



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ
ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΣΕ ΤΜΗΜΑ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΚΗΦΙΣΟΥ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ

ΖΥΜΑΡΑΚΗ ΜΑΡΙΑ-ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΧΡΙΝΤΖΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023

Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στον πατέρα μου, ο οποίος έφυγε πολύ νωρίς και αναπάντεχα από κοντά μου. Θα σε θυμάμαι και θα σε αγαπώ πάντα.

Επίσης, αφιερώνεται στη μητέρα μου που στάθηκε κοντά σε εμένα και τον αδερφό μου και σαν θιάνα και σαν πατέρας.

Ευχαριστίες

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Βασίλειο Τσιχριντζή για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τις συμβουλές του καθώς και για την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Κούρτη για την πολύτιμη βοήθεια του.

Τέλος, θα ήθελα από τα βάθη της καρδιάς μου να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου και στους φίλους μου για την υποστήριξη και την αγάπη τους σε όλη την πορεία των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υδρολογική προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής και η εκτίμηση της μεταβολής της υδρολογικής απόκρισης της μετά την επίδραση πυρκαγιάς. Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κηφισού και συγκεκριμένα αφορά την λεκάνη απορροής στην περιοχή της Βαρυμπόμπης στους πρόποδες της Πάρνηθας, η οποία έχει έκταση περίπου 59 km². Η περιοχή αυτή επλήγη από μια μεγάλης έντασης πυρκαγιά τον Αύγουστο το 2021.

Είναι γεγονός ότι μερική ή ολική καταστροφή της βλάστησης από πυρκαγιές συντελεί στην μερική ή ολική παράσυρση του εδάφους από τις βροχές, στην αύξηση της διάβρωσης του εδάφους και στη δημιουργία πλημμυρών. Στον ευρωπαϊκό χώρο οι μελέτες σχετικά με την επίδραση των πυρκαγιών σε πλημμυρικά φαινόμενα είναι σχετικά λίγες και έχουν δείξει ότι η βασική επίπτωση των πυρκαγιών, είναι η αύξηση της απορροής και των παροχών αιχμής σε σχέση με τις συνθήκες πριν την πυρκαγιά, με τα ποσοστά αύξησης να διαφέρουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υπό εξέταση λεκάνης απορροής.

Η ανάλυση των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) και πιο συγκεκριμένα με το λογισμικό ArcGIS, μέσω της πρόσθετης εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension), που επιτρέπει τη δημιουργία αρχείων εισόδου για το λογισμικό υδρολογικής προσομοίωσης HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System). Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η υδρολογική ανάλυση της περιοχής με αποτέλεσμα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα σχεδιασμού, για επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς ($T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη) και επιλεγμένες διάρκειες βροχόπτωσης ($t = 1, 2, 3, 6, 12, 24$ ώρες). Για την προσομοίωση της λεκάνης απορροής και τον υπολογισμό των συνολικών υψών βροχόπτωσης για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης και κάθε περίοδο επαναφοράς χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη που προτάθηκε από τους Mimikou et al. (2000). Για την χρονική κατανομή του ύψους βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης ή εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method, Chow, 1988). Για την προσομοίωση των επιμέρους συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου έγινε επιλογή των κατάλληλων μεθόδων από ένα σύνολο δυνατοτήτων που διαθέτει το λογισμικό HEC-HMS. Οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για τον υπολογισμό του ύψους περισεύματος της βροχής ήταν η μέθοδος Soil Conservation Service των ΗΠΑ (SCS-CN) και του αδιάστατου Μοναδιαίου υδρογραφήματος SCS. Μέσω του λογισμικού HEC-HMS και των μεθόδων που προαναφέρθηκαν υπολογίσθηκαν τα υδρογραφήματα εξόδου για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια βροχόπτωσης σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη. Τελικό στάδιο της εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος μετά το επεισόδιο πυρκαγιάς του Αυγούστου του 2021, ώστε να ελεγχθεί η μεταβολή της πλημμυρικής απορροής μετά τη φωτιά και να συγκριθεί με αυτή πριν τη φωτιά. Η καμένη περιοχή βρέθηκε μέσω του European Forest Fire Information System (EFFIS) στο οποίο συμπληρώνεται μια αίτηση με τα ακριβή στοιχεία για την περιοχή για την οποία ζητούνται τα δεδομένα, τα οποία και αποστέλλονται σε σύντομο χρονικό διάστημα στην ηλεκτρονική διεύθυνση που έχει δοθεί. Για τον προσδιορισμό και των πλημμυρογραφημάτων μετά το επεισόδιο της πυρκαγιάς, θεωρήθηκε απαραίτητος ο επαναπροσδιορισμός της παραμέτρου CN (Curve Number) του μοντέλου, με βάση την μελέτη των Goodrich et al. (2005), η οποία συσχετίζει τις τιμές CN με το ποσοστό κάλυψης για κάθε

ομάδα υδροπερατότητας. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψιν και οι συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή.

Ως αποτέλεσμα της εν λόγω διπλωματικής προέκυψαν τα πλημμυρογραφήματα που αφορούν τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά, για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια βροχόπτωσης, καθώς και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση. Πριν την πυρκαγιά η αιχμή κυμαίνεται από $17.75 \text{ m}^3/\text{s}$ έως $271.50 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ μετά την πυρκαγιά από $54.37 \text{ m}^3/\text{s}$ έως $341.70 \text{ m}^3/\text{s}$. Επίσης, πριν την πυρκαγιά ο όγκος της απορροής κυμαίνεται από 3.36 mm έως 79.95 mm , ενώ μετά την πυρκαγιά από 5.78 mm έως 100.00 mm .

Συμπερασματικά, οι έντονες πυρκαγιές επηρεάζουν σημαντικά την υδρολογική συμπεριφορά φυσικών λεκανών, ιδίως στις μεσογειακές περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές λόγω των χαρακτηριστικών της χλωρίδας τους και του κλίματός τους. Τέτοια περίπτωση αποτελεί η λεκάνη απορροής του Κηφισού και συγκεκριμένα στην περιοχή της Βαρυμπόμπης, η οποία και εξετάσθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the hydrological simulation of a watershed and the assessment of the change in its hydrological response after the effect of fire. The study area is part of the Kifisos watershed, and specifically, the watershed in the area of Varybompi at the foothills of Mount Parnitha, which has a surface area of approximately 59 km². This area was affected by a high-intensity fire in August 2021.

It is a fact that partial or total destruction of vegetation by fires contributes to significant soil erosion by rainfall and flooding. The studies in the European area on the effect of fires on flooding phenomena have shown that fire, by increasing the impermeability of the soil and its hydrophobicity, causes, in most cases, an increase in runoff and peak flood flows in relation to pre-fire conditions, with rates of increase varying with catchment characteristics.

The analysis of the geomorphological and hydrological characteristics of the considered area was carried out in a Geographic Information System (GIS) environment, through the additional toolbox HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension), which allows the creation of input files in the hydrological model. Then, the hydrological analysis of the area was carried out resulting in the design flood hydrographs for selected return periods (T = 2, 5, 10, 25, 50, 100 years) and selected rainfall durations (t = 1, 2, 3, 6, 12, 24 hours). To simulate the watershed and calculate total rainfall depths for each rainfall duration and each return period, the rainfall intensity-duration-frequency curve proposed by Mimikou et al. (2000) was used. For the temporal distribution of the rainfall depth, i.e., the creation of the hyetographs, the method of alternating rainfall depths or alternating blocks (Alternating Block Method; Chow, 1988) was used. For the simulation of the individual components of the hydrological cycle, the appropriate methods were selected from a set of possibilities available in the HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System) software. The methods chosen to calculate residual rainfall were the US Soil Conservation Service (SCS-CN) and the dimensionless SCS Unit Hydrograph that transforms rainfall to runoff in HEC-HMS. Through the HEC-HMS software and the methods mentioned above, the output hydrographs were calculated for each return period and each rainfall duration according to the rainfall curve. The final stage of the work was the investigation of the hydrological behavior of the catchment of interest after the fire episode of August 2021, in order to check the change in the flood runoff after the fire, and compare it with that before the fire. To also determine the hydrographs after the fire event, it was considered necessary to redefine the CN (Curve Number) parameter of the model, based on the study of Goodrich et al. (2005), which correlates the CN values with the percent cover for each permeability group. In addition, the conditions prevailing in the specific area were also taken into account.

As a result, hydrographs were produced for the periods before and after the fire, and for each return period and each rainfall duration. Also, the total and active rainfall were calculated. Before the fire, the peak varied from 17.75 m³/s to 271.50 m³/s, while after the fire from 54.37 m³/s to 341.70 m³/s. Also, before the fire, the volume varied from 3.36 mm to 79.95 mm, while after the fire from 5.78 mm to 100.00 mm.

In conclusion, intense fires significantly affect the hydrological behavior of natural basins, especially in the Mediterranean areas which are susceptible to fire due to their flora and climate characteristics. Such a case is the watershed of Kifissos, specifically in the area of Varibombi, which was examined in this thesis.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
1.1. Σκοπός εργασίας	20
1.2. Το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκάνης απορροής	20
1.3. Υδρολογικά Μοντέλα	21
1.4. Το ζήτημα των πλημμυρών	22
1.4.1 Γενικά για τις πλημμύρες	22
1.4.2. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ.....	23
1.4.3. Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρώπη και Ελλάδα	23
1.5. Λογισμικό	24
1.6. Υδρολογική συμπεριφορά δασωμένων λεκανών απορροής.....	25
1.7. Πυρκαγιές.....	26
1.7.1. Χαρακτηριστικά των πυρκαγιών	26
1.7.2. Οι πυρκαγιές σε Μεσόγειο και Ελλάδα	27
1.7.3. Επίδραση πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής	29
1.8. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	30
1.9. Διάρθρωση της εργασίας	38
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	40
2.1. Περιοχή μελέτης.....	40
2.1.1. Λεκάνη Απορροής Κηφισού	40
2.1.2. Περιγραφή λεκάνης μελέτης.....	42
2.1.3. Γεωλογικά Χαρακτηριστικά.....	44
2.1.4. Κλιματικές Συνθήκες	46
2.1.5. Δασική Βλάστηση	47
2.2.Υδρολογική προσομοίωση λεκάνης απορροής	49
2.2.1.Γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής	51
2.2.2. Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	54
2.2.3. Απώλειες Βροχής.....	60
2.2.3.1 Εκτίμηση του περισσεύματος βροχής με την μέθοδο SCS	60
2.2.3.2. Όμβρια καμπύλη για την λεκάνη απορροής.....	66
2.2.3.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS	66
2.2.3.4.Εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης (t_c) - Εξίσωση Giandotti	67
2.2.3.5. Χρονική κατανομή βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method).....	69

2.2.4. Λογισμικό HEC-HMS.....	69
2.2.4.1. Προετοιμασία αρχείων εισόδου στο πρόγραμμα HEC-HMS.....	70
2.2.4.2. Μοντέλο λεκάνης απορροής.....	72
2.2.4.3. Μετεωρολογικό μοντέλο	73
3.1. Υετογράμματα με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ	74
3.2. Υδρογραφήματα με βάση τα αποτελέσματα του HEC-HMS.....	78
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	97
4.1. Συμπεράσματα	97
4.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	98
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99
5.1. Ελληνική βιβλιογραφία	99
5.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	103
5.3. Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αριθμός Πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου (1980-2013)	28
Εικόνα 2: Σύγκριση καμένων εκτάσεων στις χώρες της Μεσογείου για τα έτη	28
Εικόνα 3: Αριθμός Πυρκαγιών στην Ελλάδα (2000-2021)	29
Εικόνα 4: Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο Κηφισού και Ιλισού	41
Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης.....	42
Εικόνα 6: Μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή της Βαρυμπόμπης την 3η Αυγούστου 2021 (Πηγή: meteo.gr)	43
Εικόνα 7: Περιοχή Βαρυμπόμπης μετά την πυρκαγιά του 2021	44
Εικόνα 8: Γεωλογικός χάρτης Πάρνηθας.....	46
Εικόνα 9: Ομβροθερμικό Διάγραμμα για τον σταθμό στο Τατόι (1956-2010).....	47
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-geoHMS	49
Εικόνα 11: Σχηματική Απεικόνιση διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-HMS	50
Εικόνα 12: Χρήσεις Γης (2018) στην περιοχή ενδιαφέροντος	52
Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας ΨΜΕ	54
Εικόνα 14: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους	55
Εικόνα 15: Fill Sinks (Διόρθωση Βυθισμάτων)	55
Εικόνα 16: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με τη διεύθυνση απορροής.....	56
Εικόνα 17: Κάναβος διευθύνσεων απορροής.....	56
Εικόνα 18: Κάναβος διεύθυνσης απορροής για την περιοχή μελέτης	56
Εικόνα 19: Κάναβος πλήθους φατνίων απορροής	57
Εικόνα 20: Κάναβος συγκεντρωτικής ροής	57
Εικόνα 21: Κάναβος υδατορευμάτων	58
Εικόνα 22: Οριοθέτηση υπολεκανών απορροής	59
Εικόνα 23: Λεκάνη απορροής και δίκτυο ροής περιοχής μελέτης	59
Εικόνα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος πριν την πυρκαγιά του 2021.....	63
Εικόνα 25: Συσχέτιση τιμών CN με το ποσοστό κάλυψης για κάθε ομάδα υδροπερατότητας (Πηγή: Goodrich et al., 2005)	64
Εικόνα 26: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος μετά την πυρκαγιά του 2021	65
Εικόνα 27: Χωρική κατανομή αριθμού καμπύλης CN για την περιοχή ενδιαφέροντος πριν και μετά την πυρκαγιά του 2021.....	65
Εικόνα 28: Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model)	71
Εικόνα 29: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC-HMS.....	72
Εικόνα 30: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	74
Εικόνα 31: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	75
Εικόνα 32: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	75

Εικόνα 33: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	76
Εικόνα 34: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	76
Εικόνα 35: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	77
Εικόνα 36: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h πριν την πυρκαγιά	79
Εικόνα 37: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά	79
Εικόνα 38: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά	80
Εικόνα 39: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά	81
Εικόνα 40: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά	81
Εικόνα 41: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά	82
Εικόνα 42: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=6$ h πριν την πυρκαγιά.....	83
Εικόνα 43: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 6h μετά την πυρκαγιά	86
Εικόνα 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά	86
Εικόνα 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά	87
Εικόνα 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά	87
Εικόνα 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά	88
Εικόνα 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά	88
Εικόνα 49: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=6$ h μετά την πυρκαγιά	91

Εικόνα 50: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y$ και $t=6h$ πριν την πυρκαγιά.....	92
Εικόνα 51: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y$ και $t=6h$ μετά την πυρκαγιά.....	92
Εικόνα 52: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2$ έτη και $t=6 h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	92
Εικόνα 53: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 5y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	93
Εικόνα 54: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	93
Εικόνα 55: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	94
Εικόνα 56: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	94
Εικόνα 57: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά.....	95

Εικόνα Π 1: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $2y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	106
Εικόνα Π 2: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $5y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	106
Εικόνα Π 3: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $10y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	107
Εικόνα Π 4: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $25y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	107
Εικόνα Π 5: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $50y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	108
Εικόνα Π 6: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $100y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $1h$ πριν την πυρκαγιά.....	108
Εικόνα Π 7: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y$ και $t=1h$ πριν την πυρκαγιά.....	109
Εικόνα Π 8: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $2y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $2h$ πριν την πυρκαγιά.....	109
Εικόνα Π 9: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $5y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $2h$ πριν την πυρκαγιά.....	110
Εικόνα Π 10: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $10y$ και διάρκειας βροχόπτωσης $2h$ πριν την πυρκαγιά.....	110

Εικόνα Π 11: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά	111
Εικόνα Π 12: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά	111
Εικόνα Π 13: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά	112
Εικόνα Π 14: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y και t=2h πριν την πυρκαγιά.....	112
Εικόνα Π 15: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	113
Εικόνα Π 16: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	113
Εικόνα Π 17: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	114
Εικόνα Π 18: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	114
Εικόνα Π 19: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	115
Εικόνα Π 20: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά	115
Εικόνα Π 21: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y και t=3h πριν την πυρκαγιά.....	116
Εικόνα Π 22: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	116
Εικόνα Π 23: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	117
Εικόνα Π 24: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	117
Εικόνα Π 25: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	118
Εικόνα Π 26: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	118

Εικόνα Π 27: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά).....	119
Εικόνα Π 28: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100γ και t=12h πριν την πυρκαγιά.....	119
Εικόνα Π 29: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	120
Εικόνα Π 30: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	120
Εικόνα Π 31: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	121
Εικόνα Π 32: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	121
Εικόνα Π 33: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	122
Εικόνα Π 34: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά).....	122
Εικόνα Π 35: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100γ και t=24h πριν την πυρκαγιά.....	123
Εικόνα Π 36: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	123
Εικόνα Π 37: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	124
Εικόνα Π 38: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	124
Εικόνα Π 39: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	125
Εικόνα Π 40: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	125
Εικόνα Π 41: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά).....	126
Εικόνα Π 42: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100γ και t=1h μετά την πυρκαγιά.....	126
Εικόνα Π 43: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	127

Εικόνα Π 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	127
Εικόνα Π 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	128
Εικόνα Π 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	128
Εικόνα Π 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	129
Εικόνα Π 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά).....	129
Εικόνα Π 49: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100\gamma$ και $t=2h$ μετά την πυρκαγιά.....	130
Εικόνα Π 50: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	130
Εικόνα Π 51: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	131
Εικόνα Π 52: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	131
Εικόνα Π 53: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	132
Εικόνα Π 54: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	132
Εικόνα Π 55: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά).....	133
Εικόνα Π 56: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100\gamma$ και $t=3h$ μετά την πυρκαγιά.....	133
Εικόνα Π 57: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	134
Εικόνα Π 58: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	134
Εικόνα Π 59: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	135

Εικόνα Π 60: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	135
Εικόνα Π 61: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	136
Εικόνα Π 62: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά).....	136
Εικόνα Π 63: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y και t=12h μετά την πυρκαγιά.....	137
Εικόνα Π 64: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	137
Εικόνα Π 65: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	138
Εικόνα Π 66: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	138
Εικόνα Π 67: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	139
Εικόνα Π 68: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	139
Εικόνα Π 69: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά).....	140
Εικόνα Π 70: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100y και t=24h μετά την πυρκαγιά.....	140
Εικόνα Π 71: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	141
Εικόνα Π 72: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 5y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	141
Εικόνα Π 73: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 10y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	142
Εικόνα Π 74: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 25y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	142
Εικόνα Π 75: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 50y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	143
Εικόνα Π 76: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 100y και t=1h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	143
Εικόνα Π 77: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2y και t=2h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	144
Εικόνα Π 78: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 5y και t=2h πριν και μετά την πυρκαγιά.....	144

Εικόνα Π 79: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	145
Εικόνα Π 80: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	145
Εικόνα Π 81: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	146
Εικόνα Π 82: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	146
Εικόνα Π 83: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	147
Εικόνα Π 84: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 5y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	147
Εικόνα Π 85: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	148
Εικόνα Π 86: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	148
Εικόνα Π 87: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	149
Εικόνα Π 88: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	149
Εικόνα Π 89: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	150
Εικόνα Π 90: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 5y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	150
Εικόνα Π 91: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	151
Εικόνα Π 92: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	151
Εικόνα Π 93: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	152
Εικόνα Π 94: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	152
Εικόνα Π 95: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	153
Εικόνα Π 96: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 5y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	153
Εικόνα Π 97: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	154
Εικόνα Π 98: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	154
Εικόνα Π 99: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	155
Εικόνα Π 100: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά	155

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος.....	43
Πίνακας 2: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης κατά το 2018.....	53
Πίνακας 3: Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972)	61
Πίνακας 4: Αριθμοί καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για την περιοχή μελέτης.....	62
Πίνακας 5: Οι τεταγμένες του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS	67
Πίνακας 6: Υπολογισμός χρόνου υστέρησης για την λεκάνη απορροής.....	68
Πίνακας 7: Σημειακή βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	68
Πίνακας 8: Απεικόνιση συνολικής βροχόπτωσης (mm) διάρκειας 6 h και διαφορετικών περιόδων επαναφοράς T (έτη) για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.....	77

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός εργασίας

Οι πλημμύρες είναι πάντα ένας υπαρκτός κίνδυνος, μια διαρκής απειλή για πολλές περιοχές. (Πουλτσάκης, 2021). Τις τελευταίες, μάλιστα, δεκαετίες παρουσιάζουν μια αυξητική τάση με τις επιπτώσεις τους να είναι όλο και σοβαρότερες (Οδηγία 2007/60/ΕΚ). Επιπλέον, οι πλημμύρες είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις δασικές πυρκαγιές, ενώ αποτελούν και τις δύο συχνότερες φυσικές καταστροφές με τεράστιες κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Βαρσάμη, 2014).

Προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης του αυξανόμενου προβλήματος των πλημμυρών, έχει θεσπιστεί και εφαρμόζεται η Οδηγία 2007/60/ΕΚ. Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ αποτελεί το ευρωπαϊκό πλαίσιο για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες (Οδηγία 2007/60/ΕΚ). Η συσχέτιση των πυρκαγιών με την αύξηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, καθιστούν αναγκαία την εκτίμηση της μεταβολής της υδρολογικής απόκρισης μιας λεκάνης απορροής μετά την επίδραση της φωτιάς. Κυρίως είναι απαραίτητη στις μεσογειακές χώρες, οι οποίες είναι πιο επιρρεπείς σε ανάλογους κινδύνους καθώς το κλίμα και οι τύποι βλάστησης τις ευνοούν (Παπαδόπουλος, 2019).

Ένα επεισόδιο βροχής, ικανό να επιφέρει πλημμυρικά φαινόμενα, μπορεί να αποφευχθεί από μια δασωμένη λεκάνη απορροής, καθώς αυτή έχει την δυνατότητα να συγκρατεί σημαντικό ύψος βροχής (Βαρσάμη, 2014). Συνεπώς, η εκδήλωση πλημμύρας είναι σημαντικά πιθανότερη και με δυσμενέστερες επιπτώσεις σε μια δασική λεκάνη η οποία έχει πρόσφατα ή επανειλημμένα πληγεί από μια πυρκαγιά μεγάλης κλίμακας, επιδρώντας καθοριστικά στην υδρολογική της συμπεριφορά (Βαρσάμη, 2014).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υδρολογική προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής με την εφαρμογή ενός ημι-κατανεμημένου, εννοιολογικού, προσδιοριστικού υδρολογικού μοντέλου (HEC-HMS, (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) και η εκτίμηση της μεταβολής του υδρολογικού καθεστώτος μετά από πυρκαγιά, σε μία πρωτίστως δασική έκταση.

1.2. Το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκάνης απορροής

Ο κύκλος του νερού (γνωστός και ως υδρολογικός κύκλος) είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα και στη λιθόσφαιρα (έδαφος-υπέδαφος). Το νερό εξατμίζεται από τους ωκεανούς και τις θάλασσες αλλά και από κάθε υδάτινη ή υγρή επιφάνεια της Γης (Βαρσάμη, 2014). Συνεχίζει με τη συμπύκνωση των υδρατμών σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι), που επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης. Μέρος αυτού του νερού εμπλουτίζει τα υπόγεια αποθέματα, ενώ το υπόλοιπο απορρέει πάλι προς τις μεγάλες υδάτινες μάζες του πλανήτη. Η διαφορά της

ποσότητας νερού που έρχεται από την ατμόσφαιρα (με μορφή κατακρημνισμάτων) και εκείνης που απομακρύνεται προς την ατμόσφαιρα (με μορφή υδρατμών) καλείται υδρολογικό ισοζύγιο. Τα αποθέματα νερού είναι πολύ άνισα κατανομημένα στον πλανήτη, αφού εξαρτώνται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Δάβου, 2014).

Σε επίπεδο λεκάνης απορροής, εισροές θεωρούνται τα κατακρημνίσματα, οι εκροές από γειτονικές λεκάνες και οι πηγές, ενώ εκροές θεωρούνται η επιφανειακή, ενδιάμεση, υπόγεια απορροή και η εξατμισοδιαπνοή (Τσακίρης, 2013). Η αποθήκευση της λεκάνης συνίσταται από την επιφανειακή και υπόγεια αποθήκευση. Οι παραπάνω παράγοντες συνοψίζονται στην ακόλουθη βασική εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου:

$$\Delta S = P - R - G - E - T \quad (1.1)$$

Σύμφωνα με την Εξ. 1.1., η μεταβολή στην αποθήκευση (ΔS) μια λεκάνης απορροής είναι ίση με την ποσότητα νερού που εισέρχεται με τη μορφή κατακρημνίσεων (P) μείον την ποσότητα του νερού που απορρέει επιφανειακά (R), την ποσότητα που απορρέει υπόγεια (G), την ποσότητα που εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα (E) και την ποσότητα που αποβάλλεται από τα φυλλώματα της βλάστησης μέσω της διαπνοής (T). Για μεμονωμένα επεισόδια βροχόπτωσης, οι συνιστώσες της εξάτμισης (E) και της διαπνοής (T) είναι αρκετά μικρότερες από τις υπόλοιπες και συνήθως θεωρούνται αμελητέες (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006).

Η παράλειψη των συνιστωσών των υδρολογικών ελλειμμάτων (κατακράτησης και διήθησης) στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι συνήθης για μεγάλες χρονικές κλίμακες (ετήσια ή υπερετήσια), διότι το τμήμα των ελλειμμάτων αυτών μετατρέπεται τελικά σε εξατμισοδιαπνοή ή απορροή. Σε μικρή χρονική κλίμακα, για παράδειγμα ωριαία ή ημερήσια, τα υδρολογικά ελλείμματα λαμβάνονται υπόψιν ως συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου (Ευστρατιάδης κ.α., 2009).

1.3. Υδρολογικά Μοντέλα

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών που είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο (Ευστρατιάδης κ.α., 2009). Ένα υδρολογικό μοντέλο υπολογίζει τη ροή σε ένα υδατικό σώμα που προκύπτει από μια δεδομένη ποσότητα βροχόπτωσης που πέφτει στην λεκάνη απορροής. Τέτοια μοντέλα συνήθως έχουν παραμέτρους όπως η έκταση της λεκάνης απορροής, η μορφολογία, ο τύπος των εδαφών, η γεωλογία και οι χρήσεις γης (Τσακίρης, 2013).

Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν (Ευστρατιάδης και Μαμάσης, 2017):

- Μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας
- Τη συνεχή προσομοίωση του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ., μιας λεκάνης απορροής)

Η πολυπλοκότητα τόσο στον μηχανισμό γένεσης, όσο και στην ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των εναλλαγών μεταξύ των υδρολογικών μεταβλητών, είναι η βασική αιτία προσπαθειών ανάπτυξης ομοιωμάτων-μοντέλων για την καλύτερη προσομοίωση του φυσικού φαινομένου (Κάκογλου, 2005). Τα μοντέλα παρουσιάζουν δύο είδη προβλημάτων.

Στο πρώτο, το φυσικό φαινόμενο δεν αναπαράγεται ικανοποιητικά, καθώς δεν περιέχουν τον απαιτούμενο αριθμό μεταβλητών, ενώ στο δεύτερο οι παράμετροι μεταβάλλονται συστηματικά ή τυχαία αλλά θεωρούνται σταθερές.

Τα υδρολογικά μοντέλα διαιρούνται σε κατηγορίες ανάλογα με ορισμένα κριτήρια (Μιμίκου, 2006):

- Με βάση τη χωρική κλίμακα τα υδρολογικά μοντέλα διαιρούνται σε συγκεντρωτικά, ημι-καταναμημένα και καταναμημένα, σύμφωνα με το αν η υδρολογική λεκάνη είναι ενιαία, διαχωρίζεται σε μεγάλες υπολεκάνες ή σε μικρότερα τμήματα, αντίστοιχα.
- Όσον αφορά τη χρονική κλίμακα, τα υδρολογικά μοντέλα διακρίνονται σε αυτά ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος, δηλαδή ενός επεισοδίου βροχόπτωσης ή σε αυτά που λειτουργούν σε συνεχή χρόνο, όπως για παράδειγμα σε ημερήσιες ή ετήσιες χρονικές κλίμακες.
- Με βάση τη δομή του μοντέλου διακρίνονται σε στοχαστικά (τουλάχιστον μια μεταβλητή με στοχαστική δομή) και προσδιοριστικά (καμία μεταβλητή με στοχαστική δομή)
- Με βάση τον τρόπο προσέγγισης του υδρολογικού κύκλου διακρίνονται σε φυσικής βάσης (χρησιμοποιούνται φυσικές εξισώσεις), εννοιολογικά (προσομοιώνει στοιχειώδη διαδικασία με ιδεατά στοιχεία) και εμπειρικά (με παραμέτρους χωρίς φυσική σημασία).

1.4. Το ζήτημα των πλημμυρών

1.4.1 Γενικά για τις πλημμύρες

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK για την εκτίμηση και διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης, ως πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτός ο όρος περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα ρέματα καθώς και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.

Οι πλημμύρες προέρχονται από την αλληλεπίδραση φυσικών φαινομένων, των συνθηκών της λεκάνης απορροής και τη χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς, Τσακίρης, 1995). Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών (βροχόπτωση, στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν κατ' ουσία να ελεγχθούν (Ζωίδου, 2012). Παρόλα αυτά, αν μια δεδομένη βροχόπτωση θα προκαλέσει ζημίες, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ανθρωπίνες ενέργειες, όπως η αστικοποίηση, η αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής, η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών, η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλισης, η ανεπαρκής αποστράγγιση και η κατασκευή κτιρίων σε πεδία κατάκλισης (Μάμασης, 2012).

Τα κύρια πλημμυρικά μεγέθη (παροχή αιχμής, πλημμυρικός όγκος, χρονική διάρκεια) συνδέονται με τη χωροχρονική εξέλιξη του επεισοδίου βροχής και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου (Βαρσάμη, 2014).

1.4.2. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ

Η Οδηγία για τις Πλημμύρες (2007/60/ΕΚ) είναι η νομοθεσία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Η Οδηγία έχει ενσωματωθεί στο Ελληνικό Δίκαιο με την Κοινή Υπουργική Απόφαση (Κ.Υ.Α.) 31822/1542/Ε103/10 (ΦΕΚ 1108 Β/21-7-2010), όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, όπου στην έννοια της πλημμύρας περιλαμβάνονται και οι πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων, που δεν αναφέρονται στην Οδηγία. Οι βασικές απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής οδηγίας χωρίζονται σε τρία (3) στάδια:

- **1° Στάδιο:** Προκαταρκτική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στις λεκάνες απορροής των ποταμών και τις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες (Άρθρο 4 & 5).
- **2° Στάδιο:** Κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας για περιοχές που καθορίζονται με βάση το Άρθρο 5, όπου υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα (Άρθρο 6).
- **3° Στάδιο:** Κατάρτιση και εφαρμογή Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (Άρθρο 7). Τα σχέδια αυτά θα πρέπει να περιλαμβάνουν μέτρα μείωσης των πιθανοτήτων εμφάνισης πλημμύρας και των συνεπειών της, ενώ είναι αναγκαίο να προβλέπουν τρόπους θωράκισης τέτοιων περιοχών καθώς επίσης και την προετοιμασία του πληθυσμού σε ενδεχόμενο πλημμύρας.

Άλλες διατάξεις της Οδηγίας (2007/60/ΕΚ) που σχετίζονται με τον συντονισμό, τη συνεργασία, την δημοσίευση και την δημόσια διαβούλευση παρατίθενται παρακάτω:

- Συντονισμός με την εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/ΕΚ) (Άρθρο 9)
- Δημοσίευση και δημόσια διαβούλευση με τους ενδιαφερομένους φορείς (Άρθρο 10)

1.4.3. Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρώπη και Ελλάδα

Το υδρολογικό αλλά και το πλημμυρικό καθεστώς στην Ευρώπη ποικίλει, λόγω της μεταβλητότητας του ανάγλυφου και του κλίματος κατά μήκος της χώρας. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency, 2021), περισσότερες από 175 καταστροφικές πλημμύρες έπληξαν την Ευρώπη τα τελευταία 10 χρόνια, αποτελώντας μέρος των συνεχώς αυξανόμενων ακραίων καιρικών φαινομένων και φυσικών καταστροφών από τη δεκαετία του 1980 (European Environment Agency, 2021). Παράλληλα, προβλέπεται αύξηση των πλημμυρών, των καταιγίδων και άλλων ακραίων υδρομετεωρολογικών φαινομένων τις επόμενες δεκαετίες (European Environment Agency, 2013).

Η μελλοντική αύξηση του μεγέθους και της συχνότητας των πλημμυρών λόγω κλιματικής αλλαγής, η αλλαγή των χρήσεων γης και η αύξηση του πληθυσμού και των οικονομικών αγαθών που είναι εγκατεστημένα σε ζώνες που κινδυνεύουν από πλημμύρες προκαλούν την αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου σε όλο τον κόσμο και πιο ειδικά στην Ευρώπη (Βαρσάμη, 2014). Στη χώρα μας, οι πλημμύρες των τελευταίων 40 ετών έχουν προκαλέσει πολύ

περισσότερα θύματα σε ανθρώπινες ζωές από ότι οι σεισμοί στο ίδιο χρονικό διάστημα (Ρετσίνης, 2011). Η Ελλάδα είναι μια χώρα με πολυσχιδές ανάγλυφο και αναπτυγμένη ακτογραμμή, με αποτέλεσμα τα κλιματικά στοιχεία που σχετίζονται με τις πλημμύρες να παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011). Λόγω του έντονου ανάγλυφου της και των ποικίλων μεγεθών και χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής που σχηματίζονται, η χώρα έχει διαιρεθεί σε 14 Υδατικά Διαμερίσματα. Η παρουσία της οροσειράς της Πίνδου που διασχίζει τη χώρα από βορειοδυτικά προς νότια επηρεάζει δραστικά τις διαδικασίες βροχόπτωσης διαμορφώνοντας το σαφώς ιδιόμορφο υδρολογικό καθεστώς της Ελλάδας, στο οποίο τα δυτικά διαμερίσματα της χώρας δέχονται μεγαλύτερο ποσοστό βροχοπτώσεων σε σχέση με τα ανατολικά (Βαρσάμη, 2014). Η μέση ετήσια βροχόπτωση ξεπερνάει τα 1800 mm στις ορεινές περιοχές της δυτικής Ελλάδας, ενώ στα ανατολικά διαμερίσματα της χώρας η τιμή αυτή μπορεί να μειωθεί ακόμη και στα 400 mm (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Ωστόσο, η ανομοιόμορφη κατανομή, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, των βροχοπτώσεων δεν σημαίνει ότι έντονα γεγονότα πλημμυρών είναι ιδιαίτερα σπάνια στο σχετικά ξηρό ανατολικό μέρος της Ελλάδας. Η εκδήλωση πλημμυρικών επεισοδίων σχετίζεται άμεσα με την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων (Χαλασάνη, 2022). Οι πλημμύρες στην Ελλάδα συχνά οφείλονται σε επεισόδια βροχόπτωσης μεγάλης έντασης. Οι περισσότερες έντονες βροχοπτώσεις παράγονται από το πέρασμα χαμηλών βαρομετρικών, που συνήθως συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα (και πιο σπάνια από θερμά) και καταφθάνουν από τα δυτικά, νοτιοδυτικά ή βορειοδυτικά (Μιμίκου, 2013). Λόγω του κλιματικού καθεστώτος, σε συνδυασμό με την γεωμορφολογία και την επιφανειακή βλάστηση, παρατηρούνται περισσότερες καταστροφικές πλημμύρες στην ανατολική Ελλάδα σε σχέση με τη δυτική (Μιμίκου, 2013).

Παρόλο που οι πλημμύρες που καταγράφονται στη χώρα μας οφείλονται κατά κύριο λόγο σε φυσικά αίτια, έχουν επιδεινωθεί σημαντικά εξαιτίας των ανθρώπινων παρεμβάσεων, με κυριότερες την άναρχη δόμηση και μείωση του πρασίνου. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι κυρίως υπεύθυνοι για την αυξανόμενη σοβαρότητα και καταστροφική δύναμη των πλημμυρικών γεγονότων στα αστικά κέντρα (Βαρσάμη, 2014). Παράλληλα, η αποδάσωση και η διάβρωση του εδάφους που αυτή συνεπάγεται είναι ένα σοβαρότατο πρόβλημα στην Ελλάδα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ σύμφωνα με την Εθνική Απογραφή Δασών που υλοποιήθηκε το 1992 τα δάση και οι άλλες δασικές εκτάσεις στη χώρα μας καταλάμβαναν 6.513.068 ha, το 49.3 %, δηλαδή της έκτασης της χώρας, σήμερα εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν μόλις το 18 %. Παρόλο που η αποδάσωση ή αλλιώς αποψίλωση μικρής έκτασης κρίνεται αναγκαία για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών (ζώνες πυροπροστασίας) η άκριτη αποψίλωση που συνήθως γίνεται για την επέκταση της αστικής ζώνης, αποτελεί πρόβλημα και αίτιο για πλημμύρες εφόσον πλέον δεν μπορεί να συγκρατηθεί το ίδιο ποσοστό νερού που συγκρατούνταν από τα δέντρα.

1.5. Λογισμικό

Για την εκπόνηση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση των ακόλουθων προγραμμάτων:

- ArcGIS 10.5.1. (Geographic Information System) - Environmental Systems Research Institute (ESRI): Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για απεικόνιση, επεξεργασία και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων
- HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension) - US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center: πρόσθετη εργαλειοθήκη του λογισμικού ArcGIS
- HEC-HMS 4.10. (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System): US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center: πρόγραμμα υδρολογικής προσομοίωσης
- Google Earth
- Microsoft Office 2007

1.6. Υδρολογική συμπεριφορά δασωμένων λεκανών απορροής

Από τα διαφορετικά είδη βλάστησης την καλύτερη προστατευτική δράση έναντι της πλημμύρας έχει το δάσος (WWF, 2012). Η μείωση της βλάστησης συμβάλλει στην αύξηση της απορροής και αντίστροφα η αύξηση της συμβάλλει στην μείωση της απορροής του νερού (Βαρσάμη, 2014). Τα κωνοφόρα δάση έχουν την ικανότητα να μειώνουν πολύ την απορροή με τα φυλλοβόλα είδη και την ποώδη βλάστηση να ακολουθεί με μικρότερη επίδραση στη μείωση αυτής (Βαχαβιώλος, 2011). Σε καλά δασωμένες λεκάνες απορροής η παροχή των ρευμάτων είναι κανονική και σχετικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια του έτους, κατάσταση που βελτιώνεται όταν η δασική βλάστηση είναι αδιατάρακτη (Φώτης, 2015). Επιπλέον της συμβολής της βλάστησης στην αποθήκευση και στη συγκράτηση σημαντικού ποσοστού βροχής, η βλάστηση συμβάλλει και στην αποτροπή της διάβρωσης του εδάφους (Gusev, 2020). Με αυτόν τον τρόπο, ο πλημμυρικός κίνδυνος περιορίζεται σημαντικά.

Σήμερα είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της επίδρασης της βλάστησης στις πλημμύρες με την έκφραση των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ενός έντονου γεγονότος βροχόπτωσης (Μπαλούτσος κ.α., 2001). Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την συγκράτηση από τη δασική βλάστηση, την εξατμισοδιαπνοή, τη διήθηση της βροχής στο έδαφος από τη δράση των ριζών και των φυλλωμάτων, τη δημιουργία επιφανειακής και υπεδάφιας απορροής, τη μόνιμη και παροδική συγκράτηση ενός μέρους της βροχής από το έδαφος σε μορφή υγρασίας, καθώς και τη διάβρωση του εδάφους (Μπαλούτσος κ.α., 2001). Οι τιμές των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα παρουσιάζουν διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή, που εξαρτάται από το δασικό είδος, τον τύπο του εδάφους, την τοπογραφία και γεωμορφολογία της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά των κατακρημνισμάτων κ.λπ. (Μπαλούτσος κ.α., 2001).

Συνοπτικά, η φυτοκάλυψη δρα προς την κατεύθυνση της μείωσης του όγκου άμεσης απορροής και της επιβράδυνσης και εξομάλυνσης των ρυθμών της, με τελική συνέπεια τη μείωση των αιχμών των πλημμυρικών υδρογραφημάτων (Βαρσάμη, 2014). Συνεπώς, όταν καταστρέφεται η χλωρίδα, για παράδειγμα από πυρκαγιές ή εκχέρσωση, αλλάζει η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης και συγκεκριμένα επιταχύνονται και ισχυροποιούνται τα φαινόμενα των πλημμυρών (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

1.7. Πυρκαγιές

1.7.1. Χαρακτηριστικά των πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες. Μια πρώτη διάκριση είναι σε αστικές πυρκαγιές (καταστήματα, κατοικίες), πυρκαγιές σε βιομηχανικές ζώνες, σε πλοία, σε αεροδρόμια, σε οχήματα, και πυρκαγιές σε δάση. Από άποψη μεγέθους και έντασης οι πυρκαγιές διακρίνονται σε μεγάλες, μεσαίες και μικρές. Εξαρτώνται δε, από την ποσότητα του καιόμενου υλικού και την έκταση του χώρου (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, <https://www.pkm.gov.gr>).

- Μεγάλες πυρκαγιές είναι αυτές που καταλαμβάνουν έκταση άνω των 100 m². Ο όγκος των καιόμενων υλικών είναι μεγάλος και αναπτύσσεται θερμοκρασία 1000 – 1200 βαθμών Κελσίου. Για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών αυτής της κατηγορίας, απαιτείται μεγάλος αριθμός Πυροσβεστικών Δυνάμεων.
- Μεσαίες πυρκαγιές είναι αυτές που καταλαμβάνουν έκταση κάτω των 100 m². Η ποσότητα των καιόμενων υλικών είναι μικρή και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κυμαίνεται από 800 – 1000 βαθμούς Κελσίου. Για τη κατάσβεση των πυρκαγιών της κατηγορίας αυτής δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός Πυροσβεστικών Δυνάμεων.
- Μικρές πυρκαγιές ονομάζουμε τις ενάρξεις και της μικρής έκτασης πυρκαγιές. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην περίπτωση αυτή είναι κάτω των 800 βαθμών Κελσίου, και η κατάσβεσή τους μπορεί να γίνει με πρόχειρα μέσα ή με μικρές Πυροσβεστικές Δυνάμεις.

