαδά και τα μέσα υψόμετρα μεταξύ των ισοϋψών:

$$A_{100} = 14776133 \text{ m}^2 = 14,78 \text{ km}^2$$

$$A_{200} = 12890950 \text{ m}^2 = 12,89 \text{ km}^2$$

$$A_{300} = 9309872 \text{ m}^2 = 9,31 \text{ km}^2$$

$$A_{400} = 3604587 \text{ m}^2 = 3,60 \text{ km}^2$$

$$A_{500} = 261404 \text{ m}^2 = 0,26 \text{ km}^2$$

Παρακάτω, υπολογίζεται το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής. Βάσει τύπου, υπολογίζονται τα επιμέρους εμβαδά μεταξύ 2 ισοϋψών και πολλαπλασιάζονται με το μέσο υψόμετρο και στη συνέχεια, αθροίζονται τα γινόμενα και διαιρούνται με το συνολικό εμβαδό, δηλαδή:

$$z_m = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i * A_i)}{\sum A_i} \quad (5.1)$$

όπου

z_m : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης

z_i : το μέσο υψόμετρο κάθε υποπεριοχής

A_i : το εμβαδό κάθε υποπεριοχής

Υπολογίζοντας όλα τα $z_i * A_i$, έχουμε:

- Για 0 – 100 m: $z_i * A_i = 50 * 1885183 = 94259150 \text{ m}^3 = 0,09 \text{ km}^3$
- Για 100 – 200 m: $z_i * A_i = 150 * 3581078 = 537161700 \text{ m}^3 = 0,54 \text{ km}^3$
- Για 200 – 300 m: $z_i * A_i = 250 * 5705285 = 1426321250 \text{ m}^3 = 1,43 \text{ km}^3$
- Για 300 – 400 m: $z_i * A_i = 350 * 3343183 = 1170114050 \text{ m}^3 = 1,17 \text{ km}^3$
- Για 400 – 500 m: $z_i * A_i = 450 * 261404 = 117631800 \text{ m}^3 = 0,12 \text{ km}^3$

Συνεπώς, προκύπτει
$$z_m = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i * A_i)}{\sum A_i} \Rightarrow z_m = \frac{3251228800}{12890950} \Rightarrow z_m = 226 \text{ m.}$$

Επιπροσθέτως, το μήκος του κυρίου υδατορεύματος ανέρχεται στα:

5893 m, δηλαδή ίσο με 5,90 km.

Παράλληλα, χαράχθηκε η υψογραφική καμπύλη, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2:



Σχήμα 5.2: Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής του Αχλαδορέματος.

Στα Σχήματα 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα στάθμης – όγκου και στάθμης – επιφάνειας, αντίστοιχα.

Ο όγκος υπολογίζεται μέσω της κόλουρης πυραμίδας. Με βάση τον τύπο:

$$V = \frac{1}{3} (E + \sqrt{E * \epsilon + \epsilon}) * \upsilon \quad (5.2)$$

όπου:

V : ο ζητούμενος όγκος

E : το εμβαδόν της μεγαλύτερης ισοϋψούς

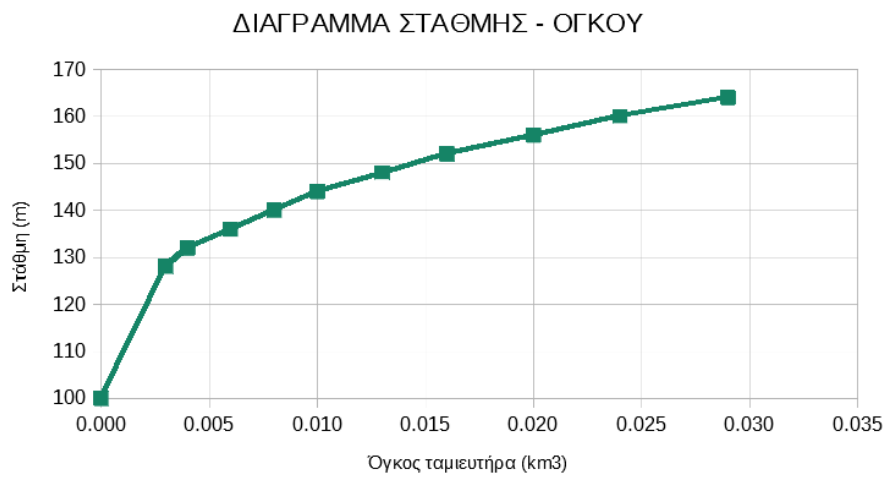
ε: το εμβαδόν της μικρότερης ισοψούς

υ: το ύψος μεταξύ των ισοψών

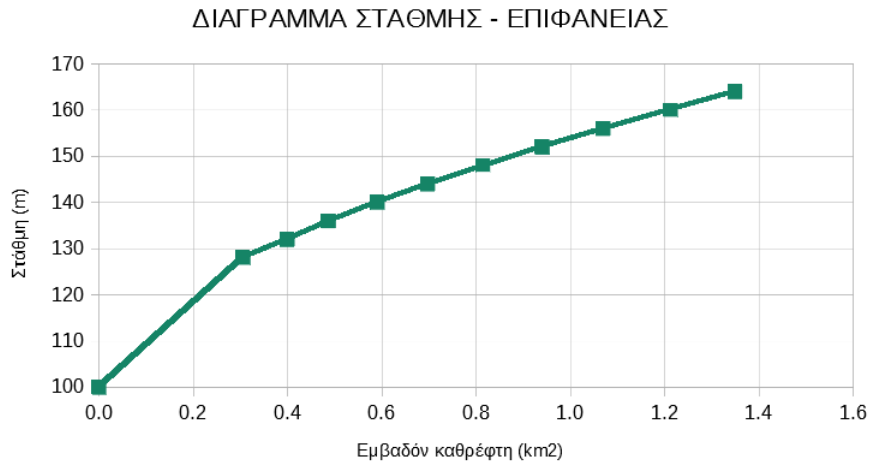
Υπολογίζοντας όλους τους όγκους, έχουμε:

Πίνακας 5.1: Όγκος μεταξύ των ισοψών.

Υψόμετρο (m)	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος (m ³)
100	14776133	0
200	12890950	1382282464
300	9309872	2387651272
400	3604587	2567879214
500	261404	2267049553



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα στάθμης – όγκου.



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα στάθμης – επιφάνειας.

5.3. Επιλογή όμβριας καμπύλης

Εφαρμόζοντας τη Σχέση 3.26 τις παραμέτρους όμβριων καμπυλών του βροχομετρικού σταθμού Μηλιές (υδατικό διαμέρισμα Α. Στερεάς Ελλάδας) – Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, 2016, προέκυψε η ενιαία εξίσωση όμβριων καμπυλών που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτη.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικές παράμετροι όμβριων καμπυλών βροχομετρικού σταθμού «Μηλιές».

Παράμετροι όμβριων καμπυλών	Τιμή
Παράμετρος όμβριων καμπυλών «κ»	0.097
Παράμετρος όμβριων καμπυλών «λ'»	352.8
Παράμετρος όμβριων καμπυλών «ψ'»	0.651
Παράμετρος όμβριων καμπυλών «θ»	0.124
Παράμετρος όμβριων καμπυλών «η»	0.622

Η σχέση αυτή δίνει της ένταση της βροχόπτωσης, της διάρκειας και της περιόδου επαναφοράς και έχει την ακόλουθη μορφή (για $\Delta = 1$ έτος καθόσον χρησιμοποιούνται ετήσιες μέγιστες τιμές της έντασης βροχόπτωσης) :

$$i(d, T) = \frac{352.8 \left(\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-0.097} - 0.651 \right)}{\left(1 + d/0.124 \right)^{0.622}} \quad (5.3)$$

5.4. Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού

Βάσει της μεθοδολογίας που διατυπώθηκε στο 3^ο κεφάλαιο και, συγκεκριμένα, με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, κατασκευάζονται τα υετογράμματα σχεδιασμού για κάθε επιθυμητή διάρκεια βροχόπτωσης. Η μέθοδος αυτή, είναι μια εύκολη και σχετικά αξιόπιστη μέθοδος

παραγωγής υετογραμμμάτων σχεδιασμού και γι αυτό επιλέγεται στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία.

Η περίοδος επαναφοράς που επιλέχτηκε για την εξαγωγή των όμβριων καμπύλων και των αποτελεσμάτων, είναι των 50 ετών ($T = 50$), που είναι από τις συνηθέστερες περιόδους επαναφοράς σε μελέτες υδραυλικών έργων γενικότερα. Στα Παραρτήματα 1 και 2, παρατίθενται υετογράμματα και υδρογραφήματα σχεδιασμού και για άλλες περιόδους επαναφοράς (5-10000 έτη), για πληρέστερη προσέγγιση του θέματος.

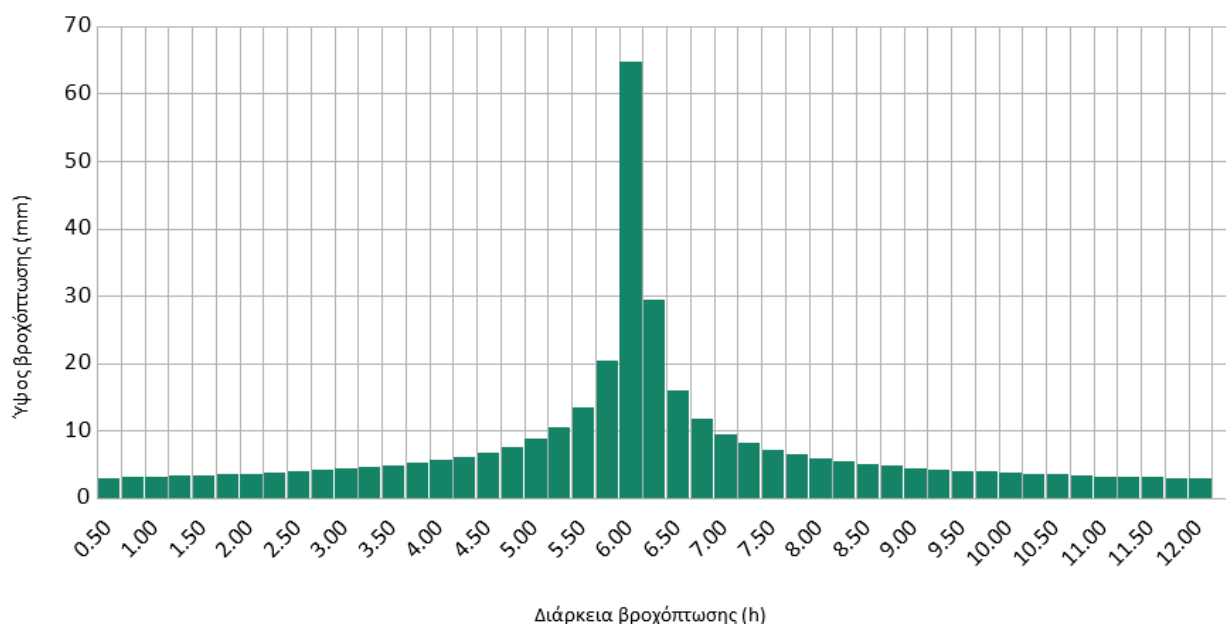
Τα χρονικά βήματα που εξετάζονται, είναι των 15 και 10 λεπτών, τα οποία, για την εξεταζόμενη λεκάνη, θεωρούνται τα πλέον κατάλληλα για την παραγωγή των πλημμυρικών υδρογραφημάτων. Το βασικό κριτήριο επιλογής αυτού του χρονικού βήματος είναι το γεγονός ότι στο μοναδιαίο υδρογράφημα, να ισχύει γενικά η εμπειρική σχέση $\Delta t \leq 0.2 * T_p$ όπου T_p είναι ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος (Nalbantis et al., 1994).

Μετά από την εφαρμογή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ, προκύπτουν οι Πίνακες 5.4 και 5.5 που αφορούν τα υετογράμματα σχεδιασμού για $T = 50$ χρόνια σε διαστήματα 15 και 10 λεπτών, αντίστοιχα. Στη 2^η στήλη, υπολογίζεται η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h), βάσει της όμβριας καμπύλης (6.3) για κάθε μία από τις διάρκειες Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$ και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης στην 3^η στήλη, ως γινόμενο της έντασης βροχόπτωσης και της διάρκειας. Στην 4^η στήλη, υπολογίζεται το ύψος βροχόπτωσης για κάθε διάστημα που μελετάται (στην περίπτωσή μας, 0.25 και 0.166 h) και προκύπτει από διαδοχικές αφαιρέσεις της 3^{ης} στήλης. Στην 6η στήλη, αναδιανέμονται οι τιμές της 4^{ης} στήλης, με τρόπο έτσι ώστε η μεγαλύτερη τιμή (64.7 για χρονικό βήμα 15 λεπτών και 50.3 για χρονικό βήμα 10 λεπτών) να τοποθετείται στο κεντρικό μπλοκ του υετογράμματος. Εν συνεχεία, η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή τοποθετείται δεξιά του κεντρικού μπλοκ, η επόμενη μεγαλύτερη τιμή αριστερά του κεντρικού μπλοκ κ.ο.κ. Συνεπώς, για περίοδο σχεδιασμού $T = 50$ χρόνια, αποτυπώνονται τα υετογράμματα σχεδιασμού διάρκειας 12 h (που είναι μία τυπική μεγάλη διάρκεια επεισοδίου βροχόπτωσης για τη συγκεκριμένη λεκάνη μελέτης) για διαστήματα βροχοπτώσεων δεκαπέντε λεπτών και δέκα λεπτών.

Πίνακας 5.4: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ χρόνια σε διαστήματα 15 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 50$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ. (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	514,464	0,000			
0,25	258,903	64,726	64,726	0 έως 0,25	2,9
0,50	188,303	94,152	29,426	0,25 έως 0,5	3,0
0,75	152,701	114,526	20,374	0,5 έως 0,75	3,1
1,00	130,583	130,583	16,057	0,75 έως 1	3,2
1,25	115,248	144,061	13,478	1 έως 1,25	3,3
1,50	103,867	155,801	11,740	1,25 έως 1,5	3,4
1,75	95,017	166,279	10,479	1,5 έως 1,75	3,5
2,00	87,897	175,794	9,514	1,75 έως 2	3,7
2,25	82,019	184,543	8,749	2 έως 2,25	3,8
2,50	77,067	192,667	8,125	2,25 έως 2,5	4,0
2,75	72,826	200,270	7,603	2,5 έως 2,75	4,2
3,00	69,144	207,431	7,161	2,75 έως 3	4,4
3,25	65,911	214,210	6,779	3 έως 3,25	4,6
3,50	63,045	220,656	6,446	3,25 έως 3,5	4,9
3,75	60,482	226,808	6,152	3,5 έως 3,75	5,3
4,00	58,175	232,699	5,891	3,75 έως 4	5,7
4,25	56,084	238,356	5,656	4 έως 4,25	6,2
4,50	54,178	243,800	5,445	4,25 έως 4,5	6,8
4,75	52,432	249,053	5,253	4,5 έως 4,75	7,6
5,00	50,826	254,130	5,077	4,75 έως 5	8,7
5,25	49,342	259,046	4,916	5 έως 5,25	10,5
5,50	47,966	263,814	4,768	5,25 έως 5,5	13,5
5,75	46,686	268,444	4,630	5,5 έως 5,75	20,4
6,00	45,491	272,947	4,503	5,75 έως 6	64,7
6,25	44,373	277,331	4,384	6 έως 6,25	29,4
6,50	43,324	281,604	4,273	6,25 έως 6,5	16,1
6,75	42,337	285,774	4,169	6,5 έως 6,75	11,7
7,00	41,407	289,846	4,072	6,75 έως 7	9,5
7,25	40,528	293,826	3,980	7 έως 7,25	8,1
7,50	39,696	297,719	3,893	7,25 έως 7,5	7,2
7,75	38,907	301,530	3,811	7,5 έως 7,75	6,4

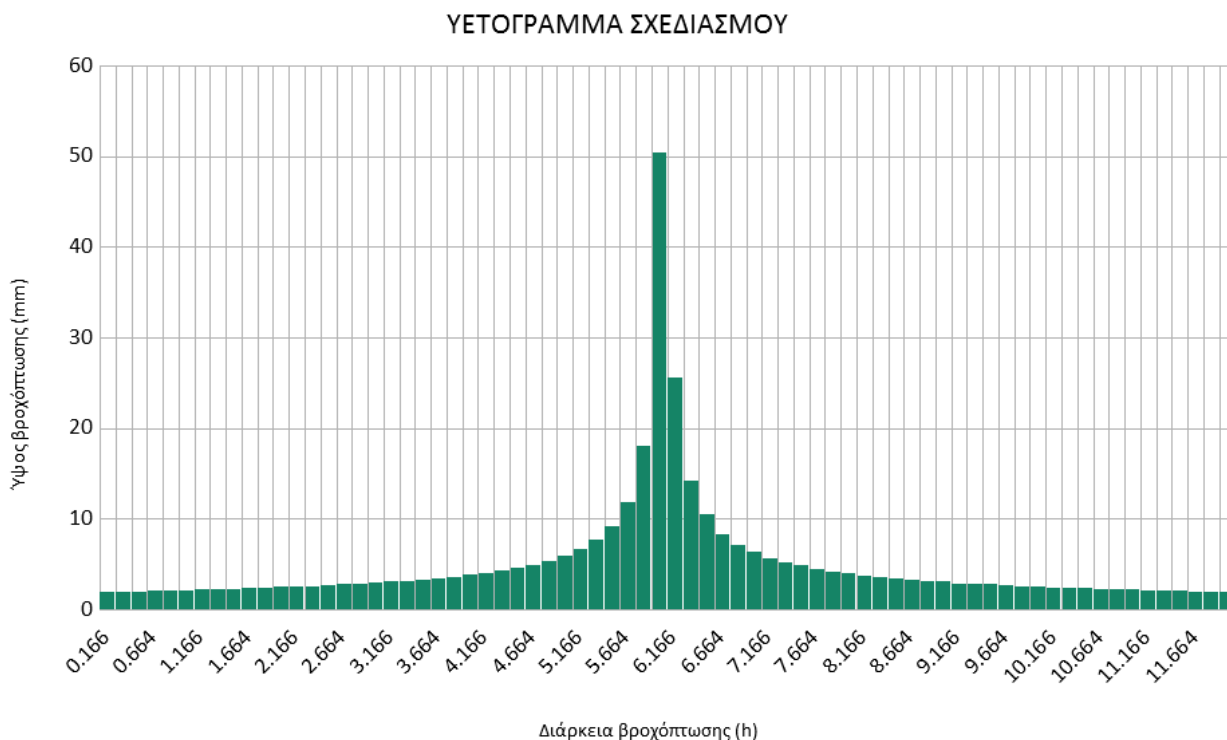
ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ



Σχήμα 5.5: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ χρόνια και χρονικό βήμα 15 λεπτών (0.25 h) πριν την πυρκαγιά για τη λεκάνη μελέτης.