Ανάλογα με τη φύση των καιόμενων υλικών, οι πυρκαγιές κατατάσσονται σε πέντε κατηγορίες (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, <https://www.pkm.gov.gr/>):

- Κοινές πυρκαγιές ή στερεών ή Α' κατηγορίας
- Πυρκαγιές εύφλεκτων υγρών ή Β' κατηγορίας
- Πυρκαγιές αερίων καυσίμων ή Γ' κατηγορίας
- Πυρκαγιές μετάλλων ή Δ' κατηγορίας
- Πυρκαγιές παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος ή Ε' κατηγορίας

Οι δασικές πυρκαγιές διακρίνονται, σε κάποιες κατηγορίες, ανάλογα με τη θέση τους στην επιφάνεια του εδάφους και τον τρόπο εξάπλωσής τους (WWF, 2007). Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες
Σε αυτή την περίπτωση καίγεται οργανική ύλη (ξερά φύλλα, κλαδιά, βρύα κ.α.) που έχει συγκεντρωθεί κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ακόμη και κάτω από αυτήν, αλλά βρίσκεται συνήθως σε στάδιο αποσύνθεσης. Στις πυρκαγιές εδάφους μπορεί να υπάρχει καπνός, μπορεί όμως και να μην υπάρχει. Γενικά διαδίδονται αργά και σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει πιθανότητα να γίνουν από τις πιο επικίνδυνες πυρκαγιές, επειδή ακριβώς δεν προκαλούν ανησυχία.
2. Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες
Είναι οι πυρκαγιές που καίνε τους χορτοβοσκότοπους, τον βελονοτάπητα ή φυλλοτάπητα, τα ξερά κλαδιά, τις αναγεννήσεις, το χορτάρι, τα υπολείμματα των

υλοτομιών ή και συνδυαστικά όλα τα προηγούμενα. Εδώ υπάγονται και οι πυρκαγιές των θάμνων που είναι οι πιο συνηθισμένες και οι πιο επικίνδυνες. Από αυτές προέρχονται οι πυρκαγιές κόμης. Το συγκεκριμένο είδος διαδίδεται πιο γρήγορα από τις υπόγειες, επειδή συνήθως υπάρχει άφθονος αέρας και οξυγόνο, άφθονη και ξηρή καύσιμη ύλη, φλόγα και κατάλληλη θερμοκρασία.

3. Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες

Σ' αυτές καίγεται η κόμη των δέντρων. Σε πυκνά δάση αυτές οι πυρκαγιές απλώνονται ταχύτατα αφού η φωτιά μεταδίδεται γρήγορα από την μια κόμη στην άλλη, γεγονός που τις καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνες.

Σε συνδυασμό με ισχυρούς ανέμους όλες οι παραπάνω πυρκαγιές μπορεί να έχουν ιδιαίτερα σοβαρές επιπτώσεις (βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες), όπως καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας και εκδήλωση χειμαρρικών φαινομένων στην πεδινή και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης, τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία και ζωή.

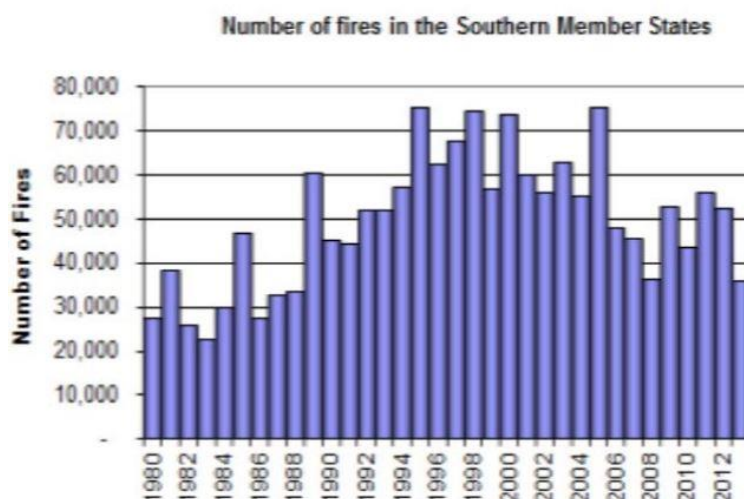
1.7.2. Οι πυρκαγιές σε Μεσόγειο και Ελλάδα

Για να κατανοηθεί το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών σε βάθος είναι απαραίτητο να εξετάζεται ο χώρος όπου αυτές εμφανίζονται συχνότερα, καθώς και οι ιδιαιτερότητες του (Βαρσάμη, 2014). Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο τμήμα της οποίας βρίσκεται υπό την επίδραση μεσογειακού κλίματος, οι πυρκαγιές αποτελούσαν, αποτελούν και θα αποτελούν μόνιμο εποχικό οικολογικό φαινόμενο, λόγω της υπάρχουσας βλάστησης που είναι τυπικά μεσογειακή (Στεργιόπουλος, 2019). Οι μεσογειακές χώρες πλήττονται συχνά από θερινές πυρκαγιές καθώς ευνοείται η έναρξη και η εξάπλωση τους λόγω του ξηρού και άνυδρου κλίματός τους (European Environment Agency, 2013).

Λόγω της θέσης της Μεσογείου και του ότι είναι μία κλειστή θάλασσα με μόνο δύο εξόδους στις ακτές της επικρατεί γενικά ήπιο κλίμα, με ήπιους, υγρούς χειμώνες αλλά και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια με μια σχετική νηνεμία (Σεκκός, 2022). Σημαντικοί άνεμοι, που επιδρούν την καλοκαιρινή περίοδο και υποβοηθούν την ταχύτατη εξάπλωση των πυρκαγιών, είναι τα μελτέμια.

Συνεπώς, το κλίμα αλλά και η βλάστηση των μεσογειακών περιοχών δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για την εκδήλωση σφοδρών πυρκαγιών, που αποτελούν αναπόσπαστη διαταραχή στα μεσογειακά οικοσυστήματα. Η συνολική έκταση που επηρεάζεται από τις φωτιές στις ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου, όπως η Πορτογαλία, η Ισπανία, η Γαλλία, η Ιταλία και η Ελλάδα, μεταβάλλεται αξιοσημείωτα από έτος σε έτος, λόγω των διαφορετικών μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν. Ωστόσο, ο αριθμός των πυρκαγιών παρουσιάζει μια αυξητική τάση από το 1990 (WWF, 2012)

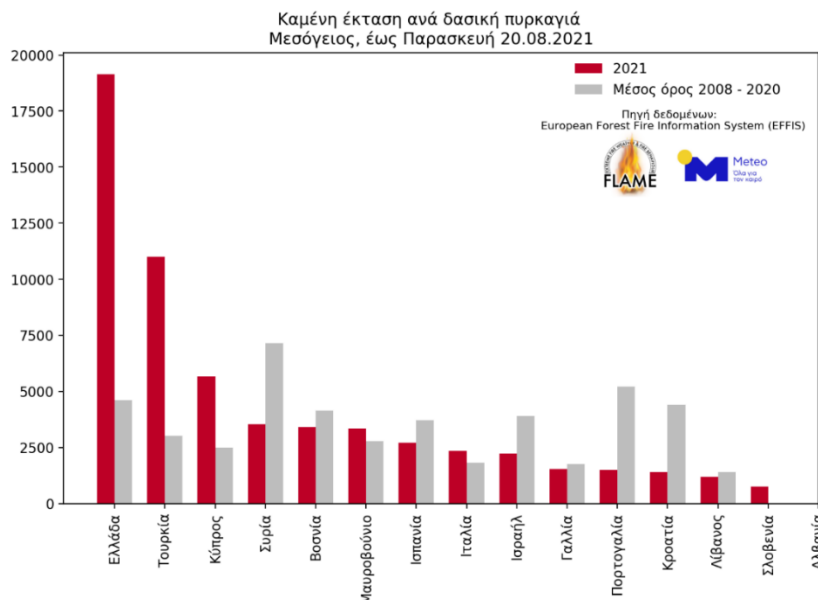
Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός των πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου για τα έτη 1980-2013. Παρατηρείται μία ανοδική τάση κυρίως στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, ενώ στη συνέχεια ο αριθμός των πυρκαγιών μειώνεται αλλά εξακολουθεί να είναι πολύ μεγάλος.



Εικόνα 1: Αριθμός Πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου (1980-2013)

(Πηγή: European Commission JRC, 2014)

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται συγκριτικά οι καμένες εκτάσεις στις χώρες της Μεσογείου για τα έτη 2021 και 2008-2020. Προφανώς, οι καμένες εκτάσεις της Ελλάδας κατά το 2021 έχουν σχεδόν τετραπλασιαστεί σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο για τα έτη 2008-2020.



Εικόνα 2: Σύγκριση καμένων εκτάσεων στις χώρες της Μεσογείου για τα έτη

2021 και 2008-2020 (Πηγή: Tyros-i)

Η Ελλάδα από άποψη φυσικών συνθηκών (κλίμα, έδαφος κλπ.) βρίσκεται ολόκληρη στη ζώνη της φυσικής εξάπλωσης των δασών, εκτός από τις πολύ ψηλές κορυφές (άνω των 2000 m),

όπου το κλίμα δεν επιτρέπει την ανάπτυξη των δένδρων (Ντάφης, 1986). Συγκεντρώνει αξιόλογο δασικό πλούτο και διαθέτει ένα από τα υψηλότερα επίπεδα βιοποικιλότητας στη Μεσόγειο και την Ευρώπη (European Environment Agency, 2020). Οι δασικές πυρκαγιές ανέκαθεν αποτελούσαν μία από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές, σε ένα κατ' εξοχήν πυριγενές φυσικό περιβάλλον, από άποψη κλίματος και βλάστησης (Λεμονίδης, 1993). Τεράστιες εκτάσεις καίγονται κάθε χρόνο κυρίως κατά τη θερινή περίοδο.

Επιπλέον, στην Ελλάδα, εξαιτίας των απότομων κλίσεων των δασικών εκτάσεων, του κλίματος με τα άνυδρα καλοκαίρια με μεγάλη διάρκεια, τις καταρακτώδεις βροχές, κυρίως την περίοδο του χειμώνα, και του μικρού βάθους του εδάφους, υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους, απωλειών νερού και πλημμυρών λόγω αυξημένων επιφανειακών απορροών, φαινόμενα που οξύνονται υπέρμετρα μετά από μια πυρκαγιά (Μπαλούτσος κ.α., 2001).

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται ο αριθμός των πυρκαγιών στην Ελλάδα για τα έτη 2000–2021. Ο μεγαλύτερος αριθμός πυρκαγιών φαίνεται να υπήρξε το 2003 (379), με τα τελευταία χρόνια να έχει μειωθεί σημαντικά.



Εικόνα 3: Αριθμός Πυρκαγιών στην Ελλάδα (2000-2021)

(Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος)

1.7.3. Επίδραση πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής

Η εκδήλωση και εξέλιξη μιας πυρκαγιάς έχει σοβαρότατες οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικολογικές και αισθητικές επιπτώσεις στη λεκάνη απορροής και τους κατοίκους της περιοχής (Στεργιάδου και Εσκίογλου, 2010). Η σοβαρότητα των επιπτώσεων της πυρκαγιάς εξαρτάται από τη δριμύτητά της, δηλαδή από την ένταση και την διάρκεια της (Αντωνιάδης, 2016). Οι αλλαγές, λόγω πυρκαγιάς, στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής είναι μεγαλύτερες βραχυπρόθεσμα και μικρότερες μακροπρόθεσμα. Οι κυριότερες μεταβολές και διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε μια λεκάνη απορροής μετά από πυρκαγιά και συμβάλλουν στην εκδήλωση πλημμύρας είναι (Μπαλούτσος, 2001):

- Καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας.
- Μεταβολή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους και συνεπώς της παραγωγικότητας του.

- Σχηματισμός υδρόφοβου στρώματος εντός του εδάφους από την καύση οργανικής ουσίας και διείδυση χημικών ενώσεων σε αυτό, με αποτέλεσμα τη μείωση της περατότητας του εδάφους.
- Αύξηση απορροής λόγω έλλειψης βλάστησης και υδατοσυγκράτησης.
- Συγκράτηση λιγότερης βροχής στην επιφάνεια του εδάφους λόγω καύσης των επιφανειακών φυτικών υπολειμμάτων (φυλλάδας, οργανικής ύλης κ.λπ.).
- Μείωση της εξατμισοδιαπνοής λόγω απουσίας της φυτοκάλυψης.
- Κατακερματισμός των εδαφικών συσσωμάτων από τη βροχή, απόφραξη των πόρων του εδάφους και μείωση της ταχύτητας διήθησης της βροχής σ' αυτό. Μείωση τροφοδοσίας υπόγειων υδροφορέων—μείωση παροχευτικότητας γεωτρήσεων.
- Αύξηση συντελεστή επιφανειακής απορροής κατά τη διάρκεια των πλημμυρών με σημαντική αύξηση του πλημμυρικού όγκου και της πλημμυρικής αιχμής.
- Μείωση της αντίστασης του εδάφους στην παράσυρση από επιφανειακή απορροή, λόγω έλλειψης βλάστησης.
- Διάβρωση και παράσυρση του εδάφους από τις πλαγιές της λεκάνης προς τα κατάντη και τις κοίτες των υδατορευμάτων.
- Σημαντική και απότομη αύξηση της στερεοπαροχής στην κοίτη των υδατορευμάτων και μεταφορά των υλικών διάβρωσης προς τα κατάντη.
- Διάβρωση του πυθμένα και των πρανών της κοίτης των υδατορευμάτων και μεταφορά των υλικών διάβρωσης προς τα κατάντη.
- Μπάζωμα των ρεμάτων και μείωση της ανασχετικής τους ικανότητας.
- Εκδήλωση χειμαρρικών φαινομένων στην πεδινή και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης.
- Υπερχείλιση της πεδινής κοίτης του υδατορεύματος και επιδείνωση της κατάστασης σε περίπτωση ύπαρξης ανθρωπίνων παρεμβάσεων.

Υπάρχουν και έρευνες που υποστηρίζουν ότι τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά (π.χ., σχήμα, μέγεθος κλπ.) της λεκάνης απορροής σπάνια επηρεάζονται από πυρκαγιές που χαρακτηρίζονται από μικρής ή μεσαίας έντασης (Hudson et al., 1983). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ο χρόνος που χρειάζεται για να επανέλθει η επιφανειακή απορροή στα επίπεδα που ίσχυαν πριν την εμφάνιση της φωτιάς εξαρτάται απόλυτα από το χρόνο ανάκαμψης της φυτικής κάλυψης. Συμπερασματικά, η ελεγχόμενη αναδάσωση σε περιοχές που έχει καταστραφεί η βλάστηση είναι αναγκαία προκειμένου να αποτραπεί η υποβάθμιση του εδάφους της λεκάνης απορροής και να μειωθεί η ποσότητα και η ταχύτητα των υδάτων που απορρέουν επιφανειακά (Παπαδόπουλος, 2019).

1.8. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Batelis and Nalbantis (2012) μελέτησαν την επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης απορροής του ποταμού Ενιπέα, στη Θεσσαλία. Η μεθοδολογία απεικονίζεται σε ένα παράδειγμα με μεσαίου μεγέθους λεκάνη απορροής στο μεσογειακό περιβάλλον με μέτρια ετήσια βροχόπτωση και σημαντική συμβολή στην απορροή από τα υπόγεια ύδατα. Κατασκευάστηκαν τρία σενάρια δασικών πυρκαγιών, τα οποία είναι χαρακτηριστικά των πυρκαγιών στην περιοχή της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα, στο Σενάριο 1, θεωρείται ότι έχει καεί το νότιο τμήμα της λεκάνης, στο οποίο συναντώνται σκληρόφυλλη βλάστηση και μικρά κομμάτια πλατύφυλλων δέντρων. Στο Σενάριο 2 έχει καεί

το ανατολικό τμήμα της λεκάνης, το οποίο χαρακτηρίζεται από το θερμότερο και ξηρότερο τμήμα της λεκάνης. Το σενάριο 3 παρουσιάζει μια ακραία κατάσταση που περιλαμβάνει καμένες περιοχές και των δύο σεναρίων (1 και 2) μαζί με μια μικρή ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των καμένων περιοχών αυτών των σεναρίων. Όπως αναμενόταν, το πρώτο σενάριο είχε ως αποτέλεσμα μικρές αλλαγές στην απορροή στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Τα πλημμυρογραφήματα για συνθήκες πριν και μετά την πυρκαγιά αποκαλύπτουν μικρές αυξήσεις για μικρής έκτασης καμένη περιοχή και μεγάλες αυξήσεις για μεγάλης έκτασης καμένη περιοχή. Οι αλλαγές αυτές οφείλονται στην αύξηση της άμεσης απορροής και την μείωση της διήθησης. Ωστόσο, ο αντίκτυπος στη συνολική απορροή της λεκάνης είναι χαμηλός λόγω της περιορισμένης επιφάνειας που κάηκε σύμφωνα με αυτό το σενάριο. Στο Σενάριο 2, εντοπίζονται επίσης μικρές αλλαγές στην απορροή. Πιο συγκεκριμένα, τα πλημμυρογραφήματα για συνθήκες πριν και μετά την πυρκαγιά αποκαλύπτουν μικρές αυξήσεις για υψηλές ροές και μειώσεις για χαμηλές ροές, οι οποίες, ωστόσο, είναι υψηλότερες από αυτές του Σεναρίου 1. Όπως αναμενόταν, στο Σενάριο 3 οι αλλαγές στην απορροή μεταξύ των συνθηκών πριν και μετά την πυρκαγιά είναι μεγαλύτερες από αυτά των προηγούμενων σεναρίων, ειδικά για υψηλές ροές. Συνάγεται, λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι δασικές πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας δεν αναμένεται να τροποποιήσουν σημαντικά την ετήσια ροή του ρέματος, κάτι που είναι σύμφωνο με συμπεράσματα από προηγούμενες μελέτες. Οι αυξήσεις των μηνιαίων όγκων ροής μπορεί, ωστόσο, να είναι υψηλές και οι υψηλότερες αυξήσεις εμφανίζονται σε μήνες με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση. Τέλος, φαίνεται να υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ της έκτασης της λεκάνης που καίγεται και του συνολικού όγκου.

Οι Nalbantis and Lymperegoroulos (2012) εκτίμησαν τη συχνότητα πλημμύρας μετά από δασικές πυρκαγιές σε μικρές λεκάνες απορροής. Στη μελέτη τους προτείνεται μια μεθοδολογία για την κατασκευή καμπυλών συχνότητας πλημμύρας πριν και μετά από δασικές πυρκαγιές σε μικρές μη μετρούμενες λεκάνες. Ακολουθεί την προσέγγιση κατανομής των βροχοπτώσεων χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo και ποσοτικοποιώντας την αβεβαιότητα σε ορισμένες από τις εμπλεκόμενες μεταβλητές. Η γενικευμένη κατανομή ακραίων τιμών για την ετήσια μέγιστη βροχόπτωση χρησιμοποιείται, σε συνδυασμό με τη μέθοδο SCS-CN, για την εκτίμηση της περίσσειας βροχόπτωσης και την αναλογική μέθοδο για την εκτίμηση της μέγιστης ροής. Για συνθήκες πριν από την πυρκαγιά, γίνεται υπόθεση για την αβεβαιότητα στον χωρικό μέσο αριθμό καμπύλης. Για συνθήκες μετά την πυρκαγιά, αξιοποιούνται μετρήσεις της αιχμής της στάθμης του νερού πλημμύρας στην έξοδο της λεκάνης, ενώ η αβεβαιότητα λαμβάνεται υπόψη τόσο σε αυτές τις μετρήσεις όσο και στην υδραυλική τραχύτητα. Η μέθοδος Sequential Latin Hypercube για συσχετισμένες μεταβλητές χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε μικρή λεκάνη στην Αττική, η οποία κάηκε το 2007. Η λεκάνη απορροής είναι αυτή του χείμαρρου Γιαννούλα, ο οποίος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος χείμαρρος στην πεδιάδα Θριασίου Αττικής, στα δυτικά της Αθήνας. Με βάση τη μεθοδολογία η οποία περιγράφηκε προηγουμένως πραγματοποιήθηκε ανάλυση αβεβαιότητας σχετικά με την επίδραση του μέγεθος δείγματος και το μέγεθος της αβεβαιότητας. Η εφαρμογή σε μικρή λεκάνη απορροής επέτρεψε τη σύγκριση των καμπυλών συχνότητας πλημμύρας πριν και μετά την πυρκαγιά για περιόδους επαναφοράς από 5 έως 100 έτη. Πραγματοποιήθηκαν εκτενείς δοκιμές σχετικά με την επίδραση κάποιων αλγοριθμικών επιλογών και την ευαισθησία στις παραμέτρους κατανομής των στοχαστικών μεταβλητών. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα: η μέτρηση του μέγιστου βάθους πλημμύρας νερού στην έξοδο της λεκάνης μελέτης για ένα ή

περισσότερα πλημμυρικά συμβάντα μετά από μια πυρκαγιά αποδείχθηκε χρήσιμη για την αξιολόγηση του αριθμού καμπύλης (Curve number-CN) μετά την πυρκαγιά, επιτρέποντας έτσι την κατασκευή των καμπυλών συχνότητας πλημμύρας μετά την πυρκαγιά. Επιπλέον, η προτεινόμενη μεθοδολογία αντιμετωπίζει τα προβλήματα κατασκευής καμπυλών συχνότητας πλημμύρας για κανονικές υδρολογικές συνθήκες. Επιπλέον, η μεθοδολογία είναι απλή στη ρύθμιση αφού χρησιμοποιεί την κατανομή που επιτρέπει τη χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo μέσω της μεθόδου του αντίστροφου μετασχηματισμού. Η χρήση των απλών μοντέλων βροχοπτώσεων – απορροής όπως της μεθόδου SCS-CN, της ορθολογικής μεθόδου και του μοναδιαίου υδρογραφήματος συμβάλλει επίσης στην απλότητα.

Η μελέτη των Basso et al. (2019) επικεντρώνεται στις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών του 2017 και στην ποιότητα του νερού του ποταμού Zêzere στην Πορτογαλία. Ο κύριος στόχος της είναι να προβλέψει τις ποιοτικές εισροές νερού μετά την πυρκαγιά στη λεκάνη απορροής Castelo de Bode μετά από μια περίοδο πυρκαγιάς στο ανάντη τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού. Η μελέτη αξιολογεί επίσης το μέγεθος των προβλεπόμενων αλλαγών (απορροή, αύξηση ιζημάτων) που συμβαίνουν σε επίπεδο υπολεκάνης, για να κατανοηθούν καλύτερα δύο διαδικασίες: (α) πώς η εκδήλωση πυρκαγιάς μπορεί ενδεχομένως να αλλάξει την ισορροπία νερού και θρεπτικών συστατικών και (β) πώς η εξαφάνιση της βλάστησης μπορεί να επηρεάσει τους ρυθμούς διάβρωσης του εδάφους. Ο απώτερος στόχος της έρευνας είναι να αξιολογήσει την επάρκεια τις εργαλείου μοντελοποίησης λεκάνης απορροής (SWAT) για την προσομοίωση των συνθηκών και των επιπτώσεων μετά την πυρκαγιά σε επίπεδο λεκάνης απορροής, αξιολογώντας εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο διαχείρισης μετά την πυρκαγιά, εξυπηρετώντας μέτρα έκτακτης ανάγκης. Τα αποτελέσματα όντως υποδηλώνουν ότι το επιλεγμένο μοντέλο είναι ένα έγκυρο εργαλείο για τη μελέτη των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη χρήση γης και την αλλαγή εδάφους. Μια λεπτομερής εφαρμογή των διαφορετικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τις πυρκαγιές με διαφορετική βαρύτητα ήταν δυνατή από αλλαγή των εισροών που σχετίζονται με την υδρολογική απόκριση, της γης και τις εισροές του εδάφους. Το CN (Curve Number) και οι συντελεστές C (παράγοντας φυτικής βλάστησης) και K (συντελεστής διάβρωσης του εδάφους) της εξίσωσης διάβρωσης USLE (Universal Soil Loss Equation), τροποποιήθηκαν για την καλύτερη προσομοίωση των διεργασιών παρουσία καμένης περιοχής. Συμπερασματικά, σε κλίμακα υπο-λεκάνης, οι πυρκαγιές φαίνεται να ενισχύουν την υδρολογική απόκριση, τις απώλειες ιζημάτων και τις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών στη ροή του ρέματος, ενώ σε επίπεδο της λεκάνης απορροής, οι πυρκαγιές φαίνεται να έχουν ισχυρή επίδραση στην παροχή αιχμής και στη βασική ροή, αλλά περιορισμένη επίδραση στη συνολική ετήσια ροή, η οποία είναι ελαφρώς αυξημένη σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς φωτιά. Επιπλέον, η πρόβλεψη υψηλών συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών που φτάνουν στη λεκάνη απορροής ανέδειξε την πιθανότητα υποβάθμισης της ποιότητας του νερού. Με τον αυξανόμενο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών, είναι σημαντικό να παρακολουθούνται οι επιπτώσεις μετά την πυρκαγιά στις λεκάνες απορροής από τότε που κάηκαν, καθώς οι περιοχές ενδέχεται να αποτελούν πηγή ρύπανσης για τους τοπικούς ταμιευτήρες, περιορίζοντας στη συνέχεια τη διανομή του νερού στον πληθυσμό. Τέλος, αριθμητικά μοντέλα που προσομοιώνουν τις πιθανές επιπτώσεις των πυρκαγιών στην ποιότητα του νερού μπορεί να συμβάλουν σημαντικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων διαχείρισης υδάτων και γης.

Στη μελέτη των Candela et al. (2009) αναλύεται η επίδραση της αλλαγής χρήσης γης στην καμπύλη συχνότητας πλημμύρας - Flood Frequency Curve (FFC) - σε μια φυσική λεκάνη απορροής. Αναλύθηκε η σημασία της προηγούμενης συνθήκης υγρασίας του εδάφους στον

προσδιορισμό της κατανομής της συχνότητας πλημμύρας. Σκοπός της ήταν η ανάλυση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς, όσον αφορά την αλλαγή στις χρήσεις γης, στις καμπύλες συχνότητας πλημμύρας (FFC) στις λεκάνες απορροής της Μεσογείου που είχαν μελετηθεί στο παρελθόν. Για το σκοπό αυτό, η ερευνητική στρατηγική επικεντρώθηκε στα ακόλουθα κύρια θέματα: (α) Παραγωγή της καμπύλης συχνότητας πλημμύρας χρησιμοποιώντας μια στοχαστική τεχνική Monte Carlo, και (β) προσδιορισμός αλλαγών στο καθεστώς πλημμύρας μέσω ανάλυσης της FFC πριν από την αλλαγή χρήσης γης (συνθήκες πριν από την πυρκαγιά) και μετά (συνθήκες μετά την πυρκαγιά). Η προσέγγιση προσομοίωσης Monte Carlo εφαρμόστηκε στη λεκάνη απορροής του ποταμού Asinago, στη Σικελία της Ιταλίας. Η ανάλυση των γεγονότων πριν και μετά την πυρκαγιά έδειξε αύξηση της μέσης τιμής της CN και μείωση της χρονικής υστέρησης της λεκάνης απορροής. Επίσης, ο λόγος της παροχής αιχμής μετά προς την παροχή αιχμής πριν την πυρκαγιά κατά το πρώτο έτος μετά την πυρκαγιά αυξήθηκε ως αποτέλεσμα, ενώ κατά το δεύτερο έτος ο ίδιος λόγος μειώθηκε σημαντικά σε σχέση με το πρώτο έτος.

Στη διπλωματική εργασία του Τσιχριντζή (2021) μελετάται η επίδραση των διαφόρων αλλαγών χρήσεων γης σε ένα μέρος της δασικής λεκάνης απορροής του ποταμού Eel στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση του υδρολογικού μοντέλου Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Πρόκειται για ένα μοντέλο το οποίο περιγράφει των υδρολογικό κύκλο του νερού μέσα από μεθόδους υπολογισμού της επιφανειακής απορροής, της διήθησης και της εξατμισοδιαπνοής. Ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο χρησιμοποιούνται το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής, μετεωρολογικά δεδομένα, ενώ γίνεται διακριτοποίηση σε υδρολογικές μονάδες απόκρισης (Hydrostatic Release Unit- HRUs). Συγκεκριμένα με τον όρο HRU νοούνται μικρές, διακριτές περιοχές της λεκάνης, οι οποίες έχουν ίδια χρήση γης, έδαφος και κλίση, ενώ τα μετεωρολογικά δεδομένα περιλαμβάνουν χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας αέρα. Η προσομοίωση έγινε για την περίοδο 01-01-2011 έως και 31-12-2020, ενώ τα δύο πρώτα χρόνια αγνοήθηκαν από τα αποτελέσματα για λόγους προετοιμασίας του μοντέλου. Κατά την περίοδο 01-01-2013 έως και 31-12-2017 έγινε βαθμονόμηση του μοντέλου με σύγκριση με μετρήσεις απορροής σε τρεις σταθμούς της Αμερικανικής Γεωλογικής Υπηρεσίας (USGS). Κριτήρια καλής βαθμονόμησης αποτέλεσαν τα στατιστικά μεγέθη-δείκτες NSE (Συντελεστής Nash-Sutcliffe), RMSE (Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα) και NOF (Κανονικοποιημένη Συνάρτηση Στόχου), η κλίση γ και ο συντελεστής συσχέτισης και το ποσοστό BIAS (PBIAS). Τη βαθμονόμηση ακολούθησε η διαδικασία επαλήθευσης του μοντέλου. Κατόπιν, με εφαρμογή του επικυρωμένου μοντέλου εξετάστηκαν σενάρια αλλαγής χρήσης γης που θα ήταν πιθανό να παρατηρηθούν σε μία δασική λεκάνη. Αυτά αφορούσαν στα ενδεχόμενα πυρκαγιάς (4 σενάρια, με το τέταρτο να αφορά εκτεταμένη περιοχή), υλοτομίας (2 σενάρια) και αναδάσωσης (2 σενάρια) σε τμήματα της λεκάνης της περιοχής μελέτης και τα οποία εφαρμόστηκαν με αλλαγή του αριθμού καμπύλης (Curve Number-CN). Τέλος, η στατιστική σημαντικότητα των αλλαγών που επήλθαν στις απορροές του ποταμού λόγω των σεναρίων αυτών εξετάστηκε με χρήση του στατιστικού ελέγχου Student t-test. Το πρώτο σενάριο πυρκαγιάς (17.2 % της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης) παρατηρήθηκε ότι δεν επηρεάζει σημαντικά τις απορροές, οι οποίες είναι λίγο μεγαλύτερες από τις τιμές της παρούσας κατάστασης. Το δεύτερο (9.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) και τρίτο σενάριο πυρκαγιάς (6.6 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) επίσης δεν επηρεάζουν σημαντικά τις απορροές του ποταμού σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Για το τέταρτο σενάριο πυρκαγιάς (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) αν και οι αλλαγές στις απορροές είναι μεγάλες, δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικές. Για το πρώτο σενάριο υλοτομίας (17.2 % της έκτασης

της συνολικής περιοχής μελέτης) έγινε αλλαγή της χρήσης γης από δασική έκταση σε βοσκότοπο με θάμνους. Το αποτέλεσμα της υλοτομίας στην περιοχή δεν είχε σημαντική επιρροή στη επιφανειακή απορροή. Κατά το δεύτερο σενάριο υλοτομίας (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) αποφασίστηκε η προσομοίωση της δραστηριότητας σε μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης απορροής. Παρ' όλα αυτά, και σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές στις αιχμές των υδρογραφήματων δεν ήταν ιδιαίτερες σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Κατά το πρώτο σενάριο αναδάσωσης επιλέχθηκε η ανάπλαση κωνοφόρου δάσους, αλλά οι αλλαγές που σημειώνονται στις παροχές δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Το τελευταίο σενάριο (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) που εξετάστηκε αφορούσε σε μια δενδροφύτευση μεγαλύτερης έκτασης. Όπως και στην περίπτωση της υλοτομίας, έτσι και εδώ, λόγω των μικρών διαφορών στους αριθμούς CN, δεν παρουσιάστηκαν μεγάλες αλλαγές και πάλι στην επιφανειακή απορροή. Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν ότι σε όλα τα σενάρια οι αλλαγές χρήσεων γης δεν είχαν στατιστική σημαντικότητα στις απορροές. Συμπερασματικά, το μοντέλο SWAT είναι ένα χρήσιμο και αξιόπιστο εργαλείο για την υδρολογική προσομοίωση λεκανών απορροής και την συγκριτική εξέταση των επιπτώσεων διαφόρων σεναρίων αλλαγής χρήσης γης.

Στη διπλωματική εργασία της Βαρσάμη (2014) εξετάστηκε η υδρολογική προσομοίωση ορεινής δασικής λεκάνης απορροής με χρήση του προγράμματος HEC-HMS και η εκτίμηση της μεταβολής της υδρολογικής απόκρισης μετά από ενδεχόμενη πυρκαγιά. Η περιοχή μελέτης οριοθετείται στο ελατοδάσος Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας και έχει έκταση 1.45 km². Η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης έγινε σε επίπεδο επεισοδίου βροχής με στόχο την εκτίμηση των πλημμυρικών μεγεθών. Η ανάλυση των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης περιοχής πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS, μέσω της πρόσθετης εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS που επιτρέπει τη δημιουργία αρχείων εισόδου σε λογισμικά υδρολογικών μοντέλων. Για την προσομοίωση των επιμέρους συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου έγινε επιλογή των κατάλληλων μεθόδων από ένα σύνολο δυνατοτήτων που διαθέτει το πρόγραμμα HEC-HMS. Τα αρχικά ελλείμματα εκτιμήθηκαν με εφαρμογή της μεθόδου του αριθμού καμπύλης της Soil Conservation Service – SCS, η άμεση απορροή με τη μέθοδο το Μοναδιαίου Υδρογραφήματος της SCS και η βασική απορροή με το πρότυπο εκθετικής μείωσης. Επιπλέον, λόγω του δασικού χαρακτήρα της λεκάνης ενσωματώθηκε στο μοντέλο και πρότυπο για την εκτίμηση των απωλειών παρεμπόδισης. Η υδρολογική προσομοίωση υλοποιήθηκε σε δύο μεμονωμένα γεγονότα βροχής, όπου και υπολογίστηκαν τα υδρογραφήματα εξόδου για κάθε επεισόδιο. Ακολούθησε η διαδικασία της βαθμονόμησης, χρησιμοποιώντας ως μέτρο προσαρμογής το δείκτη Nash-Sutcliffe, και η επαλήθευση του υδρολογικού μοντέλου με ένα τρίτο επεισόδιο βροχόπτωσης. Τελικό στάδιο της εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της υδρολογικής συμπεριφοράς της υπό μελέτη λεκάνης με την κατασκευή ενός σεναρίου πυρκαγιάς, ώστε να ελεγχθεί η μεταβολή της πλημμυρικής απορροής μετά τη φωτιά σε μία κατ' εξοχήν δασική έκταση. Για την ανάλυση των επιδράσεων της μελετώμενης πυρκαγιάς θεωρήθηκε αναγκαίος ο επαναπροσδιορισμός των παραμέτρων του μοντέλου (CN, αρχικές απώλειες, χρόνος υστέρησης), με βάση αντίστοιχα αποτελέσματα μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας, λαμβάνοντας επίσης υπόψιν τις συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή. Από τα παραγόμενα υδρογραφήματα διαπιστώνεται η οξεία μεταβολή στη συμπεριφορά της λεκάνης μετά την επίδραση της υπό εξέταση πυρκαγιάς. Είναι εμφανής η σημαντική αύξηση των πλημμυρικών μεγεθών, δηλαδή της παροχής αιχμής και του πλημμυρικού όγκου που δεκαπλασιάζονται, ενώ ο χρόνος εμφάνισης της πλημμυρικής αιχμής μειώνεται κατά 45 λεπτά. Τα παραπάνω αποτελέσματα καταδεικνύουν την καθοριστική επίδραση της καμένης έκτασης στις

υδρολογικές διαδικασίες, λόγω της απώλειας φυτοκάλυψης και της δημιουργίας αδιαπέρατης επιφάνειας, σε μία πρωτίστως δασική έκταση.

Η διπλωματική εργασία της Χαλαστάνη (2022) αφορά στην επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής της Βόρειας Εύβοιας και πιο συγκεκριμένα, μελετά την περίπτωση του Αχλαδορέματος. Η καταστροφική πυρκαγιά που ξέσπασε τον Αύγουστο του 2021 στην Εύβοια, έκαψε χιλιάδες στρέμματα (508,800 στρέμματα) παρθένου δάσους που αφορούν περίπου στο 1/3 της έκτασης ολόκληρου του νησιού. Το πρώτο στάδιο της γενικής μεθοδολογίας, αφορά στην 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 συνθηθέστερη επιλογή σε πολλές μελέτες υδρολογίας. Βάσει των όμβριων καμπύλων, εξήχθησαν τα υετογράμματα σχεδιασμού, με χρονικά βήματα 15 και 10 λεπτών. Εν συνεχεία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SCS, προκειμένου να μετατραπούν τα ύψη βροχόπτωσης σε περίσσειμα βροχόπτωσης. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το αδιάστατο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS, το οποίο εκτιμήθηκε βάσει των γεωμετρικών και γεωμορφολογικών στοιχείων της λεκάνης. Εκτός από τους υπολογισμούς που έγιναν, πραγματοποιήθηκε και μέτρηση πεδίου. Σε συνδυασμό και με άλλα δεδομένα, οι μετρήσεις εισήχθησαν στην εξίσωση του Manning, από την οποία εξήχθησαν συμπεράσματα για τα πλημμυρικά γεγονότα μετά την πυρκαγιά. 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. Οι 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 1:50,000, εξήχθησαν πληροφορίες όπως: το υδρογραφικό δίκτυο, οι ισοϋψείς, οι λεκάνες απορροής, υδροκρίτες, αποτυπώσεις καμένων εκτάσεων, και μετρήσεις των απαραίτητων μηκών και εμβαδών. Τελικά, εξήχθησαν τα Υδρογραφήματα Άμεσης Απορροής για πριν και μετά την πυρκαγιά και γίνονται συγκρίσεις αυτών. 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 των υδρογραφημάτων (πριν και μετά την πυρκαγιά) που έγιναν, η πλημμυρική παροχή μετά την πυρκαγιά, αυξάνεται κατά 77% σε σχέση με αυτή που υπολογίστηκε πριν την πυρκαγιά στην ίδια λεκάνη απορροής. Επίσης, ο συντελεστής CN, παρουσιάζεται αυξημένος μετά την πυρκαγιά, πράγμα αναμενόμενο εφόσον άλλαξαν οι υδρολογικές συνθήκες. Τέλος, συμπεραίνεται πως ο λόγος των παροχών αιχμής, μειώνεται, όσο αυξάνει η περίοδος επαναφοράς. 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. Τελικά, η επίδραση της καταστροφικής πυρκαγιάς τον Αύγουστο του 2021 στη Βόρεια Εύβοια, είναι μεγάλη, για την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης απορροής του Αχλαδορέματος 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.

Η Μπενέκου (2014) στην διπλωματική της εργασία πραγματοποίησε εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS στην ορεινή πειραματική λεκάνη Βαρετάδας στην περιοχή της Αμφιλοχίας, για την εκτίμηση της υδρολογικής απόκρισης μιας μικρής ορεινής δασικής λεκάνης απορροής πριν και μετά από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά. Προσομοιώθηκαν μεμονωμένα γεγονότα βροχής με δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της άμεσης απορροής, του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος της Soil Conservation Service (SCS) και του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά Snyder. Η λεκάνη απορροής του ρέματος Πουρνόσκαλα βρίσκεται στην περιοχή Βαρετάδα του Νομού Αιτωλοακαρνανίας και έχει έκταση 1,235 km². Η συγκεκριμένη λεκάνη επιλέχθηκε λόγω του ορεινού της χαρακτήρα και λόγω του ότι παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον για πλημμυρική διερεύνηση. Το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων (ΙΜΔΟ & ΤΔΠ) παρείχε όλα τα απαραίτητα βροχομετρικά και σταθμημετρικά δεδομένα, σε βήμα 15 min, τα οποία αποτέλεσαν δεδομένα εισόδου στην προσομοίωση και επέτρεψαν τη βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου. Στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν και το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο επεξεργάστηκε στο πρόγραμμα ArcGIS 9.3, και εξήγαγε τις απαραίτητες γεωμορφολογικές παραμέτρους για τη διαδικασία της προσομοίωσης. Με δεδομένα όλα τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης για τέσσερα ξεχωριστά γεγονότα βροχής, όπου εφαρμόζοντας τις δύο μεθόδους υπολογισμού άμεσης απορροής SCS και Snyder, υπολογίστηκαν τα υδρογραφήματα εξόδου. Ακολούθησε βαθμονόμηση και επαλήθευση του υδρολογικού μοντέλου, σε ένα επεισόδιο βροχής. Τέλος, στο πλαίσιο της εργασίας επαναπροσδιορίστηκαν οι παράμετροι του υδρολογικού μοντέλου (κατακράτηση από τη φυτοκόμη, αριθμός καμπύλης CN, αρχικές απώλειες (I_a)) μετά την επίδραση μιας ενδεχόμενης πυρκαγιάς μέτριας έντασης, σύμφωνα με τιμές που πάρθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου SCS, είναι εμφανές ότι τα υδρογραφήματα μετά την πυρκαγιά έχουν πιο απότομη κλίση και είναι πιο αιχμηρά από ότι πριν λόγω της εμφάνισης απότομης παροχής αιχμής. Παρατηρείται ότι σε όλα τα επεισόδια τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο πλημμυρικός όγκος αυξάνονται σημαντικά φτάνοντας σε πολύ υψηλά επίπεδα. Όσον αφορά τον πλημμυρικό όγκο αυξάνεται από 64 % έως 138 %, ενώ η παροχή αιχμής εμφανίζει αύξηση που ξεκινά από 100 % έως 585 %. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου Snyder, τα υδρογραφήματα μετά την πυρκαγιά αποκλίνουν σημαντικά συγκριτικά με αυτά πριν την πυρκαγιά. Είναι εμφανές και σε αυτή τη μέθοδο προσομοίωσης της άμεσης απορροής ότι οι πλημμυρικές αιχμές είναι πολύ πιο έντονες. Παρατηρείται ότι σε όλα τα επεισόδια τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο πλημμυρικός όγκος αυξάνονται σημαντικά φτάνοντας σε πολύ υψηλά επίπεδα, όπως ακριβώς με τη μέθοδο SCS. Ο όγκος κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τα αποτελέσματα που έδωσε η μέθοδος SCS. Τα παραπάνω φανερώνουν την καταλυτική επίδραση των δασικών πυρκαγιών στη συμπεριφορά των υδατορευμάτων, λόγω απώλειας μεγάλου μέρους φυτοκάλυψης της λεκάνης απορροής που οδηγεί στην παρουσία μεγαλύτερου περισσεύματος βροχής και συνεπώς σε πιο έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Συμπερασματικά, η εμφάνιση μιας πυρκαγιάς καταστρέφει τη φυτοκάλυψη και συμβάλλει στη διάβρωση και τη δημιουργία υδροφοβικού στρώματος με αποτέλεσμα την εμφάνιση οξύτερων πλημμυρικών φαινομένων. Η απώλεια της βλάστησης, η οποία αποτελεί το πρώτο εμπόδιο που συγκρατεί μέρος του νερού των κατακρημνισμάτων οδηγεί στην ταχύτερη και συνάμα πιο έντονη ροή του νερού προς τα κατόντη.

Η διπλωματική εργασία του Παπαβασιλείου (2023) αφορά στην ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου στη Βόρεια Εύβοια κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες. Με βάση αυτή, τα πλημμυρικά φαινόμενα συμβαίνουν λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη η κατάστροψη σχεδίων και η πρόληψη με στόχο την προστασία από πλημμύρες. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου σε τρεις λεκάνες απορροής που ανήκουν στη Βόρεια Εύβοια υπολογίζοντας τα πλημμυρογραφήματά τους κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες, εν προκειμένω ύστερα από την πυρκαγιά που έλαβε χώρα τον Αύγουστο του 2021. Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η επεξεργασία δεδομένων μέσω των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems GIS) για την εξαγωγή των γεωμορφολογικών και γεωχωρικών δεδομένων της υπό εξέταση περιοχής. Στη συνέχεια, εκπονείται η υδρολογική ανάλυση για πριν και μετά τις μεταβαλλόμενες συνθήκες ώστε να υπολογιστούν τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα. Συγκεκριμένα, αξιοποιούνται τρεις διαφορετικές μέθοδοι μετατροπής της βροχής σε απορροή βασισμένες στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ). Επιλέγονται οι μέθοδοι του συνθετικού ΜΥΓ κατά Snyder, του αδιάστατου ΜΥΓ κατά SCS, και η μέθοδος United Specified Hydrograph (USH) κατά την οποία εισάγεται ΜΥΓ, το οποίο υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών σε περιβάλλον GIS. Ακόμη, γίνεται χρήση του συντελεστή απώλειας βροχής Curve Number (CN) για διάφορες υγρασιακές καταστάσεις. Από τον συνδυασμό όλων των παραπάνω διερευνώνται 36 συνολικά σενάρια για τις τρεις λεκάνες με σκοπό τη δημιουργία των αντίστοιχων πλημμυρογραφήματων μέσω του μοντέλου HEC-HMS. Έπειτα, διεξάγεται η υδραυλική προσομοίωση με χρήση του μοντέλου HEC-RAS, κατόπιν της εξόδου των λεκανών μελέτης προκειμένου να χαραχθούν οι χάρτες μεγίστων βαθών και ταχυτήτων ροής του πλημμυρικού πεδίου για να αξιολογηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα των κατόπιν οικισμών ύστερα από μεταβολή των συνθηκών όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση της πυρκαγιάς. Τέλος, λαμβάνει χώρα η ανάλυση ευαισθησίας για το συντελεστή CN ο οποίος από την παρούσα μελέτη διαπιστώνεται ότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα. Από τη μελέτη της πλημμυρικής διακινδύνευσης στην παρούσα διπλωματική εργασία προκύπτει ότι η μέθοδος των ισόχρονων καμπυλών θεωρείται η πιο ακριβής ως προς τον υπολογισμό μοναδιαίου υδρογραφήματος καθώς λαμβάνει υπ' όψιν αναλυτικότερα τοπογραφικά δεδομένα. Επίσης, τα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν από τις μεθόδους SCS και Snyder για την μετατροπή της βροχής σε απορροή, παρουσιάζουν παραπλήσια χαρακτηριστικά αντίστοιχα για όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν με μικρή σχετικά απόκλιση. Επιπλέον, από την ανάλυση ευαισθησίας παρατηρείται πως όσο αυξάνεται ο αριθμός CN τόσο αυξάνεται και η παροχή αιχμής. Λόγω των μεταβαλλόμενων συνθηκών, συγκεκριμένα της πυρκαγιάς, μεταβάλλεται με τη σειρά της η σύσταση του εδάφους, γίνεται πιο αδιαπέρατο, η μεταβολή αυτή εκφράζεται από την παράμετρο CN η οποία προκύπτει συναρτήσεως των χρήσεων γης και των γεωλογικών σχηματισμών. Συγκεκριμένα, μετά την πυρκαγιά ο αριθμός CN αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται με τη σειρά της η παροχή αιχμής. Για την μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού του αδιάστατου αριθμού CN πρέπει να είναι γνωστή η μέση κατάσταση υγρασίας των υπό μελέτη εδαφών. Όσο αυξάνεται η υγρασία των εδαφών τόσο αυξάνεται και ο αριθμός CN αφού το έδαφος θα είναι κάθε φορά και πιο κορεσμένο με νερό.

Ο Τζέμης (2017) στη διπλωματική του εργασία μελετά την Ρεματιά Χαλανδρίου και συγκεκριμένα την υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση της. Σε αυτή περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης πλημμύρας, μέσω των διαδικασιών της υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης απορροής ποταμού και έπειτα της υδραυλικής προσομοίωσης των υδατορευμάτων,

με τελικό στόχο την εξαγωγή χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης. Η περιοχή μελέτης είναι μεταξύ των Δήμων Χαλανδρίου, Πεντέλης και Αμαρουσίου, δηλαδή στο βορειοανατολικό τμήμα της περιφερειακής ενότητας Αττικής, και έχει κυρίως πεδινό χαρακτήρα. Αφού, συλλέχθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα, δηλαδή το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, οι χάρτες χρήσεων γης και οι τύποι εδάφους, ξεκίνησε η προεπεξεργασία τους και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων σε μορφή χαρτών στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS, με την χρήση των εργαλείοις HEC-GeoHMS και HEC-GeoRAS (Hydrologic Engineering Center-Geospatial Hydrologic Modeling Extension-River Analysis System). Ακολούθησε η υδρολογική προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού HEC-HMS και η υδραυλική προσομοίωση με το HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System). Συγκεκριμένα, το πρώτο εφαρμόζεται για την προσομοίωση των διεργασιών βροχόπτωσης-απορροής σε λεκάνες απορροής, ενώ το δεύτερο επιτρέπει τη μονοδιάστατη ανάλυση και την προσομοίωση φυσικών υδατορευμάτων ή τεχνητών συστημάτων. Τα προγράμματα και οι εργαλείοις που αναφέρθηκαν αναπτύχθηκαν από US Army Corps of Engineers και διατίθενται δωρεάν. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για 6 περιόδους αναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50$ και 100 έτη μέσω όμβριων καμπυλών. Τα αποτελέσματα ήταν η εξαγωγή πλημμυρογραφήματων για κάθε υδρολογικό σενάριο, των οποίων οι παροχές αιχμής εισήχθησαν στο λογισμικό HEC-RAS για την υδραυλική προσομοίωση. Η υδραυλική προσομοίωση του υδατορεύματος διεξήχθη σε συνθήκες μόνιμης ροής έχοντας ως αποτέλεσμα τις γραμμές ενέργειας και τα πιεζομετρικά βάρη για κάθε περίοδο επαναφοράς. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ήταν τα πλημμυρογράφηματα σχεδιασμού της λεκάνης από τα οποία προέκυψαν οι αντίστοιχες παροχές αιχμής. Το τελικό προϊόν της υδραυλικής προσομοίωσης ήταν οι πιεζομετρικές επιφάνειες, οι οποίες συγκρινόμενες με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους υπολόγισαν τα βάρη του νερού. Με τον τρόπο αυτό, ορίστηκαν τα όρια της κατάκλυσης της πλημμύρας και πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση της πλημμύρας στο πρόγραμμα HEC-RAS για κάθε υδρολογικό σενάριο. Από τα αποτελέσματα προέκυψε σχετικά μικρό πεδίο πλημμυρικών κατακλύσεων με μικρή αύξηση του εμβαδού των κατακλυζόμενων εκτάσεων με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς. Τέλος, για την αποτίμηση της βαρύτητας των υδρολογικών παραμέτρων στη λειτουργία των μοντέλων, επιχειρήθηκε μέσω της μεθόδου διακύμανσης μιας παραμέτρου τη φορά "once at a time" (OAT), η ανάλυση ευαισθησίας υδρολογικών παραμέτρων του HEC-HMS και των υδραυλικών παραμέτρων του HEC-RAS και η επίδρασή τους στην παροχή αιχμής της βροχόπτωσης 6 ωρών και περιόδου επαναφοράς 50 ετών. Συμπερασματικά, η περιοχή μελέτης δεν αντιμετωπίζει έντονες αρνητικές συνέπειες από φαινόμενα πλημμυρικής κατάκλυσης για τα υδρολογικά σενάρια που ερευνήθηκαν. Πιθανά προβλήματα θα αντιμετωπίσουν τα αυθαίρετα κτίσματα, τα οποία βρίσκονται πάνω στις όχθες του ρέματος.

1.9. Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 5 συνολικά κεφάλαια και ένα παράρτημα. Η δομή των κεφαλαίων που ακολουθούν συνοψίζονται στη συνέχεια.

Το **πρώτο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στη δομή της εργασίας. Πιο αναλυτικά στο πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται ο σκοπός της εργασίας, μια περιγραφή του υδρολογικού ισοζυγίου σε επίπεδο λεκάνης απορροής και μια επεξήγηση των υδρολογικών μοντέλων. Επιπλέον περιλαμβάνεται η ανάλυση του ζητήματος των πλημμυρών, η Ευρωπαϊκή Οδηγία

για τις Πλημμύρες 2007/60/ ΕΚ και το καθεστώς των πλημμυρών στην Ελλάδα και γενικά στις Ευρωπαϊκές χώρες. Επίσης, παρουσιάζεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και η διάρθρωση αυτής. Επιπλέον, αναλύεται η υδρολογική συμπεριφορά των δασωμένων λεκανών απορροής. Τέλος, το κεφάλαιο περιγράφει τα χαρακτηριστικά των δασικών πυρκαγιών, περιγράφει τις πυρκαγιές σε Ευρώπη και Ελλάδα και την επίδραση τους στο υδρολογικό καθεστώς των λεκανών απορροής. Το κεφάλαιο κλείνει με την βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** συμπεριλαμβάνεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, καθώς και πληροφορίες για την περιοχή μελέτης και η υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος. Αναλυτικότερα, στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου, περιγράφεται η περιοχή μελέτης, δηλαδή το μέρος της λεκάνης απορροής του Κηφισού που αφορά την περιοχή της Βαρυμπόμπης, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της, οι κλιματικές συνθήκες της και η δασική βλάστηση της περιοχής. Στο δεύτερο μέρος, περιγράφεται η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής, δηλαδή η γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυσή της, η προεπεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, οι απώλειες βροχής και οι μέθοδοι εκτίμησής τους. Τέλος, γίνεται περιγραφή του λογισμικού υδρολογικής προσομοίωσης HEC-HMS.

Το **τρίτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τα βασικά αποτελέσματα της μελέτης. Περιλαμβάνει, δηλαδή τα υδρογραφήματα για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες. Τα πλημμυρογραφήματα για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς αλλά για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 12, 24$ ώρες παρατίθενται στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** εξάγονται τα συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα έξω από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** συνοψίζεται η βιβλιογραφία (ελληνική, ξενόγλωσσα και από το διαδίκτυο) που αξιοποιήθηκε.

Τέλος, στο **παράρτημα** περιλαμβάνονται όσα από τα αποτελέσματα δεν παρουσιάστηκαν στην έκταση της διπλωματικής εργασίας. Όπως, ήδη αναφέρθηκε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 12, 24$ ώρες και για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. Περιοχή μελέτης

2.1.1. Λεκάνη Απορροής Κηφισού

Η λεκάνη απορροής του Κηφισού είναι η μεγαλύτερη λεκάνη απορροής της ζώνης του λεκανοπεδίου Αττικής. Εκτείνεται από το βόρειο όριο της ζώνης και οριοθετείται από τις ανατολικές πλαγιές της Πάρνηθας, το όρος Αιγάλεω στα νοτιοδυτικά, την Πεντέλη στα βορειοανατολικά και τον υδροκρίτη του Ιλισού στα ανατολικά. Κύριος αποδέκτης της Ζώνης είναι ο ποταμός Κηφισός. Σημαντικότεροι κύριοι συμβάλλοντες στον Κηφισό είναι το ρ. Εσχατιάς, το ρ. Αχαρνών (Καναπίτσα), το ρ. Κοντίτας (Βαρυμπόμπης) από τα δυτικά και τα ρέματα Ποδονίφτη, Σαπφούς (Αμαρουσίου), Χαλανδρίου και Προφήτη Δανιήλ από τα ανατολικά.

Ο Κηφισός πηγάζει από την οροσειρά της Πάρνηθας, της οποίας τον ορεινό όγκο περικλείουν τα όρια του Εθνικού Δρυμού και εκβάλλει στον Φαληρικό Όρμο (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023). Το ανάγλυφο εν γένει δεν διακόπτεται απότομα και δεν σχηματίζονται μεγάλες χαράδρες. Οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης ποικίλουν. Κυριαρχούν στις ανάντη ορεινές περιοχές τα δάση και οι θαμνώδεις εκτάσεις και κατόπιν οι αστικές περιοχές. Υπάρχουν καλλιεργημένα εδάφη και περιοχές βιομηχανικής χρήσης (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023).

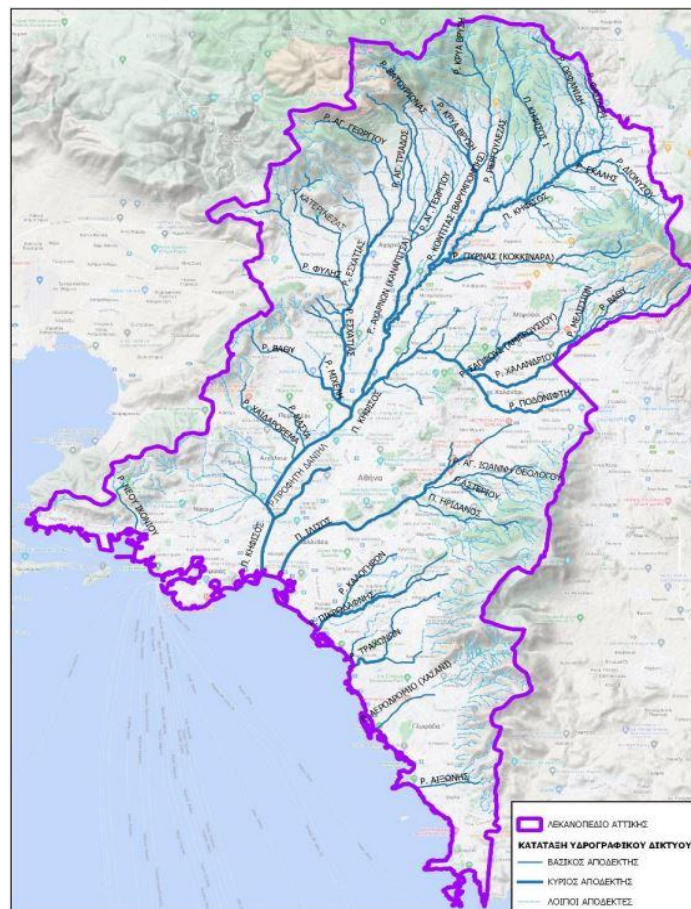
Η μορφολογία των κατοικημένων περιοχών χαρακτηρίζεται από ομαλό ανάγλυφο στο μεγαλύτερο μέρος. Στο παρελθόν, οι δασικές εκτάσεις της Πεντέλης, στα ανατολικά όρια της λεκάνης απορροής, έχουν πληγεί από πολυάριθμες πυρκαγιές, οι οποίες μείωσαν και συνεχίζουν να μειώνουν σημαντικά τη δασοκάλυψη (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023). Η περιοχή αναδασώνεται συστηματικά προκειμένου να αναπληρώσει μη καμένες περιοχές. Η περιοχή, στην οποία αφορά η εν λόγω εργασία, πλήγηκε από την μεγάλη πυρκαγιά του Αυγούστου του 2021, η οποία κατέκαψε την περιοχή της Βαρυμπόμπης, της Ιπποκράτειου Πολιτείας και του Κρυονερίου μειώνοντας την δασοκάλυψη στα βόρεια και βορειοδυτικά της λεκάνης του Κηφισού (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023).

Ο Κηφισός αποτελεί τον κύριο αποδέκτη του λεκανοπεδίου Αττικής. Το συνολικό μήκος του είναι περίπου 22 km, εκ των οποίων τα 14 km βρίσκονται εντός αστικής περιοχής και τα 8 km εκτός. Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής είναι 381.10 km². Η κατανομή των δομημένων εκτάσεων του λεκανοπεδίου, όπως έχει προκύψει από υφιστάμενες μελέτες, ανέρχεται για την Λεκάνη Κηφισού σε 244 km², δηλαδή ποσοστό 64% (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2017). Σήμερα η δόμηση ασφαλώς έχει επεκταθεί περισσότερο και εκτιμάται ότι οι καλυμμένες επιφάνειες έχουν ξεπεράσει το 70 % (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023).

Η μορφολογία των κατοικημένων περιοχών της λεκάνης απορροής του Κηφισού ποταμού χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ομαλό ανάγλυφο. Στην ορεινή και ημιορεινή λεκάνη συναντώνται κυρίως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, σχιστόλιθοι και προσχώσεις και οι πεδινές ελεύθερες περιοχές έχουν στρωθεί με πλάκες και τσιμέντο (Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8, 2023).

Στον Κηφισό συμβάλλει ένας μεγάλος αριθμός ρεμάτων, τα οποία στις κατοικημένες περιοχές, κατά καιρούς έχουν μπαζωθεί και οι βασικοί κλάδοι τους έχουν διευθετηθεί ανεπαρκώς με κλειστές διατομές για τις σημερινές συνθήκες και δεδομένα (Αργυροπούλου, 2011). Μέρος από τα υπόψη ρέματα, κυρίως στην ανοικτή διαδρομή του ποταμού, ανάντη των Τριών Γεφυρών και κατόντη της Αγ. Άννης μέχρι την εκβολή του, δεν έχουν ακόμη διευθετηθεί. Τέλος, μέρος των λεκανών Ποδονίφτη και Νίκαιας έχουν μερικώς εκτραπεί προς τη λεκάνη ρέματος Ραφήνας και στον όρμο Περάματος αντίστοιχα. Η διευθέτηση του ποταμού Κηφισού άρχισε από 45ετίας και ολοκληρώθηκε τμηματικά με το οδικό έργο το 2007. Η κατασκευή των έργων στον Κηφισό, όπως είναι γνωστό, δεν άρχισε από τα κατόντη, αλλά έγινε αποσπασματικά σε διάφορα τμήματα κυρίως λόγω των οδικών έργων που υλοποιούνταν τις ίδιες χρονικές περιόδους (Τασσοπούλου, 2011). Ο Κηφισός εκβάλλει στο δυτικό άκρο του Φαληρικού Όρμου, και τα έργα εκβολής του κατασκευάστηκαν από την δεκαετία του 1980.

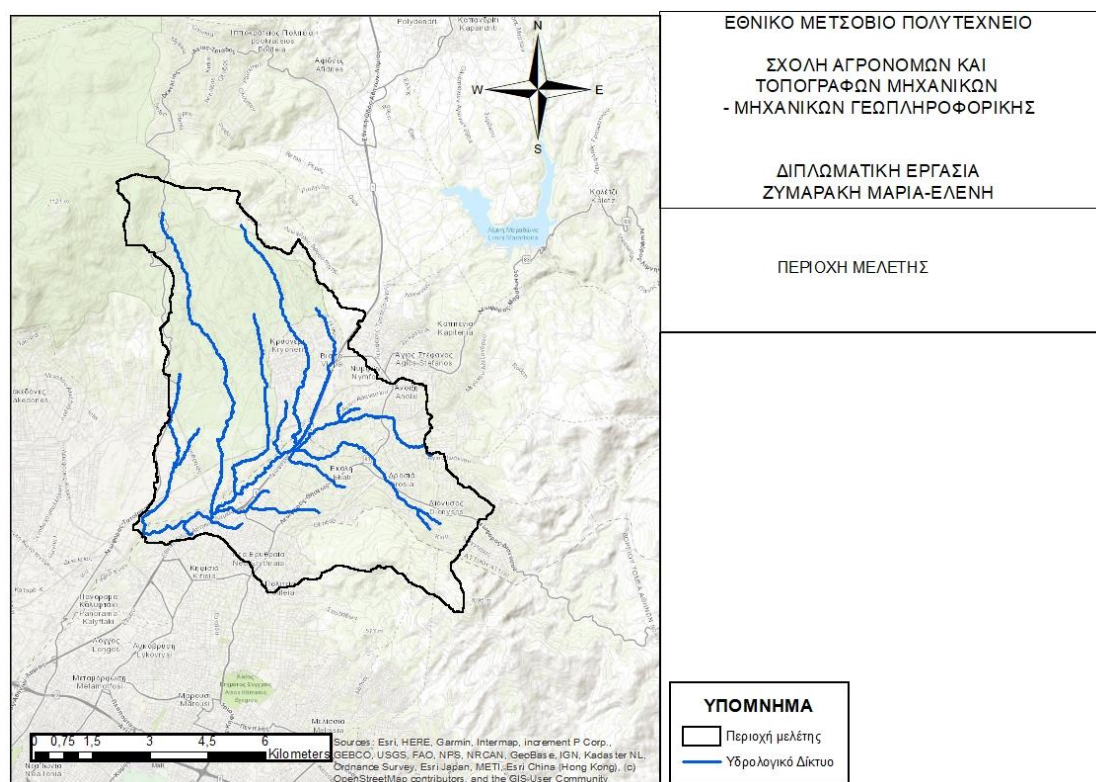
Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο του Κηφισού ποταμού.



Εικόνα 4: Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο Κηφισού και Ιλισού

2.1.2. Περιγραφή λεκάνης μελέτης

Η Εικόνα 5 παρουσιάζει την περιοχή μελέτης, που αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του Κηφισού ποταμού, καθώς και το υδρογραφικό της δίκτυο. Η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Βαρυμπόμπης, η οποία υπάγεται στον Δήμο Αχαρνών-Θρακομακεδόνων στην βορειοανατολική Αττική. Βρίσκεται στα βορειοανατολικά του δήμου και περιβάλλεται από τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας. Στα δυτικά συνορεύει με την κοινότητα των Θρακομακεδόνων, ενώ στα ανατολικά συνδέεται με τα υπόλοιπα βόρεια προάστια μέσω των λεωφόρων Τατοΐου και Κηφισίας.



Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης

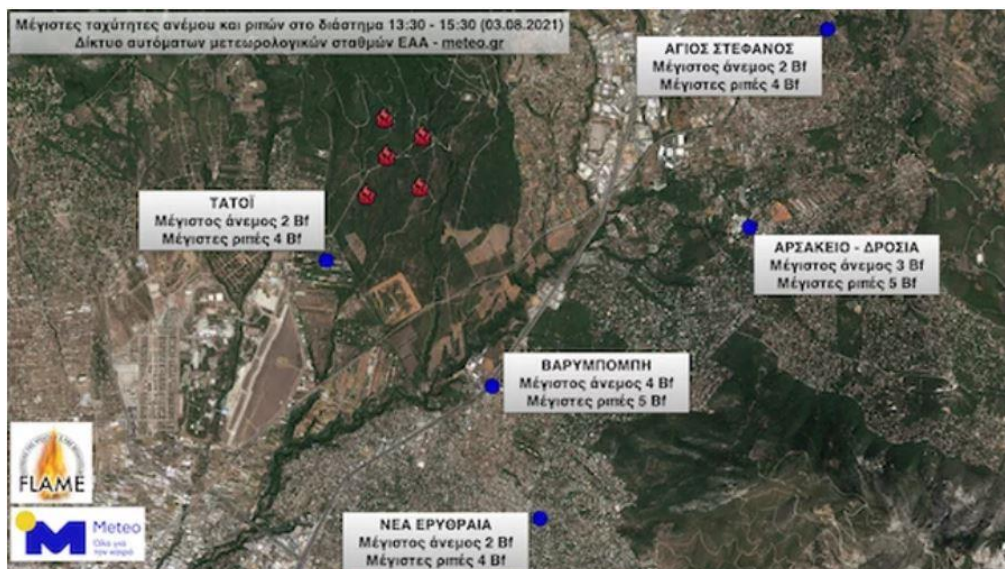
Η περιοχή ενδιαφέροντος έχει έκταση 58,755,500 m², δηλαδή περίπου 59 km². Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή το εμβαδόν, η περίμετρος, το μέσο υψόμετρο, το υψόμετρο εξόδου, το μήκος της κύριας μισογάγγειας και το συνολικό μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, της περιοχής μελέτης, όπως βρέθηκαν μέσω του λογισμικού ArcGIS και του προγράμματος excel Microsoft.

Πίνακας 1: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος

Εμβαδόν	km ²	58.76
Περίμετρος	km	55.02
Μέσο Υψόμετρο	m	415.100
Υψόμετρο Εξόδου	m	189.727
Μήκος Κύριας Μισγάγγειας	km	5.905
Συνολικό μήκος κλάδων υδρογραφικού δικτύου	km	60.956

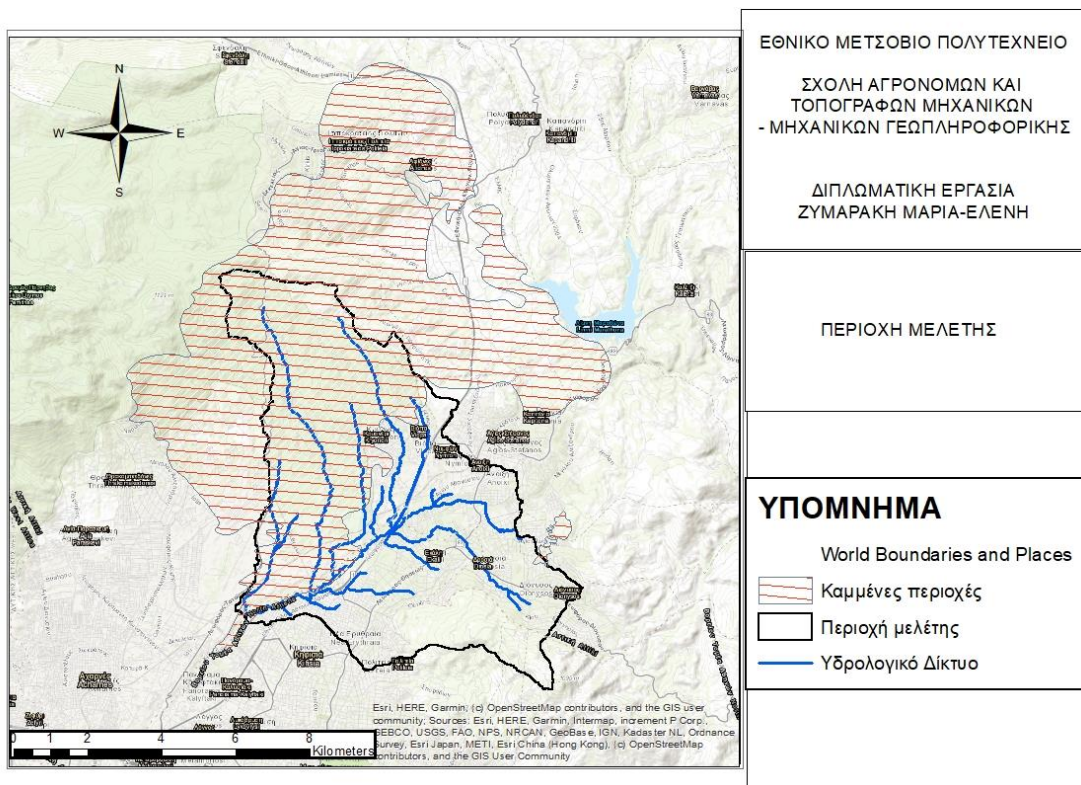
Η ευρύτερη αυτή περιοχή επηρεάστηκε από την πυρκαγιά της 3^{ης} Αυγούστου του 2021. Ειδικότερα, η “*δασική πυρκαγιά εκδηλώθηκε νωρίς το μεσημέρι (13:25) της Τρίτης 3 Αυγούστου 2021 στους πρόποδες της Πάρνηθας, στη Βαρυμπόμπη. Κατά την ώρα εκδήλωσης της πυρκαγιάς (13:25) και κατά τη διάρκεια των πρώτων 2 ωρών εξαπλώσεώς της (13:30 - 15:30), στην ευρύτερη περιοχή έπνεαν άνεμοι με μέσες εντάσεις 2 - 4 Bf και ριπές στα 5 Bf, όπως προκύπτει από τις μετρήσεις των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ)*” (Πηγή: meteo.gr, Γιάνναρος κ.α. 2021, άρθρο).

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές συνθήκες, δηλαδή οι μέγιστες ταχύτητες ανέμου και ριπών στην περιοχή της Βαρυμπόμπης την 3^η Αυγούστου του 2021 στο διάστημα 13:30–15:30, όπως αυτές μετρήθηκαν από το δίκτυο αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών ΕΑΑ- meteo.gr.



Εικόνα 6: Μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή της Βαρυμπόμπης την 3η Αυγούστου 2021 (Πηγή: meteo.gr)

Με βάση τη παρούσα μελέτη, υπολογίστηκε ότι κάηκε πάνω από το 45% της περιοχής μελέτης, δηλαδή περίπου 27 km² από τα 59 km² συνολικής έκτασης της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι καμένες περιοχές σε σχέση με την περιοχή μελέτης παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7: Περιοχή Βαρυμπόμπης μετά την πυρκαγιά του 2021

2.1.3. Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Στο λεκανοπέδιο των Αθηνών εντοπίζονται δυο κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών. Οι αλπικοί που αποτελούν τους ορεινούς όγκους και τους μικρούς λόφους στο εσωτερικό του λεκανοπεδίου και οι μεταλπικοί που αποτελούν το εσωτερικό του. Η γεωλογία του λεκανοπεδίου έχει περιγραφεί σχετικά πρόσφατα από τους Παπανικολάου κ.α. (2004).

Περίληπτικά, οι αλπικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε δυο γεωτεκτονικές ενότητες που οριοθετούνται από μια μεγάλη τεκτονική ζώνη αποκόλλησης (detachment) (Μαριολλάκος κ.α., 2001). Η μια ενότητα περιλαμβάνει μεταμορφωμένα πετρώματα που συνιστούν τα όροι Πεντέλη και Υμηττός καθώς και ορεινοί όγκοι ανατολικότερα (Μαριολλάκος κ.α. 2001). Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει μη μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα όπως ασβεστόλιθους και δολομίτες και συνιστούν τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας, του Ποικιλού και του Αιγάλεω (Μαριολλάκος κ.α. 2001). Η μεταμορφωμένη ενότητα είναι μια κρυσταλλική μάζα που βυθίζεται με διεύθυνση προς τα βορειοδυτικά κάτω από την μάζα των ιζηματογενών πετρωμάτων (Μαριολλάκος κ.α. 2001). Η τεκτονική ζώνη που χωρίζει τις δυο κατηγορίες πετρωμάτων έχει γενική κλίση ΒΔ και είναι περίπου παράλληλη με την Εθνική οδό Αθηνών–Αφιδνών (Μαριολλάκος κ.α. 2001). Τα πετρώματα ανατολικά αυτής της ζώνης ανήκουν στην αυτόχθονη μεταμορφωμένη ζώνη της Αττικής, η οποία περιλαμβάνει μάρμαρα και σχιστόλιθους Μεσοζωικής ηλικίας και δολομίτες και δολομιτικά μάρμαρα Τριαδικού, ενώ δυτικά αυτής ανήκουν στην Υποπελαγονική η οποία συνίσταται από σειρά ιζημάτων που στην αρχή είναι κλαστικά και στην συνέχεια γίνονται ανθρακικά (Παυλόπουλος κ.α. 2005). Ο

κλαστικός σχηματισμός της Υποπελαγονικής αποτελείται από εναλλαγές τεφροπράσινων και φαιών αργιλικών σχιστών, πηλιτών, ψαμμιτών, χαλαζιακών κροκαλοπαγών, τόφφων και μέσα στους οποίους υπάρχουν ασβεστόλιθοι, αρκόζες και γραουβάκες (Παυλόπουλος κ.α. 2005). Ο ανθρακικός σχηματισμός αποτελείται από τεφρόλευκους και κατά θέσεις ροδόχρους ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους άστρωτους έως παχυστρωματώδεις, νηριτικής φάσης και κατά κύριο λόγο κρυσταλλικούς (Παυλόπουλος κ.α. 2005).

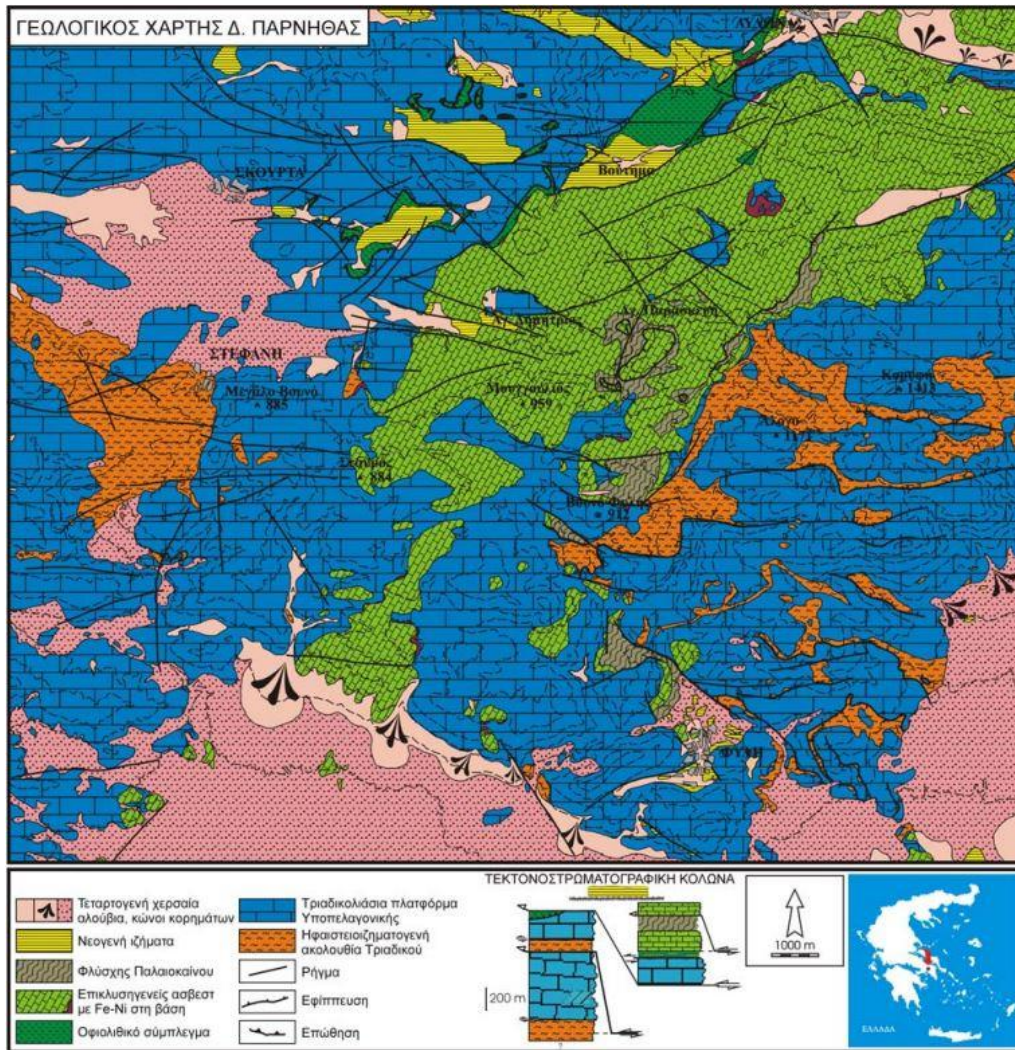
Στο εσωτερικό του λεκανοπεδίου των Αθηνών, η αλλόχθονη ενότητα της Αττικής υπέρκειται τόσο των μη μεταμορφωμένων της ΒΔ Αττικής όσο και των μεταμορφωμένων της ανατολικής και ΝΑ Αττικής (Παυλόπουλος κ.α. 2005). Η ενότητα αυτή αποτελείται από ιζήματα έως ημιμεταμορφωμένα πετρώματα μεταξύ των οποίων υπάρχουν ψαμμίτες, πηλίτες, σχίστες, πελαγικοί και νηριτικοί ασβεστόλιθοι ανωκρητιδικής ηλικίας (Παυλόπουλος κ.α. 2005). Οφιολιθικά πετρώματα εμφανίζονται σαν σφήνες σε όλες τις ενότητες και τις διαχωρίζουν μεταξύ τους (Παυλόπουλος κ.α. 2005).

Πάνω από την αλλόχθονη ενότητα επικάθονται ασύμφωνα ιζήματα του Τεταρτογενούς και του Νεογενούς. Οι Νεογενείς σχηματισμοί καλύπτουν τις βόρειες περιοχές (Ν. Φιλαδέλφεια, Περιστερί, Χαϊδάρι, Καλογρέζα) και τα νότια του λεκανοπεδίου (Πειραιάς, Π. Φάληρο, Αγ. Δημήτριος, Άλιμος). Στις βόρειες περιοχές έχουμε λιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις με απολιθώματα Πικερμικής πανίδας ενώ νοτιότερα και όσο προχωράμε προς την παραλιακή ζώνη έχουμε τυπικές θαλάσσιες εμφανίσεις (Μαριολάκος κ.α. 2001).

Τέλος, πάνω από όλα υπάρχουν νεότερες Τεταρτογενείς αποθέσεις. Σε αυτές συμμετέχουν και τα φερτά υλικά των ποταμών, πλευρικές αποθέσεις κορημάτων καθώς και αλλουβιακά ριπίδια που σχηματίζονται από τους χείμαρρους των κοιλάδων των ορεινών όγκων γύρω από το λεκανοπέδιο (Μαριολάκος κ.α. 2001).

Εν ολίγοις, καθώς η περιοχή μελέτης εκτείνεται κυρίως νοτιοανατολικά της Πάρνηθας, τα πετρώματα της είναι ιζηματογενή (ασβεστόλιθος και φλύσχη στη μορφή του αθηναϊκού σχιστόλιθου), που σχηματίστηκαν στην παλαιοζωική, μεσοζωική και καινοζωική περίοδο (Παυλόπουλος κ.α. 2005).

Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της Πάρνηθας, δηλαδή τα πετρώματα που συναντώνται στο έδαφος της υπό μελέτη περιοχής, όπως τεταρτογενή χερσαία αλούβια, νεογενή ιζήματα, φλύσχη Παλαιοκαίνου, οφιολιθικά συμπλέγματα κ.α.



Εικόνα 8: Γεωλογικός χάρτης Πάρνηθας

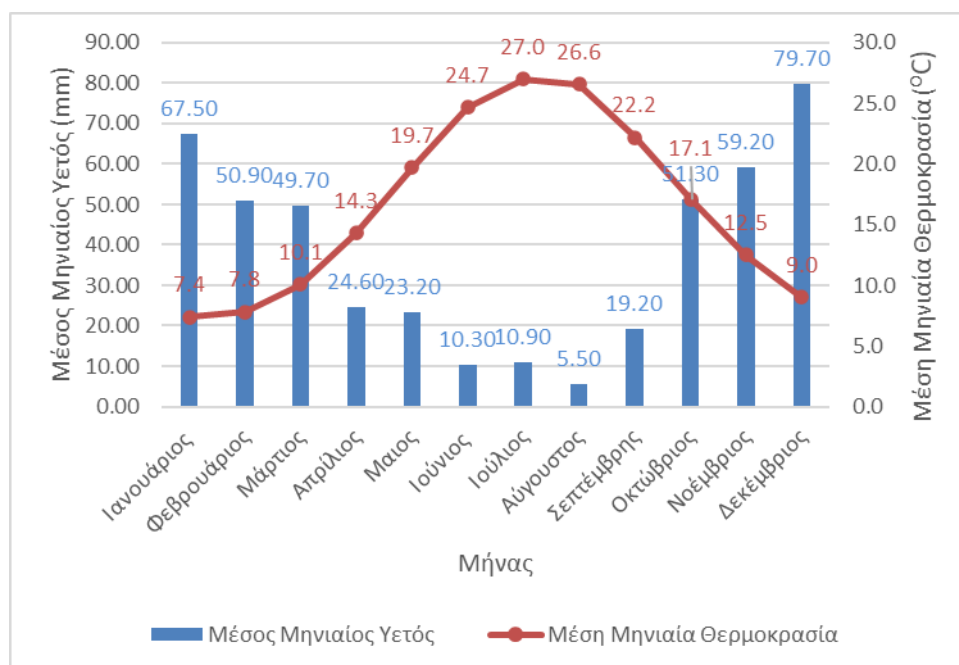
(Πηγή: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών- ΙΓΜΕ & Μαριολάκος κ.α. 2001)

2.1.4. Κλιματικές Συνθήκες

Γενικά το κλίμα της Αττικής είναι εύκρατο και χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, ενώ είναι γενικά ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου (Στιβάκης, 2017). Σαφώς υπάρχουν διαφορές ανά τόπους που προκύπτουν από το υψόμετρο και την απόσταση από την θάλασσα, καθώς και το μικροκλίμα και τους τοπικούς παράγοντες κάθε περιοχής. Παρόλο που χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, το κλίμα της Αθήνας έχει αρκετά μεγάλη διαφορά στο εύρος των θερμοκρασιών μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα σε σχέση με άλλες περιοχές της χώρας. Έχει μέση ετήσια θερμοκρασία 18.3 βαθμούς Κελσίου (Μπουλάλα και Μουζάκη, 2003). Δεν είναι λίγες οι φορές που η θερμοκρασία φτάνει αλλά και υπερβαίνει τους 40 βαθμούς (καύσωνας). Θερμότερος μήνας θεωρείται ο Ιούλιος, ενώ ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος (Στιβάκης, 2017). Τα τελευταία χρόνια, εντονότερες χιονοπτώσεις εμφανίζονται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η Αθήνα φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια της και

μάλιστα η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα αλλά και στην Ευρώπη είναι αυτή των 48.0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977 στο Τατόι. Βροχοπτώσεις παρουσιάζονται κυρίως από τα τέλη Σεπτεμβρίου έως και τα μέσα Απριλίου. Την υπόλοιπη διάρκεια του έτους οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες.

Ειδικότερα για την Πάρνηθα, από άποψη κλιματολογικών συνθηκών διαφέρει από τα υπόλοιπα βουνά της Αττικής, καθώς έχει πάνω από 700 mm ετήσιο υετό, 110 βροχερές ημέρες, 22 ημέρες χιονόπτωσης, με τον παγετό και την ομίχλη να αποτελούν συχνότατα φαινόμενα (Ξανθάκης, 2011). Συγκεκριμένα, την ημέρα της καταστροφικής πυρκαγιάς, στην ευρύτερη περιοχή έπνεαν άνεμοι με μέσες εντάσεις 2-4 Bf, ενώ η θερμοκρασία ήταν σε κανονικά, για την εποχή, επίπεδα. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζονται ο μέσος μηνιαίος υετός και η μέση μηνιαία θερμοκρασία για τον σταθμό στο Τατόι για τα έτη 1956-2010. Ιδιαίτερα αυξημένος υετός και μειωμένη θερμοκρασία παρατηρείται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και αυξημένη θερμοκρασία και μειωμένος υετός παρατηρείται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.