Πίνακας 5.5: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ χρόνια σε διαστήματα 10 λεπτών με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 50$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 10 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,000	514,464	0,000			
0,166	303,285	50,345	50,345	0 έως 0,166	1,9
0,332	228,869	75,984	25,639	0,166 έως 0,332	2,0
0,498	188,680	93,963	17,978	0,332 έως 0,498	2,0
0,664	162,863	108,141	14,179	0,498 έως 0,664	2,0
0,830	144,605	120,022	11,881	0,664 έως 0,830	2,1
1,000	130,583	130,583	10,561	0,830 έως 1	2,1
1,166	119,861	139,757	9,174	1 έως 1,166	2,2
1,332	111,167	148,075	8,317	1,166 έως 1,332	2,2
1,498	103,947	155,712	7,638	1,332 έως 1,498	2,3
1,664	97,834	162,796	7,084	1,498 έως 1,664	2,3
1,830	92,578	169,418	6,622	1,664 έως 1,830	2,4
2,000	87,897	175,794	6,376	1,830 έως 2	2,4
2,166	83,877	181,679	5,885	2 έως 2,166	2,5
2,332	80,305	187,271	5,592	2,166 έως 2,332	2,6
2,498	77,103	192,604	5,334	2,332 έως 2,498	2,7
2,664	74,215	197,708	5,104	2,498 έως 2,664	2,7
2,830	71,593	202,607	4,898	2,664 έως 2,830	2,8
3,000	69,144	207,431	4,824	2,830 έως 3	2,9
3,166	66,953	211,972	4,541	3 έως 2,166	3,0
3,332	64,934	216,359	4,387	3,166 έως 3,332	3,2
3,498	63,066	220,606	4,247	3,332 έως 3,498	3,3
3,664	61,333	224,723	4,117	3,498 έως 3,664	3,4
3,830	59,718	228,720	3,997	3,664 έως 3,830	3,6
4,000	58,175	232,699	3,979	3,830 έως 4	3,8
4,166	56,764	236,480	3,781	4 έως 4,166	4,0
4,332	55,439	240,164	3,684	4,166 έως 4,332	4,2
4,498	54,192	243,758	3,594	4,332 έως 4,498	4,5
4,664	53,016	247,267	3,509	4,498 έως 4,664	4,9
4,830	51,904	250,696	3,429	4,664 έως 4,830	5,3
5,000	50,826	254,130	3,434	4,830 έως 5	5,9
5,166	49,828	257,411	3,281	5 έως 5,166	6,6
5,332	48,880	260,626	3,214	5,166 έως 5,332	7,6
5,498	47,977	263,776	3,150	5,332 έως 5,498	9,2
5,664	47,116	266,866	3,090	5,498 έως 5,664	11,9
5,830	46,295	269,898	3,032	5,664 έως 5,830	18,0
6,000	45,491	272,947	3,049	5,830 έως 6	50,3
6,166	44,741	275,871	2,924	6 έως 6,166	25,6
6,332	44,022	278,745	2,874	6,166 έως 6,332	14,2
6,498	43,332	281,571	2,826	6,332 έως 6,498	10,6
6,664	42,670	284,351	2,780	6,498 έως 6,664	8,3
6,830	42,033	287,087	2,736	6,664 έως 6,830	7,1
7,000	41,407	289,846	2,759	6,830 έως 7	6,4
7,166	40,818	292,498	2,653	7 έως 7,166	5,6
7,332	40,250	295,112	2,614	7,166 έως 7,332	5,1
7,498	39,702	297,688	2,576	7,332 έως 7,498	4,8
7,664	39,174	300,228	2,540	7,498 έως 7,664	4,4
7,830	38,663	302,733	2,505	7,664 έως 7,830	4,1
8,000	38,158	305,264	2,531	7,830 έως 8	4,0
8,166	37,681	307,703	2,438	8 έως 8,166	3,7
8,332	37,219	310,110	2,407	8,166 έως 8,332	3,5
8,498	36,772	312,487	2,377	8,332 έως 8,498	3,4
8,664	36,338	314,834	2,347	8,498 έως 8,664	3,2
8,830	35,918	317,153	2,319	8,664 έως 8,830	3,1
9,000	35,500	319,500	2,346	8,830 έως 9	3,0
9,166	35,104	321,764	2,264	9 έως 9,166	2,9
9,332	34,719	324,002	2,238	9,166 έως 9,332	2,8
9,498	34,346	326,215	2,213	9,332 έως 9,498	2,8
9,664	33,982	328,404	2,189	9,498 έως 9,664	2,6
9,830	33,629	330,569	2,165	9,664 έως 9,830	2,5
10,000	33,276	332,762	2,193	9,830 έως 10	2,5
10,166	32,941	334,881	2,119	10 έως 10,166	2,4
10,332	32,615	336,978	2,097	10,166 έως 10,332	2,3
10,498	32,297	339,054	2,076	10,332 έως 10,498	2,3
10,664	31,987	341,109	2,055	10,498 έως 10,664	2,2
10,830	31,685	343,145	2,035	10,664 έως 10,830	2,2
11,000	31,383	345,208	2,064	10,830 έως 11	2,2
11,166	31,095	347,204	1,996	11 έως 11,166	2,1
11,332	30,814	349,181	1,977	11,166 έως 11,332	2,1
11,498	30,539	351,140	1,959	11,332 έως 11,498	2,1
11,664	30,271	353,081	1,941	11,498 έως 11,664	2,0
11,830	30,009	355,005	1,924	11,664 έως 11,830	1,9
12,000	29,746	356,957	1,952	11,830 έως 12	2,0



Σχήμα 5.6: Υετόγραμμα σχεδιασμού για $T = 50$ χρόνια και χρονικό βήμα 10 λεπτών (0.166 h) για τη λεκάνη μελέτης.

5.5. Υπολογισμός περισσέυματος βροχόπτωσης

Ο υπολογισμός περισσέυματος βροχής, πραγματοποιείται με τη μέθοδο SCS. Το περίσσευμα βροχόπτωσης είναι αυτό που ευθύνεται για την εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων, γι αυτό και ο υπολογισμός του αποτελεί βασική παράμετρο στις υδρολογικές μελέτες.

Η μέθοδος SCS εφαρμόζεται για την εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης, δηλαδή για το διαχωρισμό των υδρολογικών ελλειμμάτων από το συνολικό υετογράφημα. Λαμβάνει υπόψη το ύψος βροχόπτωσης και τις συνολικές απώλειες, ενώ οι αρχικές απώλειες ισούνται με το 1/5 των συνολικών απωλειών (0.2S). Η μέθοδος αυτή είναι η κατάλληλη για τη συγκεκριμένη μελέτη καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τις απώλειες. Τελικά, για τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών, υπολογίζεται ο αριθμός καμπύλης CN, ο οποίος εξαρτάται από τη δομή του εδάφους και την εδαφική κάλυψη της περιοχής καθώς και τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Για τον προσδιορισμό του CN, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, ο Πίνακας 3.3, ο οποίος προσαρμόζεται καλύτερα στις ελληνικές συνθήκες. Μετά τη μελέτη των εδαφών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το έδαφος της περιοχής αποτελείται κυρίως από αμμώδη πηλό, δηλαδή τύπου B, αλλά υπάρχει και μία αρκετά μεγάλη έκταση στις εκβολές του Αχλαδορέματος προς τη θάλασσα, με αργιλοπηλώδες έδαφος, γι αυτό θα ληφθεί υπόψη και ο τύπος C. Έτσι, κατά προσέγγιση το έδαφος χωρίζεται σε ποσοστό 77% τύπος B και 23% τύπος C. Παράλληλα, είναι απαραίτητη και η γνώση των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης. Η πληροφορία αυτή, βρέθηκε από το Corine Land Cover και διαπιστώθηκε πως οι χρήσεις γης, ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης, ταξινομούνται ως εξής:

- Μεικτό δάσος : 57 %
- Γεωργικές καλλιέργειες : 43%

Έτσι, προκύπτει ο αριθμός CN για κατηγορία προγενέστερης υγρασίας τύπου II, ο οποίος υπολογίζεται με τη διαδικασία που προτείνεται από τον Chow (1988) και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.6. Η κατάσταση υδρολογικών συνθηκών, επιλέχθηκε βάσει του Πίνακα 3.2., δηλαδή μέτρια ως μια μέση κατάσταση. Εν συνεχεία ακολουθεί ο Πίνακας 5.6. όπου το ποσοστό χρήσης γης κάθε κατηγορίας της λεκάνης που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο εδάφους, πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό CN που της αντιστοιχεί. Τελικά, ο σταθμισμένος Μ.Ο. προκύπτει από την άθροιση κάθε τύπου εδάφους και τη διαίρεσή τους με το 100, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 5.6: Αριθμός CN πριν την πυρκαγιά.

Χρήση γης	Υδρολογικός Τύπος Εδάφους					
	B			C		
	Ποσοστό (%)	CN	CN * (%)	Ποσοστό (%)	CN	CN * (%)
Μεικτά Δάση	43.890	60	2633.400	13.110	74	970.140
Καλλιέργειες	33.110	76	2516.360	9.890	83	820.870
	77.000		5149.760	23.000		1791.010
Σταθμισμένος Μ.Ο.			CN = 69.41			

Τελικά, κάνοντας όλες τις απαραίτητες διαδικασίες, προκύπτει ο αριθμός CN πριν την πυρκαγιά, για την περιοχή μελέτης, ίσος με CN = 69.41. Παρακάτω, διαπιστώνεται πως ο αριθμός CN, αυξάνεται μετά την πυρκαγιά λόγω της μείωσης της χλωρίδας, γεγονός που μειώνει την απορροφητικότητα του εδάφους και οδηγεί στην παρουσία μεγαλύτερου περισσεύματος βροχής και συνεπώς πιο έντονα πλημμυρικά φαινόμενα.

Εν συνεχεία, με γνωστό τον αριθμό CN πριν την πυρκαγιά, υπολογίζεται η παράμετρος S , αντικαθιστώντας τις τιμές στη σχέση 3.34, δηλαδή η δυναμική μέγιστη κατακράτηση και από τη Σχέση 3.31 καθίσταται δυνατόν να υπολογιστούν τα περισσεύματα βροχόπτωσης για κάθε διάστημα Δt .

Στους Πίνακες 5.7 και 5.8, παρουσιάζονται τα περισσεύματα βροχόπτωσης για διαστήματα 15 και 10 λεπτών αντίστοιχα.. Στη 2^η στήλη, κατατάσσονται οι τιμές βροχόπτωσης όπως υπολογίστηκαν από το υετόγραμμα σχεδιασμού στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Στην 3^η στήλη, εμφανίζονται αθροιστικά όλες οι βροχοπτώσεις της 2^{ης} στήλης και στην 4^η στήλη, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της σχέσης 3.31. Η απώλεια, υπολογίζεται ως $0.2S = 22.39$. Εφόσον ισχύει $h < 0.2 S$, δηλαδή $h < 22.39$, οι αντίστοιχες τιμές στην 4^η στήλη ($0 - 1.75$ h), θα είναι μηδενικές. Συνεπώς, στην 5^η στήλη, υπολογίζεται το ζητούμενο περίσσευμα, από διαδοχικές αφαιρέσεις των τιμών του αθροιστικού περισσεύματος.

Οι απώλειες ισούνται με τη διαφορά της αθροιστικής βροχόπτωσης μείον το αθροιστικό περίσσειμα δηλαδή 250.69 mm.

Πίνακας 5.7: Υπολογισμός περισσευμάτων βροχόπτωσης για βήμα 15 λεπτών.

ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ				
Διάρκεια (h)	Βροχ. (mm)	Αθρ.βροχ (mm)	Αθρ. Περίσσειμα (mm)	Περίσσειμα (mm)
0,00	0,00	0,000		
0,25	2,92	2,916	4,100	
0,50	3,00	5,915	2,843	
0,75	3,09	9,002	1,818	
1,00	3,18	12,185	1,023	
1,25	3,29	15,472	0,455	
1,50	3,40	18,872	0,114	
1,75	3,52	22,396	0,000	0,116
2,00	3,66	26,056	0,116	0,352
2,25	3,81	29,868	0,468	0,596
2,50	3,98	33,847	1,064	0,851
2,75	4,17	38,017	1,915	1,121
3,00	4,38	42,401	3,035	1,411
3,25	4,63	47,031	4,446	1,729
3,50	4,92	51,947	6,175	2,083
3,75	5,25	57,200	8,258	2,487
4,00	5,66	62,856	10,745	2,962
4,25	6,15	69,009	13,707	3,539
4,50	6,78	75,788	17,246	4,271
4,75	7,60	83,391	21,518	5,260
5,00	8,75	92,140	26,778	6,718
5,25	10,48	102,619	33,496	9,204
5,50	13,48	116,096	42,700	14,882
5,75	20,37	136,471	57,581	52,384
6,00	64,73	201,196	109,965	25,465
6,25	29,43	230,622	135,430	14,188
6,50	16,06	246,679	149,618	10,483
6,75	11,74	258,419	160,101	8,556
7,00	9,51	267,934	168,657	7,346
7,25	8,12	276,058	176,002	6,502
7,50	7,16	283,219	182,504	5,875
7,75	6,45	289,665	188,379	5,385
8,00	5,89	295,556	193,764	4,991
8,25	5,44	301,000	198,756	4,665
8,50	5,08	306,077	203,421	4,390
8,75	4,77	310,845	207,811	4,155
9,00	4,50	315,348	211,966	3,950
9,25	4,27	319,621	215,916	3,770
9,50	4,07	323,693	219,686	3,610
9,75	3,89	327,586	223,297	3,467
10,00	3,73	331,320	226,764	3,339
10,25	3,59	334,911	230,103	3,222
10,50	3,46	338,371	233,324	3,115
10,75	3,34	341,713	236,440	3,018
11,00	3,23	344,947	239,457	2,928
11,25	3,13	348,081	242,385	2,844
11,50	3,04	351,123	245,229	2,767
11,75	2,96	354,080	247,996	2,695
12,00	2,88	356,957	250,692	
SUM	356,957			250,692

Πίνακας 5.8: Υπολογισμός περισσευμάτων βροχόπτωσης για βήμα 10 λεπτών.

ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 10 ΛΕΠΤΩΝ				
Διάρκεια (h)	Βροχ. (mm)	Αθρ.βροχ (mm)	Αθρ. Περίσσευμα (mm)	Περίσσευμα (mm)
0,000	0,00	0,000		
0,166	1,92	1,924	4,578	
0,332	1,96	3,883	3,665	
0,498	2,00	5,878	2,856	
0,664	2,04	7,913	2,150	
0,830	2,08	9,989	1,544	
1,000	2,12	12,108	1,039	
1,166	2,17	14,273	0,634	
1,332	2,21	16,487	0,328	
1,498	2,26	18,751	0,122	
1,664	2,32	21,070	0,016	
1,830	2,38	23,447	0,010	0,096
2,000	2,44	25,885	0,106	0,200
2,166	2,51	28,390	0,305	0,305
2,332	2,58	30,967	0,611	0,413
2,498	2,65	33,619	1,024	0,525
2,664	2,74	36,355	1,549	0,641
2,830	2,83	39,181	2,191	0,762
3,000	2,92	42,105	2,953	0,890
3,166	3,03	45,138	3,842	1,024
3,332	3,15	48,288	4,866	1,168
3,498	3,28	51,569	6,034	1,323
3,664	3,43	54,999	7,357	1,491
3,830	3,59	58,593	8,848	1,676
4,000	3,78	62,373	10,523	1,883
4,166	4,00	66,371	12,406	2,116
4,332	4,25	70,617	14,522	2,384
4,498	4,54	75,158	16,906	2,701
4,664	4,90	80,056	19,607	3,081
4,830	5,33	85,390	22,689	3,554
5,000	5,89	91,275	26,243	4,174
5,166	6,62	97,897	30,416	5,021
5,332	7,64	105,535	35,437	6,289
5,498	9,17	114,709	41,726	8,509
5,664	11,88	126,590	50,235	13,526
5,830	17,98	144,568	63,761	40,873
6,000	50,35	194,913	104,634	21,997
6,166	25,64	220,553	126,631	12,412
6,332	14,18	234,731	139,043	9,342
6,498	10,56	245,292	148,385	7,410
6,664	8,32	253,609	155,795	6,345
6,830	7,08	260,693	162,141	5,736
7,000	6,38	267,069	167,877	5,049
7,166	5,59	272,661	172,926	4,623
7,332	5,10	277,765	177,550	4,382
7,498	4,82	282,589	181,932	3,995
7,664	4,39	286,976	185,927	3,757
7,830	4,12	291,094	189,684	3,638
8,000	3,98	295,072	193,322	3,375
8,166	3,68	298,756	196,697	3,220
8,332	3,51	302,265	199,917	3,156
8,498	3,43	305,700	203,073	2,958
8,664	3,21	308,914	206,032	2,848
8,830	3,09	312,004	208,880	2,813
9,000	3,05	315,052	211,693	2,655
9,166	2,87	317,926	214,348	2,572
9,332	2,78	320,706	216,920	2,555
9,498	2,76	323,465	219,475	2,423
9,664	2,61	326,078	221,898	2,357
9,830	2,54	328,619	224,255	2,351
10,000	2,53	331,149	226,605	2,238
10,166	2,41	333,556	228,843	2,184
10,332	2,35	335,904	231,027	2,185
10,498	2,35	338,250	233,212	2,086
10,664	2,24	340,489	235,298	2,041
10,830	2,19	342,677	237,339	2,047
11,000	2,19	344,871	239,386	1,959
11,166	2,10	346,968	241,344	1,921
11,332	2,06	349,023	243,265	1,930
11,498	2,06	351,087	245,195	1,850
11,664	1,98	353,064	247,045	1,817
11,830	1,94	355,005	248,862	1,829
12,000	1,95	356,957	250,692	
SUM	356,957			250,682

5.6. Προσδιορισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Οι παράμετροι του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, εξαρτώνται αποκλειστικά από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, μιας και δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την απορροή.