Εικόνα 9: Ομβροθερμικό Διάγραμμα για τον σταθμό στο Τατόι (1956-2010)

(Πηγή δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, ΕΜΥ)

2.1.5. Δασική Βλάστηση

Η βλάστηση στην Πάρνηθα είναι αποτέλεσμα συνεπίδρασης πολλών παραγόντων και κυρίως της χλωρίδας, του γενικού κλίματος, της ορογραφικής διαμόρφωσης, της πετρολογικής και γεωλογικής σύστασης, του εδάφους, αλλά και της ανθρώπινης επίδρασης, η οποία εμφανίζεται στην ιστορική εξέλιξη και την οικονομική δομή της περιοχής. Η βλάστηση αλλάζει όσο διαφοροποιείται το υψόμετρο (Χριστοδούλου, 2015).

Γενικά, στην Πάρνηθα διακρίνονται τρεις ζώνες βλάστησης (WWF, 2010):

- Η πρώτη ζώνη εκτείνεται από τα 400 έως τα 1,000 m περίπου. Σε αυτή τη ζώνη κυριαρχούν τα δάση Χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*), οι σχηματισμοί με *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo* και *Arbutus andrachne*, καθώς και φρυγανικά οικοσυστήματα. Στα ανώτερα της ζώνης αυτής, η χαλέπιος πεύκη σχηματίζει μικτό δάσος με την Κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*).
- Η δεύτερη ζώνη εκτείνεται από τα 1,000 m περίπου στις νότιες εκθέσεις του βουνού (από τα 600–700 m στις βόρειες εκθέσεις) μέχρι τα 1,400 m και κυριαρχείται από δάσος Κεφαλληνιακής ελάτης. Υπάρχουν επίσης συστάδες με *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, καθώς και κάποια λιβαδικά είδη στα οροπέδια. Ας σημειωθεί ότι εξαιτίας των αναδασωτικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν το διάστημα 1950–1970, το δάσος Κεφαλληνιακής ελάτης δεν είναι αμιγές, αλλά σε αρκετά σημεία αναμιγνύεται με Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*), η οποία δεν είναι αυτόχθονη της περιοχής.
- Η τρίτη ζώνη βλάστησης παρατηρείται στις υψηλότερες κορυφές του βουνού. Αυτή η ζώνη είναι υποπλασμένη και περιλαμβάνει μικρούς αγκαθωτούς, μαξιλαρόμορφους θάμνους, μαζί με αρκετά ενδημικά και σπάνια είδη. Αυτός ο τύπος βλάστησης πιθανόν έχει προκύψει από την υποβάθμιση του δάσους Κεφαλληνιακής ελάτης και επομένως, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αυθεντική υποαλπική ζώνη.

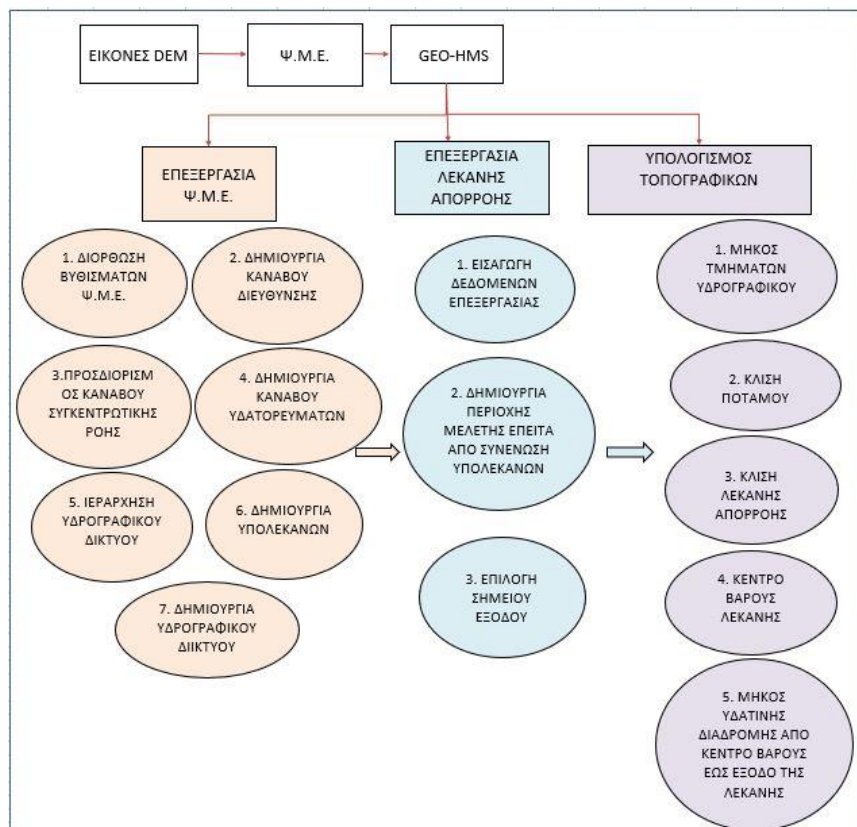
Ειδικότερα, το Τατόι, αναφέρεται ως «*Δημόσιο Πευκοδάσος Τατοΐου*» και αυτό γιατί η χαλέπιος πεύκη πρωταγωνιστεί σε αυτό (<https://www.naturagraeca.com>). Η βλάστηση εκεί αποτελεί αποτέλεσμα διαχρονικής συστηματικής φύτευσης και διαχείρισης. Ανάμεσα στα δέντρα της χαλεπίου πεύκης συναντά κανείς μαυρόπευκα, τραχείες πεύκες, πουρνάρια, αριές, χνουδοβελανιδιές, λεύκες, πλατάνια, φτελιές, κυπαρίσσια, αγριόκεδρα, κουμαριές, αγριαχλαδιές, σκίνα, κισσούς, κ.ά. (<https://www.naturagraeca.com>). Εδώ απαντώνται και πολλά ενδιαφέροντα είδη φυτών. Από αυτά ξεχωρίζουν ο κρίνος (*Lilium chalcedonicum*), ο κρόκος (*Crocus cancellatus mazziaricus*), η κυανή ανεμώνη (*Anemone blanda*), η φριτιλάρια (*Fritillaria obliqua*), η βιόλα (*Viola odorata*), η καμπανούλα (*Campanula spatulata spruneriana*), ο νάρκισσος (*Narcissus tazetta*), η κίτρινη τουλίπα (*Tulipa australis*), το αγριόσκορδο (*Allium roseum*), η ίριδα (*Iris sintenisii*) και οι ορχιδέες (*Aceras anthropophorum*, *Cephalanthera damasonium*, *Anacamptis papilionacea*, *A. pyramidalis*, *Orchis provincialis*, *O. quadripunctata*, *Ophrys cinereophila*, *O. leochroma*, *O. leucadica*, *O. oestifera* και *O. Perpusilla*) (<https://www.naturagraeca.com>).

Παρόλα αυτά, η βλάστηση της Πάρνηθας υπέστη σοβαρές καταστροφές κατά την πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στο Δρυμό την 28η Ιουνίου 2008. Από τις καταγραφές που υπάρχουν, η πυρκαγιά φαίνεται ότι εκδηλώθηκε αρχικά σε πυκνόφυτη δασική έκταση με πυκνή και εξαιρετικά ξηρή διαθέσιμη καύσιμη ύλη. Τέλος, αν και οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς στα σημαντικά είδη χλωρίδας της Πάρνηθας είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, σύμφωνα με στοιχεία του Δασαρχείου Πάρνηθας, κάηκαν συνολικά 21,800 στρέμματα δάσους Κεφαλληνιακής ελάτης, 10,561.98 στρέμματα Χαλεπίου πεύκης και 3,976.2 στρέμματα με αείφυλλα-πλατύφυλλα. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα είδη που είναι πιο πιθανό να έχουν επιβιώσει της φωτιάς είναι εκείνα που διαθέτουν τις κατάλληλες λειτουργικές δομές και προσαρμογές. Για παράδειγμα, είδη που έχουν δυνατότητα παραβλάστησης, υπόγειο αναπαραγωγικό τμήμα, ή διαθέτουν ανθεκτική στη φωτιά τράπεζα σπερμάτων, θα μπορούσαν υπό προϋποθέσεις να επιβιώσουν.

2.2.Υδρολογική προσομοίωση λεκάνης απορροής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο για την υδρολογική προσομοίωση του τμήματος της λεκάνης απορροής του Κηφισού. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον έχει ολοκληρωθεί η γεωμορφολογική μελέτη της λεκάνης απορροής, ακολουθεί η υδρολογική μελέτη με τελικά εξαχθέντα τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για διαφορετικές διάρκειες βροχόπτωσης και περιόδους επαναφοράς.

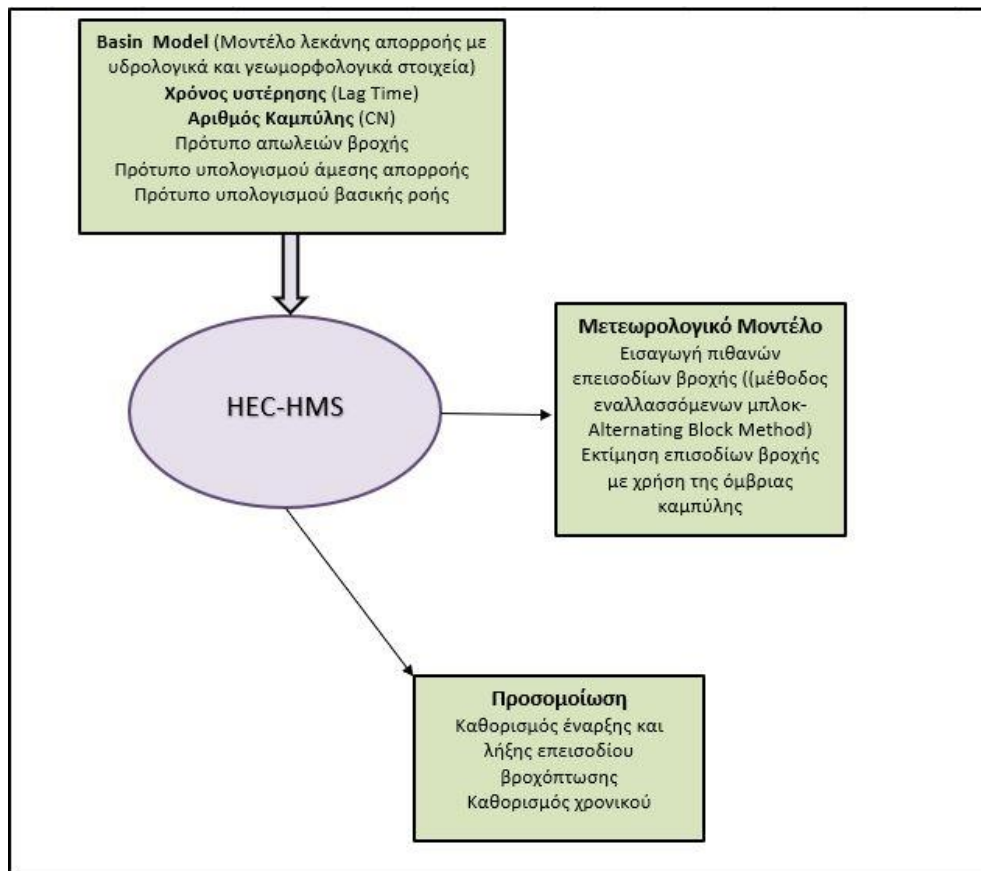
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την υδρολογική προσομοίωση του τμήματος της λεκάνης απορροής του Κηφισού παρουσιάζεται αναλυτικά στην Εικόνα 10. Πιο συγκεκριμένα, εισήχθησαν στο πρόγραμμα ArcGIS ψηφιακά αρχεία με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος, τα οποία συνενώθηκαν (mosaic to new raster) και παρήχθηκε το ενιαίο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ, DTM). Στη συνέχεια, με χρήση της βιβλιοθήκης HEC-GeoHMS, έγινε επεξεργασία του ΨΜΕ, δηλαδή έγινε διόρθωση των βυθισμάτων του, δημιουργία του κανάβου διεύθυνσης της απορροής, προσδιορισμός του κανάβου συγκεντρωτικής ροής, δημιουργία του κανάβου υδατορευμάτων, ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου, δημιουργία των υπολεκανών και τελικά δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία της λεκάνης απορροής, δημιουργώντας την περιοχή μελέτης έπειτα από την συνένωση των υπολεκανών και επιλέγοντας το σημείο εξόδου της λεκάνης. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, δηλαδή το μήκος των τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου, η κλίση του υδρογραφικού δικτύου, η κλίση της λεκάνης απορροής, το κέντρο βάρους της λεκάνης απορροής και το μήκος της διαδρομής από το κέντρο βάρους έως την έξοδο της λεκάνης.



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-geoHMS

Το λογισμικό υδρολογικής προσομοίωσης (HEC-HMS) έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τις πλήρεις υδρολογικές διεργασίες των δενδριτικών συστημάτων λεκάνης απορροής (Κουρουπάκη, 2021). Το HEC-HMS περιλαμβάνει επίσης διαδικασίες απαραίτητες για συνεχή προσομοίωση, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής, της τήξης χιονιού και της καταμέτρησης της υγρασίας του εδάφους. Παρέχονται συμπληρωματικά εργαλεία ανάλυσης για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου, την πρόβλεψη ροής, τη μείωση της περιοχής βάθους, την αξιολόγηση της αβεβαιότητας του μοντέλου, τη μεταφορά φερτών και την ποιότητα του νερού.

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την κατάρτιση του εννοιολογικού μοντέλου της περιοχής μελέτης στο λογισμικό HEC-HMS. Τα αρχεία εισόδου είναι το μοντέλο της λεκάνης απορροής (Basin Model) με τα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής, ο χρόνος υστέρησης (Lag Time), ο αριθμός καμπύλης (CN), το πρότυπο απωλειών βροχής (Loss Method: SCS Curve Number) και το πρότυπο μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροή (Transform Method: SCS Unit Hydrograph). Στη συνέχεια δημιουργούνται τα μετεωρολογικά μοντέλα και εισάγονται τα μεμονωμένα επεισόδια βροχής που έχουν παραχθεί με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Τα μεμονωμένα επεισόδια βροχόπτωσης δημιουργήθηκαν κάνοντας χρήση της όμβριας καμπύλης για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής η οποία προτάθηκε από τους Mimikou et al. (2000). Τέλος, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση αφού πρώτα καθορίστηκε η έναρξη και η λήξη του κάθε επεισοδίου βροχόπτωσης καθώς και το χρονικό βήμα αυτού.



Εικόνα 11: Σχηματική Απεικόνιση διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-HMS

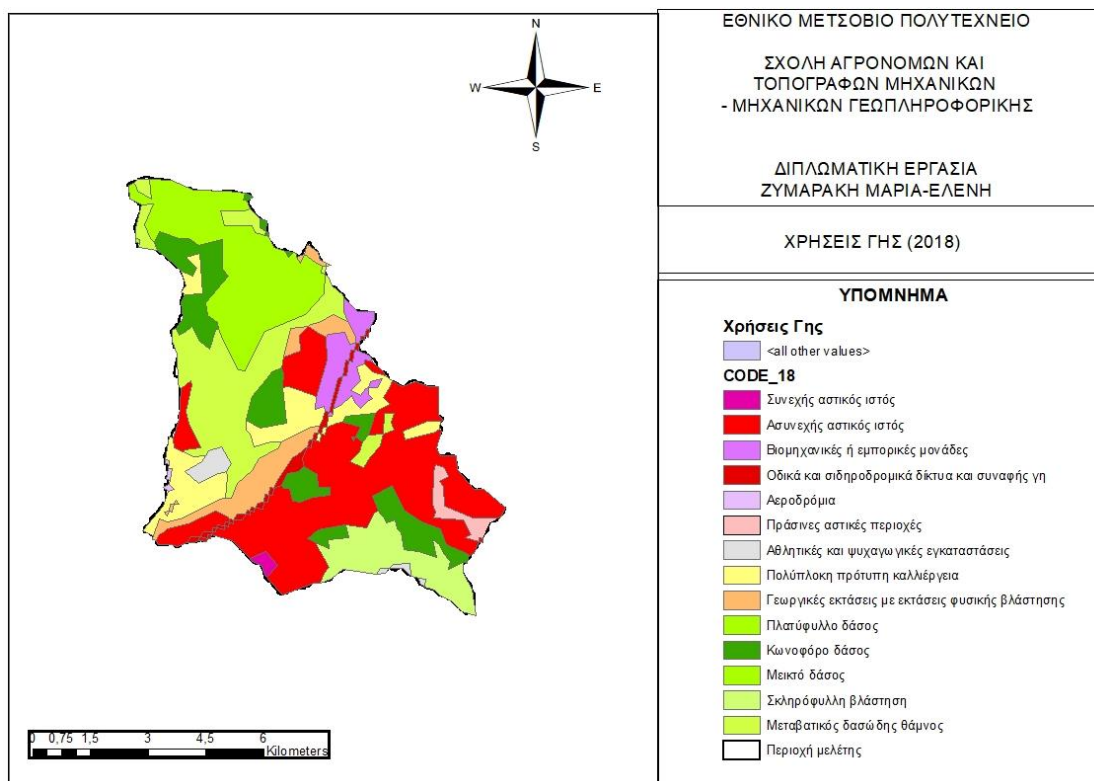
Ο χρήστης επιλέγει ποια διαδικασία προσομοίωσης ταιριάζει καλύτερα στην περιοχή μελέτης του, καθώς και στις απαιτήσεις και τους στόχους του. Ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη, το μοντέλο προσομοίωσης ανακατασκευάζεται απομονώνοντας τον υδρολογικό κύκλο σε μικρότερα και πιο εύκολα διαχειρίσιμα τμήματα (Scharffenberg and Fleming, 2010). Οι δυνατότητες προσομοίωσης του HEC-HMS περιλαμβάνουν τα εξής:

- Φυσική προσομοίωση της λεκάνης απορροής και διαχείριση των συνιστωσών της
- Μοντελοποίηση των υπολεκανών (πρότυπα εκτίμησης απωλειών βροχής, πρότυπα υπολογισμού βασικής απορροής, πρότυπα υπολογισμού άμεσης απορροής, πρότυπα διόδευσης πλημμυρογραφήματος)
- Μοντελοποίηση υδατορευμάτων (μέθοδοι διόδευσης) και ταμιευτήρων (σχέσης επιφάνειας–αποθέματος, χρήση υπερχειλιστών κ.α.)
- Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου
- Υπολογισμός υδρολογικών παραμέτρων
- Υδρολογικός Σχεδιασμός
- Βαθμονόμηση
- Ανάλυση αβεβαιότητας

2.2.1. Γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής

Η ανάλυση των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού ArcMap 10.5.1. (ArcGIS- ESRI) και μέσω της πρόσθετης επέκτασης HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension). Πρόκειται για ένα γεωχωρικό υδρολογικό εργαλείο που αναπτύχθηκε από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας (Hydrologic Engineering Center–HEC) του Σώματος Μηχανικών του Αμερικάνικου Στρατού (US Army Corps of Engineers–USACE), το οποίο χρησιμοποιεί το λογισμικό ArcGIS και την επέκταση Spatial Analyst με σκοπό τη δημιουργία αρχείων εισόδου για την υδρολογική προσομοίωση στο πρόγραμμα HEC-HMS. Το ArcGIS και η επέκταση του Spatial Analyst είναι διαθέσιμα από το Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). Το πρόγραμμα επιτρέπει την οπτικοποίηση χωρικής πληροφορίας, την καταγραφή χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής και την οριοθέτηση υπολεκανών και ρεμάτων (Fleming και Doan, 2010).

Ως αρχεία εισόδου για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακά αρχεία με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος, οι οποίες συνενώθηκαν (mosaic to new raster) και παρήγαγαν το ενιαίο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ΨEM–DEM) και το υδρογραφικό δίκτυο του Κηφισού. Επιπλέον, εισήχθησαν στο πρόγραμμα και οι χρήσεις γης με βάση το Corine Land Cover (2018) του Copernicus (Εικόνα 12) και οι καμένες εκτάσεις μετά την πυρκαγιά το 2021 (EFFIS- European Forest Fire Information System) (Εικόνα 7).



Εικόνα 12: Χρήσεις Γης (2018) στην περιοχή ενδιαφέροντος

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης κατά το 2018, η έκταση που καλύπτουν και το ποσοστό τους σε σχέση με τη συνολική έκταση της λεκάνης απορροής. Παρατηρείται πως τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής καταλαμβάνει ο ασυνεχής αστικός ιστός (17,158,389, 29.15 %), ενώ τη μικρότερη καταλαμβάνει το πλατύφυλλο δάσος (10,000.000, 0.02 %). Αναλυτικά, οι χρήσεις γης που χαρακτηρίζουν την περιοχή μελέτης είναι οι εξής (με φθίνουσα σειρά σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν):

- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Μεικτό δάσος
- Μεταβατικός δασώδης θάμνος
- Κωνοφόρο δάσος
- Πολύπλοκη πρότυπη καλλιέργεια
- Σκληρόφυλλη βλάστηση
- Γεωργικές εκτάσεις με εκτάσεις φυσικής βλάστησης
- Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες
- Πράσινες αστικές περιοχές
- Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφής γη
- Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις
- Συνεχής αστικός ιστός
- Αεροδρόμια
- Πλατύφυλλο δάσος

Πίνακας 2: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης κατά το 2018

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
111	Συνεχής αστικός ιστός	212,678	0.36
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	17,158,389	29.15
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	2,137,316	3.63
122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφής γη	814,722	1.38
124	Αεροδρόμια	67,904	0.12
141	Πράσινες αστικές περιοχές	835,775	1.42
142	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	695,602	1.18
242	Πολύπλοκη πρότυπη καλλιέργεια	5,045,184	8.57
243	Γεωργικές εκτάσεις με εκτάσεις φυσικής βλάστησης	3,164,032	5.38
311	Πλατύφυλλο δάσος	10,000	0.02
312	Κωνοφόρο δάσος	6,461,517	10.98
313	Μεικτό δάσος	9,629,305	16.36
323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	3,932,610	6.68
324	Μεταβατικός δασώδης θάμνος	8,696,067	14.77

Ως αρχεία εξόδου του Hec-geoHMS και, συνεπώς, αρχεία εισόδου στο λογισμικό HEC-HMS είναι τα ακόλουθα:

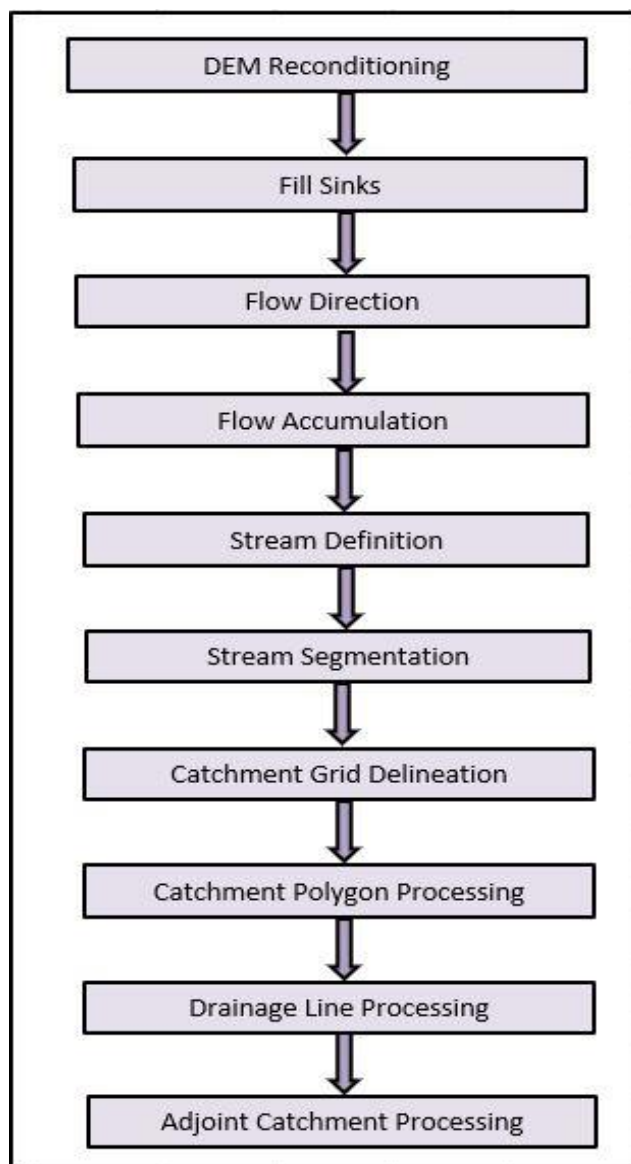
- Το αρχείο χάρτη (background map file), στο οποίο οπτικοποιούνται η λεκάνη απορροής καθώς και το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης, και
- το αρχείο μοντέλου λεκάνης απορροής (basin model file), το οποίο περιέχει τα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης.

Τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου, τα οποία απαιτούνται για τη λειτουργία του HEC-HMS, είναι το μετεωρολογικό μοντέλο και ορισμένες παράμετροι για την εφαρμογή των μαθηματικών ομοιομάτων του λογισμικού HEC-HMS. Συνοπτικά, οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- Δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους,
- Προ-επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους,
- Επεξεργασία της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος,
- Εξαγωγή υδρολογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων,
- Προετοιμασία του αρχείου της λεκάνης απορροής και ο προσδιορισμός των προτύπων υπολογισμού υδρολογικών παραμέτρων και η δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS.

2.2.2. Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία των υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, μέσω της εργαλειοθήκης HEC- GeoHMS και των εντολών του μενού Preprocessing, με τη σειρά που παρουσιάζονται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας ΨΜΕ

Αναλυτικά οι εντολές παρουσιάζονται παρακάτω.

- **DEM Reconditioning:** Με αυτή την εντολή τροποποιείται το έδαφος με την ανακατανομή των κελιών του κανάβου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, κατά μήκος των ρεμάτων, με σκοπό τη διόρθωση ελλειπών ή λανθασμένων υψομέτρων που προέκυψαν κατά την υψομετρική αποτύπωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ακριβέστερη αποτύπωση της κοίτης του ποταμού (Εικόνα 14).

- **Fill Sinks:** Με τη συγκεκριμένη εντολή απαλείφονται τυχόν ψευδή βυθίσματα, δηλαδή ένα ή περισσότερα φατνία (cells) με μικρότερη τιμή υψομέτρου από τα γειτονικά τους) στο ανάγλυφο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Εικόνα 14), ώστε να μην απομονώνουν τμήματα της λεκάνης. Αυξάνεται το υψόμετρο των φατνίων του περιβάλλοντος εδάφους και το νερό δεν εγκλωβίζεται εμποδίζοντας τη ροή του και συνεπώς την υδρολογική ανάλυση (Εικόνα 15).



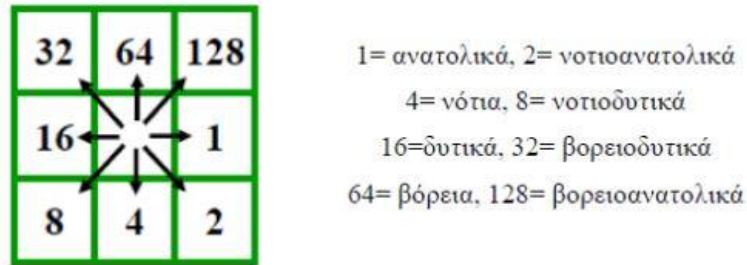
Εικόνα 14: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους



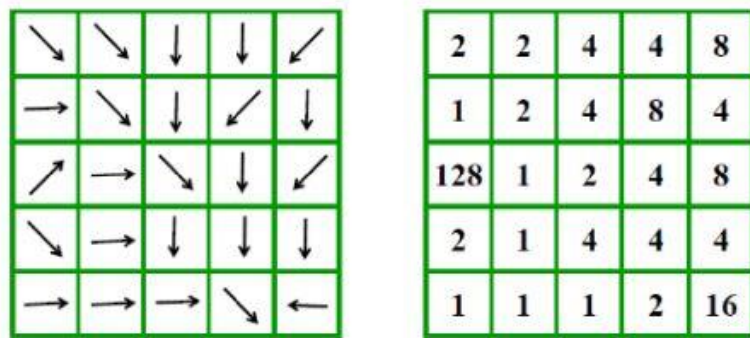
Εικόνα 15: Fill Sinks (Διόρθωση Βυθισμάτων)

- **Flow Direction:** Δημιουργία του κανάβου διεύθυνσης απορροής. Η βασική αρχή του κανάβου απορροής είναι ότι η απορροή ξεκινά από κάθε φατνίο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προς ένα και μόνο φατνίο από τα 8 γειτονικά του, ανάλογα με τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης. Η κλίση μεταξύ δύο γειτονικών φατνίων υπολογίζεται ως η διαφορά των υψομέτρων τους διαιρεμένη
- με το 1, αν το εν λόγω φατνίο βρίσκεται οριζόντια ή κάθετα του αρχικού ή
 - με το $\sqrt{2}$, αν το εν λόγω φατνίο βρίσκεται διαγώνια.

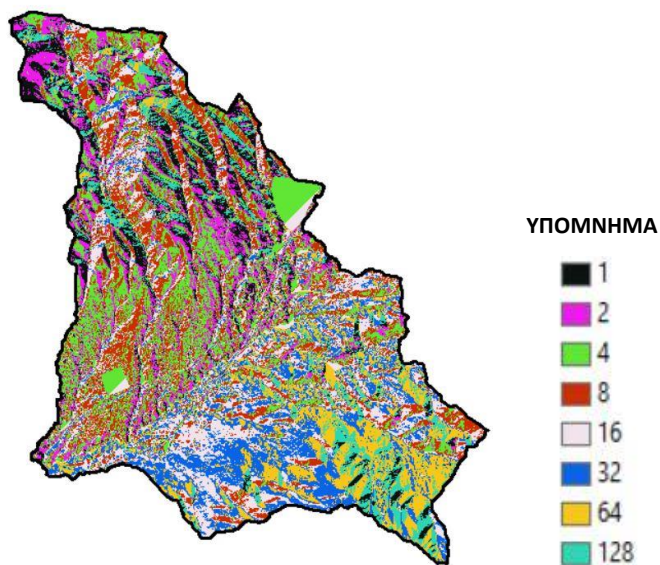
Ανάλογα με τη διεύθυνση της απορροής, κάθε φατνίο παίρνει μία τιμή όπως φαίνεται στην Εικόνα 16 και Εικόνα 17 (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013). Εφαρμόζεται στον κানাβο υψομέτρου και υπολογίζει για κάθε φατνίο προς τα που θα κατευθυνθεί η ροή (Εικόνα 18).



Εικόνα 16: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με τη διεύθυνση απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)

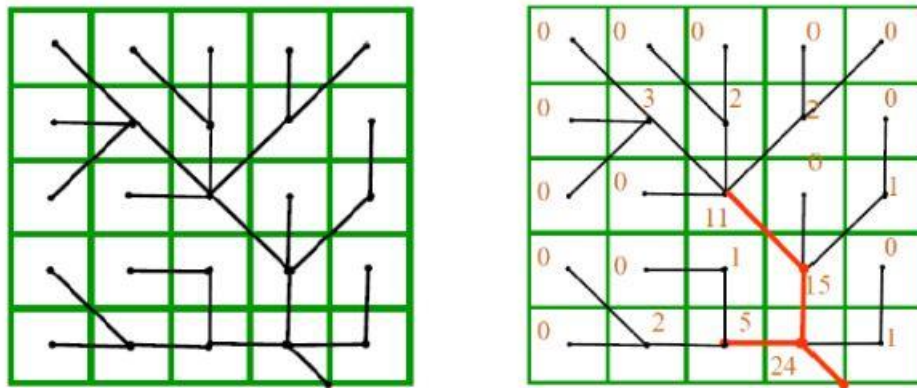


Εικόνα 17: Κάναβος διευθύνσεων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)



Εικόνα 18: Κάναβος διεύθυνσης απορροής για την περιοχή μελέτης

- **Flow accumulation:** Προσδιορισμός κανάβου συγκεντρωτικής ροής. Εφόσον έχει γίνει η υλοποίηση του κανάβου διεύθυνσης απορροής ακολουθεί η δημιουργία του κανάβου της συγκεντρωτικής ροής. Η συγκεντρωτική ροή κάθε φατνίου του κανάβου, ανάντη της κοίτης, είναι ίση με το άθροισμα των φατνίων που αποστραγγίζονται σε αυτό από τα γειτονικά του. Έτσι σε κάθε φατνίο καταχωρείται μια τιμή, η οποία φανερώνει τον αριθμό των φατνίων διαμέσου των οποίων διέρχεται το νερό (Εικόνα 19). Τα φατνία με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισγάγγειες, ενώ αυτά με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές. Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται ο κανάβος που παράχθηκε.



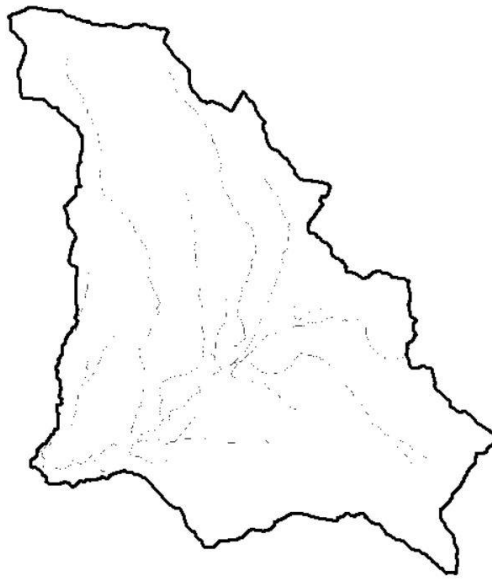
Εικόνα 19: Κανάβος πλήθους φατνίων απορροής

(Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)



Εικόνα 20: Κανάβος συγκεντρωτικής ροής

- Stream Definition: Δημιουργία κανάβου υδατορευμάτων. Με την εντολή αυτή δημιουργείται ένας κανάβος υδατορευμάτων έχοντας ως κανάβο εισόδου εκείνον της συγκεντρωτικής απορροής και ορίζοντας ένα κατώφλι (Εικόνα 21). Το κατώφλι είναι μια ελάχιστη τιμή οριοθέτησης ποταμού που επιλέγεται από το χρήστη. Για τιμές μικρότερες του κατωφλίου, γίνεται η παραδοχή ότι δεν υφίσταται συγκεντρωτική ροή. Όσο μικρότερο είναι το κατώφλι που επιλέγεται τόσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και ο αριθμός των υπολεκανών που θα σχηματιστούν.



Εικόνα 21: Κάναβος υδατορευμάτων

- Stream segmentation: Ιεράρχηση υδρογραφικού δικτύου

Σε αυτό το στάδιο προεπεξεργασίας, γίνεται ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου με τον συνδυασμό των κανάβων του υδρογραφικού δικτύου και της διεύθυνσης απορροής. Πρόκειται για τα τμήματα του υδατορεύματος που συνδέουν με επιτυχία δύο διαδοχικούς κόμβους (junctions), έναν κόμβο με την έξοδο της λεκάνης (outlet) ή ένα κόμβο με τμήμα της απορροής. Η εικόνα που δημιουργείται, διαφέρει με αυτή της προηγούμενης εντολής, ανάλογα με την τον αριθμό των παραπόταμων που λαμβάνεται και ανάλογα με τη μέθοδο ιεράρχησης που υιοθετείται.

- Catchment grid delineation & Catchment polygon processing & Adjoint catchment processing: (Δημιουργία και επεξεργασία υπολεκανών)

Η εντολή "Catchment grid delineation" δημιουργεί υπολεκάνες για κάθε τμήμα του υδρογραφικού δικτύου. Μέσω της εντολής "Catchment polygon processing" οι υπολεκάνες που δημιουργήθηκαν μετατρέπονται σε διανυσματική μορφή (Εικόνα 22).

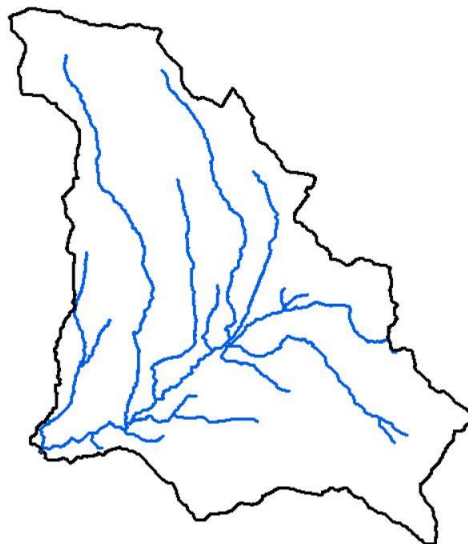
Έπειτα εφαρμόζεται η εντολή "Adjoint catchment processing" κατά το οποίο αθροίζονται οι ανάντη υπολεκάνες σε κάθε συμβολή του υδατορεύματος. Ωστόσο, το βήμα αυτό δεν έχει κάποια υδρολογική σημασία. Στην εν λόγω περίπτωση έγινε συνένωση του συνόλου των υπολεκανών σε μία, την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 22: Οριοθέτηση υπολεκανών απορροής

➤ Drainage line processing

Με αυτή την εντολή γίνεται η μετατροπή του αρχείου grid του υδρογραφικού δικτύου σε διανυσματική μορφή. Στην Εικόνα 23 εμφανίζεται η λεκάνη απορροής και το δίκτυο ροής της περιοχής.



Εικόνα 23: Λεκάνη απορροής και δίκτυο ροής περιοχής μελέτης

2.2.3. Απώλειες Βροχής

Από την ποσότητα της βροχής, πριν αυτή φτάσει στο έδαφος, ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και καλείται συγκράτηση (interception). Συνήθως το μέρος αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκόμη και εξατμίζεται λέγεται απώλεια συγκράτησης (interception loss). Η απώλεια συγκράτησης είναι προφανώς συνάρτηση της πυκνότητας και του τύπου της βλάστησης. Επομένως, η απώλεια αυτή μπορεί να είναι σημαντική κυρίως σε περιπτώσεις πυκνής κάλυψης (Τσακίρης, 2013). Σε δασικές περιοχές υγρού κλίματος έχουν παρατηρηθεί απώλειες συγκράτησης που φτάνουν μέχρι και το 25 % του ετήσιου βροχομετρικού ύψους (Τσακίρης, 2013). Επίσης, σε περιοχή που έχασε όλη της τη βλάστηση τον επόμενο χρόνο παρατηρήθηκε επιπλέον απορροή που σε ισοδύναμο ύψος έφτασε τα 346 mm από τα 1304 mm που ήταν το συνολικό ετήσιο βροχομετρικό ύψος (Pierce et al., 1970).

Χρονικά έπεται η πτώση της βροχής στο έδαφος που ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης που με τη σειρά του συμπεριλαμβάνεται στις απώλειες βροχής. Το φαινόμενο της διήθησης, όπως και της συγκράτησης που προηγείται, μπορεί να παρακολουθηθεί αναλυτικά με τη μέτρηση της αθροιστικής διήθησης (του συνολικού όγκου νερού που διηθήθηκε) ή με τη μέτρηση της ταχύτητας διήθησης (ταχύτητα με την οποία το νερό εισέρχεται στο έδαφος από την επιφάνεια του) σε κάθε χρονική στιγμή (Τσακίρης, 2013). Η ταχύτητα διήθησης του νερού της βροχής εξαρτάται από δύο παράγοντες: (α) τη διηθητικότητα του εδάφους (δηλαδή την ικανότητα του εδάφους για διήθηση), και (β) την ένταση της βροχής. Η μέγιστη ταχύτητα διήθησης παρουσιάζεται συνήθως στην αρχή της βροχής και κυρίως σε εποχές ξηρασίας που η υγρασία του εδάφους βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Τσακίρης, 2013).

Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και των απωλειών διήθησης και εφόσον η βροχή εξακολουθεί, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του ανάγλυφου. Ακολουθεί η επιφανειακή αποθήκευση. Το νερό που συγκεντρώνεται σ' αυτές τις κοιλότητες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί, επίσης, απώλεια (Τσακίρης, 2013). Η επιφανειακή απορροή που είναι απαλλαγμένη από κάθε είδους απώλειες καλείται καθαρή βροχή. Όμως στην απορροή είναι δύσκολο να απομονωθεί η επιφανειακή απορροή, επειδή στο μέρος της επιπλέον απορροής που ακολουθεί ένα γεγονός βροχής, γνωστής ως άμεσης απορροής, εμπειρίζεται και η ταχεία υπεδάφια ροή (Τσακίρης, 2013).

Όσον αφορά στην εξατμισοδιαπνοή, σε μεγάλη χρονική κλίμακα (ετήσια ή υπερετήσια), αποτελεί την διαφορά ανάμεσα στα κατακρημνίσματα και την απορροή της υδρολογικής λεκάνης. Σε μικρότερη κλίμακα (ωριαία) οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής στη διάρκεια ενός γεγονότος βροχόπτωσης θεωρούνται αμελητέες, σε σύγκριση με τον όγκο απορροής λόγω της έντασης της βροχόπτωσης (Καψάλης, 2009). Επιπλέον, οι διαφορές ανάμεσα στον όγκο υετού και απορροής αποδίδονται στις φυσικές διεργασίες της κατακράτησης και της διήθησης (Καψάλης, 2009).

2.2.3.1 Εκτίμηση του περισεύματος βροχής με την μέθοδο SCS

Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες, η εκτίμηση του περισεύματος της βροχής αποτελεί ουσιαστικά δύσκολο πρόβλημα. Η υπηρεσία Soil

Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής από μια δεδομένη βροχή με τη βοήθεια τριών μεταβλητών: (i) του ύψους βροχής, (ii) της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους, και (iii) των χρήσεων γης (SCS, 1972). Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας.

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

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2 \cdot S)^2}{(h_r + 0.8 \cdot S)} \quad \text{για } h_r > 0.2S \quad \text{και αν} \quad (2.1)$$

$$h_R = 0, \quad \text{για } h_r < 0.2S \quad (2.2)$$

Εκφράζοντας τις συνολικές απώλειες με μια παράμετρο, γνωστή ως αριθμός καμπύλης (Curve Number- CN), με την εξίσωση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{σε mm}) \quad \text{με } 0 \leq CN \leq 100 \quad (2.3)$$

μπορεί να προκύψει η σχέση μεταξύ h_R και h_r .

Επίσης, με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων πέντε ημερών διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την πρότερη κατάσταση υγρασίας του εδάφους. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, η πρώτη κατηγορία αφορά στην χαμηλή υγρασία του εδάφους, η δεύτερη στη μεσαία και η τρίτη στην υψηλή υγρασία εδάφους.