Βάσει των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης όπως αυτά έχουν υπολογιστεί στο υποκεφάλαιο 5.2, σε συνδυασμό με τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης t_c από τη σχέση 3.38 (κατά Giandotti) που είναι ίσος με $t_c = 2.015$ h, εξάγεται το Μοναδιαίο Υδρογράφημα για χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα, φαίνονται συγκεντρωτικά παρακάτω:

- ◆ Συνολική έκταση λεκάνης: $A = 14.776$ km²
- ◆ Συνολικό μήκος κύριου υδατορεύματος: $L = 5.893$ km
- ◆ Μέσο υψόμετρο λεκάνης: $H_m = 226.000$ m
- ◆ Χρόνος συγκέντρωσης: $t_c = 2.015$ h

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης, υπολογίζεται ο χρόνος ανόδου και η παροχή αιχμής του συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, εφαρμόζοντας τις Σχέσεις (3.42) και (3.43), με $t_p = 0.6 t_c$. Συνεπώς, υπολογίζονται:

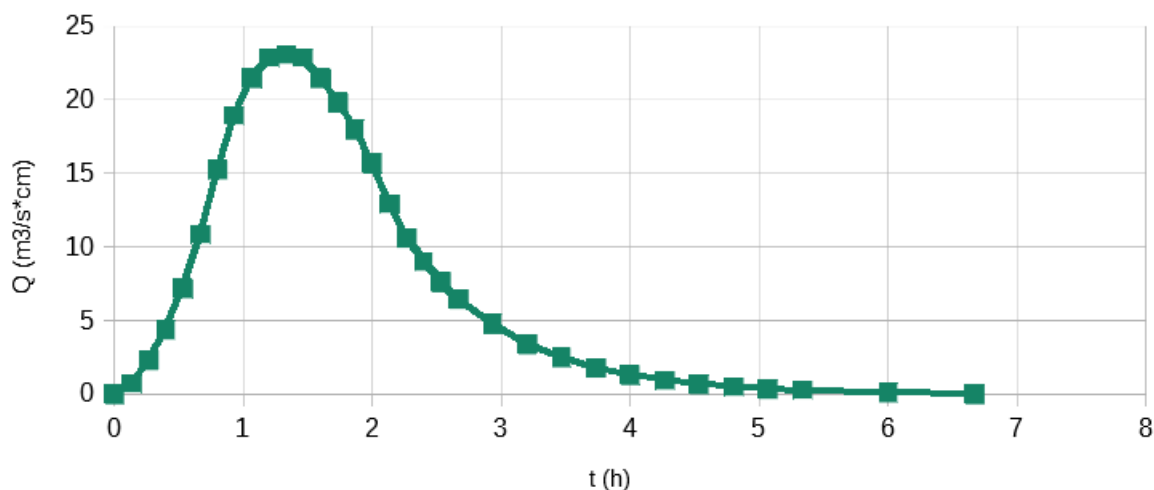
Πίνακας 5.9: Υπολογισμός χρόνων ανόδου και παροχών αιχμής (πριν την πυρκαγιά).

Βήμα (h)	T_p (h)	Q_p (m³/s*cm)
15 λεπτά	1.334	23.039
10 λεπτά	1.292	23.788

Στα Σήματα 5.7 και 5.8 παρουσιάζονται τα μοναδιαία υδρογραφήματα για τα επιλεγμένα χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών, αντίστοιχα. Για την εξαγωγή αυτών, πολλαπλασιάστηκαν οι άξονες του αδιάστατου υδριγραφήματος της SCS με τους χρόνους ανόδου και τις παροχές αιχμής για κάθε περίπτωση. Στα Σχήματα 5.7 και 5.8 που αφορούν υδρογραφήματα, πραγματοποιήθηκε διακριτοποίηση ώστε να υπολογιστεί η παροχή για κάθε χρονικό διάστημα ανάλογα με το χρονικό βήμα (15 και 10 λεπτά).

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

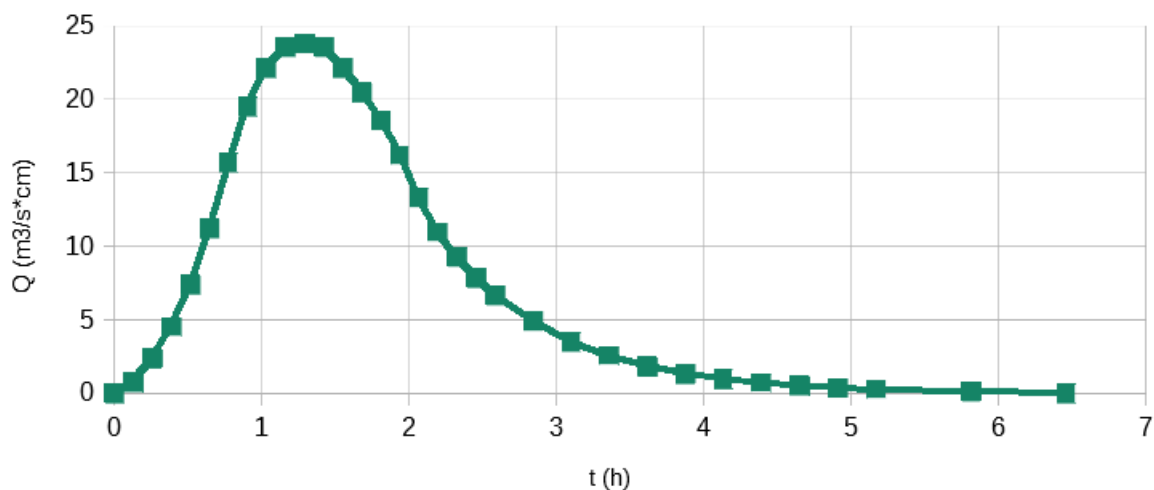
(ΜΕ ΒΗΜΑ 15 ΛΕΠΤΑ)



Σχήμα 5.7: Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, με χρονικό βήμα 15 λεπτών.

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

(ΜΕ ΒΗΜΑ 10 ΛΕΠΤΑ)



Σχήμα 5.8: Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, με χρονικό βήμα 10 λεπτών.

5.7. Προσδιορισμός παροχής και υπολογισμός CN από μετρήσεις πεδίου, μετά την πυρκαγιά

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, έγιναν μετρήσεις που στηρίζονται κυρίως σε μαρτυρίες κατοίκων για τα γεγονότα πλημμύρας που

αφορούν το Αχλαδόρεμα, μετά την πυρκαγιά Πιο συγκεκριμένα, έγιναν κάποιες μετρήσεις πεδίου μετά από πλημμυρικό γεγονός στις 2 Απριλίου 2022.

Η μέτρηση πεδίου πραγματοποιήθηκε στις 16 Απριλίου 2022 και αφορούσε πλημμυρικό γεγονός που πραγματοποιήθηκε στις 2 Απριλίου 2022, έπειτα από ένα αρκετά σημαντικό γεγονός μεγάλης βροχόπτωσης. Από μαρτυρίες κατοίκων, μετρήθηκε η στάθμη που έφτασε το νερό κατά την ημέρα της υψηλής βροχόπτωσης καθώς και η στάθμη του ρέματος εκείνη την ημέρα (χωρίς βροχόπτωση). Η στάθμη νερού κατά το γεγονός της βροχόπτωσης στις 2 Απριλίου, έφτασε 72 cm. Παράλληλα με το ύψος, μετρήθηκαν και τα στοιχεία της διατομής, δηλαδή το πλάτος που υπολογίστηκε ίσο με 3.50 m, από το οποίο προέκυψε και η κλίση μετά από κατάλληλους υπολογισμούς, στο συγκεκριμένο σημείο. Εν συνεχεία, με αυτά τα στοιχεία, υπολογίστηκε η παροχή μέσω του τύπου του Manning. Η συγκεκριμένη διατομή, θεωρείται ορθογώνια και βρίσκεται κοντά στο σημείο εξόδου του ρέματος από τη λεκάνη απορροής, όπου έχει εκβολή στο Αιγαίο Πέλαγος.

Εν συνεχεία, υπολογίζονται η παροχή αιχμής, η οποία χρησιμοποιείται στην κατασκευή ενός δοκιμαστικού υδρογραφήματος άμεσης απορροής. Ο αριθμός CN μετά την πυρκαγιά έχει παρθεί από τη Διπλωματική Εργασία του Λυμπερόπουλου (2018), ο οποίος εξήγαγε συμπεράσματα για το ρέμα Γιαννούλας στην Πάρνηθα με μετρήσεις που έλαβε αμέσως την επόμενη μέρα ενός πλημμυρικού γεγονότος. Η τιμή του CN που υπολόγισε για τα καμμένα, είναι 83.1, η οποία είναι αρκετά μεγαλύτερη από την τιμή πριν τα καμμένα (69.41).

Όπως προαναφέρθηκε, η παροχή, υπολογίζεται από την εξίσωση Manning από τη Σχέση 3.45, η οποία ενδείκνυται σε περιπτώσεις που δεν έχουν επαρκή στοιχεία. Για να εξαχθεί η παροχή, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν η υδραυλική ακτίνα και η κλίση. Από τυπολόγιο, η υδραυλική ακτίνα σε ορθογωνική διατομή βρίσκεται από τον τύπο:

$$R_u = \frac{A_w}{P} \quad (5.4)$$

με:

$$A_w = B * y \quad (5.5)$$

και

$$P = B + 2 * y \quad (5.6)$$

όπου:

B : πλάτος διατομής (m)

y : η μετρημένη στάθμη (m).

Οπότε, υπολογίζεται η υδραυλική ακτίνα:

$$R_u = \frac{A_w}{P} \Rightarrow R_u = \frac{B * y}{B + 2 * y} \Rightarrow R_u = \frac{3.500 * 0.719}{3.500 + (2 * 0.719)} \Rightarrow R_u = 0.510 \text{ m.}$$

Παράλληλα, υπολογίζεται και η κλίση της γραμμής ενέργειας από το χάρτη 1:50000 της ΓΥΣ, ως ο λόγος της διαφοράς του υψομέτρου του σημείου της εξόδου της λεκάνης, από το υψόμετρο ενός σημείου που βρίσκεται σε απόσταση 1 km από την έξοδο, προς την απόσταση αυτή. Συνεπώς, προκύπτει:

$$S_f = (60 - 20) / 1000 \Rightarrow S_f = 0.04 \text{ m/m.}$$

Ο συντελεστής Manning, επιλέγεται με βάση το υλικό της κοίτης, βάσει του Πίνακα 3.5 για φυσικό υδατόρευμα με μαιάνδρους. Συνεπώς, επιλέγεται: $n = 0.035$.

Τελικά, με βάση τα παραπάνω στοιχεία, η παροχή αιχμής, υπολογίζεται: $Q = 9.175 \text{ m}^3/\text{s}$.

Εν συνεχεία, υπολογίζονται τα περισσεύματα βροχόπτωσης, με τα ύψη βροχής που είχαν υπολογιστεί πριν την πυρκαγιά, καθώς δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για τα ύψη βροχόπτωσης για το πλημμυρικό γεγονός στις 2 Απριλίου. Τα περισσεύματα βροχόπτωσης μετά την πυρκαγιά, υπολογίστηκαν με τη μέθοδο SCS, όπως κι αυτά πριν την πυρκαγιά. Αξίζει να σημειωθεί πως τα υετογράμματα, παραμένουν ίδια με αυτά πριν την πυρκαγιά καθώς χρησιμοποιούνται τα ίδια ύψη βροχόπτωσης και για μετά την πυρκαγιά.

Στον Πίνακα 5.11 υπολογίζονται τα περισσεύματα βροχόπτωσης με το νέο $CN=83.1$. Ταυτόχρονα με την αλλαγή του CN μεταβάλλεται και ο χρόνος συγκέντρωσης t_c από τη σχέση 3.41. Αναλυτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.10 οι αλλαγές των χρόνου ανόδου T_p και των παροχών αιχμής Q_p για χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών, αντίστοιχα, μετά την πυρκαγιά.

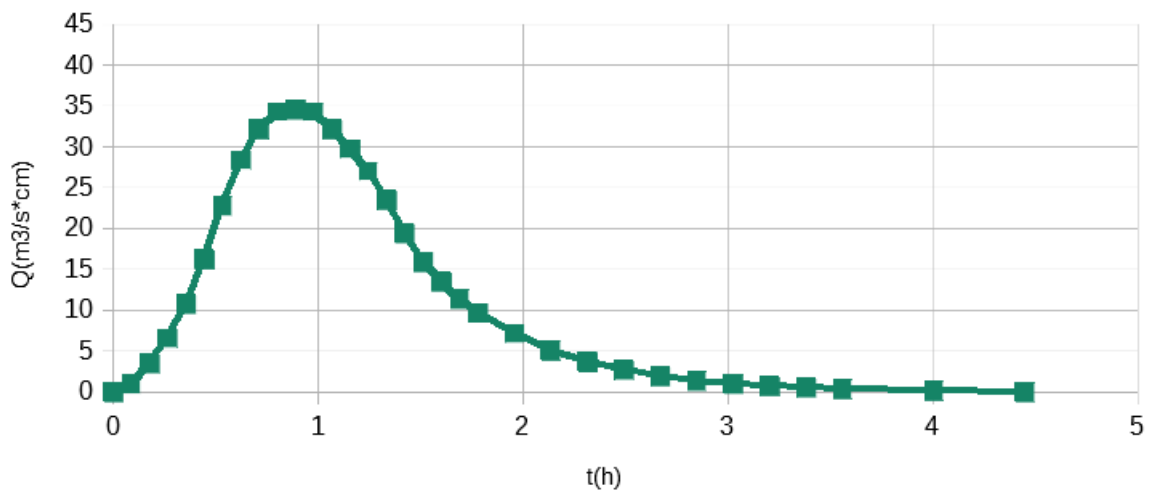
Πίνακας 5.10: Υπολογισμός χρόνων ανόδου και παροχών αιχμής (μετά την πυρκαγιά).

Βήμα (h)	T_p (h)	Q_p ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{cm}$)
15 λεπτά	0.890	34.533
10 λεπτά	0.862	35.654

Στα Σχήματα 5.9 και 5.10 παρουσιάζονται τα μοναδιαία υδρογραφήματα μετά την πυρκαγιά για τα επιλεγμένα χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών, αντίστοιχα.

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

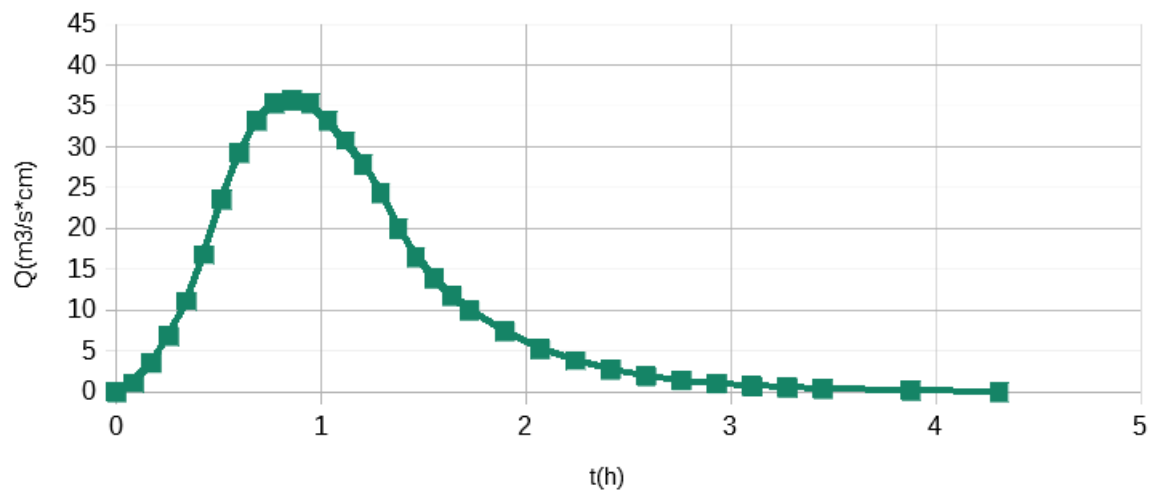
(ΜΕ ΒΗΜΑ 15 ΛΕΠΤΑ)



Σχήμα 5.9: Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, με χρονικό βήμα 15 λεπτών.

ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

(ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ 10 ΛΕΠΤΑ)



Σχήμα 5.10: Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, με χρονικό βήμα 10 λεπτών.

Πίνακας 5.11: Υπολογισμός περισσευμάτων βροχόπτωσης για βήμα 15 λεπτών.

ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ				
Διάρκεια (h)	Βροχ. (mm)	Αθρ.βροχ (mm)	Αθρ. Περίσσευμα (mm)	Περίσσευμα (mm)
0,00	0,00	0,000		
0,25	2,92	2,916	1,243	
0,50	3,00	5,915	0,413	
0,75	3,09	9,002	0,035	0,029
1,00	3,18	12,185	0,064	0,401
1,25	3,29	15,472	0,465	0,746
1,50	3,40	18,872	1,212	1,073
1,75	3,52	22,396	2,284	1,386
2,00	3,66	26,056	3,670	1,691
2,25	3,81	29,868	5,361	1,996
2,50	3,98	33,847	7,357	2,304
2,75	4,17	38,017	9,661	2,623
3,00	4,38	42,401	12,284	2,960
3,25	4,63	47,031	15,244	3,324
3,50	4,92	51,947	18,568	3,727
3,75	5,25	57,200	22,296	4,186
4,00	5,66	62,856	26,482	4,724
4,25	6,15	69,009	31,206	5,379
4,50	6,78	75,788	36,585	6,214
4,75	7,60	83,391	42,799	7,346
5,00	8,75	92,140	50,146	9,023
5,25	10,48	102,619	59,169	11,891
5,50	13,48	116,096	71,060	18,432
5,75	20,37	136,471	89,491	60,720
6,00	64,73	201,196	150,212	28,235
6,25	29,43	230,622	178,447	15,510
6,50	16,06	246,679	193,957	11,377
6,75	11,74	258,419	205,334	9,240
7,00	9,51	267,934	214,575	7,904
7,25	8,12	276,058	222,478	6,975
7,50	7,16	283,219	229,454	6,286
7,75	6,45	289,665	235,739	5,750
8,00	5,89	295,556	241,489	5,319
8,25	5,44	301,000	246,808	4,963
8,50	5,08	306,077	251,771	4,664
8,75	4,77	310,845	256,435	4,407
9,00	4,50	315,348	260,842	4,185
9,25	4,27	319,621	265,027	3,989
9,50	4,07	323,693	269,016	3,816
9,75	3,89	327,586	272,832	3,661
10,00	3,73	331,320	276,494	3,522
10,25	3,59	334,911	280,016	3,396
10,50	3,46	338,371	283,412	3,281
10,75	3,34	341,713	286,693	3,175
11,00	3,23	344,947	289,868	3,078
11,25	3,13	348,081	292,947	2,989
11,50	3,04	351,123	295,935	2,906
11,75	2,96	354,080	298,841	2,829
12,00	2,88	356,957	301,670	
SUM	356,957			301,635

Πίνακας 5.12: Υπολογισμός περισσευμάτων βροχόπτωσης για βήμα 10 λεπτών.

ΠΕΡΙΣΣΕΥΜΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΒΗΜΑ 10 ΛΕΠΤΩΝ				
Διάρκεια (h)	Βροχ. (mm)	Αθρ.βροχ (mm)	Αθρ. Περίσσευμα (mm)	Περίσσευμα (mm)
0,000	0,00	0,000		
0,166	1,92	1,924	1,634	
0,332	1,96	3,883	0,920	
0,498	2,00	5,878	0,420	
0,664	2,04	7,913	0,119	
0,830	2,08	9,989	0,002	0,057
1,000	2,12	12,108	0,059	0,220
1,166	2,17	14,273	0,280	0,376
1,332	2,21	16,487	0,655	0,525
1,498	2,26	18,751	1,180	0,668
1,664	2,32	21,070	1,848	0,808
1,830	2,38	23,447	2,656	0,944
2,000	2,44	25,885	3,600	1,079
2,166	2,51	28,390	4,678	1,212
2,332	2,58	30,967	5,890	1,346
2,498	2,65	33,619	7,236	1,482
2,664	2,74	36,355	8,719	1,620
2,830	2,83	39,181	10,339	1,762
3,000	2,92	42,105	12,101	1,911
3,166	3,03	45,138	14,012	2,066
3,332	3,15	48,288	16,077	2,230
3,498	3,28	51,569	18,307	2,407
3,664	3,43	54,999	20,713	2,597
3,830	3,59	58,593	23,311	2,807
4,000	3,78	62,373	26,118	3,042
4,166	4,00	66,371	29,160	3,307
4,332	4,25	70,617	32,467	3,611
4,498	4,54	75,158	36,078	3,974
4,664	4,90	80,056	40,052	4,408
4,830	5,33	85,390	44,461	4,950
5,000	5,89	91,275	49,411	5,665
5,166	6,62	97,897	55,076	6,641
5,332	7,64	105,535	61,717	8,106
5,498	9,17	114,709	69,823	10,671
5,664	11,88	126,590	80,494	16,441
5,830	17,98	144,568	96,935	47,286
6,000	50,35	194,913	144,222	24,533
6,166	25,64	220,553	168,755	13,655
6,332	14,18	234,731	182,410	10,204
6,498	10,56	245,292	192,615	8,055
6,664	8,32	253,609	200,669	6,871
6,830	7,08	260,693	207,541	6,193
7,000	6,38	267,069	213,734	5,438
7,166	5,59	272,661	219,172	4,968
7,332	5,10	277,765	224,140	4,700
7,498	4,82	282,589	228,840	4,277
7,664	4,39	286,976	233,117	4,017
7,830	4,12	291,094	237,134	3,884
8,000	3,98	295,072	241,017	3,598
8,166	3,68	298,756	244,616	3,429
8,332	3,51	302,265	248,044	3,357
8,498	3,43	305,700	251,402	3,144
8,664	3,21	308,914	254,545	3,023
8,830	3,09	312,004	257,569	2,984
9,000	3,05	315,052	260,553	2,814
9,166	2,87	317,926	263,366	2,723
9,332	2,78	320,706	266,090	2,703
9,498	2,76	323,465	268,792	2,562
9,664	2,61	326,078	271,354	2,490
9,830	2,54	328,619	273,844	2,482
10,000	2,53	331,149	276,326	2,361
10,166	2,41	333,556	278,687	2,303
10,332	2,35	335,904	280,990	2,303
10,498	2,35	338,250	283,293	2,197
10,664	2,24	340,489	285,490	2,149
10,830	2,19	342,677	287,639	2,154
11,000	2,19	344,871	289,793	2,060
11,166	2,10	346,968	291,853	2,019
11,332	2,06	349,023	293,872	2,028
11,498	2,06	351,087	295,900	1,943
11,664	1,98	353,064	297,843	1,908
11,830	1,94	355,005	299,751	1,919
12,000	1,95	356,957	301,670	
SUM	356,957			301,668

5.8. Προσδιορισμός Υδρογραφήματων Άμεσης Απορροής με βάση το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS

Από τα Μοναδιαία Υδρογραφήματα που προέκυψαν από το αδιάστατο Υδρογράφημα της μεθόδου SCS και τα περισσεύματα βροχόπτωσης που προέκυψαν για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη, κατασκευάζονται τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής (ΥΑΑ) πριν και μετά την πυρκαγιά για χρονικό βήμα 15 λεπτών.

Τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής, υπολογίζονται από τη Σχέση 3.44, με δεδομένα εισόδου τα περισσεύματα βροχόπτωσης και τις παροχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος που προέκυψαν με γραμμική παρεμβολή. Υπενθυμίζεται πως οι αριθμοί CN, έχουν υπολογιστεί 69.41 πριν την πυρκαγιά και 83.1, μετά την πυρκαγιά. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής, πριν και μετά την πυρκαγιά.

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής για πριν και μετά την πυρκαγιά:

Πίνακας 5.13: Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής ($T=50$) πριν την πυρκαγιά (με βήμα 15 λεπτών).

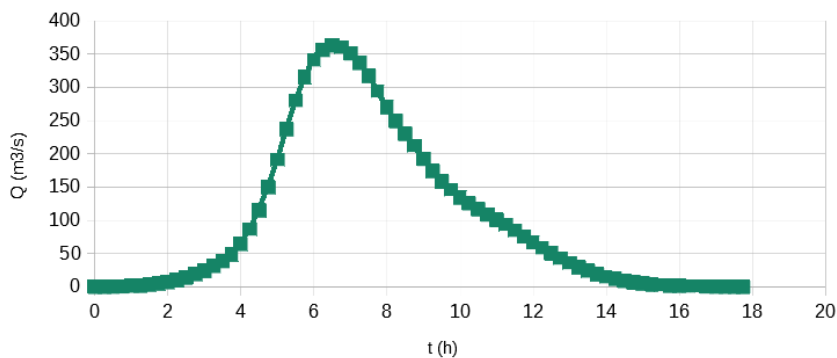
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (T=50) ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ (με βήμα 15 λεπτών)															
Q	0,69	2,30	4,38	7,14	10,83	15,21	18,89	21,43	22,81	23,04	22,81	21,43	19,81	...	R
hr															
0,01	0,01														0,01
0,04	0,02	0,03													0,05
0,06	0,04	0,08	0,05												0,17
0,09	0,06	0,14	0,15	0,08											0,43
0,11	0,08	0,20	0,26	0,25	0,13										0,91
0,14	0,10	0,26	0,37	0,43	0,38	0,18									1,71
0,17	0,12	0,32	0,49	0,61	0,65	0,54	0,22								2,94
0,21	0,14	0,40	0,62	0,80	0,92	0,91	0,67	0,25							4,70
0,25	0,17	0,48	0,76	1,01	1,21	1,29	1,13	0,75	0,27						7,07
0,30	0,20	0,57	0,91	1,23	1,53	1,70	1,61	1,28	0,80	0,27					10,11
0,35	0,24	0,68	1,09	1,49	1,87	2,15	2,12	1,82	1,36	0,81	0,27				13,90
0,43	0,29	0,81	1,30	1,78	2,26	2,63	2,67	2,40	1,94	1,37	0,80	0,25			18,50
0,53	0,36	0,98	1,55	2,11	2,69	3,17	3,27	3,02	2,56	1,96	1,36	0,75	0,23		24,02
0,67	0,46	1,21	1,87	2,53	3,21	3,78	3,93	3,70	3,22	2,58	1,94	1,28	0,70	...	30,62
0,92	0,64	1,55	2,30	3,05	3,83	4,51	4,70	4,46	3,94	3,25	2,56	1,82	1,18	...	38,60
1,49	1,03	2,12	2,94	3,76	4,63	5,38	5,60	5,33	4,75	3,98	3,22	2,40	1,68	...	48,59
5,24	3,61	3,42	4,03	4,80	5,70	6,50	6,68	6,35	5,67	4,80	3,94	3,02	2,22	...	63,79
2,55	1,76	12,05	6,52	6,57	7,28	8,00	8,07	7,58	6,76	5,73	4,75	3,70	2,80	...	86,15
1,42	0,98	5,86	22,94	10,63	9,97	10,22	9,94	9,15	8,07	6,82	5,67	4,46	3,42	...	114,56
1,05	0,72	3,26	11,15	37,40	16,12	14,00	12,69	11,27	9,74	8,15	6,76	5,33	4,13	...	149,27
0,86	0,59	2,41	6,21	18,18	56,73	22,63	17,39	14,40	12,00	9,84	8,07	6,35	4,93	...	190,69
0,73	0,51	1,97	4,59	10,13	27,58	79,68	28,11	19,72	15,32	12,12	9,74	7,58	5,87	...	236,63
0,65	0,45	1,69	3,75	7,48	15,37	38,73	98,95	31,89	20,99	15,48	12,00	9,15	7,01	...	279,79
0,59	0,41	1,50	3,22	6,11	11,35	21,58	48,10	112,26	33,95	21,21	15,32	11,27	8,46	...	315,21
0,54	0,37	1,35	2,85	5,24	9,27	15,94	26,80	54,57	119,49	34,29	20,99	14,40	10,42	...	340,80
0,50	0,34	1,24	2,57	4,64	7,96	13,01	19,80	30,40	58,09	120,69	33,95	19,72	13,31	...	355,94
0,47	0,32	1,15	2,36	4,19	7,04	11,17	16,16	22,46	32,36	58,67	119,49	31,89	18,23	...	362,83
0,44	0,30	1,07	2,19	3,85	6,36	9,89	13,88	18,33	23,91	32,69	58,09	112,26	29,48	...	360,03
0,42	0,29	1,01	2,04	3,56	5,83	8,94	12,28	15,74	19,52	24,15	32,36	54,57	103,77	...	350,76
0,40	0,27	0,96	1,92	3,33	5,41	8,19	11,10	13,93	16,76	19,71	23,91	30,40	50,45	...	336,50
0,38	0,26	0,91	1,82	3,13	5,05	7,59	10,17	12,59	14,83	16,92	19,52	22,46	28,11	...	317,13
0,36	0,25	0,87	1,73	2,97	4,75	7,10	9,43	11,54	13,40	14,98	16,76	18,33	20,77	...	293,41
0,35	0,24	0,83	1,65	2,82	4,50	6,68	8,81	10,70	12,28	13,53	14,83	15,74	16,95	...	269,82
0,33	0,23	0,80	1,58	2,69	4,28	6,32	8,29	10,00	11,38	12,41	13,40	13,93	14,55	...	248,84
0,32	0,22	0,77	1,52	2,58	4,08	6,01	7,85	9,41	10,64	11,50	12,28	12,59	12,88	...	229,60
0,31	0,21	0,74	1,46	2,48	3,91	5,73	7,46	8,90	10,01	10,75	11,38	11,54	11,64	...	211,58
0,30	0,21	0,72	1,41	2,38	3,76	5,49	7,12	8,46	9,48	10,12	10,64	10,70	10,67	...	192,16
0,29	0,20	0,69	1,36	2,30	3,62	5,27	6,82	8,08	9,01	9,57	10,01	10,00	9,89	...	173,88
0,28	0,20	0,67	1,32	2,22	3,49	5,08	6,55	7,74	8,60	9,10	9,48	9,41	9,24	...	158,38
0,28	0,19	0,65	1,28	2,15	3,37	4,90	6,31	7,43	8,24	8,69	9,01	8,90	8,70	...	145,23
0,27	0,19	0,64	1,25	2,09	3,27	4,74	6,09	7,15	7,91	8,32	8,60	8,46	8,23	...	134,17
...
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 5.14: Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής ($T=50$) μετά την πυρκαγιά (με βήμα 15 λεπτών).

ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ($T=50$) ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ (με βήμα 15 λεπτών)																
hr	Q	1,04	3,45	6,56	10,71	16,23	22,79	28,32	32,12	34,19	34,53	34,19	32,12	29,7	...	R
0,00	0,00															0,00
0,04	0,04	0,01														0,05
0,07	0,08	0,14	0,02													0,24
0,11	0,11	0,26	0,26	0,03												0,66
0,14	0,14	0,37	0,49	0,43	0,05											1,48
0,17	0,18	0,48	0,70	0,80	0,65	0,07										2,87
0,20	0,21	0,58	0,91	1,15	1,21	0,91	0,08									5,06
0,23	0,24	0,69	1,11	1,48	1,74	1,70	1,14	0,09								8,19
0,26	0,27	0,79	1,31	1,81	2,25	2,44	2,11	1,29	0,10							12,38
0,30	0,31	0,90	1,51	2,14	2,75	3,16	3,04	2,40	1,37	0,10						17,67
0,33	0,35	1,02	1,72	2,47	3,24	3,85	3,92	3,44	2,55	1,38	0,10					24,05
0,37	0,39	1,15	1,94	2,81	3,74	4,55	4,79	4,45	3,67	2,58	1,37	0,09				31,52
0,42	0,44	1,29	2,18	3,17	4,26	5,25	5,65	5,43	4,74	3,70	2,55	1,29	0,09			40,03
0,47	0,49	1,44	2,45	3,56	4,80	5,98	6,53	6,41	5,78	4,78	3,67	2,40	1,19	...		49,56
0,54	0,56	1,63	2,75	3,99	5,40	6,75	7,43	7,40	6,82	5,84	4,74	3,44	2,22	...		60,11
0,62	0,65	1,86	3,10	4,48	6,05	7,58	8,38	8,43	7,88	6,89	5,78	4,45	3,19	...		71,71
0,73	0,76	2,14	3,53	5,06	6,79	8,49	9,41	9,51	8,97	7,96	6,82	5,43	4,12	...		84,47
0,90	0,94	2,53	4,08	5,76	7,67	9,54	10,56	10,68	10,12	9,06	7,88	6,41	5,02	...		98,61
1,19	1,24	3,11	4,82	6,66	8,73	10,77	11,85	11,97	11,37	10,22	8,97	7,40	5,93	...		114,68
1,84	1,92	4,10	5,92	7,87	10,09	12,26	13,38	13,45	12,74	11,48	10,12	8,43	6,84	...		133,81
6,07	6,31	6,36	7,80	9,66	11,92	14,16	15,23	15,17	14,31	12,87	11,37	9,51	7,79	...		161,55
2,82	2,94	20,95	12,09	12,73	14,64	16,74	17,60	17,28	16,15	14,45	12,74	10,68	8,79	...		200,93
1,55	1,61	9,74	39,83	19,74	19,30	20,56	20,81	19,96	18,39	16,31	14,31	11,97	9,87	...		249,82
1,14	1,18	5,35	18,52	65,03	29,91	27,10	25,55	23,60	21,25	18,57	16,15	13,45	11,07	...		308,64
0,92	0,96	3,93	10,17	30,24	98,55	42,01	33,67	28,98	25,12	21,46	18,39	15,17	12,43	...		377,76
0,79	0,82	3,19	7,46	16,61	45,83	138,38	52,20	38,19	30,85	25,37	21,25	17,28	14,03	...		453,30
0,70	0,73	2,73	6,06	12,19	25,17	64,35	171,96	59,20	40,65	31,16	25,12	19,96	15,98	...		522,78
0,63	0,65	2,41	5,18	9,90	18,47	35,35	79,96	195,03	63,02	41,06	30,85	23,60	18,46	...		577,92
0,57	0,60	2,17	4,58	8,46	15,00	25,93	43,92	90,69	207,60	63,65	40,65	28,98	21,82	...		615,63
0,53	0,55	1,98	4,12	7,47	12,83	21,06	32,22	49,82	96,54	209,67	63,02	38,19	26,80	...		635,19
0,50	0,52	1,84	3,77	6,73	11,32	18,01	26,17	36,54	53,03	97,50	207,60	59,20	35,32	...		640,76
0,47	0,49	1,71	3,49	6,16	10,20	15,90	22,38	29,68	38,90	53,56	96,54	195,03	54,74	...		629,97
0,44	0,46	1,61	3,26	5,70	9,33	14,33	19,75	25,39	31,59	39,29	53,03	90,69	180,34	...		608,69
0,42	0,44	1,52	3,06	5,32	8,63	13,10	17,80	22,40	27,02	31,91	38,90	49,82	83,86	...		579,38
0,40	0,41	1,44	2,89	4,99	8,06	12,12	16,28	20,19	23,85	27,29	31,59	36,54	46,06	...		541,90
0,38	0,40	1,38	2,75	4,72	7,57	11,31	15,06	18,47	21,49	24,09	27,02	29,68	33,79	...		497,84
0,37	0,38	1,32	2,62	4,48	7,15	10,63	14,06	17,08	19,66	21,70	23,85	25,39	27,44	...		454,79
0,35	0,37	1,26	2,50	4,27	6,79	10,04	13,21	15,94	18,19	19,85	21,49	22,40	23,47	...		416,86
0,34	0,35	1,22	2,40	4,09	6,47	9,54	12,48	14,98	16,97	18,37	19,66	20,19	20,72	...		382,29
0,33	0,34	1,17	2,31	3,92	6,19	9,09	11,85	14,16	15,95	17,14	18,19	18,47	18,67	...		350,11
0,32	0,33	1,13	2,23	3,77	5,94	8,70	11,30	13,44	15,07	16,10	16,97	17,08	17,08	...		315,85
...	0,00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,00

ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

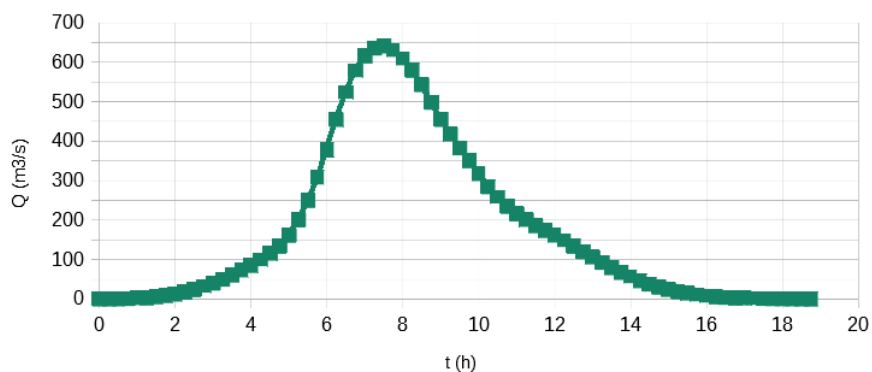
($T = 50$, $d = 15'$)



Σχήμα 5.9: Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής ($T=50$) πριν την πυρκαγιά (με βήμα 15 λεπτών).

ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

($T=50$, $d = 15'$)



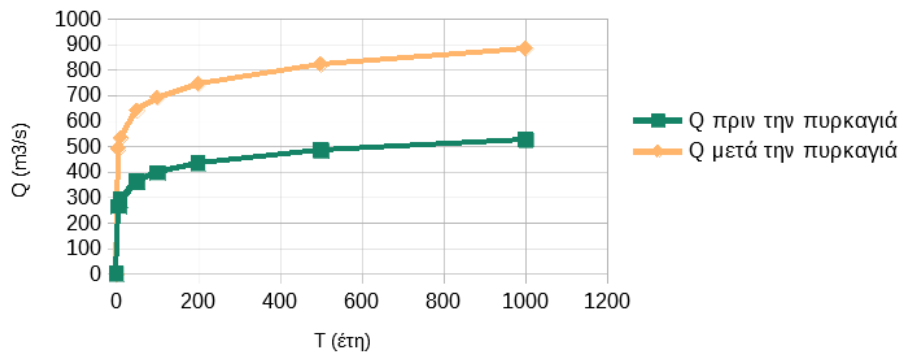
Σχήμα 5.10: Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής ($T=50$) μετά την πυρκαγιά (με βήμα 15 λεπτών).

Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη. Ωστόσο, έχουν εξαχθεί συμπεράσματα και για περιόδους επαναφοράς 5 – 10000 έτη. Αυτά, συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.15. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι παροχές αιχμής για όλες αυτές τις περιόδους επαναφοράς για πριν την πυρκαγιά και για μετά την πυρκαγιά, Επιπλέον, παρουσιάζεται και σχηματικά, η μεταβολή της πλημμυρικής ποσότητας. Όπως φαίνεται, παρουσιάζεται μια σημαντική αύξηση, όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς. Η αύξηση παρατηρείται ότι είναι σχετικά σταθερή και κυμαίνεται από 227 m^3/s έως 435 m^3/s .

Πίνακας 5.15: Ποσοστιαία αύξηση παροχών αιχμής πριν και μετά την πυρκαγιά ανά διάφορες περιόδους επαναφοράς (5-10000).

T (έτη)	Q_p, πριν (m^3/s)	Q_p, μετά (m^3/s)	Αύξηση (%)
5	263.5	490.4	86
10	291.9	533.7	83
50	362.8	640.8	77
100	396.6	691.3	74
200	432.7	745.1	72
500	484.3	821.6	70
1000	526.5	884.1	68
10000	688.8	1123.3	63

ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΙΧΜΗΣ

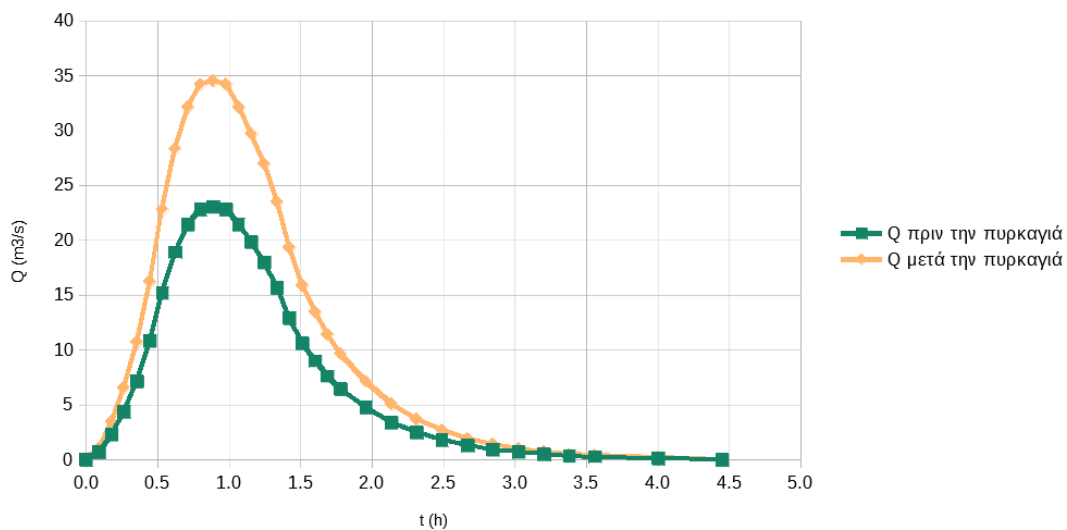


Σχήμα 5.11: Σύγκριση μεταξύ παροχών αιχμής και περιόδου επαναφοράς πριν και μετά την πυρκαγιά, μέχρι $T=1000$ έτη.

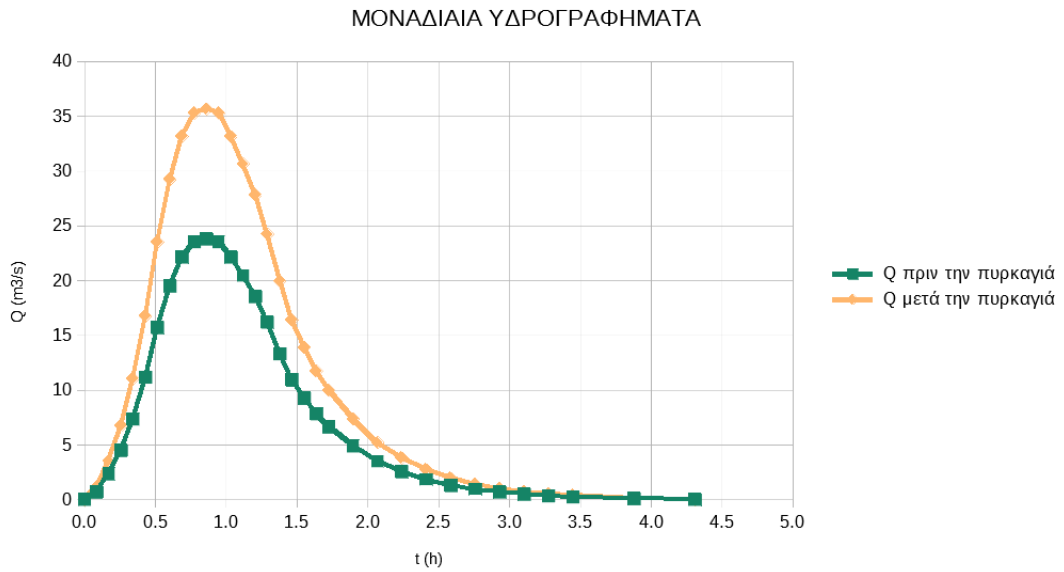
5.9. Σύγκριση αποτελεσμάτων πριν και μετά την πυρκαγιά

Στα Σχήματα 5.12 και 5.13, παρουσιάζονται τα Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα για $T = 50$ έτη με χρονικά βήματα $15'$ και $10'$, αντίστοιχα, πριν και μετά την πυρκαγιά.

ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

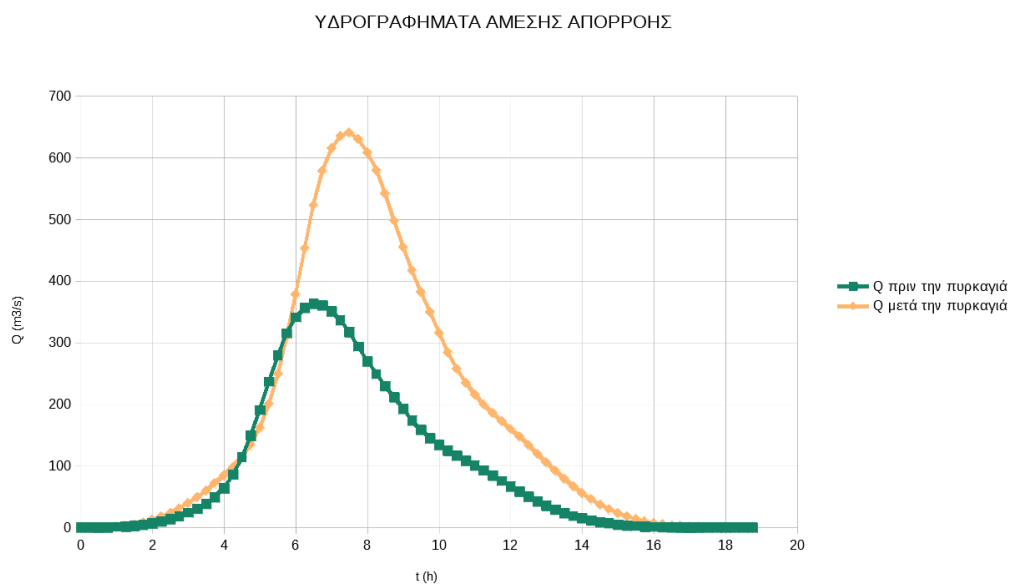


Σχήμα 5.12: Μοναδιαία Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T=50$ έτη και χρονικό βήμα $15'$.



Σχήμα 5.13: Μοναδιαία Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T=50$ έτη και χρονικό βήμα $10'$.

Στο Σχήμα 5.14, παρουσιάζονται συγκριτικά τα τελικά υδρογραφήματα για $T = 50$ έτη, πριν και μετά την πυρκαγιά.

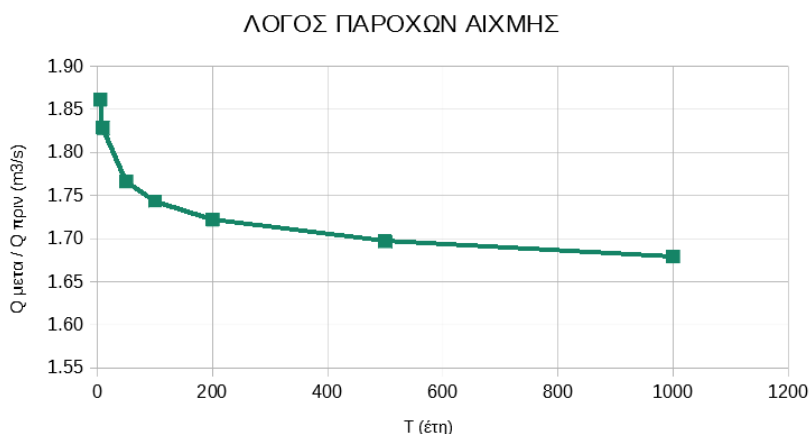


Σχήμα 5.14: Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά με βάση το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της SCS ($T=50$).

Όπως ήταν αναμενόμενο, από τη σύγκριση των υδρογραφημάτων πριν και μετά την πυρκαγιά, προκύπτει πως υπάρχει μεταβολή της πλημμυρικής αιχμής και συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση. Η αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά, προσδιορίζεται περίπου στο 77%.

Ο συντελεστής CN, παρουσιάζεται αυξημένος μετά την πυρκαγιά, πράγμα αναμενόμενο εφόσον άλλαξαν οι υδρολογικές συνθήκες. Αυτές αφορούν, τη διάβρωση του εδάφους και την απορροή γενικότερα.

Στο Σχήμα 5.15, παρουσιάζεται ο λόγος της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά προς το λόγο της παροχής αιχμής πριν την πυρκαγιά σε σχέση με τις περιόδους επαναφοράς. Όπως διαπιστώνεται, ο λόγος των παροχών αιχμής, μειώνεται, όσο αυξάνει η περίοδος επαναφοράς.



Σχήμα 5.15: $Q_{\text{μετά}} / Q_{\text{πριν}}$ συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς.

Στον Πίνακα 5.16 παρατίθενται επίσης συγκριτικά οι όγκοι απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρούμε μια σημαντική αύξηση αυτών μετά τα φαινόμενα φωτιάς. Η αύξηση (%) είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη η περίοδος επαναφοράς.

Πίνακας 5.16: Όγκοι απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά.

T (έτη)	Όγκος απορροής πριν (m ³)	Όγκος απορροής μετά (m ³)	Διαφορά (m ³)	Αύξηση (%)
5	4707451	8875394	4167942	89
10	5213468	9668425	4454957	85
50	6484391	11686895	5202504	80
100	7093072	12651639	5558567	78
200	7747247	13672659	5925412	76
500	8686223	15131122	6444899	74
1000	9457882	16323806	6865923	73
10000	12455219	20931198	8475979	68

6 Συμπεράσματα

Με το πέρας όλης της ανάλυσης, φαίνεται πως οι πυρκαγιές έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στο καθεστώς των λεκανών απορροής των ρεμάτων. Η πρώτη και προφανής επίπτωση είναι η καταστροφή της χλωρίδας αλλά αυτό φυσικά συνοδεύεται από μεγαλύτερες επιπτώσεις. Η τελική και πιο σημαντική επίπτωση της αλυσίδας αυτής είναι η αύξηση την παροχής αιχμής που έχει ως αποτέλεσμα τα πλημμυρικά φαινόμενα.

Τον Αύγουστο του 2021, ξέσπασε πυρκαγιά που έκαψε το 1/3 της Βόρειας Εύβοιας. Η λεκάνη του Αχλαδορέματος που περνά από τους οικισμούς Κοτσικιάς και Αχλάδι, κάηκε στο 100% της. Αυτό το γεγονός αποτέλεσε ερέθισμα για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία σχετικά με τα πλημμυρικά φαινόμενα που επρόκειτο να συμβούν μετά τον Αύγουστο του 2021.

Η ένταση μιας πυρκαγιάς και οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο έδαφος, επιδρούν με καθοριστικό τρόπο στις λεκάνες απορροής. Με την απώλεια της φυτοκάλυψης, καθίσταται μηδαμινή συγκράτηση των υδάτων, με αποτέλεσμα την πλημμύρα. Έπειτα από μελέτες σε λεκάνες απορροής που έχουν πληγεί από πυρκαγιά, παρατηρείται αλλαγή στο σχήμα των πλημμυρικών υδρογραφημάτων, που γίνονται πιο αιχμηρά, όπως παρουσιάστηκε και στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, και μία αύξηση του όγκου πλημμυρών που σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή. Όλα αυτά συμβάλλουν στην αλλαγή της απορροής κάθε καμένης λεκάνης.

Προκειμένου να μελετηθούν και να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τα πλημμυρικά φαινόμενα στη λεκάνη ενδιαφέροντος, ακολουθήθηκε εμπειρισταωμένη μεθοδολογία που ενδείκνυται σε λεκάνες με ελάχιστα ή ανεπαρκή στοιχεία επιφανειακής απορροής. Αυτή που επιλέχθηκε, είναι αυτή με μέθοδο της SCS και η προσέγγιση ήταν αδρομερής καθώς η λεκάνη κάηκε σε όλη της την έκταση και θεωρήθηκε μία ολότητα, χωρίς διαφορές στα χαρακτηριστικά της ανά εκτάσεις.

Όλα τα συμπεράσματα και τα αποτελέσματα, βασίζονται στη σύγκριση των Υδρογραφημάτων Άμεσης Απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά, όπου μας δείχνουν τις κρίσιμες παροχές. Για την εξαγωγή των Υδρογραφημάτων, ακολουθήθηκαν κάποια στάδια.

Πρώτο στάδιο είναι η κατάρτιση όμβριων καμπυλών, βάσει παραμέτρων που προμηθεύτηκαν από τη σελίδα του Υπουργείου Διαχείρισης Πλημμυρών για τον σταθμό Μηλιές. Αμέσως μετά ακολουθεί η κατάρτιση υετογραμμάτων σχεδιασμού με χρονικά βήματα των 10 και 15 λεπτών, αντίστοιχα. Εφαρμόστηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ για περίοδο επαναφοράς $T=50$ έτη και εξήχθησαν τα αντίστοιχα υετογράμματα σχεδιασμού. Εν συνεχεία, υπολογίστηκαν τα περισσεύματα βροχόπτωσης για την ίδια περίοδο επαναφοράς και για τα ίδια χρονικά βήματα. Γι αυτά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της SCS. Αρχικά, υπολογίστηκε ο αριθμός καμπύλης CN, με βάση τη δομή του εδάφους και την εδαφική κάλυψη (Τύπος Β και C), απ' όπου προέκυψε ίσος με 69.41 πριν την πυρκαγιά. Τελικά, μετά από υπολογισμούς, προέκυψαν τα περισσεύματα βροχόπτωσης για χρονικό βήμα 15 λεπτών (μέγιστο = 52.38 mm) και 10 λεπτών (μέγιστο = 40.87 mm). Ακολουθεί ο προσδιορισμός του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος. Γι αυτό, υπολογίστηκε ο χρόνος συγκέντρωσης και τελικά προέκυψαν οι παροχές αιχμής για 15' ($Q_p = 23.04 \text{ m}^3/\text{s}$) και για 10' ($Q_p = 23.79 \text{ m}^3/\text{s}$). Μετά από όλα αυτά, υπολογίζεται τελικά το Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής, με χρονικό βήμα 15 λεπτών για $T=50$. Η μέγιστη τιμή αυτού για πριν την πυρκαγιά είναι ίση με $362.83 \text{ m}^3/\text{s}$.

Μετά την πυρκαγιά, ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς μεθοδολογία. Ωστόσο, λόγω έλλειψης στοιχείων, ο αριθμός καμπύλης CN, πάρθηκε από τη Διπλωματική Εργασία του Λυμπερόπουλου («Επίδραση δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής: Η περίπτωση του ρέματος Γιαννούλα στην Πάρνηθα»), ο οποίος έκανε μέτρηση στα καμένα, κατευθείαν μετά από πλημμυρικό φαινόμενο και είναι πιο ακριβή τα αποτελέσματα του. Ο αριθμός CN, προσδιορίζεται ίσος με 83.10 για τα καμένα. Εν συνεχεία, προσδιορίζονται εκ νέου τα περισεύματα βροχόπτωσης, βάσει των υψών βροχόπτωσης πριν την πυρκαγιά για περίοδο επαναφοράς $T=50$ και χρονικό βήμα ίσο με 15 λεπτά. Η μέγιστη τιμή του περισεύματος βροχόπτωσης, μετά την πυρκαγιά, υπολογίζεται ίση με 60.72 mm. Τελικά, υπολογίζεται το Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής μετά την πυρκαγιά, με μέγιστη τιμή για $T=50$ και χρονικό βήμα 15 λεπτά, ίση με 640.76 m³/s.

Παράλληλα, εξήχθησαν συμπεράσματα για την παροχή μετά την πυρκαγιά και βάσει των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο. Θεωρώντας τη διατομή ορθογώνια κι έχοντας μετρημένα τη στάθμη που έφτασε το νερό μετά από ένα πλημμυρικό γεγονός, το πλάτος στη διατομή που μελετάται και μια στοιχειώδη ταχύτητα ροής του ρέματος, υπολογίστηκε η μέγιστη παροχή (Q) ίση με 9.18 m³/s. Η συγκεκριμένη τιμή δεν πλησιάζει με αυτήν που βρέθηκε με τη μέθοδο της SCS για μετά την πυρκαγιά, καθώς δεν υπήρχαν επαρκή στοιχεία και οι μετρήσεις είναι όσο το δυνατόν πιο προσεγγιστικές στο πραγματικό γεγονός.

Όπως προαναφέρθηκε, τα στοιχεία για τη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία δεν ήταν σε καμία περίπτωση επαρκή. Δηλαδή, για το μέρος που μελετάται, δεν υπάρχει δυστυχώς κάποιος σταθμηγράφος και κάποιος υδρομετρικός σταθμός στο σημείο εξόδου που θα μας έδιναν στοιχεία από κάποιο έντονο πλημμυρικό φαινόμενο, στα οποία θα βασιστούμε για να δώσουμε πιο ακριβή συμπεράσματα σχετικά με το πλημμυρικό καθεστώς της λεκάνης που μελετάται, μετά την πυρκαγιά. Αυτό μας οδηγεί, σε προσεγγιστικές μεθόδους, που όπως είναι αναμενόμενο περιέχουν αβεβαιότητα και σφάλματα που δεν μπορούν με κάποιο τρόπο να εξαλειφθούν.

Σε γενικές γραμμές, οι παροχές που προέκυψαν, είναι μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες. Σε αυτό συμβάλλει βέβαια, και ο αριθμός απορροής CN, ο οποίος είναι μεγαλύτερος από αυτόν που προτείνει η βιβλιογραφία. Υπενθυμίζεται πως ο αριθμός CN, μετά την πυρκαγιά, πάρθηκε από τη Διπλωματική Εργασία του Λυμπερόπουλου και όπως ο ίδιος αναφέρει στα συμπεράσματά του: «Υπάρχουν τρεις λόγοι που μπορεί να συντέλεσαν στην υψηλή αυτή τιμή παροχής, όπως και στην υψηλότερη τιμή του CN που προέκυψε για καμένες εκτάσεις από ότι βιβλιογραφικά αναφέρεται:

- Η αβεβαιότητα της μέτρησης της πλημμυρικής στάθμης του ρέματος είναι σχετικά σημαντική, μιας που βασίστηκε κατά κύριο λόγο σε αυτόπτες μάρτυρες του ύψους της πλημμύρας στο σημείο εξόδου τη συγκεκριμένη ημερομηνία. Ενδεχόμενη «υπερβολή» από μέρους τους για λόγους εστίασης της προσοχής δεν πρέπει να αποκλεισθεί.
- Εκτός αυτού, τα βροχομετρικά δεδομένα από τον ΑΜΣ Ζωγράφου, ακόμα και από το σταθμό Τατοΐου, θεωρούνται ευμενέστερα από αυτά που θα αναμέναμε για ψηλά υψόμετρα της Πάρνηθας από όπου πηγάζει το ρέμα (υψόμετρο 1200 m, αντί 219 m υψόμετρο του ΑΜΣ Ζωγράφου). Γι' αυτό και δικαιολογείται εν μέρει μια υπερεκτίμηση του CN και συνεπώς μια παροχή σχεδιασμού μεγαλύτερη της αναμενόμενης.
- Για τον ίδιο λόγο, η μετατροπή του CNI σε CNII (από CNI = 65.6 σε CNII = 81.8) κατά το γεγονός της 9ης Δεκεμβρίου 2007, η οποία έγινε με τα δεδομένα του σταθμού του Ζωγράφου, ενδεχομένως να μην ανταποκρίνεται στην κατάσταση της προηγούμενης εδαφικής υγρασίας 5 ημερών (AMC) στην Πάρνηθα, δηλαδή στην Πάρνηθα πιθανόν η προηγούμενη εδαφική υγρασία πριν το γεγονός να ήταν εξαρχής τύπου II.» (Λυμπερόπουλος, 2008).

Αντίστοιχα, όσον αφορά τον υπολογισμό παροχής αιχμής από μετρήσεις πεδίου που έγιναν στη λεκάνη του Αχλαδορέματος της Βόρειας Εύβοιας, δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως την πραγματικότητα καθώς η στάθμη που μετρήθηκε και χρησιμοποιήθηκε ως μία εκδοχή για τον υπολογισμό της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά, είναι πολύ προσεγγιστική και μετρήθηκε σχεδόν μετά από δύο εβδομάδες του πλημμυρικού γεγονότος, από μαρτυρίες κατοίκων.

Πρέπει να αναφερθεί, πως αρκετές υδρολογικές μελέτες που έχουν γίνει για το πόσο μια πυρκαγιά, επηρεάζει το πλημμυρικό καθεστώς των λεκανών απορροής, έχουν δείξει πως τα πλημμυρικά φαινόμενα αυξάνονται τον πρώτο χρόνο μετά τη φωτιά, ενώ, το δεύτερο χρόνο, η απόκριση της λεκάνης σε πλημμυρικά φαινόμενα είναι μικρότερη από ότι στον πρώτο. Αυτό το συμπέρασμα οδηγεί στη θεώρηση ότι το παραγόμενο υδρογράφημα είναι χρονικά εξαρτημένο και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για λίγα χρόνια μετά τη φωτιά.

Οι πλημμυρικές παροχές που υπολογίζονται μετά την πυρκαγιά, είναι σαφώς αρκετά μεγαλύτερες, που προειδοποιούν για αυξημένο κίνδυνο καταστροφής μεγάλων εκτάσεων καλλιεργειών, όπως ήδη έχουν συμβεί μετά το πλημμυρικό γεγονός στις 2 Απριλίου.

Γι' αυτόν το λόγο, πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα για την πρόληψη των πλημμυρών που πρόκειται να συμβούν τα επόμενα χρόνια. Πρώτο και κύριο είναι η κατασκευή περισσότερων αντιδιαβρωτικών και αντιπλημμυρικών έργων, όπως η διάνοιξη του ρέματος για ομαλοποίηση του όγκου νερού σε πλημμυρικά φαινόμενα, στην περιοχή της λεκάνης απορροής. Είναι βέβαια φανερό πως η προστασία του εδάφους από διάβρωση στην καμένη περιοχή είναι αναγκαία όχι μόνο για λόγους εξομάλυνσης των πλημμυρικών επιπτώσεων στην κατάντη περιοχή, αλλά και για την ανόρθωση του δασικού οικοσυστήματος. Τα παραπάνω έργα αφορούν τις πλαγιές των λεκανών απορροής τους, αλλά και όσον αφορά τα υδατορεύματα, να είναι «περιβαλλοντικά αποδεκτά» και το υλικό κατασκευής τους να ληφθεί, όσο αυτό είναι δυνατόν, από την περιοχή που κάηκε (Μπαλούτσος, 2007). Πηγές επισημαίνουν πως έχουν ξεκινήσει ήδη αντιδιαβρωτικά έργα στη Βόρεια Εύβοια. Έως σήμερα έχουν ολοκληρωθεί όλες οι μελέτες αντιδιαβρωτικής προστασίας και έχουν ξεκινήσει τα έργα συγκράτησης των εδαφών και στις εννέα υδρολογικές λεκάνες που υπάγονται στα δασαρχεία Λίμνης και Ιστιαίας. Όπως υπολογίζουν τα δύο δασαρχεία, μέχρι στιγμής έχουν κατασκευαστεί 500 χιλιόμετρα κορμοδεμάτων, 10.000 τ.μ. κορμοφραγμάτων, 13 χλμ. κλαδοπλεγμάτων και 15 χλμ. σανιδότοιχων.

Ένα επιπλέον μέτρο πρόληψης προτείνεται η χαρτογράφηση και η παρακολούθηση των περιοχών πλημμυρικής επικινδυνότητας που είναι αναγκαία, γενικότερα, στην Ελλάδα. Η παρακολούθηση αυτή απορεί να γίνει με την τοποθέτηση περισσότερων υδρομετρικών σταθμών στις επικίνδυνες περιοχές, οι οποίοι θα καταγράφουν τα επεισόδια βροχόπτωσης επί μια σειρά ετών, ώστε να εξάγονται δεδομένα παροχών για τα υπό μελέτη ρέματα. Η χαρτογράφηση μπορεί να γίνει με τηλεπισκοπικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους, ώστε να παραχθούν χάρτες που θα απεικονίζουν τις υπό κίνδυνο περιοχές.

Τελικά, η επίδραση της καταστροφικής πυρκαγιάς τον Αύγουστο του 2021 στη Βόρεια Εύβοια, είναι μεγάλη, για το πλημμυρικό καθεστώς της λεκάνης απορροής του Αχλαδορέματος, που περνά από τους οικισμούς Κοτσικιά και Αχλάδι, στη Βόρεια Εύβοια. Πρέπει, όσο το δυνατόν γρηγορότερα να ληφθούν μέτρα προστασίας που αφορούν αντιδιαβρωτικά και αντιπλημμυρικά έργα, προκειμένου κάτοικοι και οικοσύστημα να μην πληγούν ανεπανόρθωτα, όπως συνέβη με την πυρκαγιά.

Αναφορές

Στην ελληνική γλώσσα

- Βαφειάδης Μ., Σημειώσεις, «Υδρογραφήματα», ΤΥΤΠ-ΑΠΘ, 2004.
- Γκόφας, Α., *Εγχειρίδιο δασοπροστασίας*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Παπούλη, Θεσσαλονίκη, 2001.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Παροχή χαρτών, Α/Φ και ψηφιακού μοντέλου εδάφους, Αθήνα, 2007.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1997.
- Λουκάς Α, *Υδρολογία*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2015.
- Λυμπερόπουλος Σ., *Επίδραση Δασικών Πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής: Η περίπτωση του ρέματος Γιαννούλα στην Πάρνηθα*, διπλωματική εργασία, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2008.
- Μάρης Φ.Π., *Υδρολογία Φυσικού Περιβάλλοντος*, Δημοκρίτεια Πενταπιστήμιο Θράκης, 2013
- Ναλμπάντης, Ι., *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.
- Ναλμπάντης Ι., *Υδραυλικές Κατασκευές: Κατακόρυφοι Καταβαθμοί*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2007.
- Σεϊλόπουλος Δ., *Επίδραση δασικών πυρκαγιών στις εδαφικές ιδιότητες*, Θεσσαλονίκη, 1991.
- Τσακίρης, *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1995.

Ξενόγλωσσες

- Ahlgren, I. F., & Ahlgren, C. E., *Ecological effects of forest fires*, 1960.
- Brooks K. N., Ffolliott P. F., *Hydrology and the Management of Watersheds*, 2013.
- Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- Christensen N.L. and Muller C.H., 1975. *Effects of fire on factor controlling plant growth in Adenostoma caparral*. Ecol. Monogr. 45 (1): 29-55.
- De Bano L.F., *The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review*, J. Hydrol. 231-232, 198-206, 2002
- Huff, F. A., *Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms*, Water Resources Research, 3, 1007-1019.
- Nalbantis, I., Ch. Obled, and J.Y. Rodriguez, *Unit hydrograph and effective precipitation identification*, J. Hydrol., 168, 127-157, 1995.

Nalbantis, I., & Lympelopoulou, S. Assessment of flood frequency after forest fires in small ungauged basins based on uncertain measurements. *Hydrological sciences journal*, 57(1), 52-72, 2012.

Shaw, E., *Hydrology in practice*, 2nd edition, Great Britain, 1983.

Από Διαδίκτυο

<https://floods.ypeka.gr/>

<https://www.gys.gr/>

<https://geodata.gov.gr/>

<https://dasarxeio.com/2021/08/18/100562/>

<https://www.kathimerini.gr/society/561577405/prochoroyn-ta-antiplimmyrika-stin-eyvoia/>

https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/

Παράρτημα Α: Υετογράμματα Σχεδιασμού

Πίνακας Α.1: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 5$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών)

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 5$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	407,401	0,000			
0,25	205,024	51,256	51,256	0 έως 0,25	2,3
0,50	149,117	74,558	23,302	0,25 έως 0,5	2,4
0,75	120,923	90,693	16,134	0,5 έως 0,75	2,4
1,00	103,408	103,408	12,715	0,75 έως 1	2,5
1,25	91,265	114,081	10,673	1 έως 1,25	2,6
1,50	82,252	123,378	9,297	1,25 έως 1,5	2,7
1,75	75,243	131,676	8,298	1,5 έως 1,75	2,8
2,00	69,605	139,210	7,534	1,75 έως 2	2,9
2,25	64,950	146,138	6,928	2 έως 2,25	3,0
2,50	61,029	152,572	6,434	2,25 έως 2,5	3,2
2,75	57,670	158,593	6,021	2,5 έως 2,75	3,3
3,00	54,755	164,264	5,671	2,75 έως 3	3,5
3,25	52,194	169,632	5,368	3 έως 3,25	3,7
3,50	49,925	174,737	5,105	3,25 έως 3,5	3,9
3,75	47,896	179,608	4,872	3,5 έως 3,75	4,2
4,00	46,068	184,273	4,665	3,75 έως 4	4,5
4,25	44,412	188,753	4,479	4 έως 4,25	4,9
4,50	42,903	193,064	4,312	4,25 έως 4,5	5,4
4,75	41,521	197,224	4,160	4,5 έως 4,75	6,0
5,00	40,249	201,244	4,021	4,75 έως 5	6,9
5,25	39,074	205,137	3,893	5 έως 5,25	8,3
5,50	37,984	208,913	3,775	5,25 έως 5,5	10,7
5,75	36,970	212,580	3,667	5,5 έως 5,75	16,1
6,00	36,024	216,145	3,566	5,75 έως 6	51,3
6,25	35,139	219,617	3,472	6 έως 6,25	23,3
6,50	34,308	223,001	3,384	6,25 έως 6,5	12,7
6,75	33,526	226,303	3,302	6,5 έως 6,75	9,3
7,00	32,790	229,527	3,224	6,75 έως 7	7,5
7,25	32,094	232,679	3,152	7 έως 7,25	6,4
7,50	31,435	235,762	3,083	7,25 έως 7,5	5,7
7,75	30,810	238,781	3,018	7,5 έως 7,75	5,1
8,00	30,217	241,737	2,957	7,75 έως 8	4,7
8,25	29,653	244,636	2,899	8 έως 8,25	4,3
8,50	29,115	247,479	2,843	8,25 έως 8,5	4,0
8,75	28,602	250,270	2,791	8,5 έως 8,75	3,8
9,00	28,112	253,010	2,740	8,75 έως 9	3,6
9,25	27,644	255,703	2,692	9 έως 9,25	3,4
9,50	27,195	258,349	2,647	9,25 έως 9,5	3,2
9,75	26,764	260,952	2,603	9,5 έως 9,75	3,1
10,00	26,351	263,513	2,561	9,75 έως 10	3,0
10,25	25,954	266,033	2,521	10 έως 10,25	2,8
10,50	25,573	268,515	2,482	10,25 έως 10,5	2,7
10,75	25,206	270,960	2,445	10,5 έως 10,75	2,6
11,00	24,852	273,369	2,409	10,75 έως 11	2,6
11,25	24,511	275,743	2,375	11 έως 11,25	2,5
11,50	24,181	278,085	2,341	11,25 έως 11,5	2,4
11,75	23,863	280,394	2,309	11,5 έως 11,75	2,3
12,00	23,556	282,673	2,279	11,75 έως 12	2,3

Πίνακας Α.2: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 10$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 10$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	438,212	0,000			
0,25	220,529	55,132	55,132	0 έως 0,25	2,5
0,50	160,394	80,197	25,065	0,25 έως 0,5	2,6
0,75	130,069	97,551	17,355	0,5 έως 0,75	2,6
1,00	111,228	111,228	13,677	0,75 έως 1	2,7
1,25	98,167	122,709	11,480	1 έως 1,25	2,8
1,50	88,472	132,709	10,000	1,25 έως 1,5	2,9
1,75	80,934	141,634	8,925	1,5 έως 1,75	3,0
2,00	74,869	149,738	8,104	1,75 έως 2	3,1
2,25	69,862	157,190	7,452	2 έως 2,25	3,2
2,50	65,644	164,111	6,920	2,25 έως 2,5	3,4
2,75	62,032	170,587	6,476	2,5 έως 2,75	3,6
3,00	58,896	176,687	6,099	2,75 έως 3	3,7
3,25	56,142	182,461	5,774	3 έως 3,25	3,9
3,50	53,700	187,951	5,491	3,25 έως 3,5	4,2
3,75	51,518	193,192	5,240	3,5 έως 3,75	4,5
4,00	49,552	198,209	5,018	3,75 έως 4	4,8
4,25	47,771	203,027	4,818	4 έως 4,25	5,2
4,50	46,148	207,665	4,638	4,25 έως 4,5	5,8
4,75	44,661	212,139	4,474	4,5 έως 4,75	6,5
5,00	43,293	216,464	4,325	4,75 έως 5	7,5
5,25	42,029	220,651	4,187	5 έως 5,25	8,9
5,50	40,857	224,712	4,061	5,25 έως 5,5	11,5
5,75	39,766	228,656	3,944	5,5 έως 5,75	17,4
6,00	38,749	232,492	3,835	5,75 έως 6	55,1
6,25	37,796	236,226	3,734	6 έως 6,25	25,1
6,50	36,902	239,866	3,640	6,25 έως 6,5	13,7
6,75	36,062	243,418	3,551	6,5 έως 6,75	10,0
7,00	35,269	246,886	3,468	6,75 έως 7	8,1
7,25	34,521	250,276	3,390	7 έως 7,25	6,9
7,50	33,812	253,592	3,316	7,25 έως 7,5	6,1
7,75	33,140	256,839	3,247	7,5 έως 7,75	5,5
8,00	32,502	260,019	3,180	7,75 έως 8	5,0
8,25	31,895	263,137	3,118	8 έως 8,25	4,6
8,50	31,317	266,195	3,058	8,25 έως 8,5	4,3
8,75	30,765	269,197	3,002	8,5 έως 8,75	4,1
9,00	30,238	272,145	2,948	8,75 έως 9	3,8
9,25	29,734	275,041	2,896	9 έως 9,25	3,6
9,50	29,251	277,887	2,847	9,25 έως 9,5	3,5
9,75	28,788	280,687	2,800	9,5 έως 9,75	3,3
10,00	28,344	283,441	2,754	9,75 έως 10	3,2
10,25	27,917	286,153	2,711	10 έως 10,25	3,1
10,50	27,507	288,822	2,670	10,25 έως 10,5	2,9
10,75	27,112	291,452	2,630	10,5 έως 10,75	2,8
11,00	26,731	294,043	2,591	10,75 έως 11	2,8
11,25	26,364	296,597	2,554	11 έως 11,25	2,7
11,50	26,010	299,116	2,518	11,25 έως 11,5	2,6
11,75	25,668	301,600	2,484	11,5 έως 11,75	2,5
12,00	25,338	304,051	2,451	11,75 έως 12	2,5