Πίνακας 3: Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972)

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

Οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας για κάθε κατηγορία (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006) είναι:

- **Κατηγορία I:** Τα εδάφη είναι στεγνά, αλλά όχι στο σημείο μόνιμης μάρανσης και όταν λαμβάνει χώρα ικανή άροση ή καλλιέργεια.
- **Κατηγορία II:** Η μέση περίπτωση για ετήσιες πλημμύρες, δηλαδή ένας μέσος όρος των συνθηκών που προηγήθηκαν της μέγιστης ετήσιας πλημμύρας σε αρκετές λεκάνες απορροής.
- **Κατηγορία III:** Έντονη βροχόπτωση ή ελαφρά βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες έχουν συμβεί τις τελευταίες μέρες πριν τη δεδομένη καταιγίδα και το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο.

Για τον προσδιορισμό του αριθμού καμπύλης CN, η μέθοδος SCS κατατάσσει, επίσης, τα εδάφη σε τέσσερις κατηγορίες με βάση τη διαπερατότητά τους. Οι κατηγορίες από υδρολογική άποψη είναι (Τσακίρης, 2013):

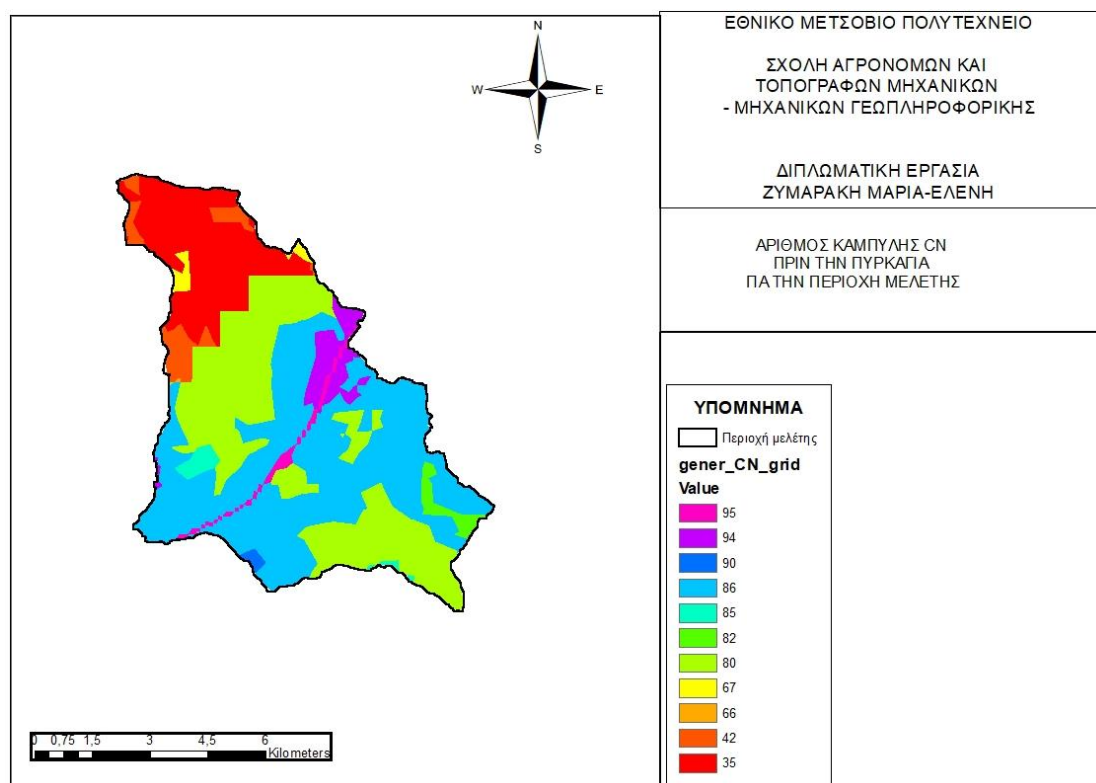
- **Κατηγορία Α:** Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη.
- **Κατηγορία Β:** Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφράς σύστασης εδάφη.
- **Κατηγορία C:** Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. 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.

Για τον καθορισμό της τιμής του αριθμού καμπύλης είναι απαραίτητη η γνώση των χρήσεων γης και της γεωλογίας της περιοχής μελέτης. Σε περιβάλλον GIS προσδιορίστηκαν τα πολύγωνα χρήσεων γης, η κατηγορία του εδάφους και ο βαθμός υδατοπερατότητάς της. Πιο αναλυτικά, έγινε εισαγωγή του χάρτη χρήσεων γης Corine Land Cover 2018 και απομονώθηκαν τα τμήματα που αφορούν την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του Πίνακα 4 αποδόθηκαν σε κάθε χρήση γης συγκεκριμένες τιμές για τις κατηγορίες διαπερατότητας A, B, C, D.

Πίνακας 4: Αριθμοί καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για την περιοχή μελέτης (ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου)

Κωδικός CORINE	Κωδικός SC	Περιγραφή	A	B	C	D
111	720	Συνεχής αστικός ιστός	69	80	87	90
112	770	Ασυνεχής αστικός ιστός	66	77	83	86
121	100	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	85	90	93	94
122	100	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφής γη	87	92	94	95
124	100	Αεροδρόμια	85	90	93	94
141	630	Πράσινες αστικές περιοχές	44	65	62	82
142	200	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	50	70	80	85
242	320	Πολύπλοκη πρότυπη καλλιέργεια	67	76	83	86
243	320	Γεωργικές εκτάσεις με εκτάσεις φυσικής βλάστησης	67	76	83	86
311	665	Πλατύφυλλο δάσος	35	61	74	80
312	665	Κωνοφόρο δάσος	35	61	74	80
313	665	Μεικτό δάσος	35	61	74	80
323	400	Σκληρόφυλλη βλάστηση	42	62	74	80
324	630	Μεταβατικός δασώδης θάμνος	42	62	74	80

Μετά την κατηγοριοποίηση προέκυψε ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 24), στον οποίο απεικονίζεται η χωρική κατανομή του αριθμού της καμπύλης CN για την περιοχή μελέτης. Η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης CN για τη λεκάνη απορροής πριν την πυρκαγιά υπολογίστηκε ίση με 75.

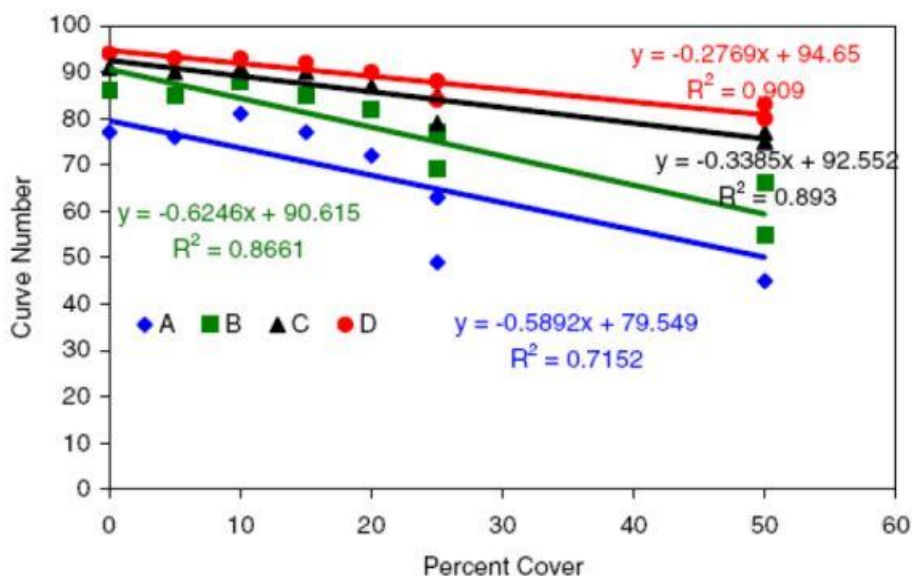


Εικόνα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος πριν την πυρκαγιά του 2021

Για την εκτίμηση του αριθμού καμπύλης CN μετά την πυρκαγιά μπορούν να ακολουθηθούν δύο τρόποι. Είτε να επιλεγθούν οι τιμές με βάση την εμπειρία των επιστημόνων, χωρίς να γίνει αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν μετά από πυρκαγιά, είτε να γίνει ακριβής υπολογισμός τους. Για παράδειγμα, σε μελέτη που ερευνώνται οι πιθανές επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών στη ροή ρεμάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ενιπέα στη Θεσσαλία (Batelis and Nalbantis, 2012), υιοθετήθηκαν οι τιμές CN μετά την πυρκαγιά μέσω της αξιοποίησης της γνώσης από προηγούμενες μελέτες. Για τύπο εδάφους A η τιμή CN πάρθηκε 77, για τύπο εδάφους B υιοθετήθηκε η τιμή 86, για τύπο εδάφους C υιοθετήθηκε η τιμή 91 και για τύπο εδάφους D υιοθετήθηκε η τιμή 94.

Παρόλα αυτά, οι μελέτες που εκτιμούν την επίδραση της πυρκαγιάς στην υδρολογική απόκριση των λεκανών απορροής, και πιο συγκεκριμένα των μεσογειακών περιοχών, είναι σπάνιες. Έτσι, η απόκτηση δεδομένων αξιόπιστων για τη σύγκριση των συνθηκών πριν και μετά τη φωτιά καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη. Επιπλέον, αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει τη μεταβολή του CN μετά από πυρκαγιά συσχετίζοντάς την τιμή του CN με την ένταση των πυρκαγιών. Ο αριθμός CN είναι ανάλογος της έντασης, δηλαδή είναι μεγαλύτερος όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της φωτιάς. Το ίδιο ισχύει και για τις πλημμυρικές αιχμές. Οι

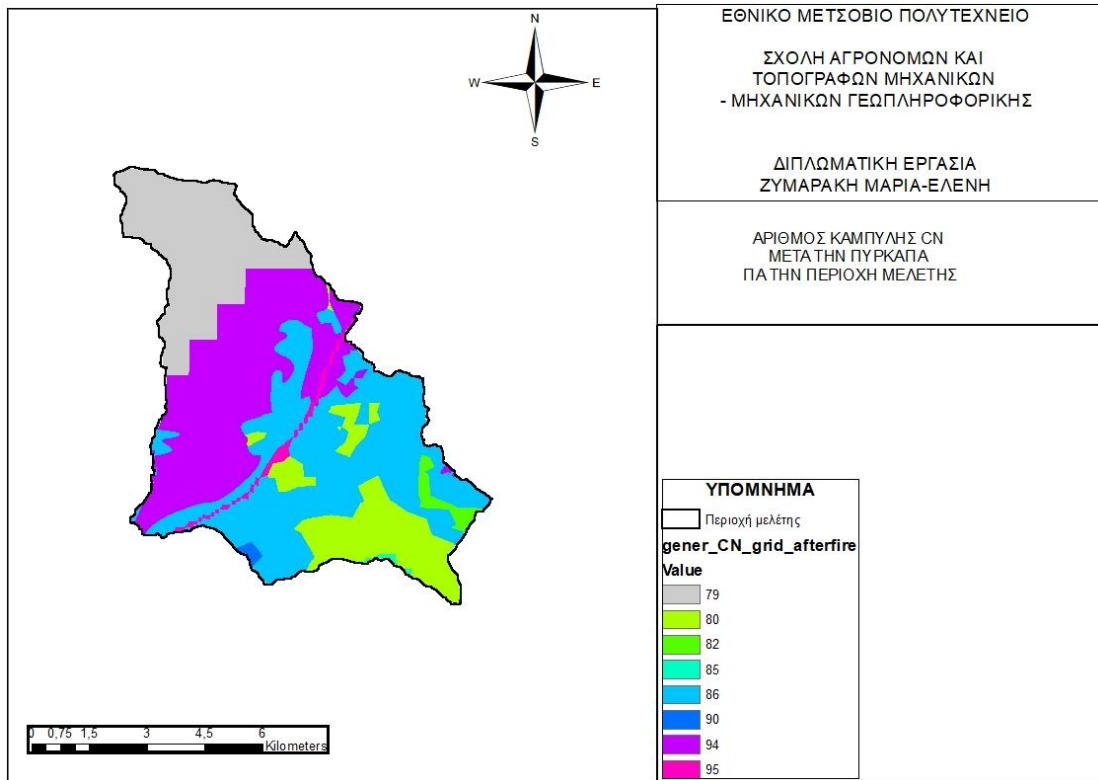
Goodrich et al. (2005) ανέπτυξαν μία μέθοδο συνδέοντας τον αριθμό καμπύλης CN με το ποσοστό της χρήσης γης που δεν έχει καεί. Συγκεκριμένα, για κάθε υδρολογική ομάδα εδάφους (A, B, C, D) συνδυάστηκαν οι τιμές CN ανάλογα με τις χρήσεις γης, με το ποσοστό κάλυψης που δεν κάηκε μετά την πυρκαγιά. Η έρευνα αυτή αναφέρεται σε φυσικές και αστικές χρήσεις γης, εξαιρουμένων των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η μέθοδος έχει ως σκοπό την τροποποίηση των τιμών του CN μετά την πυρκαγιά, ανάλογα με το ποσοστό της κάλυψης που δεν κάηκε. Με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκε το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 25) για την εκτίμηση των ομάδων A, B, C, D (Goodrich et al., 2005).



Εικόνα 25: Συσχέτιση τιμών CN με το ποσοστό κάλυψης για κάθε ομάδα υδροπερατότητας (Πηγή: Goodrich et al., 2005)

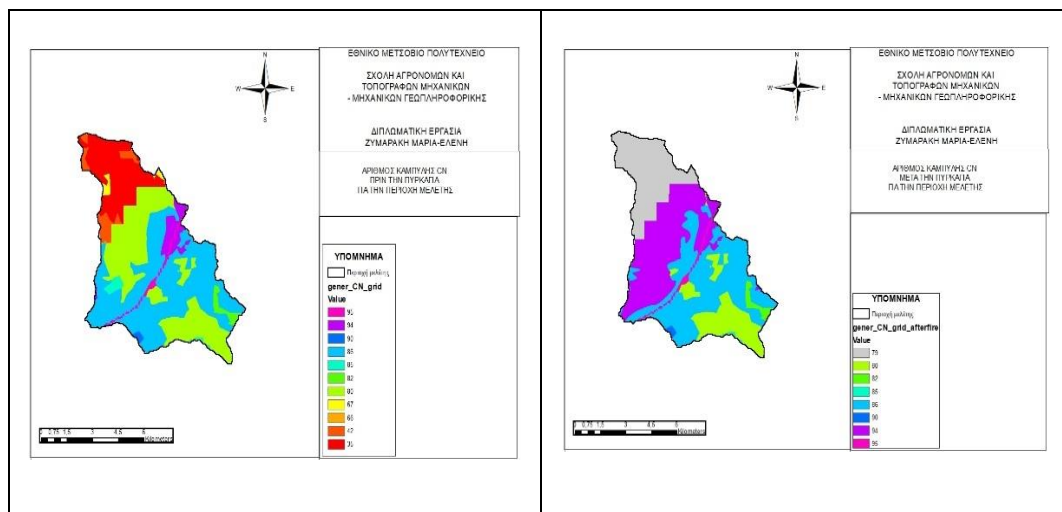
Η τιμή του CN κινείται σε μια κοινή τάξη μεγέθους για όλες τις μελέτες. Τελικά, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να υιοθετηθεί η μεθοδολογία των Goodrich et al. (2005), διότι θεωρήθηκε πιο λεπτομερής εφόσον περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των τιμών και για τις τέσσερις κατηγορίες υδροπερατότητας εδάφους και λαμβάνει υπόψιν και το ποσοστό της περιοχής που επηρέασε η πυρκαγιά. Έτσι για την παρούσα εργασία, εφόσον το ποσοστό κάλυψης που δεν επηρεάστηκε από την πυρκαγιά είναι 55 % της συνολικής έκτασης, ο αριθμός καμπύλης CN, με βάση την Εικόνα 25, λαμβάνει την τιμή 79 για την ομάδα υδατοπερατότητας A, την τιμή 90 για την ομάδα υδατοπερατότητας B, την τιμή 92 για ομάδα υδατοπερατότητας C και την τιμή 94 για ομάδα υδατοπερατότητας D.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για να αποδοθούν στις διάφορες χρήσεις γης οι νέες τιμές για τις κατηγορίες διαπερατότητας A, B, C και D, μετά την πυρκαγιά του 2021. Η διαφορά σε αυτή την περίπτωση είναι ότι δημιουργήθηκε μια νέα κατηγορία χρήσης γης για τις καμένες περιοχές, με κωδικό 334. Μετά την κατηγοριοποίηση προέκυψε ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 26), στον οποίο απεικονίζεται η χωρική κατανομή του αριθμού της καμπύλης CN για την περιοχή μελέτης. Η μέση τιμή καμπύλης CN μετά την πυρκαγιά είναι ίση με 86.



Εικόνα 26: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος μετά την πυρκαγιά του 2021

Για καλύτερη σύγκριση των αριθμών καμπύλης CN πριν και μετά την πυρκαγιά παρουσιάζονται και οι δύο εικόνες σε αντιπαράθεση (Εικόνα 27). Είναι φανερό πως μετά την πυρκαγιά ο αριθμός CN αυξήθηκε σημαντικά στις περιοχές που επηρεάστηκαν από αυτή, δηλαδή στις καμένες περιοχές. Για αυτόν τον λόγο άλλωστε η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης CN παρουσίασε αύξηση 14.6 % μετά την πυρκαγιά.



Εικόνα 27: Χωρική κατανομή αριθμού καμπύλης CN για την περιοχή ενδιαφέροντος πριν και μετά την πυρκαγιά του 2021

2.2.3.2. Όμβρια καμπύλη για την λεκάνη απορροής

Απαραίτητο στοιχείο στην μελέτη και εκτίμηση των παροχών των όμβριων υδάτων είναι η χωροχρονική εξέλιξη των βροχοπτώσεων καθώς και η παρακολούθηση της κατανομής τους (Λαζάρου, 2019). Το μαθηματικό μοντέλο της στατιστικής Υδρολογίας που μελετά τα παραπάνω ονομάζεται όμβρια καμπύλη. Όμβριες καμπύλες, ονομάζονται οι καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς και εκφράζουν τη σχέση τη ετήσιας μέγιστης έντασης βροχόπτωσης i , της διάρκειας t της ραγδαίας βροχόπτωσης και τη περίοδο επαναφοράς T (Τσακίρης 2013). Πρόκειται για μία αναλυτική σχέση της μορφής (Τσακίρης 2013):

$$i=i(t,T) \quad (2.4)$$

Στην παρούσα μελέτη για την προσομοίωση τμήματος λεκάνης απορροής του Κηφισού στην περιοχή της Βαρυμπόμπης χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη των Mimikou et al. (2000). Η αναλυτική σχέση της όμβριας καμπύλης είναι:

$$i=15.39 \cdot T^{0.276} \cdot t^{-0.725} \quad (2.5)$$

όπου:

i : η ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

T : η περίοδος επαναφοράς (years)

t : η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης (h)

Οι βροχοπτώσεις σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη και για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 6, 12, 24$ ώρες, δημιουργώντας έτσι συνολικά 36 υετογράμματα σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται τα συνολικά ύψη βροχόπτωσης για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης και κάθε περίοδο επαναφοράς σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη.

2.2.3.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS

Η SCS των ΗΠΑ πρότεινε τη χρήση συνθετικών υδρογραφημάτων, όπως το καμπυλόγραμμα και το τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα (Τσακίρης 2013). Η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος που προτάθηκε από την υπηρεσία SCS (Soil Conservation Service) των ΗΠΑ, που είναι ένα από τα διαθέσιμα μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή στο λογισμικό HEC-HMS, έχει προκύψει από την ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού μοναδιαίων υδρογραφημάτων για μικρές υδρολογικές λεκάνες, που καλύπτουν ένα μεγάλο αριθμό γεωγραφικών περιοχών (Τσακίρης 2013).

Το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS είναι ένα υδρογράφημα στο οποίο η τεταγμένη εκφράζεται ως ο λόγος της παροχής (U) ως προς την αιχμή (U_p) και η τετμημένη ως ο λόγος του χρόνου ως προς τον χρόνο που παρατηρείται η μέγιστη παροχή (t_p) (Τσακίρης 2013). Το αδιάστατο υδρογράφημα γίνεται μοναδιαίο συγκεκριμένης διάρκειας εφόσον είναι γνωστά τα μεγέθη U_p και t_p , που υπολογίζονται όπως φαίνεται παρακάτω (Τσακίρης 2013).

$$U_p = \frac{2.08 \cdot A}{t_p} \quad (2.6)$$

$$t_p = \frac{t_R}{2} + t_L \quad (2.7)$$

όπου:

A είναι η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (km²), t_p είναι ο χρόνος που παρατηρείται η μέγιστη παροχή (h), t_R είναι η διάρκεια περισσεύματος της βροχής (h), t_L είναι ο χρόνος υστέρησης (h) της λεκάνης απορροής, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ του κέντρου μάζας του υετογραφήματος και της αιχμής της πλημμύρας, που συνήθως υπολογίζεται από τη σχέση t_L=0.6 t_c, όπου t_c ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής (h), και U_p είναι η αιχμή της πλημμυρικής παροχής (m³/s) του μοναδιαίου υδρογραφήματος (δηλαδή ύψους περισσεύματος βροχής = 1 cm).

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τεταγμένες του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS. Η τετμημένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η t/t_p και λαμβάνει τιμές από 0.0 έως 5.0. Η τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η U/U_p και λαμβάνει τιμές από 0.000 έως 1.000.

Πίνακας 5: Οι τεταγμένες του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS

(Πηγή: Τσακίρης, 2013)

t/t _p	U/U _p	t/t _p	U/U _p
0	0	1.7	0.560
0.1	0.030	1.8	0.390
0.2	0.100	1.9	0.330
0.3	0.190	2.0	0.280
0.4	0.310	2.2	0.207
0.5	0.470	2.4	0.147
0.6	0.660	2.6	0.107
0.7	0.820	2.8	0.077
0.8	0.930	3.0	0.055
0.9	0.990	3.2	0.040
1.0	1.000	3.4	0.029
1.1	0.990	3.6	0.021
1.2	0.930	3.8	0.015
1.3	0.860	4.0	0.011
1.4	0.780	4.5	0.005
1.5	0.680	5.0	0
1.6	0.560		

2.2.3.4. Εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης (t_c) - Εξίσωση Giandotti

Με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΔ 696/74) για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης δύναται να χρησιμοποιηθεί ο εμπειρικός τύπος Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{\Delta H}} \quad (2.8)$$

όπου:

t_c : ο χρόνος συγκέντρωσης (h)

A : η έκταση της λεκάνης απορροής (km^2)

L : η απόσταση κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος μέχρι την έξοδο της λεκάνης απορροής (km)

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

Επίσης, για τον υπολογισμό του χρόνου υστέρησης t_L , δηλαδή του χρόνου μεταξύ του κέντρου μάζας του υετογράμματος και της αιχμής της πλημμύρας, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση:

$$t_L = 0.6 \cdot t_c \quad (2.9)$$

όπου:

t_c : ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής (h)

Με βάση τα παραπάνω: $t_c = 3.3 \text{ h} = 197 \text{ min}$ και $t_L = 118 \text{ min}$.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Υπολογισμός χρόνου υστέρησης για την λεκάνη απορροής

Έκταση λεκάνης απορροής (km^2)	Μήκος κύριας μισγάγγειας (km)	Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	Υψόμετρο εξόδου λεκάνης (m)	Χρόνος συγκέντρωσης Giandotti (h)	Χρόνος συγκέντρωσης Giandotti (min)	Χρόνος υστέρησης Giandotti (min)
58.76	5.904	415.10	189.73	3.3	197	118

Παρακάτω παρουσιάζεται η σημειακή βροχόπτωση ανά περίοδο επαναφοράς (2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη) και ανά χρονική διάρκεια βροχόπτωσης (1, 2, 3, 6, 12, 24 h). Παρατηρείται ότι κυμαίνεται από περίπου 19 mm έως περίπου 132 mm για διάρκειες βροχόπτωσης από 1 h έως 24 h και περιόδους επαναφοράς 2 έτη έως 100 έτη (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Σημειακή βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Ύψος σημειακής βροχόπτωσης (mm)						
T (έτη)	2	5	10	25	50	100
Διάρκεια (h)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)
1	18.6	24.0	29.1	37.4	45.3	54.9
2	22.5	29.0	35.2	45.3	54.8	66.4
3	25.2	32.5	39.3	50.6	61.3	74.2
6	30.5	39.3	47.6	61.2	74.2	89.8
12	36.9	47.5	57.5	74.1	89.7	108.6
24	44.7	57.5	69.6	89.7	108.6	131.5

2.2.3.5. Χρονική κατανομή βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method)

Η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης ή εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method, Chow 1988) χρησιμοποιείται για την χρονική κατανομή του ύψους βροχόπτωσης, δηλαδή την δημιουργία των υετογραμμάτων (Θεοδοσοπούλου 2022). Με βάση τη μέθοδο αυτή, τα τμηματικά ύψη βροχής των διάφορων διαρκειών προσδιορίζονται σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη, η οποία θεωρείται ότι περιγράφει καλύτερα την λεκάνη απορροής, και με τις διαφορετικές περιπτώσεις για τις περιόδους επαναφοράς και της χρονικής διάρκειας της βροχόπτωσης. Στη συνέχεια, τα τμηματικά ύψη βροχόπτωσης που προκύπτουν διατάσσονται έτσι ώστε να προκύψει ένα ρεαλιστικό αλλά και αρκετά δυσμενές σενάριο (Θεοδοσοπούλου 2022). Το πλεονέκτημα της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ είναι ότι δεν βασίζεται σε θεωρητικά διαγράμματα, αλλά σε ρεαλιστικά δεδομένα, τα οποία έχουν μετρηθεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή στις όμβριες καμπύλες. Αντίθετα, το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι θεωρεί ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια, το υπολογισμένο ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής (Ευστρατιάδης κ.α. 2012).

Η κατανομή του συνολικού ύψους βροχόπτωσης στα επιμέρους χρονικά βήματα έγινε με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ, ενώ το χρονικό βήμα που επιλέχθηκε ήταν 10 λεπτά. Η σχέση που χρησιμοποιείται είναι η εξής (Λαζάρου 2019):

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1-0.725} \quad (2.10)$$

όπου:

h_1 : ύψος βροχής διάρκειας t_1

h_2 : ύψος βροχής διάρκειας t_2

t_1 : διάρκεια βροχής ύψους h_1

t_2 : διάρκεια βροχής ύψους h_2 .

Στη συνέχεια και αφού έχουν υπολογιστεί τα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης υπολογίζονται οι διαφορές τους, οι οποίες αποτελούν το ύψος βροχόπτωσης που αντιστοιχεί στο κάθε χρονικό βήμα (Λαζάρου 2019). Τέλος, η κατανομή που γίνεται στα ύψη βροχόπτωσης είναι η εξής: το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης τοποθετείται στο κεντρικό βήμα, το αμέσως μικρότερο στη δεξιά πλευρά του κεντρικού χρονικού βήματος και το τρίτο μεγαλύτερο κατά σειρά στο χρονικό βήμα που βρίσκεται αριστερά του κεντρικού (Λαζάρου, 2019). Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία υπολογίζονται συνολικά 36 υετογραφήματα σχεδιασμού (6 για κάθε περίοδο επαναφοράς).

2.2.4. Λογισμικό HEC-HMS

Από τα πλέον διαδεδομένα και εύχρηστα εργαλεία για μελέτες πλημμυρών είναι το HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System), το οποίο αναπτύχθηκε από το

Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων που ανήκει στο Σώμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (Βαρσάμη 2014). Σχεδιάστηκε ώστε να προσομοιώνει τις υδρολογικές διαδικασίες βροχής απορροής για δενδριτικού τύπου λεκάνες και είναι εφαρμόσιμο σε μεγάλο εύρος περιοχών, τόσο σε μεγάλες αγροτικές λεκάνες, όσο και σε μικρές αστικές ή ημιαστικές περιοχές (Βαρσάμη, 2014). Στην πραγματικότητα, δεν πρόκειται για μεμονωμένο μοντέλο αλλά για ένα λογισμικό το οποίο υποστηρίζει εναλλακτικές εκδοχές μοντέλων για την προσομοίωση των διάφορων διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, τόσο σε επίπεδο μεμονωμένου γεγονότος όσο και σε επίπεδο συνεχούς προσομοίωσης. Υιοθετεί μια ημικαταμεμημένη σχηματοποίηση της λεκάνης. Σε κάθε υπολεκάνη και για κάθε διεργασία μπορούν να οριστούν διαφορετικά μοντέλα ή διαφορετικές παράμετροι του ίδιου μοντέλου (Ευστρατιάδης κ.α. 2012).

Τα υδρογραφήματα που παράγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια ή ως είσοδος σε άλλα λογισμικά. Χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων, καθώς η χρησιμότητά τους είναι εμφανής σε περιπτώσεις όπως: μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, αποστραγγιστικά έργα, μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων κ.α. (Feldman 2000).

Το πρόγραμμα αποτελεί ένα γενικευμένο σύστημα μοντελοποίησης, ικανό να αναπαριστά πολλές διαφορετικές μεταξύ τους λεκάνες. Ένα μοντέλο λεκάνης κατασκευάζεται, με διαίρεση του υδρολογικού κύκλου σε εύκολα διαχειρίσιμα τμήματα–συνιστώσες και οριοθέτηση της εξεταζόμενης λεκάνης. Οποιαδήποτε ροή μάζας ή ενέργειας μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα μαθηματικό μοντέλο. Η ορθή επιλογή απαιτεί γνώση των συνθηκών της λεκάνης και εξαρτάται από τους στόχους της υδρολογικής μελέτης και την εμπειρία του μελετητή (Scharffenberg and Fleming 2010). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4.10. του λογισμικού HEC-HMS.

2.2.4.1. Προετοιμασία αρχείων εισόδου στο πρόγραμμα HEC-HMS

Για την προετοιμασία των αρχείων εισόδου στο HEC-HMS χρησιμοποιήθηκε το μενού HMS Project Setup της εργαλειοθήκης του HEC-GeoHMS. Με τη χρήση της εργαλειοθήκης αυτής δημιουργούνται τα αρχεία εισόδου για το HEC-HMS, που θα χρησιμοποιηθούν στη μοντελοποίηση της βροχής σε απορροή.

Μέσω της εντολής Start New Project του HMS Project setup, ορίζεται ένα όνομα για τη μελέτη, καθώς και οι μήτρες δεδομένων για το ψηφιακό μοντέλο με βάση τα αρχεία που δημιουργήθηκαν κατά την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης. Ως σημείο εξόδου (Project Point) προσδιορίζεται, με το εργαλείο «Add Project Points», το επιθυμητό σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής. Αφού ολοκληρωθεί η προεπεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και δημιουργηθεί το νέο project, ακολουθεί η επεξεργασία της λεκάνης απορροής και τελικά, η εξαγωγή των χρήσιμων τοπογραφικών χαρακτηριστικών της. Αυτά επιτυγχάνονται με τις εντολές των Basin Processing και Basin Characteristics του μενού του HEC-GeoHMS. Από το μενού Basin Processing χρησιμοποιήθηκε η εντολή basin merge, με την οποία ενώνονται οι υπολεκάνες και δημιουργείται μια καινούρια, ενιαία λεκάνη. Εν προκειμένω, ενώθηκαν οι υπολεκάνες που είχαν δημιουργηθεί και δημιουργήθηκε η λεκάνη απορροής που παρουσιάζεται στην Εικόνα 28. Στη συνέχεια, μέσω του μενού Basin Characteristics, υπολογίζονται τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (Εικόνα 28), τα οποία

αποτελούν και τα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό. Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν είναι:

- ✓ Το μήκος των επιμέρους τμημάτων του ποταμού
- ✓ Το κέντρο βάρους της λεκάνης (basin centroid)
- ✓ Το μέγιστο μήκος της υδάτινης διαδρομής της λεκάνης μέχρι την έξοδο
- ✓ Το μήκος της υδάτινης διαδρομής από το κέντρο βάρους της λεκάνης μέχρι την έξοδο της



Εικόνα 28: Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model)

Μέσω του προγράμματος δίνεται η δυνατότητα επιλογής των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν στο HEC-HMS. Συγκεκριμένα, τα πρότυπα για τον υπολογισμό των απωλειών βροχής, της άμεσης απορροής, της βασικής ροής και των πλημμυρογραφημάτων. Στην εν λόγω εργασία επιλέχθηκαν οι παρακάτω μέθοδοι υπολογισμού της κάθε παραμέτρου.

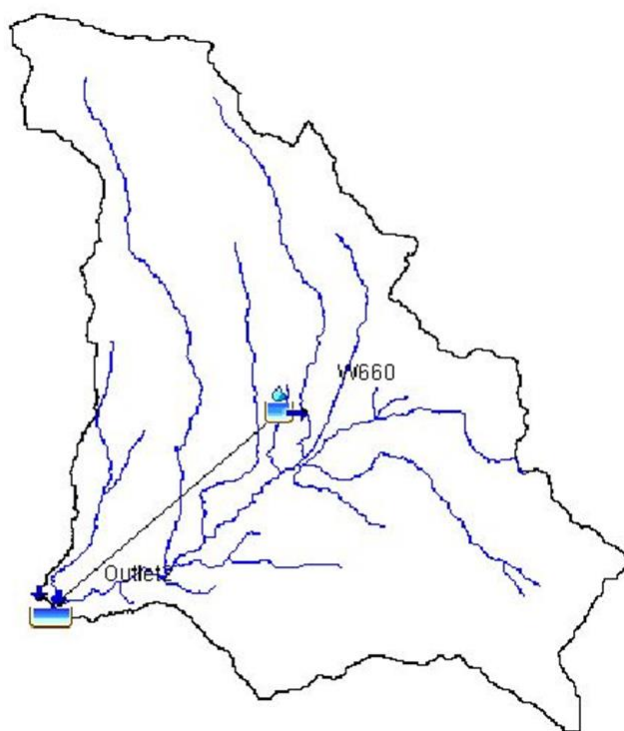
- ✓ Πρότυπο απωλειών βροχής: SCS Curve Number
- ✓ Πρότυπο άμεσης απορροής: Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS

Στη συνέχεια γίνεται η τελική επεξεργασία των αρχείων εισόδου πριν την εισαγωγή τους στο περιβάλλον του HEC-HMS. Αρχικά, αναπαρίστανται τα βασικά στοιχεία, όπως το σημείο

εξόδου. Τα βασικά αυτά στοιχεία αποθηκεύονται στο HEC-HMS. Γίνεται εξαγωγή συμβατού χάρτη (background shapefile) στο HEC-HMS και του μοντέλου λεκάνης με τα υδρολογικά στοιχεία, τη σύνδεση τους και τις απαραίτητες γεωγραφικές πληροφορίες και τέλος δημιουργείται το project του οποίου θα γίνει η επεξεργασία μετέπειτα στο HEC-HMS (Create HEC-HMS project). Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μετεωρολογικού μοντέλου (Met Model File) και στο HEC-GeoHMS αλλά για την εργασία επιλέχθηκε να δημιουργηθεί κατευθείαν στο HEC-HMS.

2.2.4.2. Μοντέλο λεκάνης απορροής

Αρχικά, εισάγεται το μοντέλο της λεκάνης απορροής (basin model), όπως αυτό δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του GIS, με χρήση της εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS. Η διαδικασία αυτή γίνεται με την επιλογή File → Import → Basin Model. Δίνεται, επίσης, η δυνατότητα για παράθεση των χαρτών της λεκάνης και του ποταμού, ως υπόβαθρο για καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων. Η λεκάνη που προέκυψε είναι η λεκάνη με ονομασία «W660» και με εμβαδόν 58.775 km², όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC-HMS

2.2.4.3. Μετεωρολογικό μοντέλο

Η δημιουργία μετεωρολογικών μοντέλων είναι μια από τις κύριες λειτουργίες του HEC-HMS. Ο κύριος σκοπός είναι να προετοιμαστούν μετεωρολογικές οριακές συνθήκες για υπολεκάνες. Εν προκειμένω, δημιουργήθηκαν 36 μετεωρολογικά μοντέλα το καθένα από τα οποία χαρακτηρίζονταν από διαφορετική περίοδο επαναφοράς (2, 5, 10, 25, 50 και 100 έτη) και διαφορετική διάρκεια βροχόπτωσης (1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες). Τα ίδια μετεωρολογικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν με το επαναπροσδιορισμένο CN για την εκτίμηση και την σύγκριση των αποτελεσμάτων της περιόδου μετά και πριν την πυρκαγιά. Η δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με την επιλογή: Components → Meteorologic Manager. Έπειτα, καθορίζονται, από τον χρήστη, η έναρξη και η λήξη του επεισοδίου βροχόπτωσης καθώς και το χρονικό βήμα των υπολογισμών (10 λεπτά). Η διαδικασία αυτή εκτελείται μέσω της εντολής: Components → Control Specifications Manager.

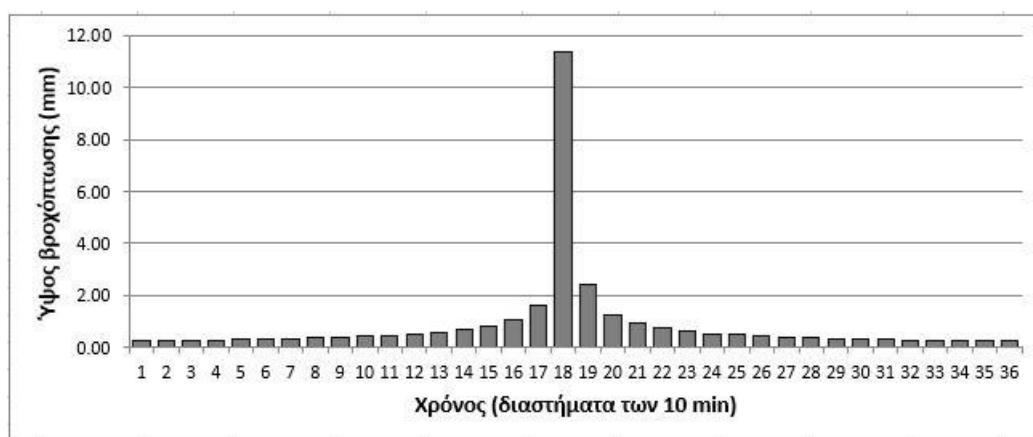
Στη συνέχεια, εισήχθησαν τα βροχομετρικά δεδομένα, που υπολογίσθηκαν με βάση την όμβρια καμπύλη που χαρακτηρίζει την λεκάνη απορροής, όπως διαμορφώθηκαν με τη χρήση της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ. Σημειώνεται ότι για να δεχθεί το μετεωρολογικό μοντέλο τα δεδομένα της βροχόπτωσης γίνεται αντιστοίχιση αυτών με το μοντέλο της λεκάνης απορροής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω της εντολής: Components → Time-Series Data manager.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Υετογράμματα με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ

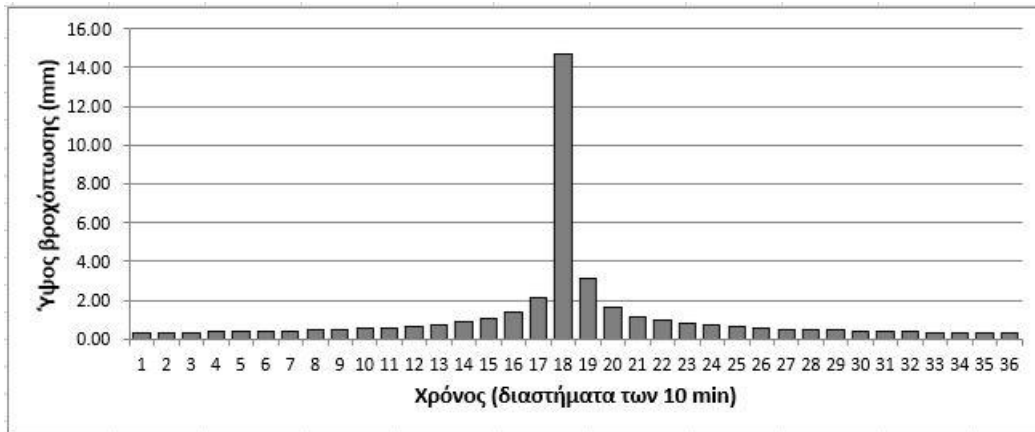
Ακολουθούν ενδεικτικά τα υετογράμματα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού 2 ετών (Εικόνα 30), 5 ετών (Εικόνα 31), 10 ετών (Εικόνα 32), 25 ετών (Εικόνα 33), 50 ετών (Εικόνα 34) και 100 ετών (Εικόνα 35), για διάρκεια βροχόπτωσης 6 h.

Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 11.4 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 30.5 mm.



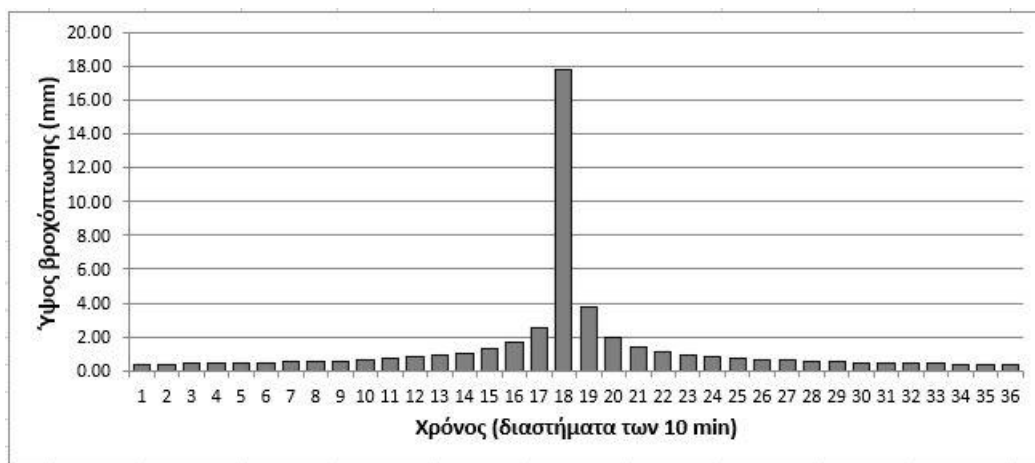
Εικόνα 30: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 14.7 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 39.3 mm.



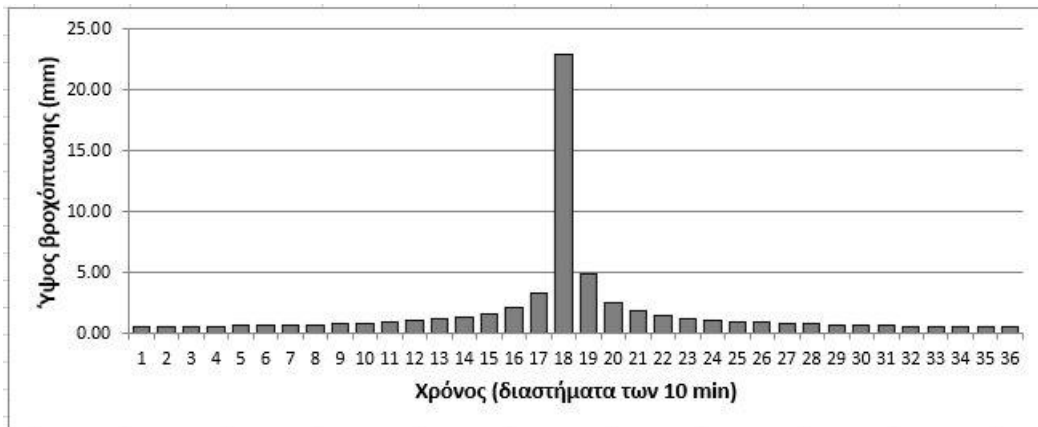
Εικόνα 31: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 17.8 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 47.6 mm.



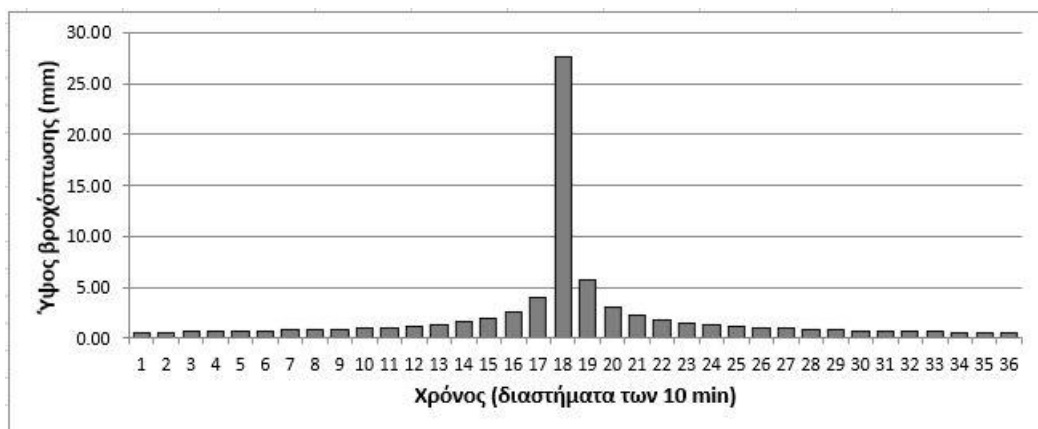
Εικόνα 32: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στην Εικόνα 33 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 22.9 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 61.2 mm.



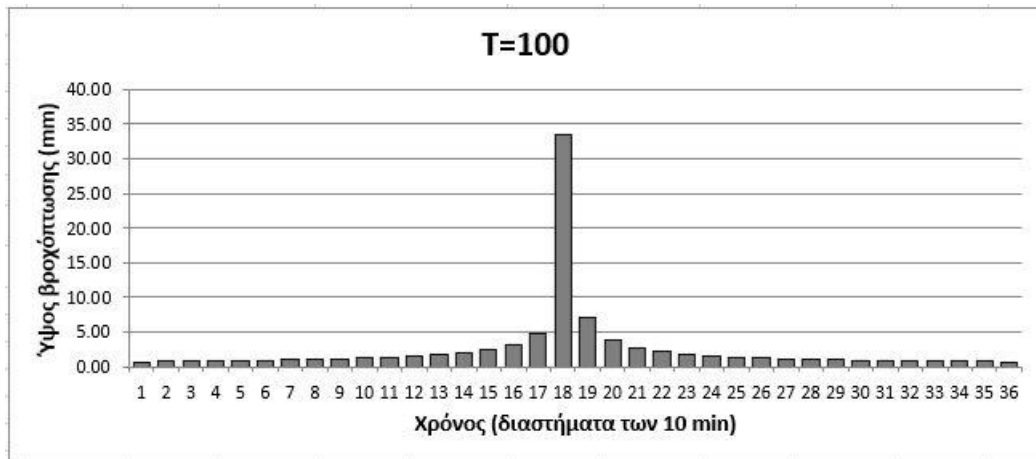
Εικόνα 33: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 27.7 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 74.2 mm .



Εικόνα 34: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στην Εικόνα 35 παρουσιάζεται το υετόγραμμα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού. Παρατηρείται ότι το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 33.5 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 89.8 mm.



Εικόνα 35: Υετόγραμμα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h, για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

Στον πίνακα (Πίνακας 8) που ακολουθεί απεικονίζεται η χρονική κατανομή βροχόπτωσης με διάρκειας 6 h για διάφορες περιόδους επαναφοράς και με χρονικό βήμα 10 min για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού.

Πίνακας 8: Απεικόνιση συνολικής βροχόπτωσης (mm) διάρκειας 6 h και διαφορετικών περιόδων επαναφοράς T (έτη) για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Κηφισού

t (min)	$T = 2$ έτη	$T = 5$ έτη	$T = 10$ έτη	$T = 25$ έτη	$T = 50$ έτη	$T = 100$ έτη
10	0.24	0.31	0.37	0.48	0.58	0.71
20	0.25	0.32	0.39	0.50	0.61	0.74
30	0.26	0.34	0.41	0.53	0.64	0.77
40	0.28	0.36	0.43	0.55	0.67	0.81
50	0.29	0.37	0.45	0.58	0.71	0.86
60	0.31	0.40	0.48	0.62	0.75	0.91
70	0.33	0.42	0.51	0.66	0.80	0.96
80	0.35	0.45	0.55	0.70	0.85	1.03
90	0.38	0.49	0.59	0.76	0.92	1.11
100	0.41	0.53	0.64	0.82	1.00	1.21
110	0.45	0.58	0.70	0.90	1.10	1.33
120	0.50	0.65	0.78	1.01	1.22	1.48
130	0.57	0.73	0.89	1.14	1.38	1.68
140	0.66	0.86	1.04	1.33	1.61	1.95
150	0.81	1.04	1.26	1.62	1.96	2.38
160	1.05	1.36	1.64	2.12	2.56	3.11
170	1.62	2.09	2.53	3.26	3.95	4.78
180	11.38	14.66	17.75	22.86	27.68	33.52
190	2.39	3.08	3.73	4.80	5.81	7.04
200	1.27	1.63	1.98	2.55	3.08	3.73
210	0.91	1.17	1.42	1.83	2.22	2.68

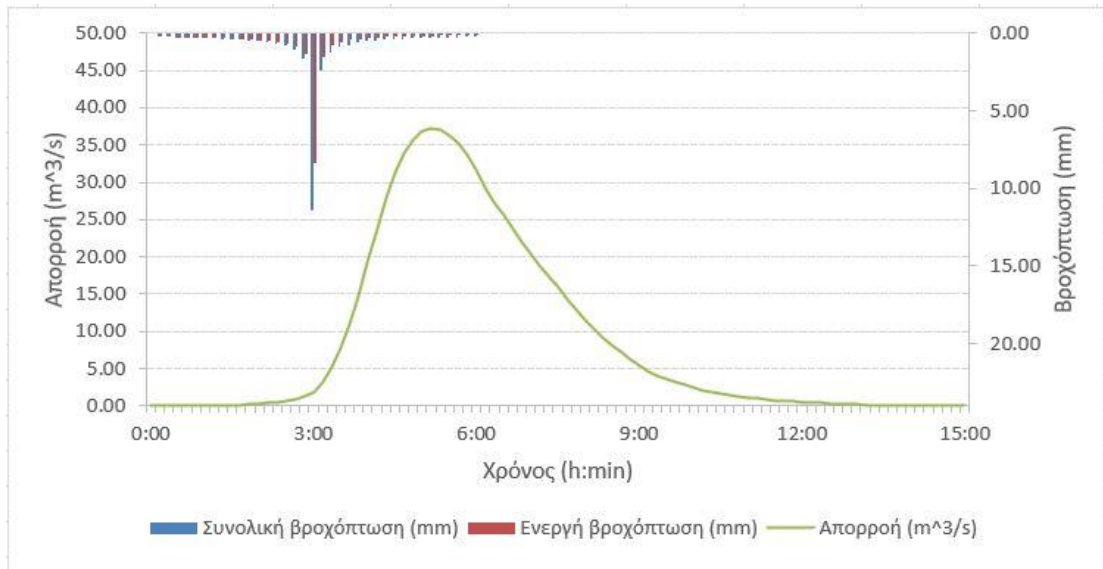
t (min)	T = 2 έτη	T = 5 έτη	T = 10 έτη	T = 25 έτη	T = 50 έτη	T = 100 έτη
220	0.73	0.94	1.13	1.46	1.77	2.14
230	0.61	0.79	0.95	1.23	1.49	1.80
240	0.53	0.69	0.83	1.07	1.30	1.57
250	0.47	0.61	0.74	0.95	1.15	1.40
260	0.43	0.55	0.67	0.86	1.04	1.26
270	0.39	0.51	0.61	0.79	0.96	1.16
280	0.36	0.47	0.57	0.73	0.88	1.07
290	0.34	0.44	0.53	0.68	0.82	1.00
300	0.32	0.41	0.49	0.64	0.77	0.93
310	0.30	0.39	0.47	0.60	0.73	0.88
320	0.28	0.36	0.44	0.57	0.69	0.83
330	0.27	0.35	0.42	0.54	0.65	0.79
340	0.26	0.33	0.40	0.52	0.62	0.76
350	0.25	0.32	0.38	0.49	0.60	0.72
360	0.24	0.30	0.37	0.47	0.57	0.69

3.2. Υδρογραφήματα με βάση τα αποτελέσματα του HEC-HMS

Αφού ολοκληρώθηκε η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό, πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου με χρήση της εντολής Compute Run. Τα αρχεία εξόδου είναι στοιχεία που αφορούν την βροχόπτωση, τις απώλειες και την απορροή, σε μορφή πινάκων. Επίσης, εξάγονται διαγράμματα βασισμένα στα παραπάνω αποτελέσματα, τα οποία όμως επαναδημιουργήθηκαν σε περιβάλλον Excel. Έτσι δημιουργήθηκαν τα υδρογραφήματα της λεκάνης και τα διαγράμματα για τις βροχοπτώσεις (συνολική και ενεργή).

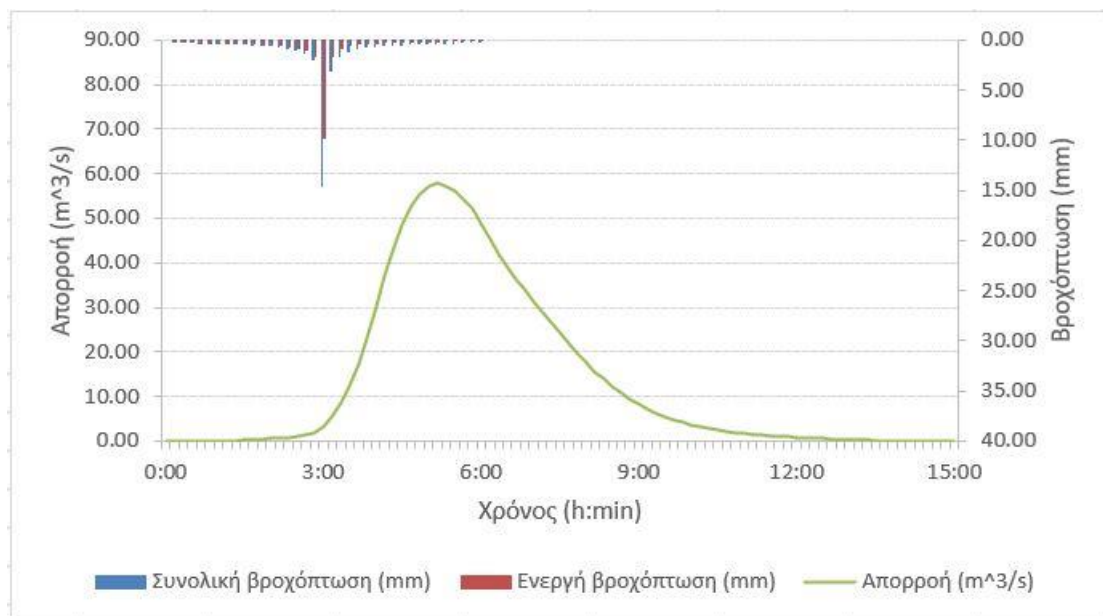
Στη συνέχεια παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ($T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ years) και για διάρκεια βροχόπτωσης 6 h, τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο της λεκάνης πριν το γεγονός της πυρκαγιάς το 2021. Εκτός, αυτών παρουσιάζονται στα αντίστοιχα γραφήματα και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση, για τις οποίες ισχύει: (Ενεργός βροχόπτωση) = (Συνολική βροχόπτωση) – (Απώλειες)

Στην Εικόνα 36 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 2$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $37.3 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 11.4 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 8.3 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 8.1 mm .



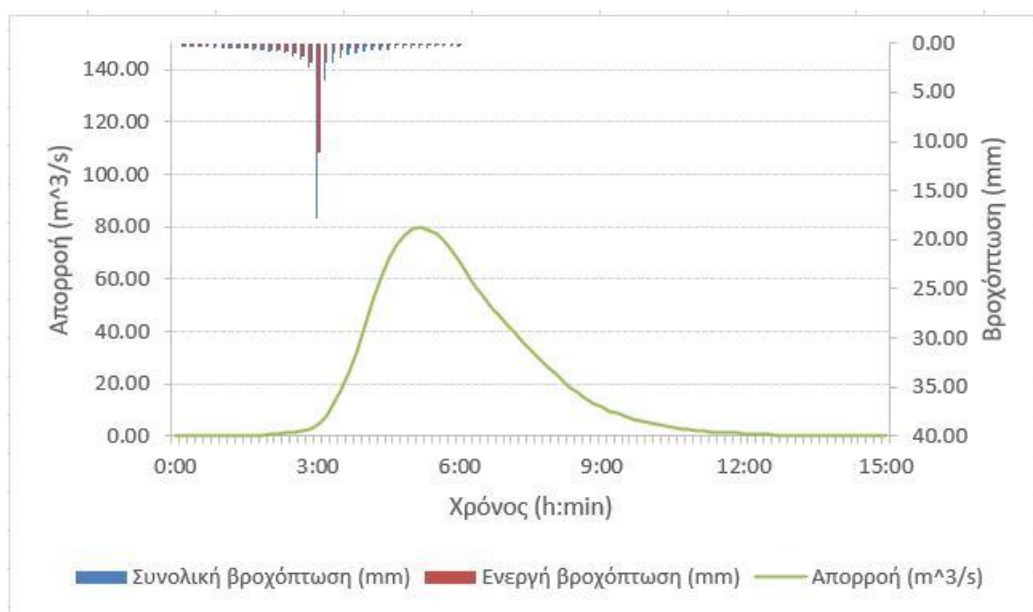
Εικόνα 36: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h πριν την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 5$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $57.80 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 14.7 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 9.9 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 12.5 mm .



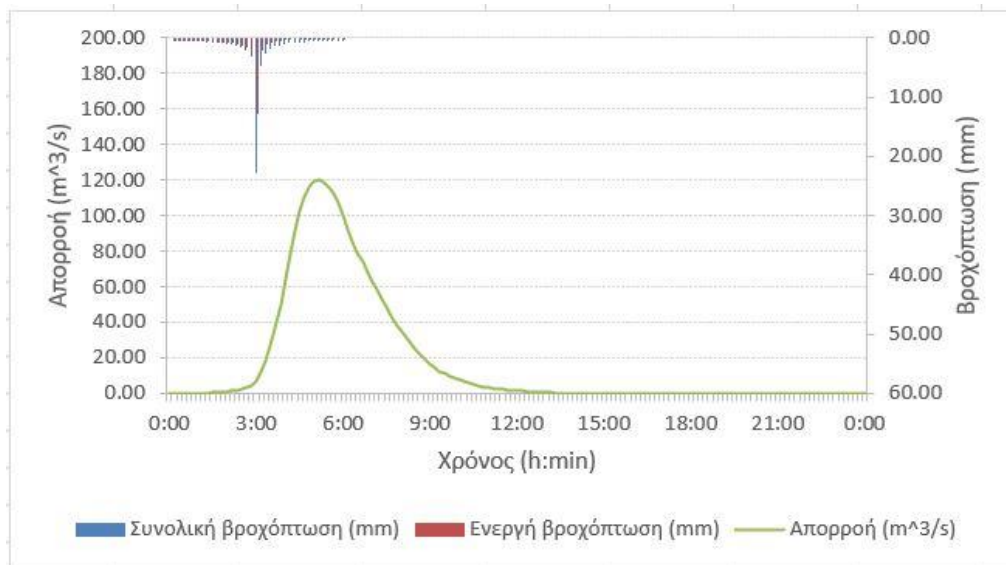
Εικόνα 37: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 38 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 10$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $79.60 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 17.8 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 11.2 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 17.1 mm .



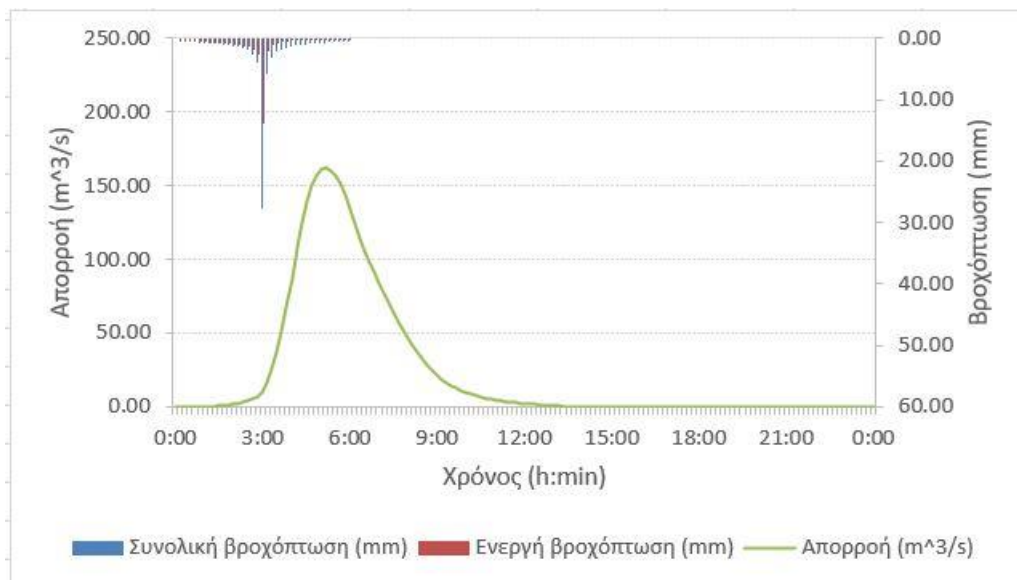
Εικόνα 38: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 39 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 25$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $120.20 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 22.9 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 12.8 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 25.7 mm .



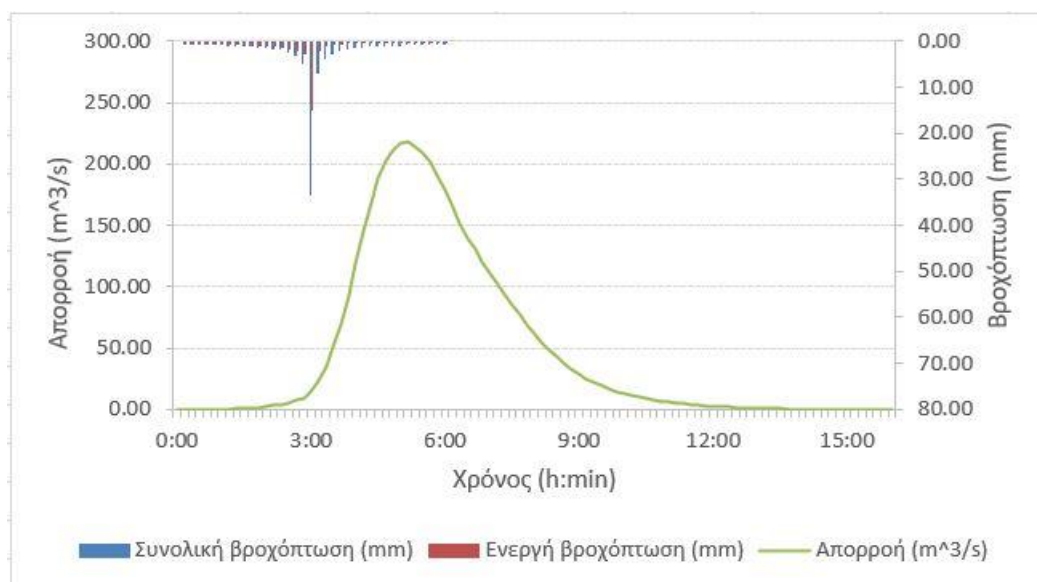
Εικόνα 39: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 50$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $162.50 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 27.7 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 14.0 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 34.6 mm .



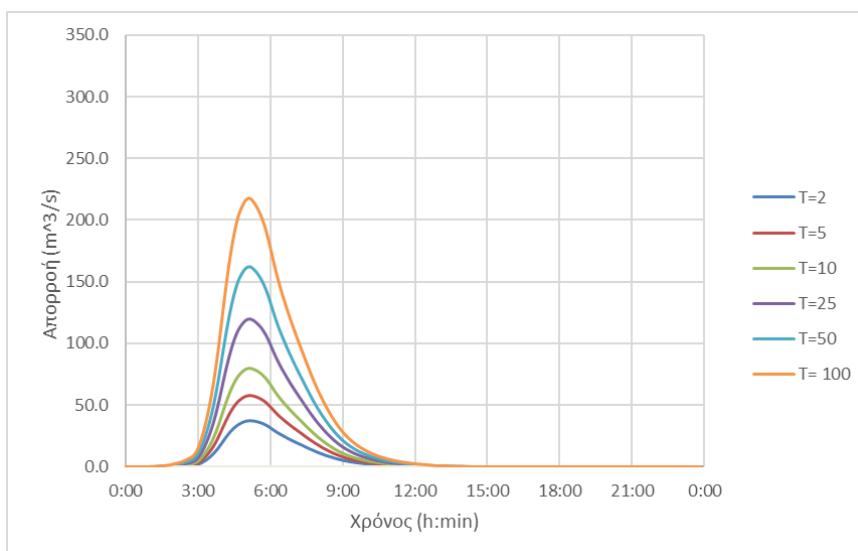
Εικόνα 40: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 41 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 100$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο πριν το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $217.60 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 33.5 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 15.1 mm . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 46.2 mm .



Εικόνα 41: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h πριν την πυρκαγιά

Επιπλέον, παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6 \text{ h}$ (Εικόνα 42). Παρατηρείται ότι η ελάχιστη παροχή αιχμής παρουσιάζεται για περίοδο επαναφοράς 2 ετών ($37.3 \text{ m}^3/\text{s}$) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ($217.60 \text{ m}^3/\text{s}$). Όπως είναι γνωστό, όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς τόσο αυξάνεται και η απορροή.



Εικόνα 42: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη και $t=6$ h πριν την πυρκαγιά

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 12, 24$ ώρες για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη για την περίοδο πριν την πυρκαγιά.

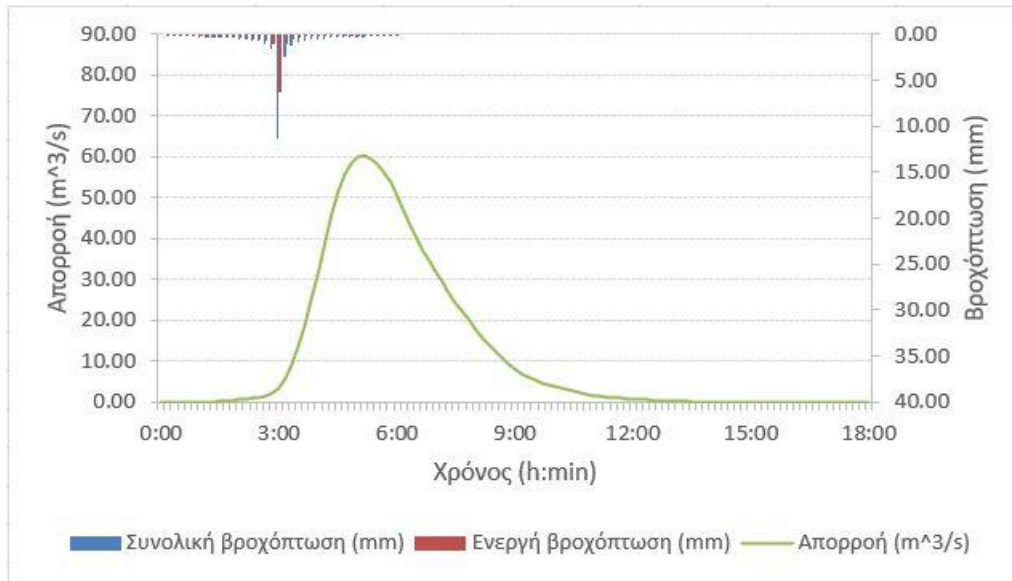
Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 1) η παροχή αιχμής είναι $19.9 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 11.4 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 9.5 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 3.4 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 2) η παροχή αιχμής είναι $31.3 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 14.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 11.6 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 5.3 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 3) η παροχή αιχμής είναι $43.9 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 17.8 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 13.4 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 7.4 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 4) η παροχή αιχμής είναι $67.9 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 22.9 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 16.1 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 11.5 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 5) η παροχή αιχμής είναι $93.4 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 27.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 18.3 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 15.79 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 6) η παροχή αιχμής είναι $127.7 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 33.5 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 20.6 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 21.6 mm .

Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ (Εικόνα Π 8) έτη η παροχή αιχμής είναι $27.1 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 11.4 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 9.1 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 4.7 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 9) η παροχή αιχμής είναι $42.4 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 14.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 11.0 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 7.4 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 10) η παροχή αιχμής

Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 29) η παροχή αιχμής είναι $55.50 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 11.4 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 7.3 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 15.4 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 30) η παροχή αιχμής είναι $76.90 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 14.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 8.4 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 23.3 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 31) η παροχή αιχμής είναι $104.60 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 17.8 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 9.1 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 31.4 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 32) η παροχή αιχμής είναι $154.8 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 22.9 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 10.1 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 46.1 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 33) η παροχή αιχμής είναι $206.10 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 27.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 10.7 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 61.0 mm . Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 34) η παροχή αιχμής είναι $271.50 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 33.5 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 11.1 (mm) . Ο συνολικός πλημμυρικός όγκος είναι 80.0 mm .

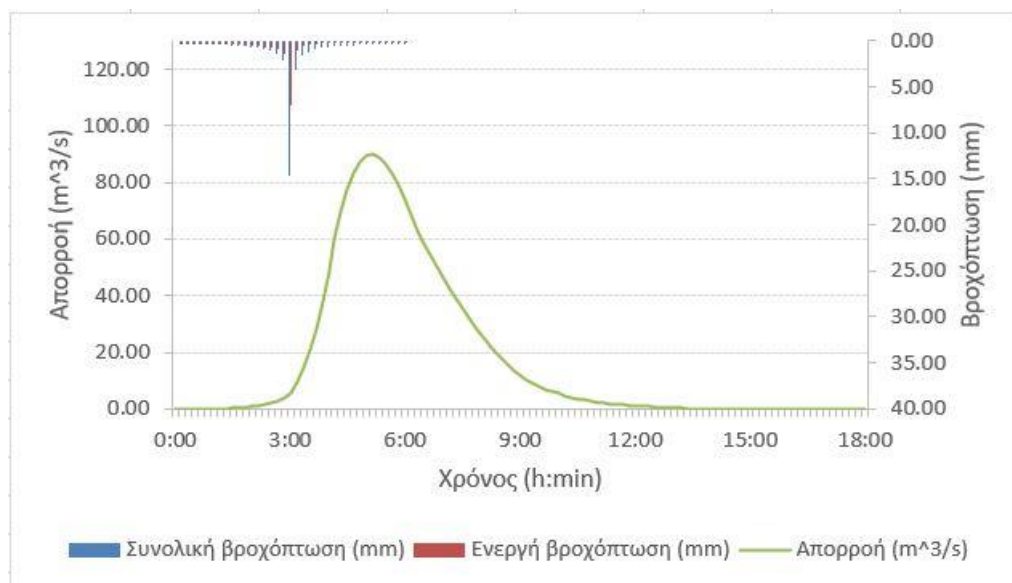
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ($T=2, 5, 10, 25, 50, 100 \text{ years}$) και για χρονική διάρκεια 6 h , τα αντίστοιχα πλημμυρογράφηματα στην έξοδο της λεκάνης όπως προκύπτουν από την εκτέλεση του μοντέλου και για μετεωρολογικά μοντέλα που αφορούν πιθανή βροχόπτωση μετά το γεγονός της πυρκαγιάς το 2021. Εκτός, αυτών παρουσιάζονται στα αντίστοιχα γραφήματα και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση.

Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 2$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $60.50 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 11.4 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 6.3 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 12.9 mm . Παρουσίασε δηλαδή αύξηση 60.35% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



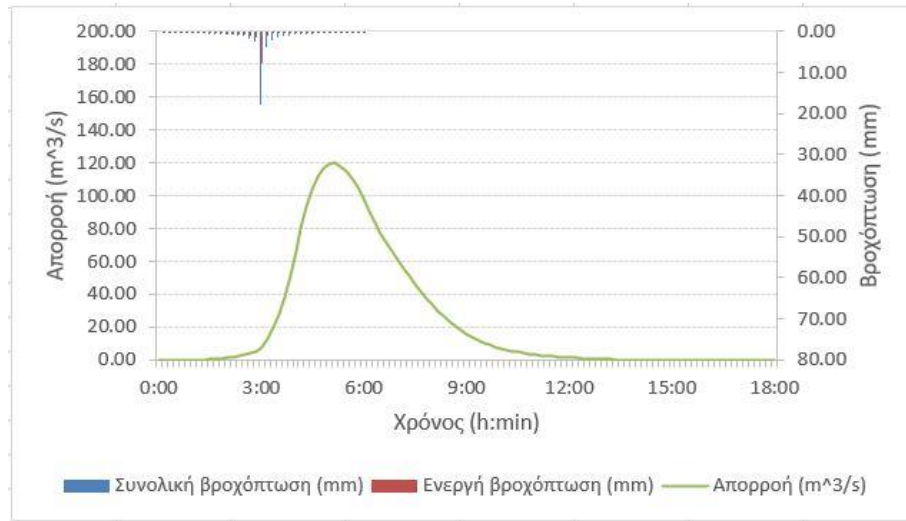
Εικόνα 43: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 44 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 5$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $90.00 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 14.7 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 7.1 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 19.2 mm , αύξηση 53.7% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



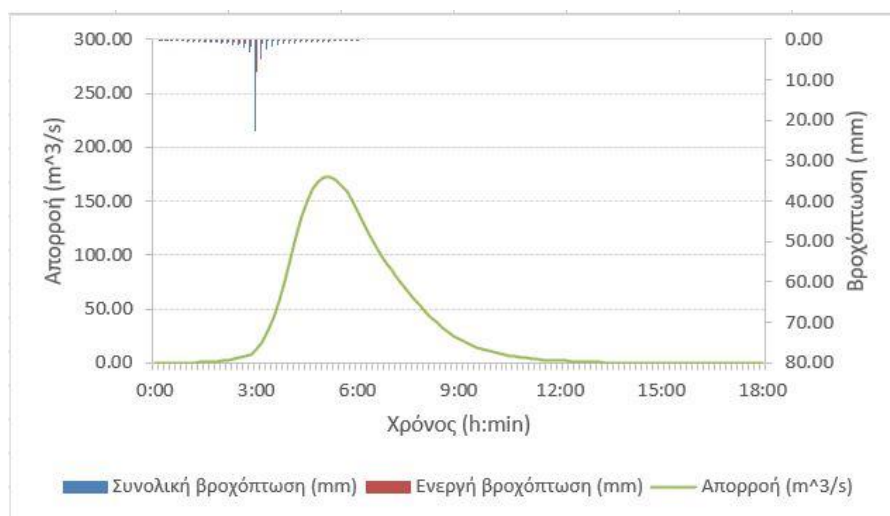
Εικόνα 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 45 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 10$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $119.90 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 17.8 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 7.6 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 25.4 mm , αύξηση 48.8% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



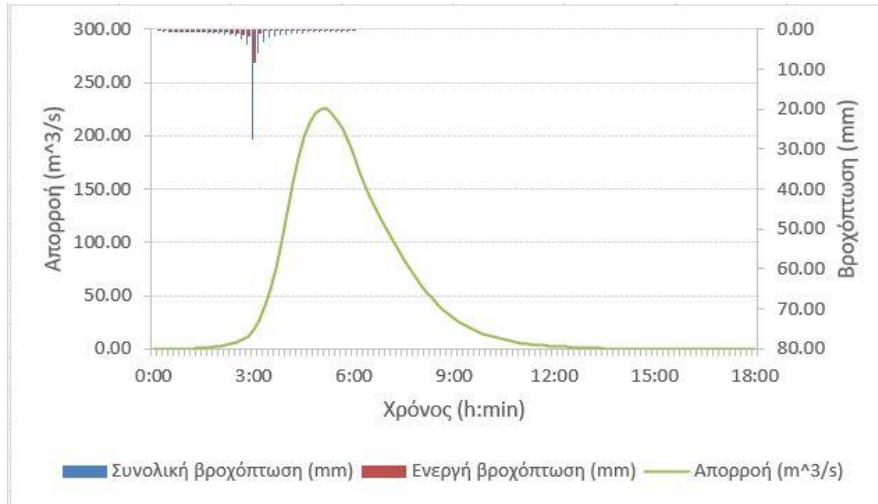
Εικόνα 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 46 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 10$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $119.90 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 17.8 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 7.6 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 25.4 mm , αύξηση 48.8% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



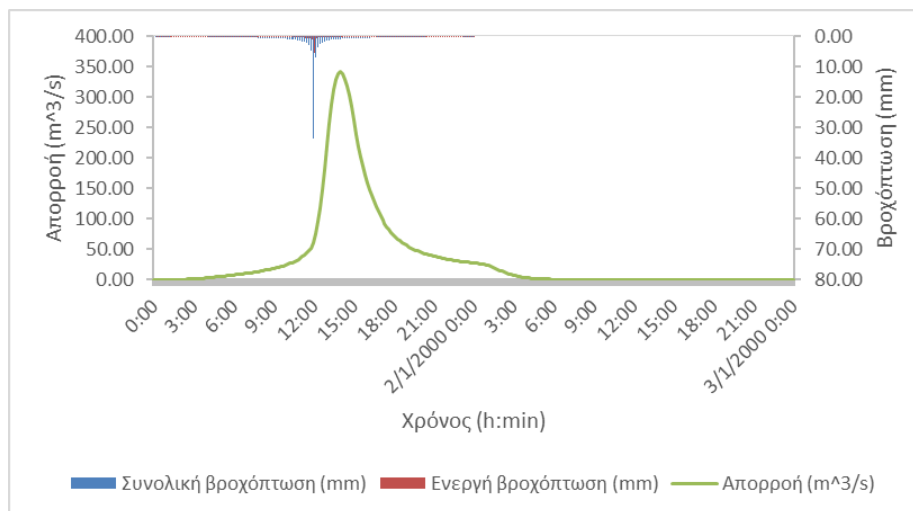
Εικόνα 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 47 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 50$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $225.50 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 27.7 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 8.3 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 47.6 mm , αύξηση 37.53% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



Εικόνα 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 48 παρουσιάζεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς $T = 100$ έτη και διάρκειας βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για την περίοδο μετά το γεγονός πυρκαγιάς το 2021. Παρατηρείται ότι η παροχή αιχμής είναι ίση με $341.70 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 33.52 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 8.3 mm . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 47.6 mm , αύξηση 37.53% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.



Εικόνα 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 h μετά την πυρκαγιά

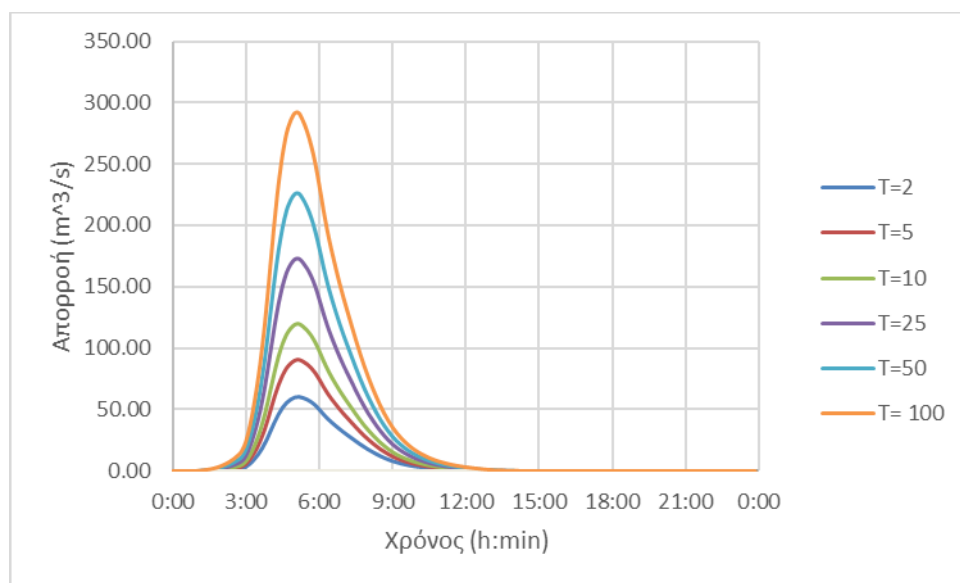
Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα για διάρκειες βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 12, 24$ ώρες για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη για την περίοδο μετά την πυρκαγιά.

Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 36) η παροχή αιχμής είναι $34.20 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 11.4 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 8.0 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 5.8 mm , αύξηση 72.02% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 37) η παροχή αιχμής είναι $52.1 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 14.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 9.4 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 8.8 mm , αύξηση 66.23% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 38) η παροχή αιχμής είναι $71.00 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 17.8 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 10.5 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 12.0 mm , αύξηση 61.59% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 39) η παροχή αιχμής είναι $105.2 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 22.9 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 12.0 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 17.8 mm , αύξηση 55.01% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 40) η παροχή αιχμής είναι $140.20 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 27.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 13.09 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 23.7 mm , αύξηση 49.97% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 41) η παροχή αιχμής είναι $185.20 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 33.5 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 14.1 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 31.3 mm , αύξηση 45.02% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.

Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 43) η παροχή αιχμής είναι $45.4 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 11.4 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 7.4 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 5.8 mm , αύξηση 55.06% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 44) η παροχή αιχμής είναι $68.4 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 14.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 8.5 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 12.0 mm , αύξηση 61.46% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 45) η παροχή αιχμής είναι $92.30 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 17.8 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 9.4 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 16.2 mm , αύξηση 56.64% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 46) η παροχή αιχμής είναι $135.40 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 22.9 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 10.4 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 23.7 mm , αύξηση 50.03% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 47) η παροχή αιχμής είναι $178.90 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 27.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 11.1 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 31.2 mm , αύξηση 45.03% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 48) η παροχή αιχμής είναι $234.30 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 33.5 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 11.7 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 40.9 mm , αύξηση 40.21% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.

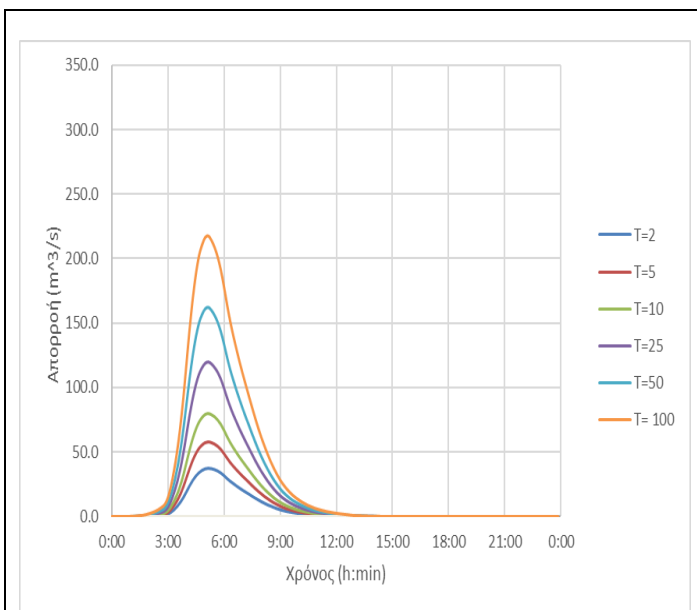
και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 66) η παροχή αιχμής είναι $148.50 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 17.8 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 5.5 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 43.7 mm , αύξηση 39.05% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 67) η παροχή αιχμής είναι $209.40 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 22.9 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 5.6 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 61.3 mm , αύξηση 33.07% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 68) η παροχή αιχμής είναι $268.70 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 27.7 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 5.5 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 78.6 mm , αύξηση 28.91% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 24$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 69) η παροχή αιχμής είναι $341.70 \text{ (m}^3/\text{s)}$, η συνολική βροχόπτωση είναι 33.5 (mm) και η ενεργός βροχόπτωση είναι ίση με 5.4 (mm) . Ο πλημμυρικός όγκος είναι 100.0 mm , αύξηση 25.08% σε σχέση με πριν την πυρκαγιά.

Επιπλέον, παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα μετά το γεγονός της πυρκαγιάς για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6 \text{ h}$ (Εικόνα 49). Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών ($66.50 \text{ m}^3/\text{s}$) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ($291.60 \text{ m}^3/\text{s}$).

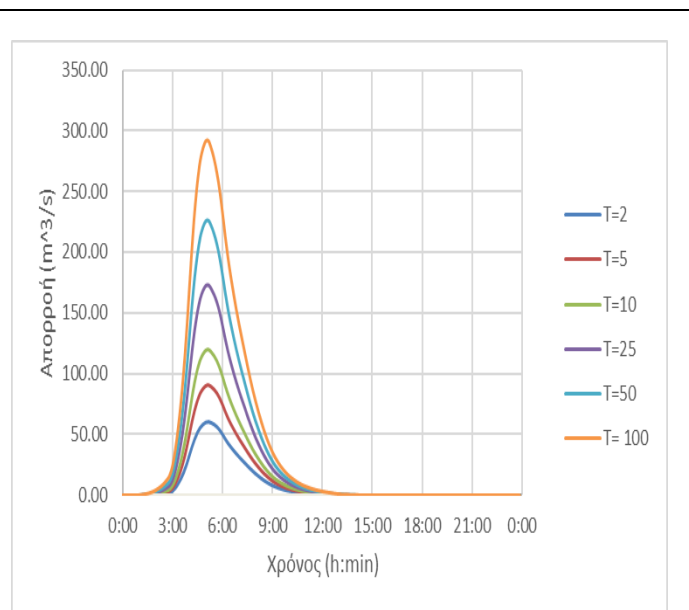


Εικόνα 49: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ ετών και $t=6\text{h}$ μετά την πυρκαγιά

Για την καλύτερη σύγκριση των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς στον υδρολογικό χαρακτήρα μιας λεκάνης απορροής παρατίθενται τα συγκεντρωτικά πλημμυρογραφήματα (Εικόνα 50 και Εικόνα 51) για περίοδο επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50$ και 100 έτη και για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6 \text{ h}$ που αφορούν την περίοδο πριν και μετά το γεγονός πυρκαγιάς του 2021 αντίστοιχα. Γενικά, παρατηρείται αύξηση της παροχής αιχμής τουλάχιστον κατά 30% ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς η αύξηση της παροχής αιχμής ξεπερνά το 50% .