Πίνακας Α.3: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 100$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 100$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	550,559	0,000			
0,25	277,068	69,267	69,267	0 έως 0,25	3,1
0,50	201,515	100,757	31,491	0,25 έως 0,5	3,2
0,75	163,415	122,561	21,804	0,5 έως 0,75	3,3
1,00	139,745	139,745	17,183	0,75 έως 1	3,4
1,25	123,334	154,168	14,423	1 έως 1,25	3,5
1,50	111,155	166,732	12,564	1,25 έως 1,5	3,6
1,75	101,683	177,946	11,214	1,5 έως 1,75	3,8
2,00	94,064	188,127	10,182	1,75 έως 2	3,9
2,25	87,773	197,490	9,363	2 έως 2,25	4,1
2,50	82,474	206,185	8,695	2,25 έως 2,5	4,3
2,75	77,935	214,322	8,137	2,5 έως 2,75	4,5
3,00	73,995	221,985	7,663	2,75 έως 3	4,7
3,25	70,535	229,239	7,255	3 έως 3,25	5,0
3,50	67,468	236,138	6,898	3,25 έως 3,5	5,3
3,75	64,726	242,721	6,584	3,5 έως 3,75	5,6
4,00	62,256	249,026	6,304	3,75 έως 4	6,1
4,25	60,019	255,079	6,053	4 έως 4,25	6,6
4,50	57,979	260,906	5,827	4,25 έως 4,5	7,3
4,75	56,111	266,527	5,621	4,5 έως 4,75	8,1
5,00	54,392	271,960	5,433	4,75 έως 5	9,4
5,25	52,804	277,221	5,261	5 έως 5,25	11,2
5,50	51,331	282,323	5,102	5,25 έως 5,5	14,4
5,75	49,961	287,278	4,955	5,5 έως 5,75	21,8
6,00	48,683	292,097	4,819	5,75 έως 6	69,3
6,25	47,486	296,789	4,692	6 έως 6,25	31,5
6,50	46,363	301,362	4,573	6,25 έως 6,5	17,2
6,75	45,307	305,824	4,462	6,5 έως 6,75	12,6
7,00	44,312	310,182	4,357	6,75 έως 7	10,2
7,25	43,371	314,441	4,259	7 έως 7,25	8,7
7,50	42,481	318,607	4,167	7,25 έως 7,5	7,7
7,75	41,637	322,686	4,079	7,5 έως 7,75	6,9
8,00	40,835	326,682	3,996	7,75 έως 8	6,3
8,25	40,073	330,599	3,917	8 έως 8,25	5,8
8,50	39,346	334,442	3,842	8,25 έως 8,5	5,4
8,75	38,653	338,213	3,771	8,5 έως 8,75	5,1
9,00	37,991	341,916	3,703	8,75 έως 9	4,8
9,25	37,357	345,554	3,639	9 έως 9,25	4,6
9,50	36,751	349,131	3,577	9,25 έως 9,5	4,4
9,75	36,169	352,648	3,517	9,5 έως 9,75	4,2
10,00	35,611	356,109	3,461	9,75 έως 10	4,0
10,25	35,075	359,515	3,406	10 έως 10,25	3,8
10,50	34,559	362,869	3,354	10,25 έως 10,5	3,7
10,75	34,063	366,173	3,304	10,5 έως 10,75	3,6
11,00	33,584	369,429	3,255	10,75 έως 11	3,5
11,25	33,123	372,638	3,209	11 έως 11,25	3,4
11,50	32,678	375,802	3,164	11,25 έως 11,5	3,3
11,75	32,249	378,923	3,121	11,5 έως 11,75	3,2
12,00	31,833	382,002	3,079	11,75 έως 12	3,1

Πίνακας Α.4: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 200$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 200$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	589,038	0,000			
0,25	296,432	74,108	74,108	0 έως 0,25	3,3
0,50	215,599	107,799	33,691	0,25 έως 0,5	3,4
0,75	174,836	131,127	23,328	0,5 έως 0,75	3,5
1,00	149,512	149,512	18,384	0,75 έως 1	3,6
1,25	131,954	164,943	15,431	1 έως 1,25	3,8
1,50	118,923	178,385	13,442	1,25 έως 1,5	3,9
1,75	108,790	190,382	11,997	1,5 έως 1,75	4,0
2,00	100,638	201,276	10,893	1,75 έως 2	4,2
2,25	93,908	211,293	10,017	2 έως 2,25	4,4
2,50	88,238	220,595	9,302	2,25 έως 2,5	4,6
2,75	83,382	229,301	8,706	2,5 έως 2,75	4,8
3,00	79,166	237,499	8,199	2,75 έως 3	5,0
3,25	75,465	245,261	7,762	3 έως 3,25	5,3
3,50	72,183	252,641	7,380	3,25 έως 3,5	5,6
3,75	69,249	259,685	7,044	3,5 έως 3,75	6,0
4,00	66,608	266,430	6,745	3,75 έως 4	6,5
4,25	64,213	272,906	6,476	4 έως 4,25	7,0
4,50	62,031	279,141	6,234	4,25 έως 4,5	7,8
4,75	60,033	285,155	6,014	4,5 έως 4,75	8,7
5,00	58,194	290,968	5,813	4,75 έως 5	10,0
5,25	56,495	296,596	5,629	5 έως 5,25	12,0
5,50	54,919	302,055	5,459	5,25 έως 5,5	15,4
5,75	53,453	307,357	5,302	5,5 έως 5,75	23,3
6,00	52,085	312,512	5,156	5,75 έως 6	74,1
6,25	50,805	317,532	5,020	6 έως 6,25	33,7
6,50	49,604	322,425	4,893	6,25 έως 6,5	18,4
6,75	48,474	327,198	4,774	6,5 έως 6,75	13,4
7,00	47,409	331,860	4,662	6,75 έως 7	10,9
7,25	46,402	336,417	4,557	7 έως 7,25	9,3
7,50	45,450	340,875	4,458	7,25 έως 7,5	8,2
7,75	44,547	345,239	4,364	7,5 έως 7,75	7,4
8,00	43,689	349,514	4,275	7,75 έως 8	6,7
8,25	42,873	353,705	4,191	8 έως 8,25	6,2
8,50	42,096	357,816	4,111	8,25 έως 8,5	5,8
8,75	41,354	361,851	4,035	8,5 έως 8,75	5,5
9,00	40,646	365,813	3,962	8,75 έως 9	5,2
9,25	39,968	369,706	3,893	9 έως 9,25	4,9
9,50	39,319	373,532	3,827	9,25 έως 9,5	4,7
9,75	38,697	377,295	3,763	9,5 έως 9,75	4,5
10,00	38,100	380,998	3,703	9,75 έως 10	4,3
10,25	37,526	384,642	3,644	10 έως 10,25	4,1
10,50	36,974	388,230	3,588	10,25 έως 10,5	4,0
10,75	36,443	391,765	3,535	10,5 έως 10,75	3,8
11,00	35,932	395,248	3,483	10,75 έως 11	3,7
11,25	35,438	398,681	3,433	11 έως 11,25	3,6
11,50	34,962	402,067	3,385	11,25 έως 11,5	3,5
11,75	34,503	405,406	3,339	11,5 έως 11,75	3,4
12,00	34,058	408,700	3,294	11,75 έως 12	3,3

Πίνακας Α.5: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 500$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 500$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	643,943	0,000			
0,25	324,063	81,016	81,016	0 έως 0,25	3,7
0,50	235,695	117,848	36,832	0,25 έως 0,5	3,8
0,75	191,133	143,350	25,502	0,5 έως 0,75	3,9
1,00	163,448	163,448	20,098	0,75 έως 1	4,0
1,25	144,254	180,318	16,870	1 έως 1,25	4,1
1,50	130,008	195,013	14,695	1,25 έως 1,5	4,3
1,75	118,931	208,128	13,116	1,5 έως 1,75	4,4
2,00	110,019	220,037	11,909	1,75 έως 2	4,6
2,25	102,661	230,988	10,951	2 έως 2,25	4,8
2,50	96,463	241,157	10,169	2,25 έως 2,5	5,0
2,75	91,154	250,674	9,517	2,5 έως 2,75	5,2
3,00	86,546	259,637	8,963	2,75 έως 3	5,5
3,25	82,499	268,122	8,485	3 έως 3,25	5,8
3,50	78,912	276,191	8,068	3,25 έως 3,5	6,2
3,75	75,704	283,891	7,701	3,5 έως 3,75	6,6
4,00	72,816	291,265	7,373	3,75 έως 4	7,1
4,25	70,199	298,345	7,080	4 έως 4,25	7,7
4,50	67,813	305,160	6,815	4,25 έως 4,5	8,5
4,75	65,628	311,734	6,575	4,5 έως 4,75	9,5
5,00	63,618	318,089	6,355	4,75 έως 5	11,0
5,25	61,761	324,243	6,153	5 έως 5,25	13,1
5,50	60,038	330,210	5,968	5,25 έως 5,5	16,9
5,75	58,436	336,006	5,796	5,5 έως 5,75	25,5
6,00	56,940	341,642	5,636	5,75 έως 6	81,0
6,25	55,541	347,130	5,488	6 έως 6,25	36,8
6,50	54,227	352,478	5,349	6,25 έως 6,5	20,1
6,75	52,992	357,697	5,219	6,5 έως 6,75	14,7
7,00	51,828	362,794	5,097	6,75 έως 7	11,9
7,25	50,728	367,775	4,982	7 έως 7,25	10,2
7,50	49,686	372,649	4,873	7,25 έως 7,5	9,0
7,75	48,699	377,419	4,771	7,5 έως 7,75	8,1
8,00	47,762	382,093	4,674	7,75 έως 8	7,4
8,25	46,870	386,675	4,582	8 έως 8,25	6,8
8,50	46,020	391,169	4,494	8,25 έως 8,5	6,4
8,75	45,209	395,579	4,411	8,5 έως 8,75	6,0
9,00	44,435	399,911	4,331	8,75 έως 9	5,6
9,25	43,694	404,167	4,256	9 έως 9,25	5,3
9,50	42,984	408,350	4,183	9,25 έως 9,5	5,1
9,75	42,304	412,464	4,114	9,5 έως 9,75	4,9
10,00	41,651	416,511	4,048	9,75 έως 10	4,7
10,25	41,024	420,495	3,984	10 έως 10,25	4,5
10,50	40,421	424,418	3,923	10,25 έως 10,5	4,3
10,75	39,840	428,282	3,864	10,5 έως 10,75	4,2
11,00	39,281	432,090	3,808	10,75 έως 11	4,0
11,25	38,742	435,843	3,753	11 έως 11,25	3,9
11,50	38,221	439,544	3,701	11,25 έως 11,5	3,8
11,75	37,719	443,195	3,650	11,5 έως 11,75	3,7
12,00	37,233	446,796	3,602	11,75 έως 12	3,6

Πίνακας Α.6: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 1000$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 1000$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	688,807	0,000			
0,25	346,641	86,660	86,660	0 έως 0,25	3,9
0,50	252,116	126,058	39,398	0,25 έως 0,5	4,0
0,75	204,449	153,337	27,279	0,5 έως 0,75	4,1
1,00	174,835	174,835	21,498	0,75 έως 1	4,3
1,25	154,304	192,880	18,045	1 έως 1,25	4,4
1,50	139,066	208,599	15,719	1,25 έως 1,5	4,6
1,75	127,216	222,629	14,030	1,5 έως 1,75	4,7
2,00	117,683	235,367	12,738	1,75 έως 2	4,9
2,25	109,814	247,081	11,714	2 έως 2,25	5,1
2,50	103,183	257,959	10,878	2,25 έως 2,5	5,3
2,75	97,505	268,139	10,180	2,5 έως 2,75	5,6
3,00	92,575	277,726	9,587	2,75 έως 3	5,9
3,25	88,247	286,802	9,076	3 έως 3,25	6,2
3,50	84,409	295,433	8,630	3,25 έως 3,5	6,6
3,75	80,979	303,670	8,237	3,5 έως 3,75	7,0
4,00	77,889	311,557	7,887	3,75 έως 4	7,6
4,25	75,089	319,130	7,573	4 έως 4,25	8,2
4,50	72,538	326,420	7,290	4,25 έως 4,5	9,1
4,75	70,201	333,453	7,033	4,5 έως 4,75	10,2
5,00	68,050	340,250	6,798	4,75 έως 5	11,7
5,25	66,063	346,832	6,582	5 έως 5,25	14,0
5,50	64,221	353,216	6,383	5,25 έως 5,5	18,0
5,75	62,507	359,415	6,199	5,5 έως 5,75	27,3
6,00	60,907	365,444	6,029	5,75 έως 6	86,7
6,25	59,410	371,314	5,870	6 έως 6,25	39,4
6,50	58,005	377,035	5,721	6,25 έως 6,5	21,5
6,75	56,684	382,618	5,582	6,5 έως 6,75	15,7
7,00	55,438	388,069	5,452	6,75 έως 7	12,7
7,25	54,262	393,398	5,329	7 έως 7,25	10,9
7,50	53,148	398,611	5,213	7,25 έως 7,5	9,6
7,75	52,092	403,714	5,103	7,5 έως 7,75	8,6
8,00	51,089	408,713	4,999	7,75 έως 8	7,9
8,25	50,135	413,614	4,901	8 έως 8,25	7,3
8,50	49,226	418,421	4,807	8,25 έως 8,5	6,8
8,75	48,359	423,139	4,718	8,5 έως 8,75	6,4
9,00	47,530	427,772	4,633	8,75 έως 9	6,0
9,25	46,738	432,325	4,552	9 έως 9,25	5,7
9,50	45,979	436,799	4,475	9,25 έως 9,5	5,5
9,75	45,251	441,200	4,401	9,5 έως 9,75	5,2
10,00	44,553	445,530	4,330	9,75 έως 10	5,0
10,25	43,882	449,791	4,262	10 έως 10,25	4,8
10,50	43,237	453,987	4,196	10,25 έως 10,5	4,6
10,75	42,616	458,121	4,133	10,5 έως 10,75	4,5
11,00	42,018	462,194	4,073	10,75 έως 11	4,3
11,25	41,441	466,208	4,015	11 έως 11,25	4,2
11,50	40,884	470,167	3,959	11,25 έως 11,5	4,1
11,75	40,347	474,072	3,905	11,5 έως 11,75	4,0
12,00	39,827	477,924	3,852	11,75 έως 12	3,9

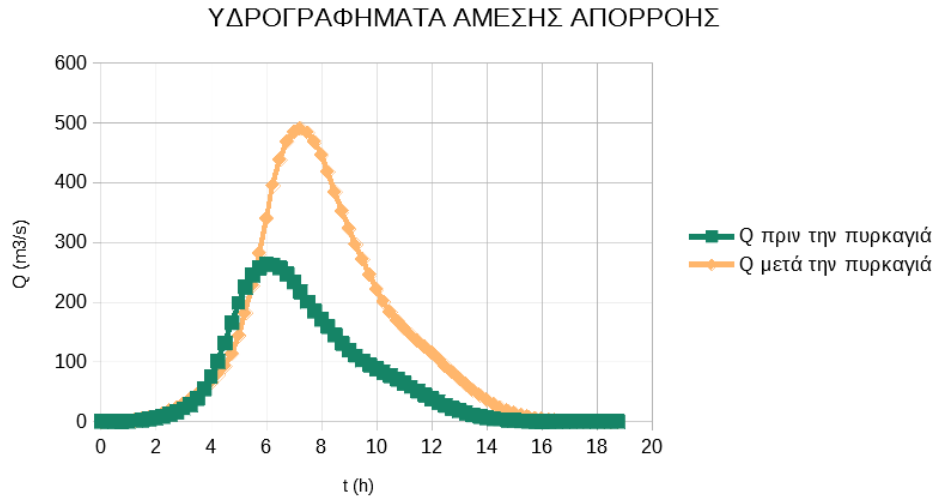
Πίνακας Α.7: Υετόγραμμα Σχεδιασμού για $T = 10000$ έτη (με χρονικό βήμα 15 λεπτών).

ΥΕΤΟΓΡΑΜΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ $T = 10000$ ΕΤΗ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ					
Διάρκεια (h)	Ένταση (mm/h)	Αθρ.βροχ (mm)	Βροχ. ανά διαστ. (mm)	Χρόνος (h)	Βροχ. (mm)
0,00	861,387	0,000			
0,25	433,491	108,373	108,373	0 έως 0,25	4,9
0,50	315,284	157,642	49,269	0,25 έως 0,5	5,0
0,75	255,674	191,755	34,114	0,5 έως 0,75	5,2
1,00	218,640	218,640	26,885	0,75 έως 1	5,3
1,25	192,965	241,206	22,566	1 έως 1,25	5,5
1,50	173,909	260,864	19,657	1,25 έως 1,5	5,7
1,75	159,090	278,408	17,545	1,5 έως 1,75	5,9
2,00	147,169	294,338	15,930	1,75 έως 2	6,1
2,25	137,328	308,987	14,649	2 έως 2,25	6,4
2,50	129,036	322,590	13,603	2,25 έως 2,5	6,7
2,75	121,935	335,321	12,731	2,5 έως 2,75	7,0
3,00	115,770	347,310	11,989	2,75 έως 3	7,3
3,25	110,357	358,661	11,350	3 έως 3,25	7,8
3,50	105,558	369,453	10,793	3,25 έως 3,5	8,2
3,75	101,268	379,754	10,301	3,5 έως 3,75	8,8
4,00	97,404	389,617	9,863	3,75 έως 4	9,5
4,25	93,903	399,088	9,471	4 έως 4,25	10,3
4,50	90,712	408,205	9,116	4,25 έως 4,5	11,4
4,75	87,789	416,999	8,795	4,5 έως 4,75	12,7
5,00	85,100	425,500	8,501	4,75 έως 5	14,6
5,25	82,615	433,731	8,231	5 έως 5,25	17,5
5,50	80,312	441,714	7,983	5,25 έως 5,5	22,6
5,75	78,168	449,467	7,753	5,5 έως 5,75	34,1
6,00	76,168	457,006	7,539	5,75 έως 6	108,4
6,25	74,295	464,347	7,341	6 έως 6,25	49,3
6,50	72,539	471,502	7,155	6,25 έως 6,5	26,9
6,75	70,886	478,483	6,981	6,5 έως 6,75	19,7
7,00	69,329	485,300	6,818	6,75 έως 7	15,9
7,25	67,857	491,964	6,664	7 έως 7,25	13,6
7,50	66,464	498,483	6,519	7,25 έως 7,5	12,0
7,75	65,144	504,864	6,382	7,5 έως 7,75	10,8
8,00	63,890	511,116	6,252	7,75 έως 8	9,9
8,25	62,696	517,245	6,129	8 έως 8,25	9,1
8,50	61,560	523,257	6,012	8,25 έως 8,5	8,5
8,75	60,475	529,157	5,900	8,5 έως 8,75	8,0
9,00	59,439	534,951	5,794	8,75 έως 9	7,5
9,25	58,448	540,644	5,693	9 έως 9,25	7,2
9,50	57,499	546,239	5,596	9,25 έως 9,5	6,8
9,75	56,589	551,743	5,503	9,5 έως 9,75	6,5
10,00	55,716	557,157	5,414	9,75 έως 10	6,3
10,25	54,877	562,486	5,329	10 έως 10,25	6,0
10,50	54,070	567,734	5,248	10,25 έως 10,5	5,8
10,75	53,293	572,903	5,169	10,5 έως 10,75	5,6
11,00	52,545	577,996	5,093	10,75 έως 11	5,4
11,25	51,824	583,017	5,021	11 έως 11,25	5,2
11,50	51,128	587,967	4,951	11,25 έως 11,5	5,1
11,75	50,455	592,850	4,883	11,5 έως 11,75	5,0
12,00	49,806	597,668	4,818	11,75 έως 12	4,8

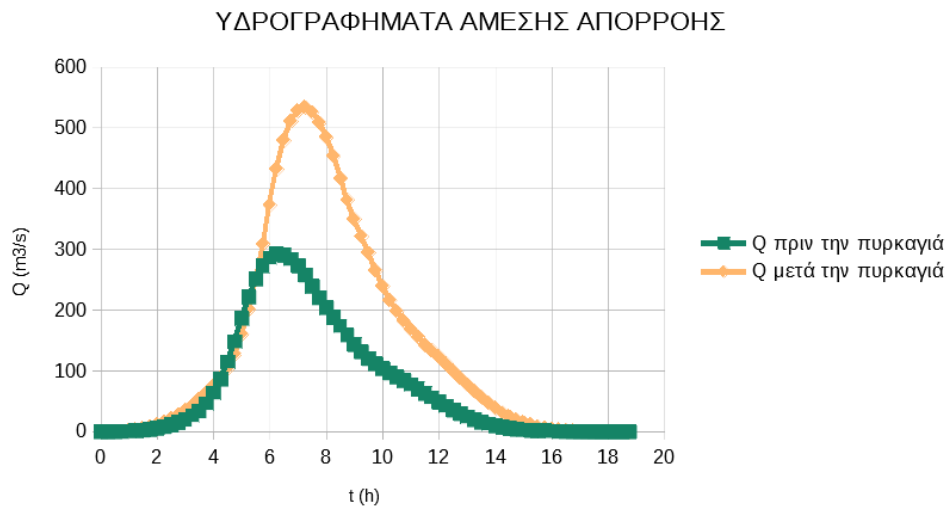
Παράρτημα Β: Υδρογραφήματα Σχεδιασμού

Πίνακας Β.1: Υδρογραφήματα σχεδιασμού πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 5 - 10000$ έτη.

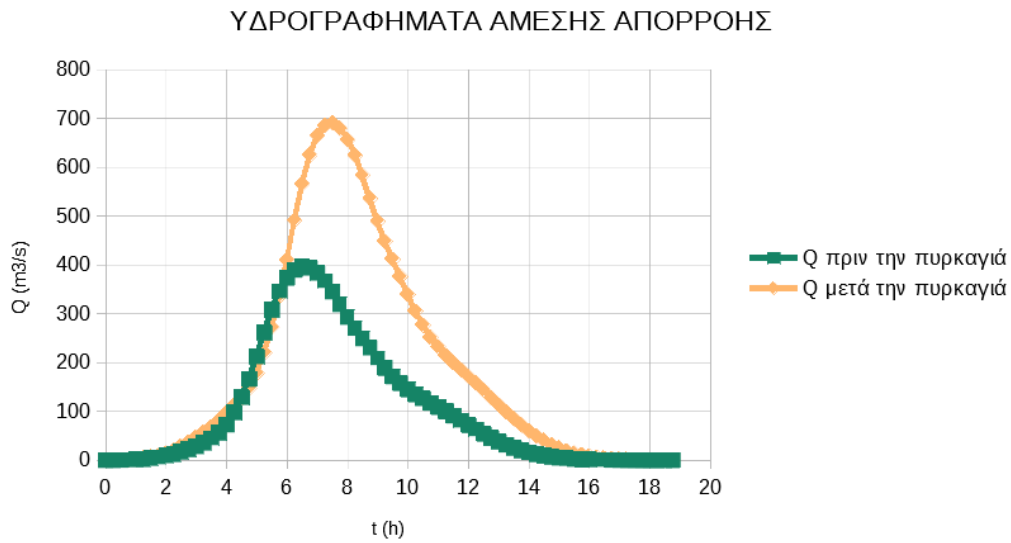
ΠΑΡΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΓΙΑ $T = 5 - 10000$ ΕΤΗ (ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ 15 ΛΕΠΤΩΝ)													
5		10		100		200		500		1000		10000	
Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,00	0,06	0,00	0,04
0,06	0,05	0,04	0,10	0,09	0,10	0,05	0,15	0,10	0,24	0,04	0,31	0,06	0,27
0,18	0,20	0,13	0,32	0,27	0,36	0,17	0,51	0,31	0,73	0,17	0,92	0,24	0,89
0,42	0,54	0,33	0,78	0,63	0,93	0,44	1,24	0,74	1,70	0,47	2,11	0,67	2,19
0,86	1,17	0,70	1,60	1,28	1,98	0,96	2,54	1,50	3,40	1,05	4,14	1,49	4,49
1,58	2,22	1,34	2,96	2,33	3,72	1,83	4,66	2,73	6,10	2,04	7,35	2,89	8,20
2,67	3,86	2,32	5,00	3,89	6,36	3,19	7,83	4,58	10,05	3,61	11,96	5,07	13,70
4,20	6,20	3,74	7,85	6,07	10,09	5,15	12,20	7,15	15,39	5,90	18,11	8,23	21,22
6,26	9,32	5,68	11,56	8,92	14,97	7,80	17,85	10,53	22,16	9,00	25,84	12,47	30,80
8,91	13,27	8,21	16,19	12,53	21,04	11,21	24,78	14,76	30,36	13,00	35,09	17,88	42,39
12,26	18,07	11,40	21,73	16,95	28,29	15,44	32,97	19,91	39,92	17,93	45,81	24,47	55,85
16,43	23,73	15,36	28,19	22,25	36,68	20,54	42,37	26,02	50,77	23,86	57,86	32,28	71,02
21,65	30,24	20,22	35,56	28,54	46,17	26,59	52,90	33,17	62,82	30,81	71,15	41,31	87,69
28,39	37,64	26,22	43,86	35,99	56,71	33,70	64,54	41,46	76,01	38,86	85,62	51,58	105,71
39,03	45,96	33,89	53,12	44,91	68,31	42,05	77,26	51,11	90,33	48,14	101,24	63,17	124,97
55,03	55,29	45,83	63,45	56,00	80,99	51,98	91,08	62,47	105,77	58,84	118,00	76,20	145,38
75,61	65,81	63,66	75,02	72,75	94,86	64,23	106,13	76,38	122,49	71,37	136,06	90,92	166,98
101,00	77,90	86,50	88,26	97,26	110,19	82,61	122,71	97,10	140,83	86,63	155,83	107,86	190,02
131,53	92,44	114,56	104,14	128,31	127,55	109,41	141,44	127,13	161,50	109,25	178,05	128,25	215,04
165,67	113,68	148,24	127,27	166,15	148,19	143,24	163,67	164,94	185,97	141,92	204,32	158,05	243,02
198,08	144,04	185,79	160,25	211,21	178,06	184,40	195,79	210,81	221,26	182,95	242,19	200,73	275,99
225,05	181,89	221,31	201,30	261,09	220,42	233,33	241,30	265,22	271,23	232,65	295,77	253,99	323,47
244,95	227,55	250,73	250,78	307,83	272,97	287,39	297,72	325,20	333,14	291,51	362,12	318,18	390,69
257,23	281,35	272,30	309,03	346,05	336,16	337,92	365,54	381,10	407,51	356,30	441,82	393,93	473,90
263,46	340,31	285,43	372,79	373,51	410,38	379,10	445,16	426,46	494,80	416,54	535,34	476,95	573,83
262,55	394,82	291,88	431,64	389,55	491,43	408,52	532,07	458,63	590,02	465,28	637,32	553,68	691,08
256,79	438,43	290,46	478,59	396,60	565,90	425,49	611,83	476,90	677,29	499,67	730,69	615,18	818,82
247,26	468,67	283,72	511,00	393,11	624,88	432,69	674,88	484,29	746,11	518,97	804,21	657,89	935,50
233,85	484,94	272,85	528,21	382,62	665,07	428,45	717,69	478,93	792,63	526,48	853,76	680,97	1026,94
217,11	490,38	257,75	533,68	366,72	685,70	416,63	739,46	465,18	816,02	520,20	878,46	688,79	1088,02
200,30	483,15	239,02	525,42	345,30	691,29	398,96	745,06	444,97	821,64	504,85	884,08	678,81	1117,70
185,28	467,72	220,27	508,29	319,20	679,29	375,34	731,78	418,19	806,50	482,56	867,43	657,24	1123,33
171,46	445,99	203,55	484,35	293,29	656,03	346,68	706,41	385,88	778,13	453,18	836,61	626,84	1100,90
158,47	417,84	188,18	453,50	270,28	624,17	318,31	671,82	353,97	739,67	417,88	794,99	587,44	1060,70
144,39	384,48	173,76	417,03	249,20	583,55	293,12	627,87	325,68	690,96	383,08	742,41	540,60	1006,99
131,07	351,75	158,15	381,31	229,47	535,90	270,07	576,39	299,81	634,05	352,24	681,06	494,66	939,56
...
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



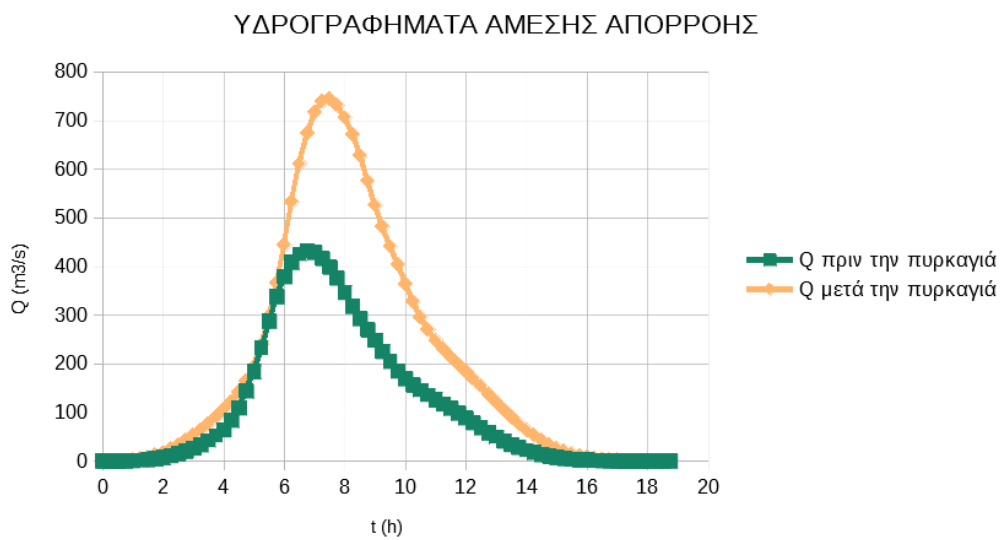
Σχήμα Β.1: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 5$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.



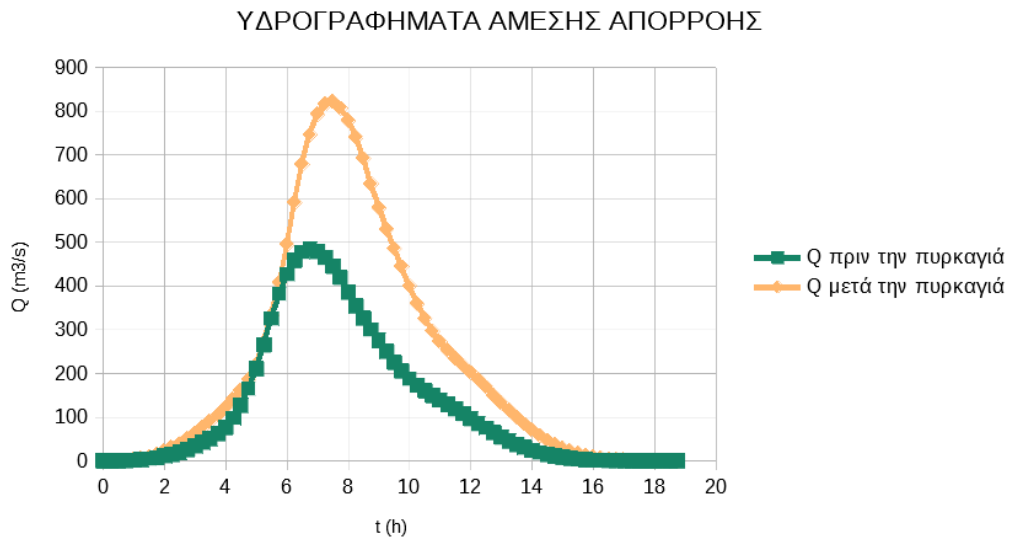
Σχήμα Β.2: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 10$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.



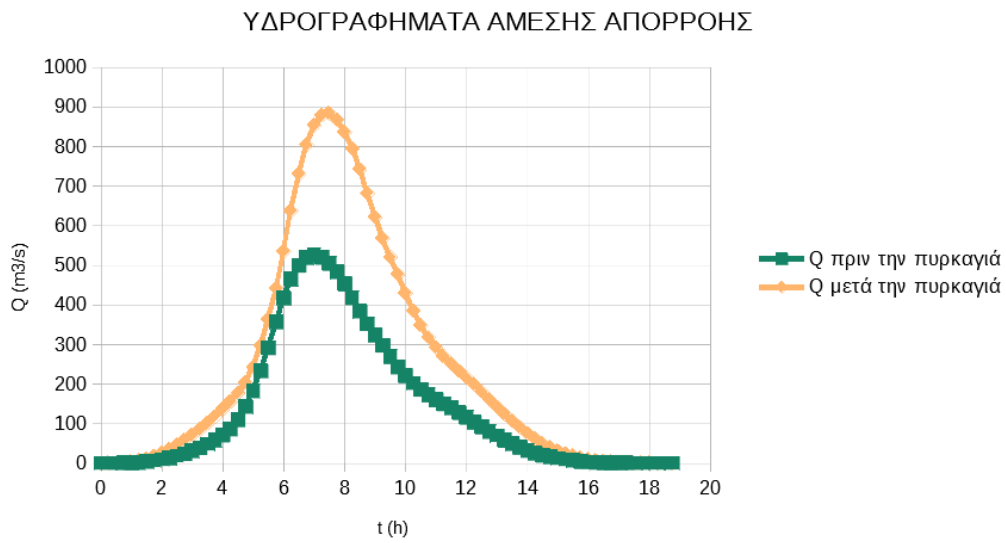
Σχήμα Β.3: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 100$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.



Σχήμα Β.4: Υδρογραφήματα πριν και την πυρκαγιά για $T = 200$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.

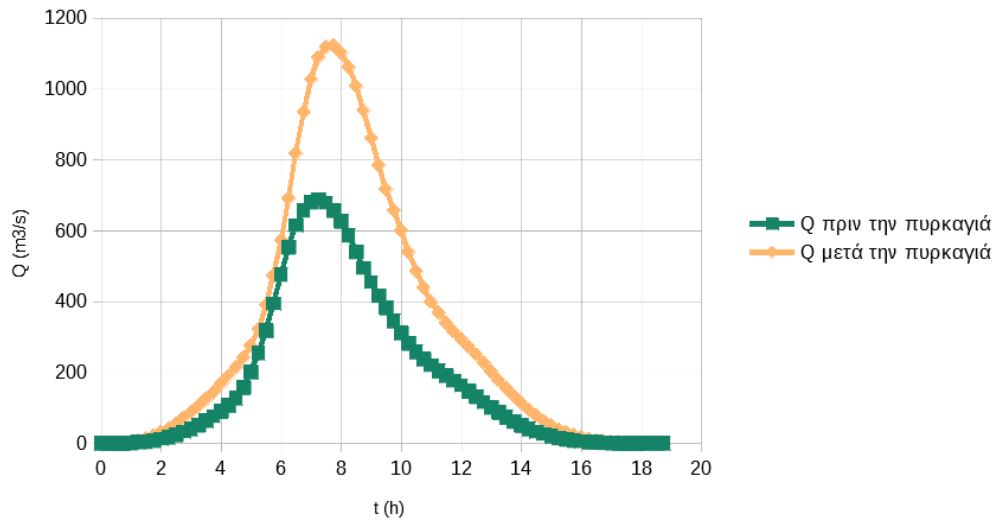


Σχήμα Β.5: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 500$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.



Σχήμα Β.6: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 1000$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.

ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



Σχήμα Β.7: Υδρογραφήματα πριν και μετά την πυρκαγιά για $T = 10000$ και χρονικό βήμα 15 λεπτών.

Παράρτημα Γ: Φωτογραφικό υλικό από τη λεκάνη



Σχήμα Γ.1: Εικόνα Αχλαδορέματος.



Σχήμα Γ.2: Εικόνα Αχλαδορέματος.



Σχήμα Γ.3: Εικόνα Αχλαδορέματος.



Σχήμα Γ.4: Εικόνα από τη λεκάνη απορροής του Αχλαδορέματος.

Παράρτημα Δ: Αεροφωτογραφίες καμένων εκτάσεων



Σχήμα Δ.1: Απόσπασμα αεροφωτογραφίας από το δορυφόρο Sentinel, με εφαρμογή του δείκτη NDWI για ανάδειξη καμένης έκτασης (Α/Φ από Σεπτέμβριο 2021).



Σχήμα Δ.2: Οριοθέτηση λεκάνης περιοχής μελέτης (κόκκινο χρώμα) σε σχέση με όλη την καμένη έκταση στη Βόρεια Εύβοια (πορτοκαλί διαγράμμιση).