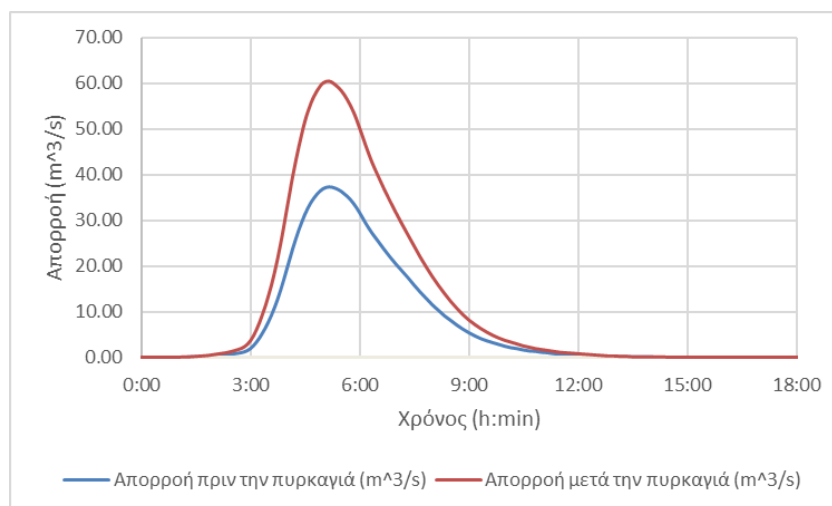
Εικόνα 50: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ και $t=6h$ πριν την πυρκαγιά



Εικόνα 51: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ και $t=6h$ μετά την πυρκαγιά

Προφανώς, μετά την πυρκαγιά η απορροή είναι πολύ μεγαλύτερη. Για να προσδιοριστεί, όμως και το ποσοστό διαφοράς της απορροής σε σχέση με την πυρκαγιά δημιουργήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης $t=6h$. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στις Εικόνες 55, 56, 57, 58, 59 και 60.

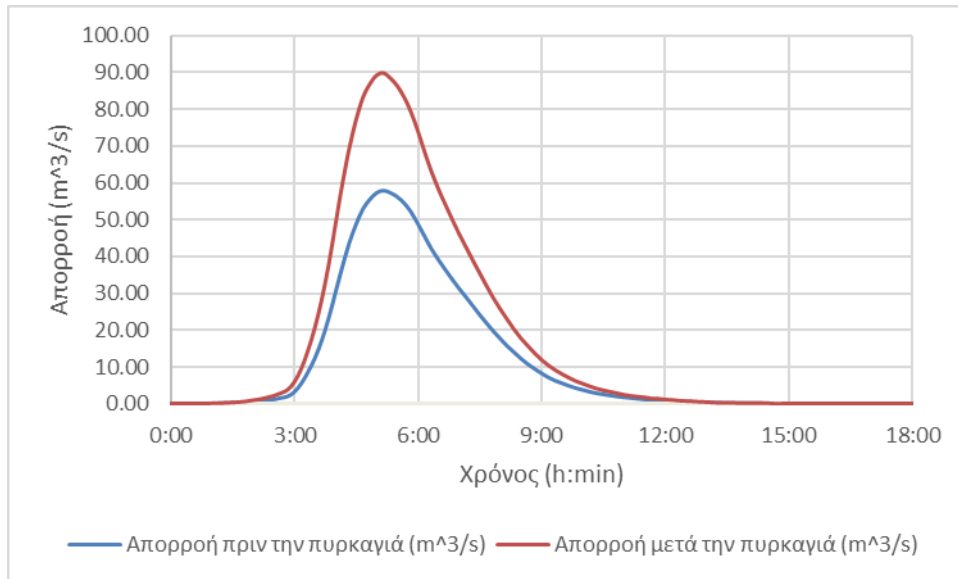
Στην Εικόνα 52 παρουσιάζεται το συγκριτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T=2$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t=6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από $37.30 \text{ m}^3/\text{s}$ που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε $60.50 \text{ m}^3/\text{s}$ μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 62.20 %.



Εικόνα 52: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ έτη και $t=6$ h πριν και μετά την πυρκαγιά

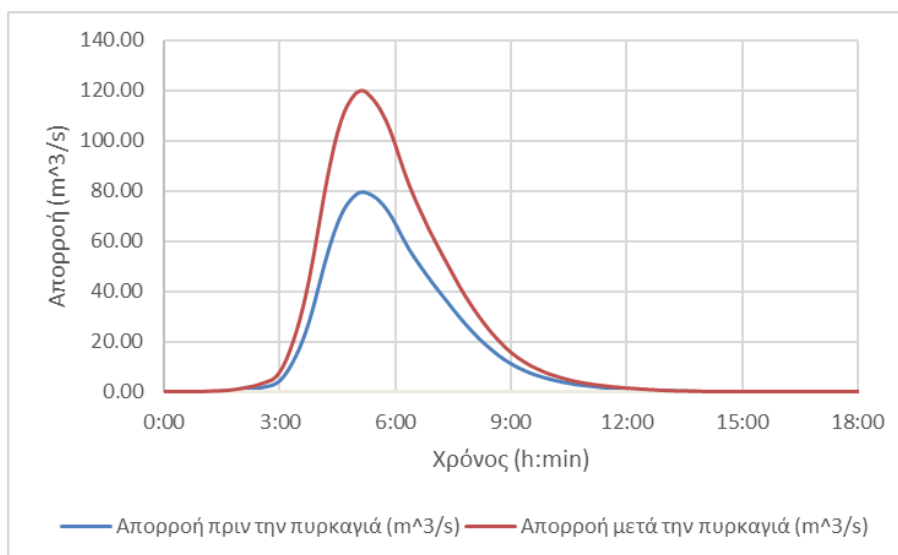
Στην Εικόνα 53 παρουσιάζεται το συγκριτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T=5$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t=6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά

την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από 57.80 m³/s που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε 90.00 m³/s μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 55.71%.



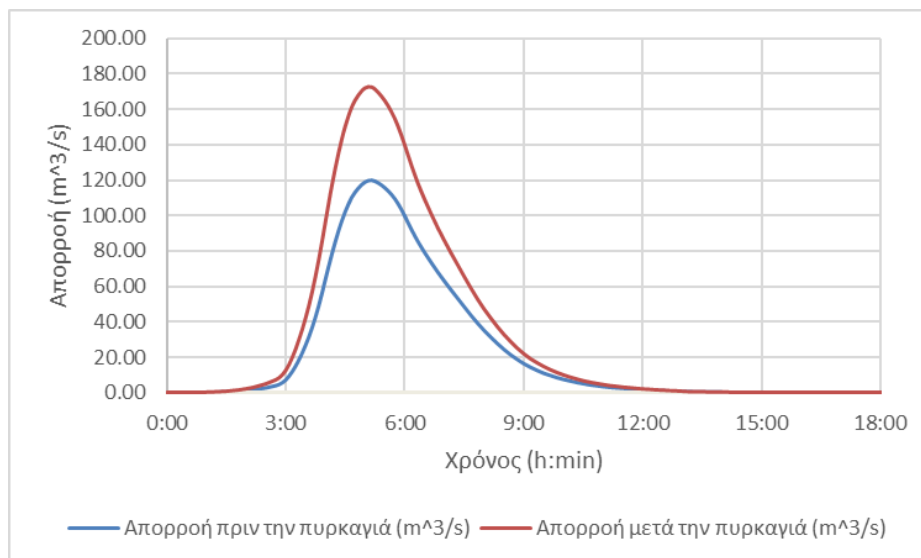
Εικόνα 53: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 54 παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T=10$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t=6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από 79.60 m³/s που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε 119.90 m³/s μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 50.63%.



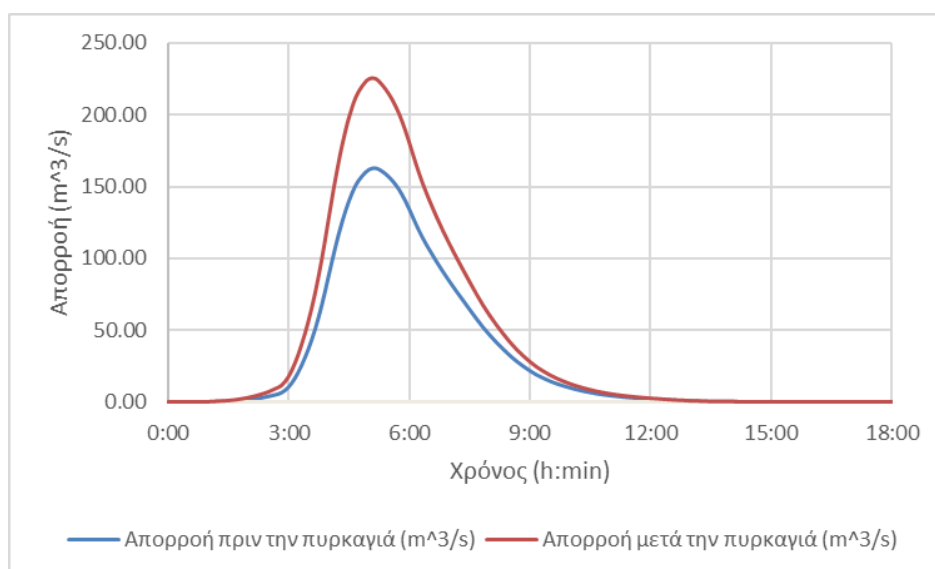
Εικόνα 54: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=10y$ και $t=6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 55 παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από $120.20 \text{ m}^3/\text{s}$ που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε $172.80 \text{ m}^3/\text{s}$ μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 43.76%.



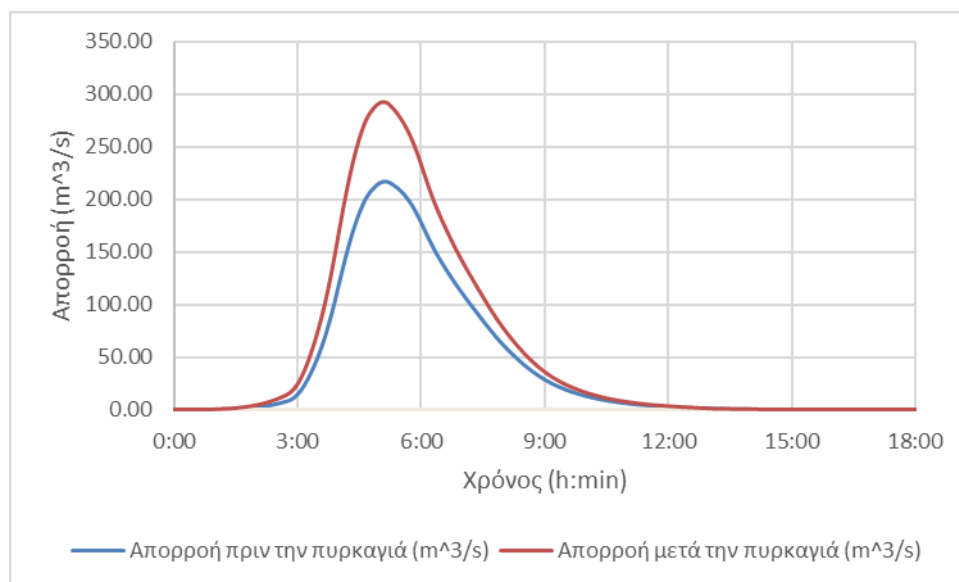
Εικόνα 55: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 25$ γ και $t = 6$ h πριν και μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 56 παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από $162.50 \text{ m}^3/\text{s}$ που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε $225.50 \text{ m}^3/\text{s}$ μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 38.77%.



Εικόνα 56: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 50$ γ και $t = 6$ h πριν και μετά την πυρκαγιά

Στην Εικόνα 57 παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη και διάρκεια βροχόπτωσης $t = 6$ ώρες για τις περιόδους πριν και μετά την πυρκαγιά. Παρατηρείται πως η παροχή αιχμής από $217.60 \text{ m}^3/\text{s}$ που ήταν πριν την πυρκαγιά αυξάνεται σε $291.60 \text{ m}^3/\text{s}$ μετά την πυρκαγιά. Δηλαδή παρουσιάζεται αύξηση της τάξης του 34.01%.



Εικόνα 57: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T = 100y$ και $t = 6h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

Επιπλέον, στο Παράρτημα παρατίθενται τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς και τις διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 71) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 71.86%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 72) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 66.45%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 73) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 61.73%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 74) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 54.93%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 50$ έτη (Εικόνα Π 75) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 50.11%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1$ ώρα και περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη (Εικόνα Π 76) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 45.03%.

Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 2$ έτη (Εικόνα Π 77) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 67.53%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη (Εικόνα Π 78) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 61.32%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 10$ έτη (Εικόνα Π 79) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την πυρκαγιά κατά 56.71%. Για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 2$ ώρες και περίοδο επαναφοράς $T = 25$ έτη (Εικόνα Π 80) παρουσιάζεται αύξηση της παροχής αιχμής μετά την

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

4.1. Συμπεράσματα

Οι έντονες πυρκαγιές επηρεάζουν την υδρολογική συμπεριφορά φυσικών λεκανών, ιδίως στις Μεσογειακές περιοχές που είναι επιρρεπείς λόγω της χλωρίδας τους και του κλίματός τους. Τέτοια περίπτωση αποτελεί η λεκάνη απορροής του Κηφισού και συγκεκριμένα στην περιοχή της Βαρυμπόμπης, η οποία και εξετάσθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η πλημμυρική παροχή και η παροχή αιχμής σε ανάλογα υδατορεύματα σύμφωνα με τις περισσότερες μελέτες δείχνουν να αυξάνονται μετά τις φωτιές, ως αποτέλεσμα της δυσκολίας πλέον του εδάφους να συγκρατήσει μεγάλο όγκου νερού λόγω της έλλειψης φυτοκάλυψης.

Μεγάλο μέρος της έκτασης της Βαρυμπόμπης κάηκε μετά την καταστροφική πυρκαγιά του καλοκαιριού του 2021, και ένα αρκετά μεγάλο καμένο τμήμα ήταν μέσα στη λεκάνη απορροής του Κηφισού στο οποίο καταλήγει σημαντική ποσότητα υδάτων από την ορεινή έκταση της Πάρνηθας. Το ποσοστό της λεκάνης που κάηκε υπολογίσθηκε ότι είναι πάνω από το 45 % της περιοχής μελέτης, δηλαδή περίπου 27 km² από τα 59 km² της συνολικής έκτασης της περιοχής ενδιαφέροντος. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε το ερέθισμα για την εν λόγω μελέτη, καθώς υπήρχε ανησυχία στην περιοχή για την εμφάνιση έντονων πλημμυρικών φαινομένων στα κατάντη του ρέματος με τις πρώτες φθινοπωρινές βροχοπτώσεις.

Στην εργασία αναλύονται οι επιδράσεις στο πλημμυρικό καθεστώς των φυσικών λεκανών απορροής με περίπτωση εφαρμογής το τμήμα της λεκάνης απορροής του Κηφισού που αφορά την Βαρυμπόμπη. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τη χρήση της όμβριας καμπύλης που περιγράφει την συγκεκριμένη λεκάνη απορροής. Χρησιμοποιήθηκε, λοιπόν, η όμβρια καμπύλη η οποία έχει προταθεί για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής από τους Μιμίκου et al. (2002). Για περιόδους επαναφοράς $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$ ετών και για διάρκεια βροχόπτωσης $t = 1, 2, 3, 6, 12$ και 24 ώρες κατασκευάστηκαν οι σημειακές βροχοπτώσεις και τα υδρογράφηματα σχεδιασμού. Με κατάλληλη προ-επεξεργασία εξήχθησαν με ακρίβεια χρήσιμα γεωμετρικά στοιχεία της λεκάνης. Τελικά, σε περιβάλλον HEC-HMS εξήχθησαν τα πλημμυρογράφημα για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια βροχόπτωσης για περιόδους πριν και μετά το γεγονός της πυρκαγιάς. Ως πρότυπο απωλειών βροχής υιοθετήθηκε το SCS-CN και ως πρότυπο άμεσης απορροής υιοθετήθηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS. Για τον προσδιορισμό του αριθμού καμπύλης CN μετά την πυρκαγιά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Goodrich et al. (2005) σύμφωνα με την οποία συνδέεται ο αριθμός καμπύλης CN με το ποσοστό της χρήσης γης που δεν έχει καεί.

Συμπερασματικά, η παροχή αιχμής μετά την πυρκαγιά είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή πριν την πυρκαγιά για κάθε περίοδο επαναφοράς και κάθε διάρκεια βροχόπτωσης με αύξηση που φτάνει το 71.86 % για διάρκεια βροχής 1 ώρα και περίοδο επαναφοράς 2 έτη, γεγονός που είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για τις επιπτώσεις που ενέχει ένα έντονο καιρικό φαινόμενο όπως μια έντονη βροχόπτωση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σε μελέτες που έχουν γίνει την πρώτη χρονιά μετά την πυρκαγιά τα πλημμυρικά φαινόμενα αυξάνονται σημαντικά, ενώ τον δεύτερο χρόνο, η

απόκριση της λεκάνης σε πλημμυρικά φαινόμενα είναι μικρότερη από ότι στον πρώτο. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη θεώρηση ότι τα παραγόμενα υδρογραφήματα είναι χρονικά εξαρτημένα και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για λίγα χρόνια μετά την πυρκαγιά. Τελικά, η επίδραση της καταστροφικής πυρκαγιάς τον Αύγουστο του 2021 στην περιοχή της Βαρυμπόμπης υπήρξε μεγάλη για το πλημμυρικό καθεστώς της λεκάνης απορροής του Κηφισού που διέρχεται από τους οικισμούς που επλήγησαν. Πρέπει, λοιπόν, όσο το δυνατόν γρηγορότερα να ληφθούν μέτρα προστασίας, δηλαδή αντιδιαβρωτικά και αντιπλημμυρικά έργα, ώστε οι κάτοικοι και το οικοσύστημα να μην πληγούν ανεπανόρθωτα, όπως συνέβη με την πυρκαγιά.

4.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας και για άλλες λεκάνες απορροής για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων και σε άλλες μορφές δασικής βλάστησης (π.χ. κωνοφόρα, φυλλοβόλα, πλατύφυλλα κτλ.)
- Ανάπτυξη της ίδιας μεθοδολογίας σε παρόμοιες λεκάνες απορροής, για τη διερεύνηση αντίστοιχων αποτελεσμάτων, προκειμένου να ενισχυθεί η ισχύς της.
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων με παλαιότερες μελέτες για τη συγκεκριμένη περιοχή, προκειμένου να αναδειχθεί η μέθοδος που εξάγει τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την προσομοίωση της λεκάνης.
- Χρήση του λογισμικού HEC-RAS με σκοπό τον υπολογισμό του όγκου των φερτών υλικών που αποτελούν σημαντικό μέρος των απορροών και παροχών των έντονων περιστατικών βροχής.
- Ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε σημαντικά επεισόδια βροχής-απορροής, τα οποία θα σημειωθούν μελλοντικά στην περιοχή μελέτης, και τη σύγκριση των εκτιμημένων υδρογραφημάτων που θα παραχθούν, με σκοπό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το πως μεταβάλλονται οι υδρολογικοί παράγοντες σε σχέση με το χρονικό διάστημα που έχει επέλθει από την πυρκαγιά του 2021, αλλά και το πότε θα επανέλθει η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης στα επίπεδα που βρισκόταν πριν την πυρκαγιά.
- Εκτίμηση του κόστους των ζημιών μετά από μια πλημμύρα και διαμόρφωση ενός διαχειριστικού σχεδίου για τις πλημμύρες, καθώς και διαμόρφωση ενός σχεδίου για την πρόβλεψη, την πρόληψη, αλλά και την αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων και των ζημιών που ενδέχεται να προκαλέσουν.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1. Ελληνική βιβλιογραφία

Αλωνιστιώτη Δ. (2011) Διερεύνηση της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογική απόκριση λεκανών απορροής της Ανατολικής Αττικής. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων"

Απλαδά Ε., Δεδάκη Μ., Μαραγκού Π., Κουταβά Ν., Σβορώνου Ε., Συμβουλίδου Μ., Τζηρίτης Η., & Χριστόπουλος Χ., 2006: «Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης για τις Προστατευόμενες περιοχές, το παράδειγμα της Πάρνηθας». WWF Ελλάς, Αθήνα

Αργυροπούλου Ε. (2011) Οικονομική αποτίμηση δημιουργίας μητροπολιτικού πάρκου στον Κηφισό ποταμό. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων"

Βαρσάμη Γ. (2014) Προσομοίωση υδρολογικής απόκρισης πριν και μετά από πυρκαγιά στην πειραματική λεκάνη Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας. Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων"

Βαχαβιώλος Θ. (2011) Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Γάνναρος Θ.Μ., Παπαβασιλείου Γ., Λαγουβάρδος Κ. (2021) Νεότερα στοιχεία για την πυρκαγιά στη Βαρυμπόμπη. Άρθρο, meteo.gr.

Δάβου Ε. (2014) Τα αποθέματα νερού είναι πολύ άνισα κατανεμημένα στον πλανήτη, αφού εξαρτώνται κυρίως από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Μεταπτυχιακή Μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Διαχείριση Περιβάλλοντος"

Δημητρέλλος Γ. (2020) Δασικές πυρκαγιές και Μεσογειακά οικοσυστήματα. Τμήμα Βιολογίας Πανεπιστημίου Πατρών

Εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (ΕΛ06) ΦΕΚ 2693 Β/ 6.07.2018

Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής - Παραδοτέο 8: Ζώνη Λεκανοπέδιο Αττικής. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. Αθήνα, Ιανουάριος 2023.

Επιτροπή μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος (2011) Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

Ευστρατιάδης Α., Ρόζος Ε., και Κουκουβίνος Α. (2009) Υδρόγειος: Μοντέλο υδρολογικής και υδρογεωλογικής προσομοίωσης - Θεωρητική τεκμηρίωση, Ανάπτυξη βάσης δεδομένων και

εφαρμογών λογισμικού σε διαδικτυακό περιβάλλον για την «Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας» Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ζαχαροπούλου Ε. (2019) Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης υδροπεριβαλλοντικών δεδομένων πληθοπορισμού για την ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών στη λεκάνη του π. Κηφισού. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών "Επιστήμη & Τεχνολογία υδατικών πόρων"

Ζωίδου Κ. (2012) Διαχείριση των φυσικών καταστροφών εφαρμογή εκτίμησης της πλημμυρικής και κατολισθητικής επικινδυνότητας σε περιοχή του Ν. Χαλκιδικής. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών ειδίκευσης «Προστασία περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη».

Θεοδοσοπούλου Ζ. (2022) Συλλογή γεωχωρικής πληροφορίας σε οικισμό αυθαιρέτων για πρόληψη από πλημμύρα: Η περίπτωση της Μάνδρας. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Τομέας Τοπογραφίας.

Καψάλης Π. (2009) Προσομοίωση της ανάντη λεκάνης του ποταμού Πηνειού και ανάλυση ευαισθησίας με χρήση του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων Και Περιβάλλοντος.

Κάκογλου Δ. (2005) Ανάλυση χρονοσειρών βροχομετρικών υψών. Διπλωματική Εργασία. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικών Έργων.

Κουρουπάκη Ε. (2021) Η επίδραση της αστικοποίησης στην υδρολογική λεκάνη του Σταλού με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος.

Κουτσογιάννης Δ., και Ξανθόπουλος Θ. (1999) Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. DOI 10.13140/RG.2.1.4856.0888

Λαζάρου Θ. (2019) Ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου SWMM και εφαρμογή στο παντορροικό δίκτυο της Αθήνας. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων Και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Λυμπερόπουλος Σ. 2008 Επίδραση δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής: Η περίπτωση του ρέματος Γιαννούλα στην Πάρνηθα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων Και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.

Μαμάσης Ν. (2012) Πλημμύρες, Σημειώσεις μαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα

Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Σιδέρης Χ., Χατούπης Θ. (2001) Μορφοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής. Μελέτη, 9^ο Διεθνές συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας με έμφαση στη συμβολή των γεωεπιστημών στην ανάπτυξη, Αθήνα.

- Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε. (2006) Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μιχαηλίδη Ε.Μ. (2013) Διερεύνηση προσομοίωσης πλημμύρας για το σχεδιασμό σε λεκάνες χειμαρρικής δίατας. Εφαρμογή στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων Και Περιβάλλοντος.
- Μπαλούτσος Γ., Οικονόμου Α. και Καούκης Κ. 2001. Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά: Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων. Μελέτη. Πρακτικά Διημερίδας με τίτλο: "Αποκατάσταση Καμένων Εκτάσεων", Αθήνα.
- Μπατέλης Σ. (2012) Πιθανές επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών στη ροή ρεμάτων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ενιπέα, Θεσσαλία, Ελλάδα. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Τομέας Τοπογραφίας.
- Μπενέκου Π. (2014) Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS στην ορεινή πειραματική λεκάνη Βαρετάδας Αμφιλοχίας. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Περιβάλλον Και Ανάπτυξη".
- Μπουλάλα Α., Μουζάκη Α. (2003) Μεσογειακό κλίμα- το κλίμα/ πλαίσιο της Ελλάδας και οι τρεις χαρακτηριστικές καλλιέργειες: αμπέλι, ελιά και εσπεριδοειδή. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογγίου, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών Και Ανθοκομίας.
- Ντάφης Σ. (1986) Δασική Οικολογία, Εκδόσεις: Γιαχούδη Γιαπούλη, Αθήνα
- Ξανθάκης Μ. (2011) Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. Διδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας, Εργαστήριο Φυσικής Γεωγραφίας
- Οδηγία για τις πλημμύρες 2007/60/ΕΚ: Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- Παπαδόπουλος Ε. (2019) Δασικές πυρκαγιές παγκοσμίως και στην Ελλάδα (ιστορική εξέλιξη, παρούσα κατάσταση, αντιμετώπιση. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη».
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε.-Κ., Κράνης Χ. και Δανάμος Γ. (2004) Παλαιογραφική Εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα, Τομέας Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Ε.Κ.Π.Α., Αθήνα.
- Παυλόπουλος Κ., Κοταμπάση Χ, Σκέντος Α. (2005) Γεωμορφολογική εξέλιξη του λεκανοπεδίου των Αθηνών HEC-HMS.
- Πουλτσάκης Χ. (2021) Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου του Γαλλικού ποταμού: η περίπτωση της γέφυρας του Σεβαστού- Αργυρούπολης της Π.Ε. Κιλκίς, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής.

Παπαβασιλείου Χ. (2023) Ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου στη Βόρεια Εύβοια κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων.

Ρετσίνης Ε. (2011) Λειτουργία Συνθετικών Υδραυλικών Έργων, Η περίπτωση του Σχεδίου Δέλτα στην Ολλανδία. Διπλωματική Εργασία. Διεπιστημονικό- Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Περιβάλλον Και Ανάπτυξη".

Σεκκής Γ. (2022), Η δράση της θάλασσας "Μεσόγειος Θάλασσα", Παρουσίαση

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

Σούρλας Μ. (2021) Εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη χρήση τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών: Η περίπτωση της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.

Στεργιόπουλος Β. (2019) Καταγραφή και αποτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στη βλάστηση με χρήση δορυφορικών εικόνων- Πάρνηθα 2007. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική».

Στιβάκης Ι. (2017) Κλιματική Κατηγοριοποίηση της Αττικής με τη βοήθεια των βαθμοημερών ψύξης και θέρμανσης. Πτυχιακή Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος- Μετεωρολογίας.

Τζέμης Γ. (2017) Υδρολογική και Υδραυλική προσομοίωση της Ρεματιάς Χαλανδρίου. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Υδατικών Πόρων.

Τράπεζα της Ελλάδος 2011, Επιτροπή Μελέτης επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά σώματα του ελλαδικού χώρου. Μελέτη.

Τσακίρης Γ. (2013) Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών πόρων. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσέρμος Δ. (2017) Παρακολούθηση και αξιολόγηση της ποιότητας νερού στο υδατόρευμα της Ραφήνας (Ανατολική Αττική). Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων Και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.

Τσιχριτζής Α. (2021) Εφαρμογή του μοντέλου SWAT στη λεκάνη απορροής του ποταμού Eel (Καλιφόρνια, ΗΠΑ) κάτω από συνθήκες αλλαγής χρήσεων γης. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων Και Περιβάλλοντος.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2017) 1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (EL06)

Φώτης Α.Ε. (2015) Εκτίμηση υδατικού δυναμικού σε συνθήκες αποδάσωσης: Εφαρμογή στη λεκάνη της Λίμνης Πλαστήρα. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Χαλαστάνη Μ. (2022) Επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο πλημμυρικό καθεστώς λεκανών απορροής της Βόρειας Εύβοιας: Η περίπτωση του Αχλαδορέματος. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

Χριστοδούλου Α. (2015) Ιστορική εξέλιξη της δασικής βλάστησης της ορεινής περιοχής Τροόδου της Κύπρου. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τομέας Δασικής Παραγωγής- Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Βοτανικής- Γεωβοτανικής

WWF, Γεωργιάδης Ν. κ.α. (2007) Δάση και δασικές πυρκαγιές με έμφαση στην περίπτωση της Πάρνηθας, Αθήνα

WWF Αριανούτσου- Φαραγγιτάκη Α., Καζάνης Δ. (2012) Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας. Μελέτη

WWF (2010) Σχέδιο συστηματικής παρακολούθησης κόκκινων ελαφιών- *Cervus elaphus*- Εθνικού πάρκου Πάρνηθας, Αθήνα

5.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Batelis S.C & Nalbantis I. (2014) Potential Effects of Forest Fires on Streamflow in the Enipeas River Basin, Thessaly, Greece. *Environ. Process.* (2014) 1:73–85 DOI 10.1007/s40710-014-0004-z

Basso M., Vieira D., Tiago B. Ramos T. & Mateus M. (2019) Assessing the adequacy of SWAT model to simulate postfire effects on the watershed hydrological regime and water quality. *Research article.*, Wiley, *Land Degrad Dev.* 2020;31:619–631, pages 619 - 631 DOI: 10.1002/ldr.3476

Candela A., Aronica G. & Santoro M. (2009) Effects on Forest Fires on Flood Frequency Curves in a Mediterranean Catchment/ /Effets d'incendies de forêt sur les courbes de fréquence de crue dans un bassin versant Méditerranéen, *Hydrological Sciences Journal*, 50:2, -206, DOI 10.1623/hysj.50.2.193.6175

Carvalho-Santos C., Marcos B., Nunes J.P., Regos A., Palazzi E., Terzago S., Monteiro A. & Honrado J. (2019). Hydrological Impacts of Large Fires and Future Climate: Modeling Approach Supported by Satellite Data. *Special Issue Remote Sensing in Ecosystem Modelling* DOI 10.3390/rs11232832

European Commission JRC (2014) Annual Report 2014, DOI: 10.2788/1795

European Environment Agency (2021) EEA 2021: the year in brief

European Environment Agency (2013) EEA 2013: the year in brief

European Environment Agency (2020) EEA 2020: the year in brief

Goodrich D.C., Canfield H., Burns I., Semmens D.J., Miller S.N., Hernandez M., Levick L.R., Guertin D.P. & Kepner W.G. (2005). Rapid Post-Fire Hydrologic Watershed Assessment using the AGWA GIS-based Hydrologic Modeling Tool. DOI 10.1061/40763(178)44

Hudson J., Kellman M., Sanmugadas K., Alvarado C. (1983) Prescribed burning of Pinus oocarpa in Honduras I. Effects on surface runoff and sediment loss. Study. DOI 10.1016/0378-1127(83)90032-4

Koltsida E., Mamassis N. & Kallioras A. (2021) Hydrological modeling using the SWAT Model in urban and periurban environments: The case of Kifissos experimental sub-basin (Athens, Greece). Study. DOI 10.5194/hess-2021-482

Loisellea D., Dua X., Alessia D., Bladonb K. & Faramarzia M. (2020). Projecting impacts of wildfire and climate change on streamflow, sediment, and organic carbon yields in a forested watershed. DOI 10.1016/j.jhydrol.2020.125403

Mimikou M., Baltas E. & Varanou E. (2000) A Study of extreme storm events in the Athens Greater Area. The EXTREMES Symposium.

Nalbantis I. & Lympelopoulou S. (2012). Assessment of flood frequency after forest fires in small ungauged basins based on uncertain measurements. Hydrological Sciences Journal, 57:1, 52-72, DOI 10.1080/02626667.2011.637041

Papathanasiou, C., Alonistioti, D., Kasella, A., Makropoulos, C. and Mimikou, M., (2012). "The impact of forest fires on the vulnerability of peri-urban catchments to flood events (The case of the Eastern Attica region)". Global NEST, Vol. 14, No 3, pp. 294-302.

Scharffenberg W. and Fleming M. (2010) Hydrologic modeling system (HEC-HMS): physically - based simulation components. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010

Soulis K., Generali K., Papadaki C., Theodoropoulos C. & Psomiadis E. (2021). Hydrological Response of Natural Mediterranean Watersheds to Forest Fires. DOI: 10.3390/hydrology8010015

USDA (United States Department of Agriculture)- Natural Conservation Service (2015). Hydrologic Analyses of Post- Wildfire Conditions. Draft Technical note.

Zeng Z., Tang G., Hong Y., Zeng C. & Yang Y. (2017) Development of an NRCS curve number global dataset using the latest geospatial remote sensing data for worldwide hydrologic applications. DOI 10.1080/2150704X.2017.1297544

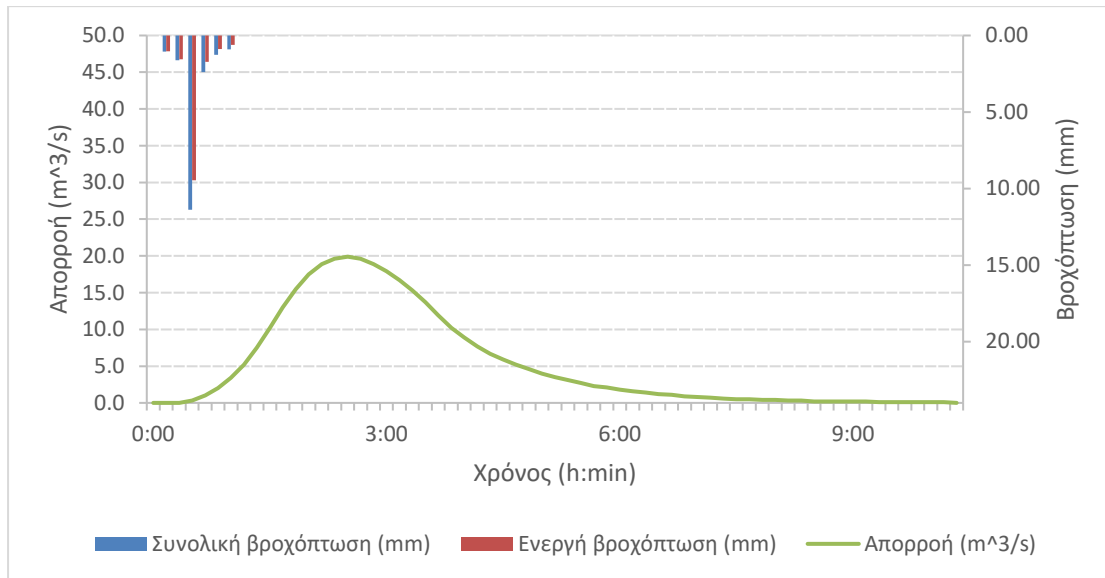
5.3. Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο

- <http://www.hydroscope.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Δεκέμβριος 2022)
- WWF (Ημερομηνία πρόσβασης: Δεκέμβριος 2022)

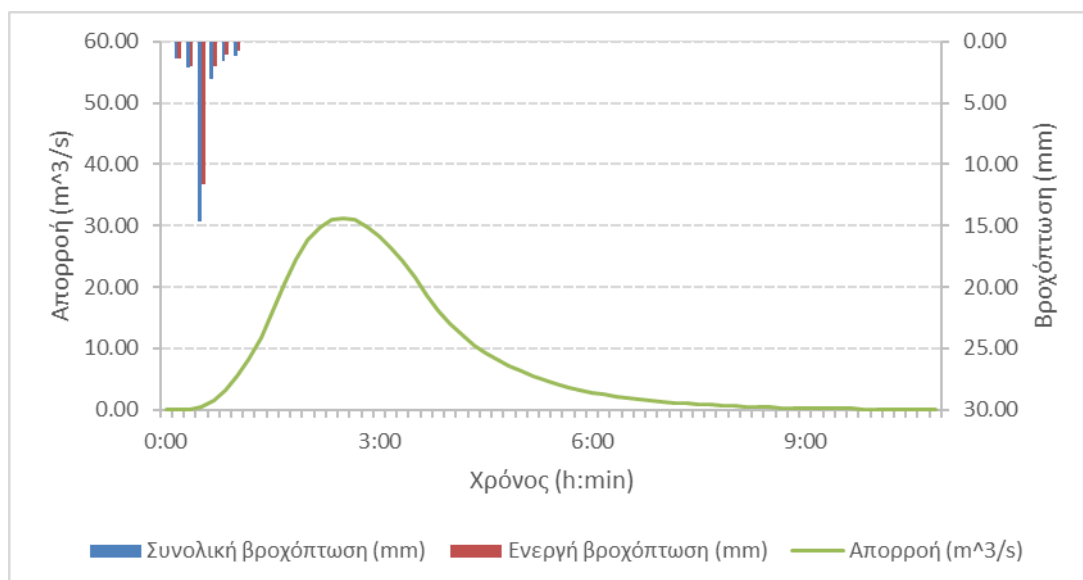
- Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας <https://www.pkm.gov.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Δεκέμβριος 2022)
- Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και ασφάλειας της εργασίας (Ημερομηνία πρόσβασης: Δεκέμβριος 2022)
- Εθνικό Παρατηρητήριο Δασικών Πυρκαγιών (ΕΠΑΔαΠ) (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιανουάριος 2023)
- ΕΚΔΔΑ – Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιανουάριος 2023)
- Σύστημα Διαδικτύου τμήμα δασών (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιανουάριος 2023)
- <https://typos-i.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιανουάριος 2023)
- Υπουργείο περιβάλλοντος και Ενέργειας (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιανουάριος 2023)
- Ελληνική Στατιστική Εταιρεία (ΕΛΣΤΑΤ) (Ημερομηνία πρόσβασης: Φεβρουάριος 2023)
- <https://eviaportal.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Μάρτιος 2023)
- <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2864589/theFile>
- <https://docplayer.gr/58332013-Fysikogeografika-aitia-anthropogeni-aitia-lekani-kifisoy.html> (Ημερομηνία πρόσβασης: Μάρτιος 2023)
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- <https://www.naturagraeca.com/ws/215,279,267,1,1,%CE%94%CE%AC%CF%83%CE%BFCF%82-%CE%A4%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%90%CE%BF%CF%85> (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- <http://drys.weebly.com/epsilondelta-pialpharhonuetathetaalphasigma.html> (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- https://parnitha.net/?page_id=31 (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- https://www.meteo.gr/article_view.cfm?entryID=1856 (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- <https://www.hec.usace.army.mil/> (US Army Corps of engineers-USACE) (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- EFFIS- European Forest Fire Information System ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Ημερομηνία πρόσβασης: Απρίλιος 2023)
- Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος <https://moa.gov.cy/>
- Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΔ 696/74)
https://users.auth.gr/evan/sye/%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%9F%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%99%CE%91/%CE%A0%CE%94%20696_1974-%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%94%CE%99%CE%91%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6%CE%95%CE%A3%20%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%A9%CE%9D.pdf (Ημερομηνία πρόσβασης: Μάιος 2023)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

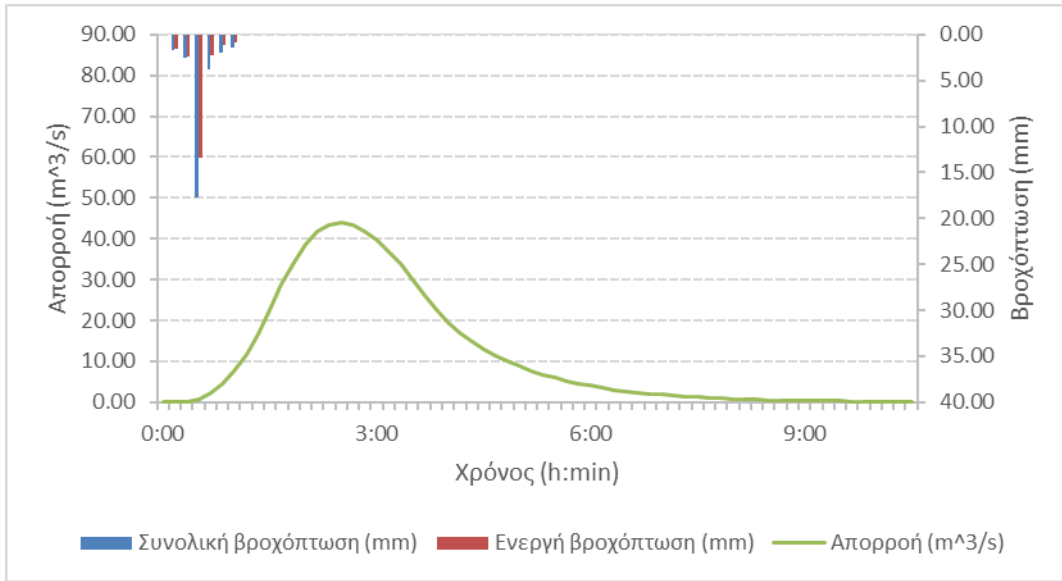
Για $t=1$ ώρα και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν την πυρκαγιά.



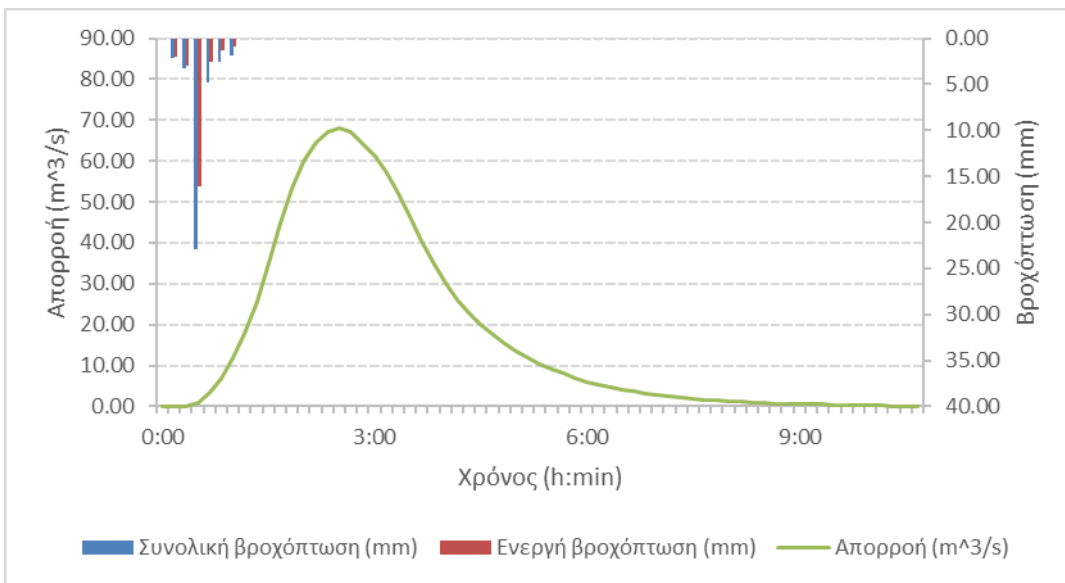
Εικόνα Π 1: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά



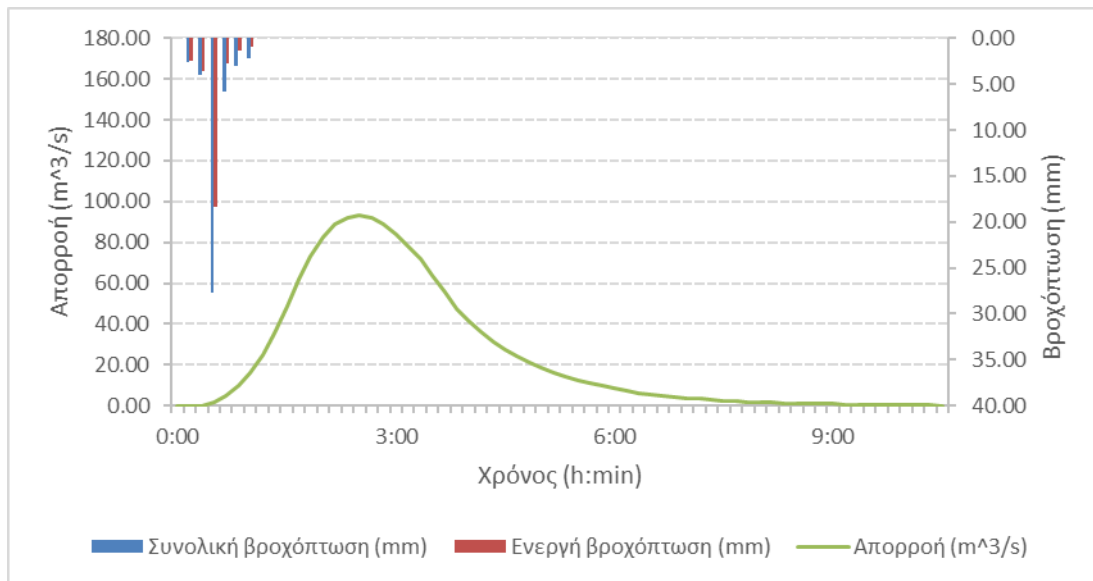
Εικόνα Π 2: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά



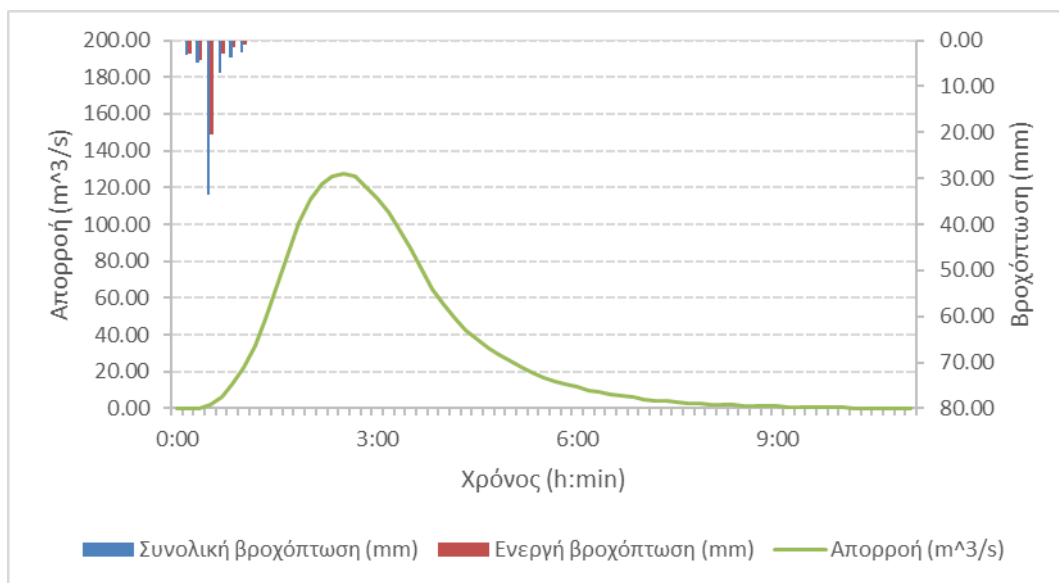
Εικόνα Π 3: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά



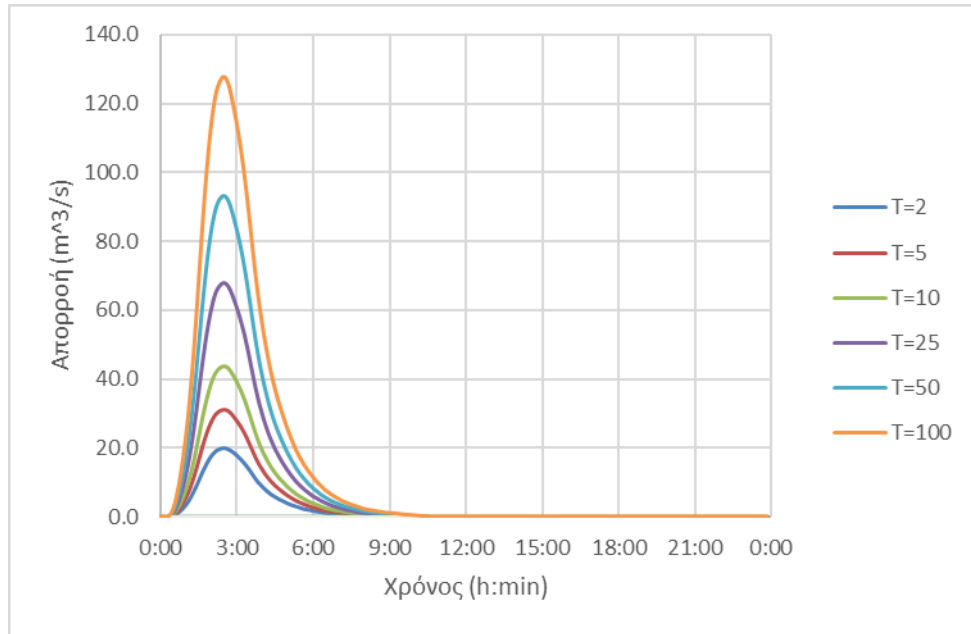
Εικόνα Π 4: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά



Εικόνα Π 5: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά

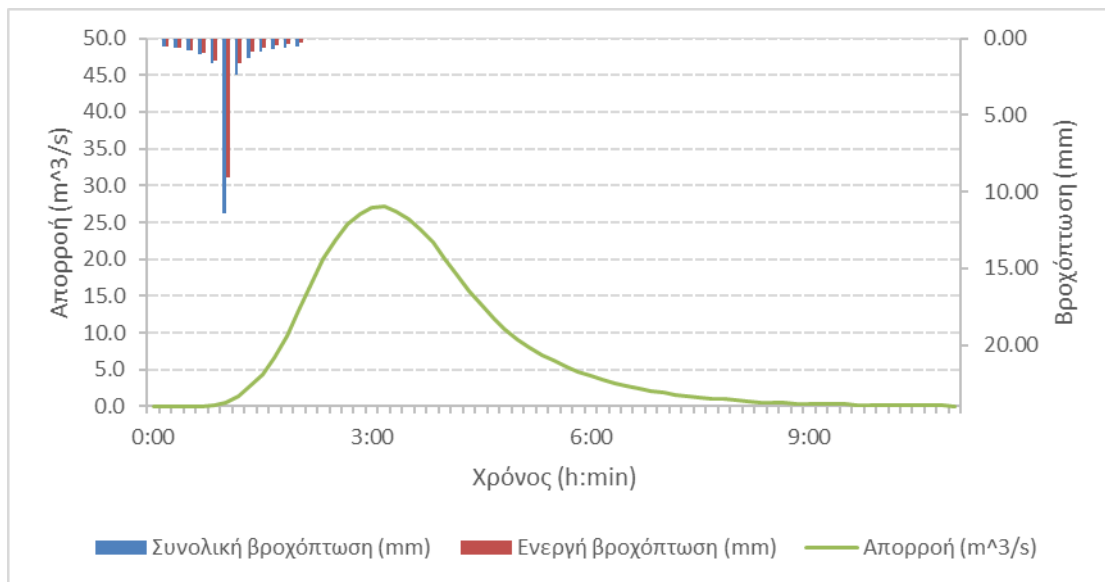


Εικόνα Π 6: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h πριν την πυρκαγιά

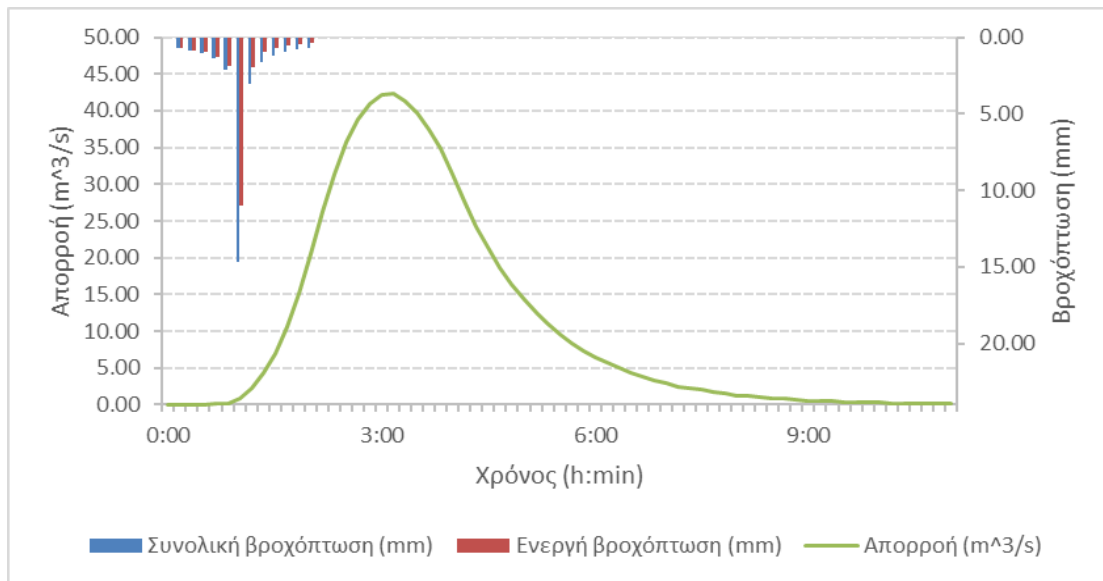


Εικόνα Π 7: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ και $t=1h$ πριν την πυρκαγιά

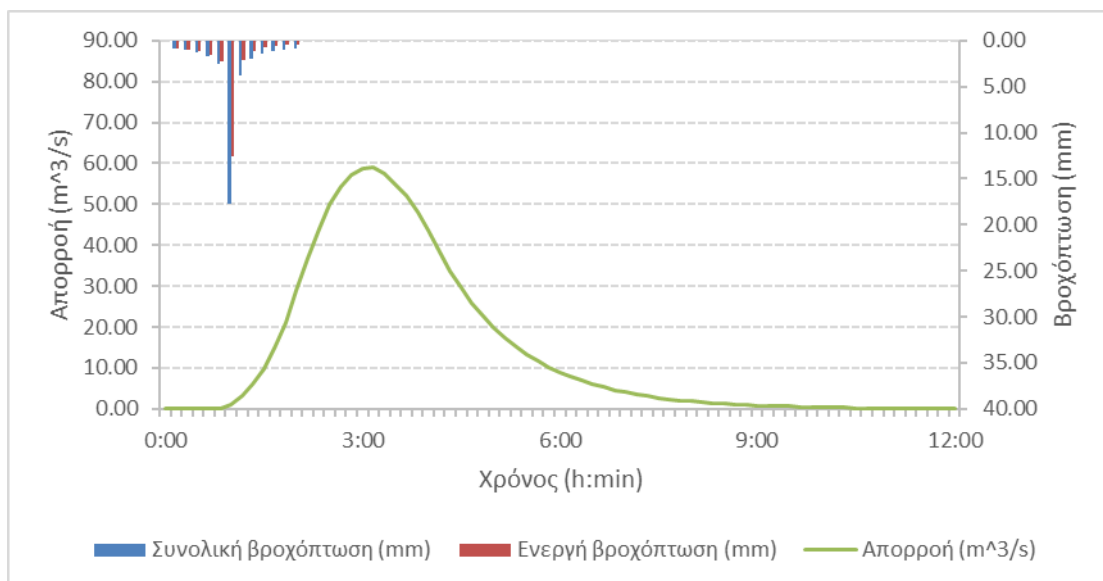
Για $t=2$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν την πυρκαγιά.



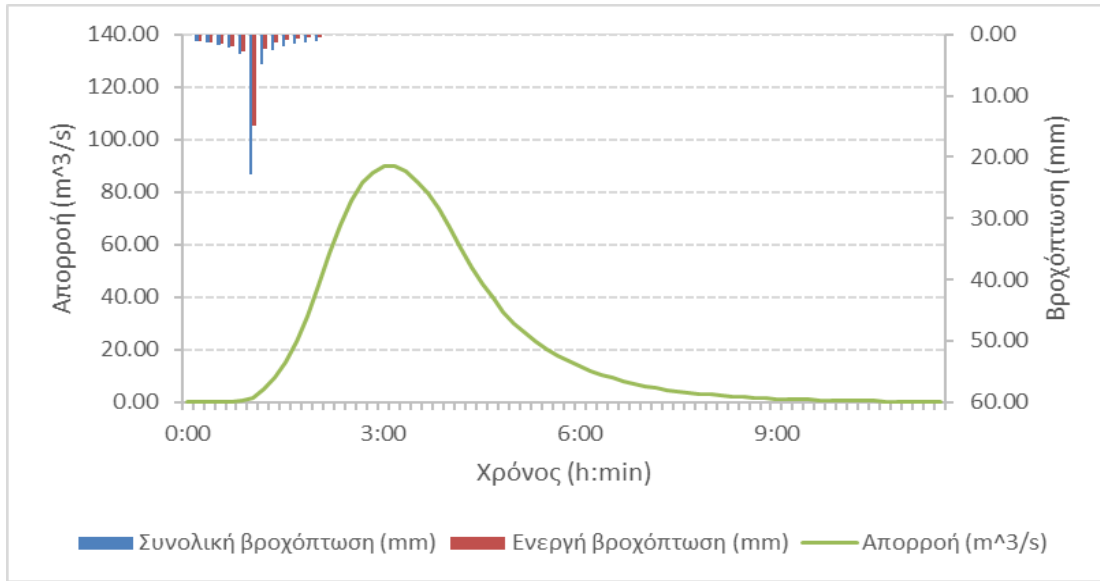
Εικόνα Π 8: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά



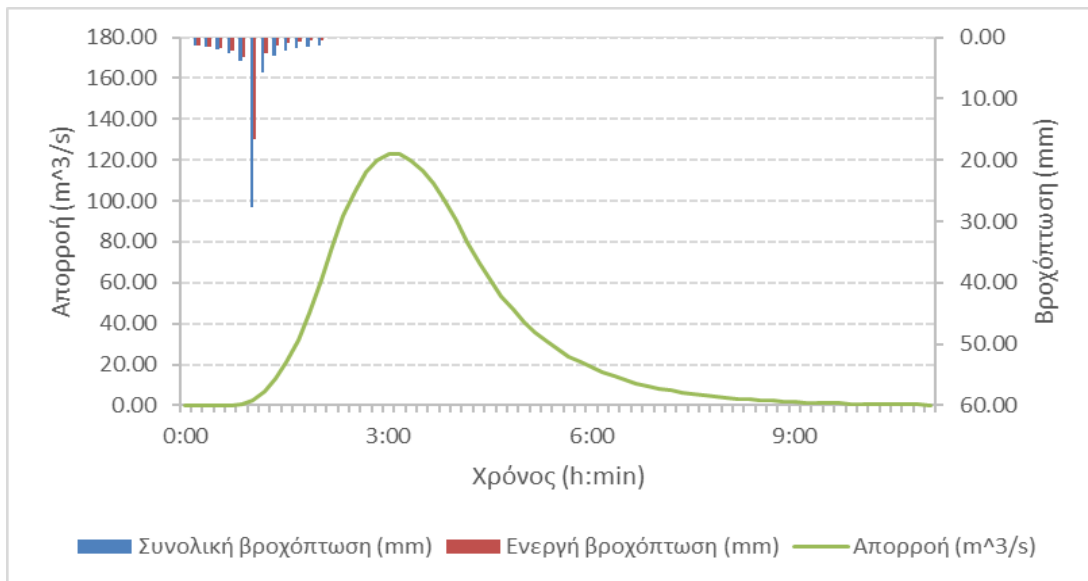
Εικόνα Π 9: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά



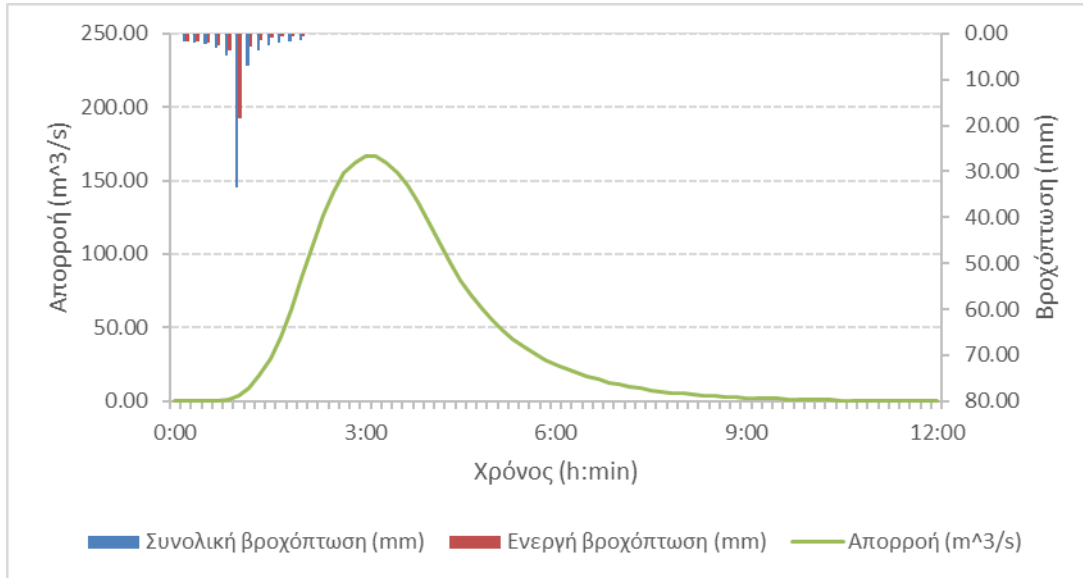
Εικόνα Π 10: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά



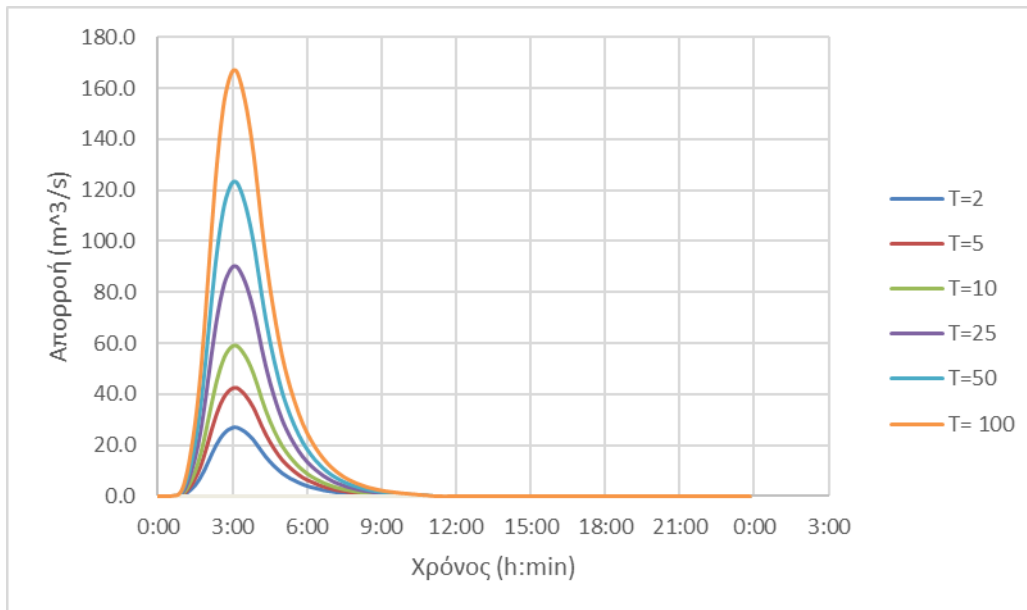
Εικόνα Π 11: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά



Εικόνα Π 12: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά

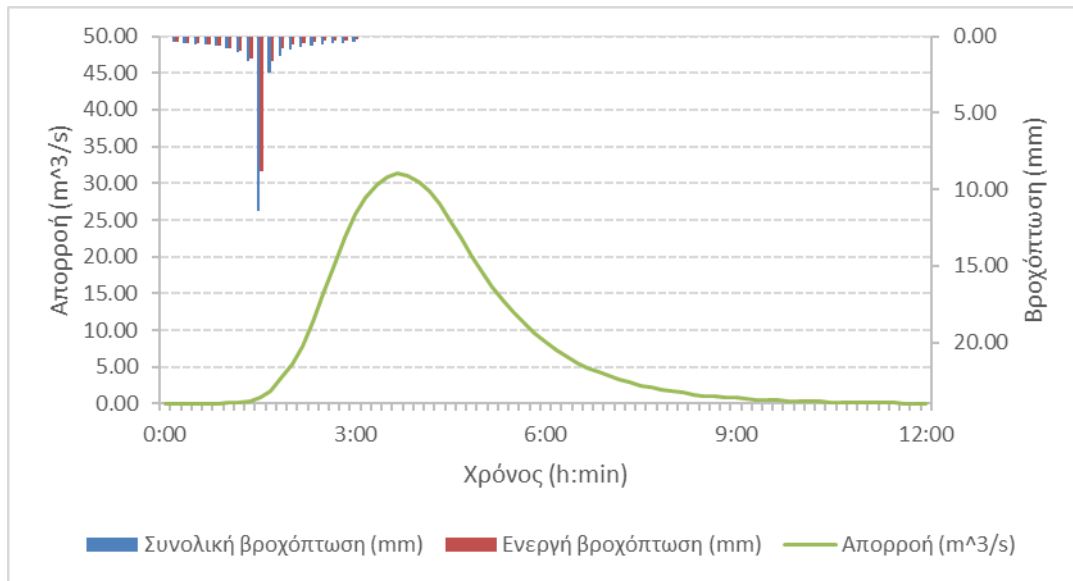


Εικόνα Π 13: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h πριν την πυρκαγιά

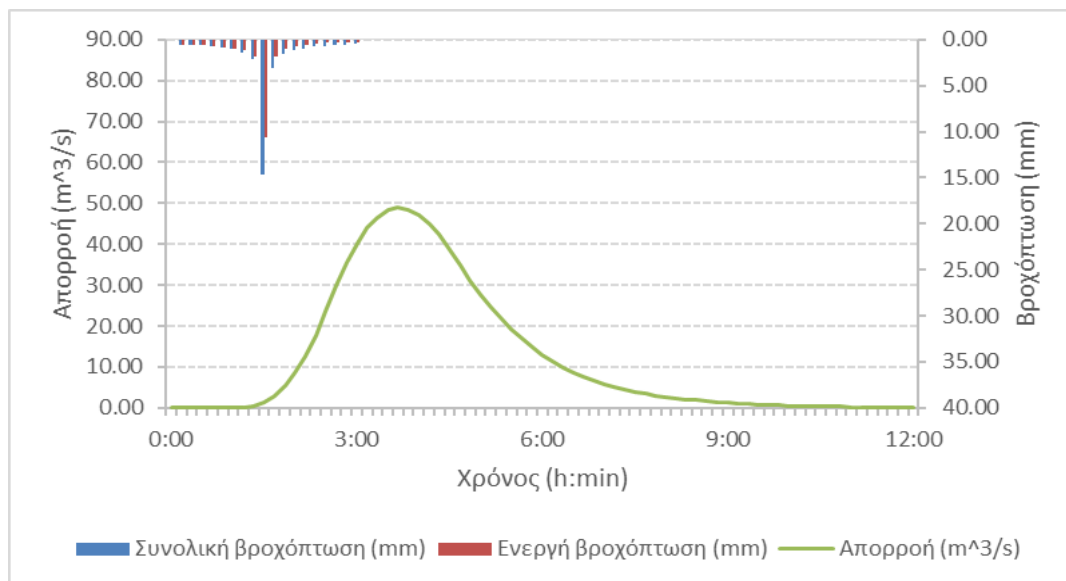


Εικόνα Π 14: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2, 5, 10, 25, 50, 100\gamma$ και $t=2h$ πριν την πυρκαγιά

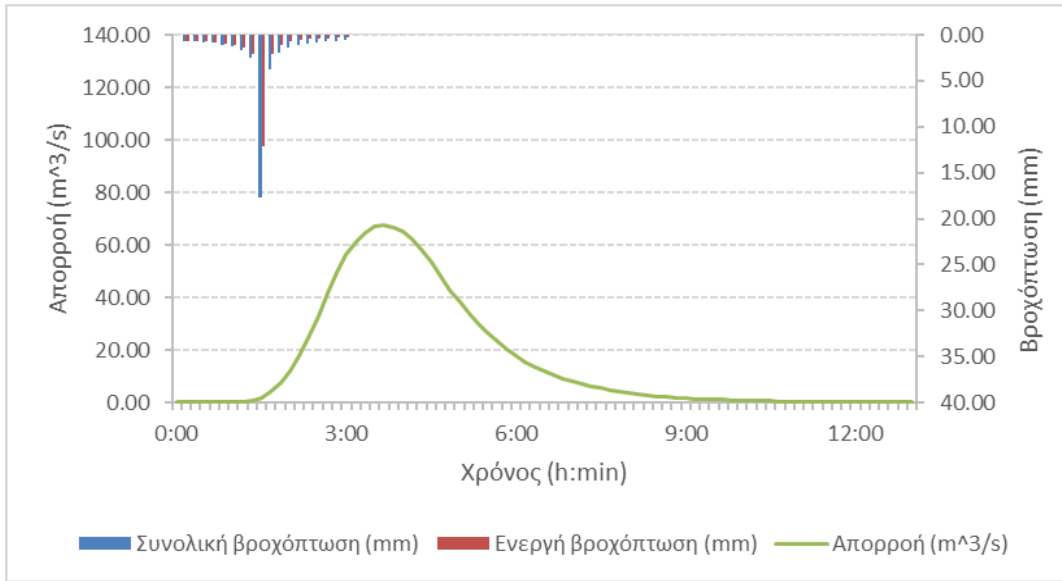
Για $t=3$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν την πυρκαγιά.



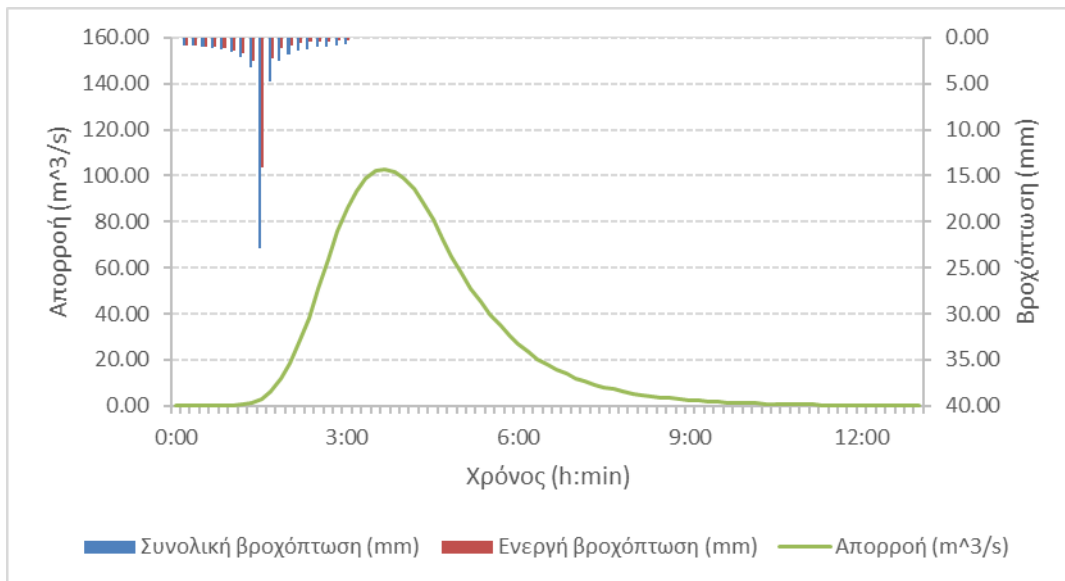
Εικόνα Π 15: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά



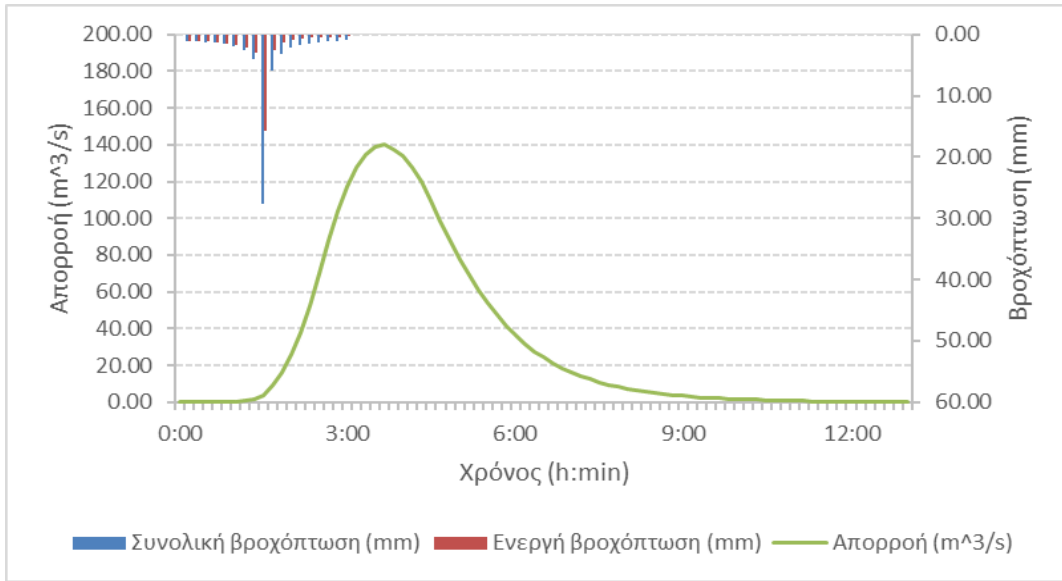
Εικόνα Π 16: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά



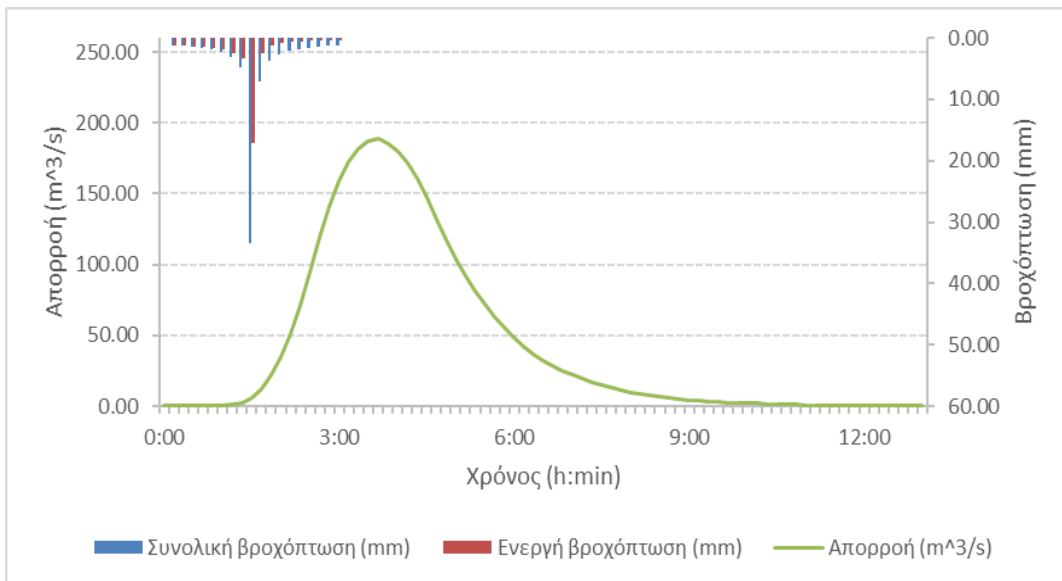
Εικόνα Π 17: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά



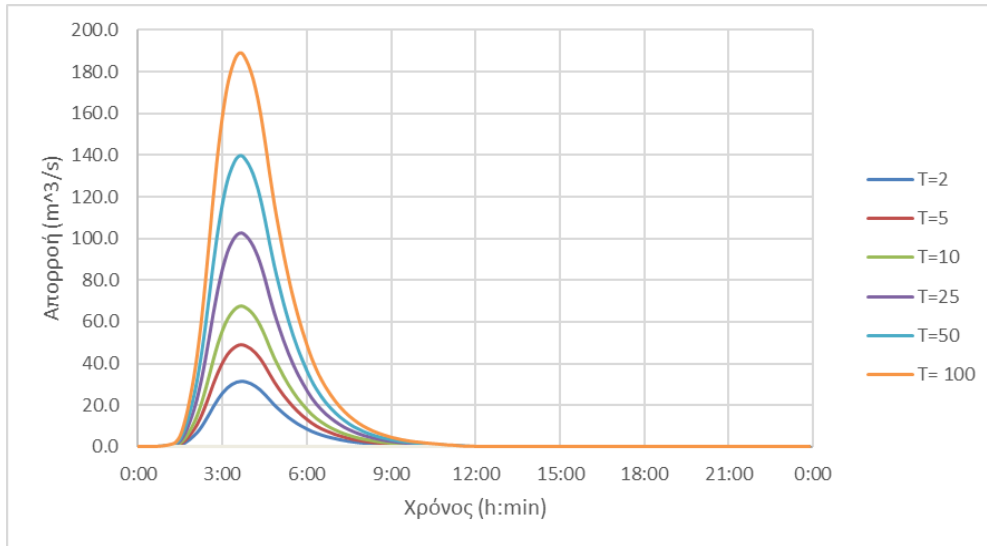
Εικόνα Π 18: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά



Εικόνα Π 19: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά

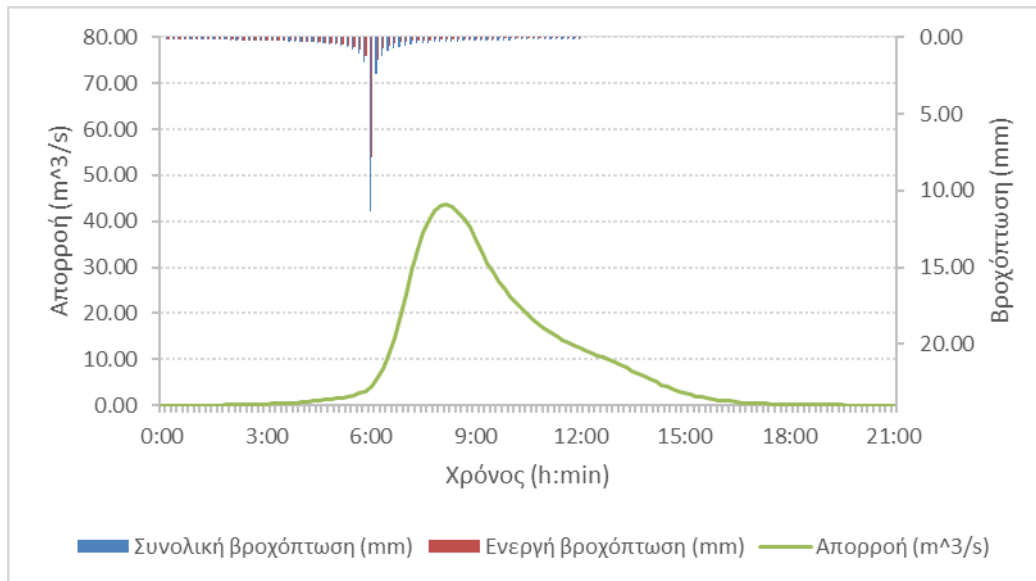


Εικόνα Π 20: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h πριν την πυρκαγιά

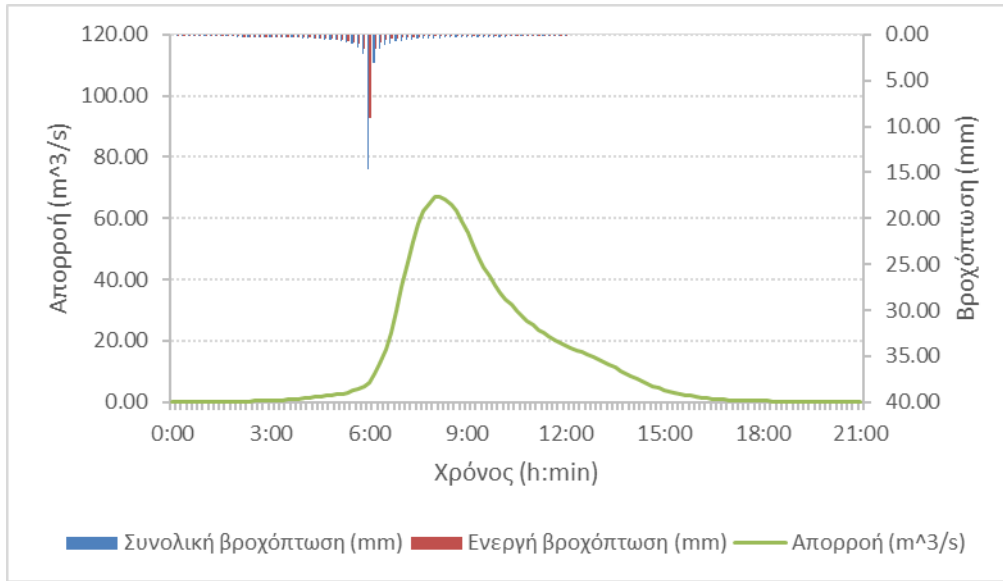


Εικόνα Π 21: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=3h$ πριν την πυρκαγιά

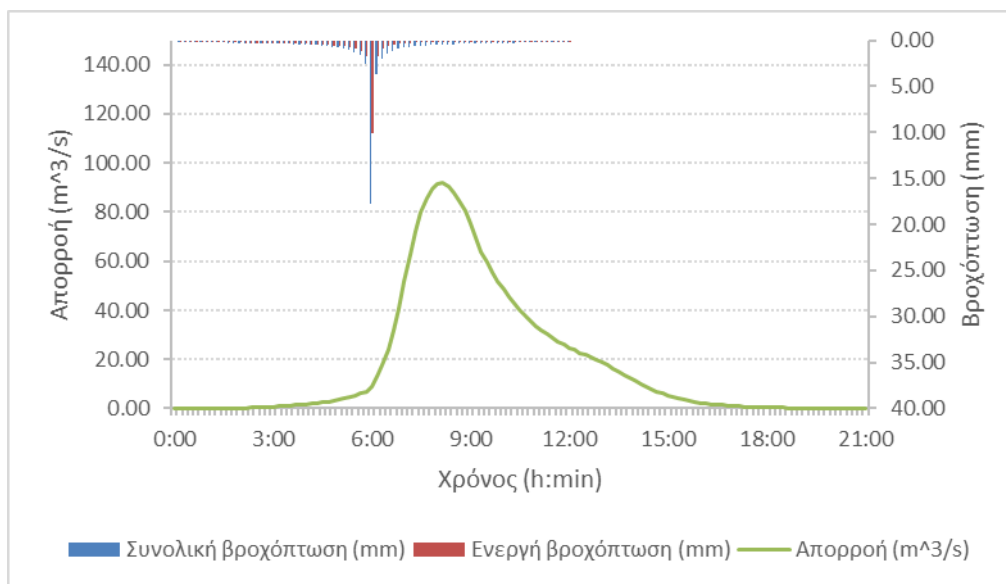
Για $t=12$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν την πυρκαγιά.



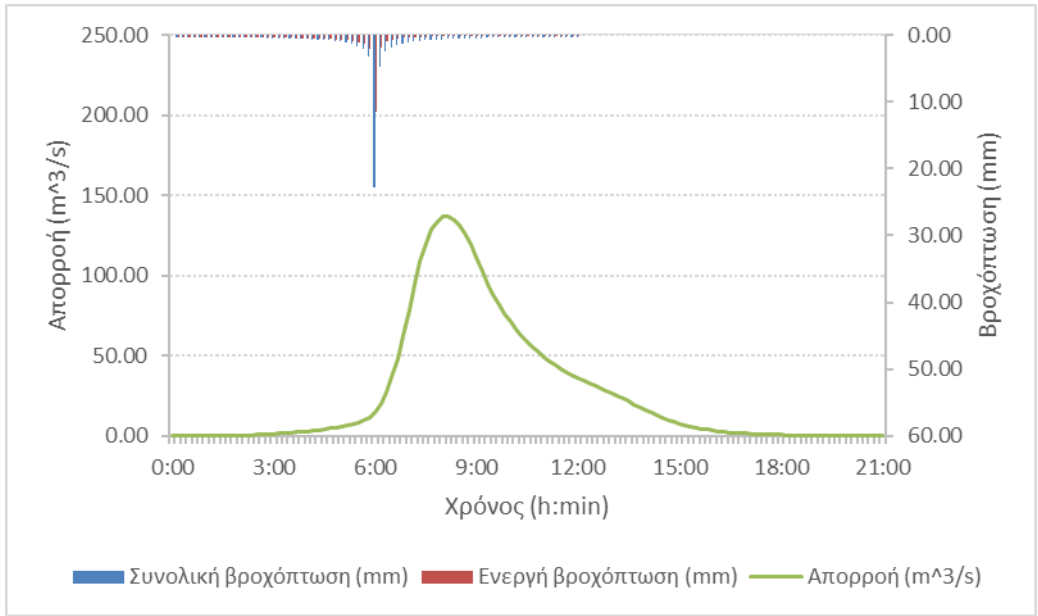
Εικόνα Π 22: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)



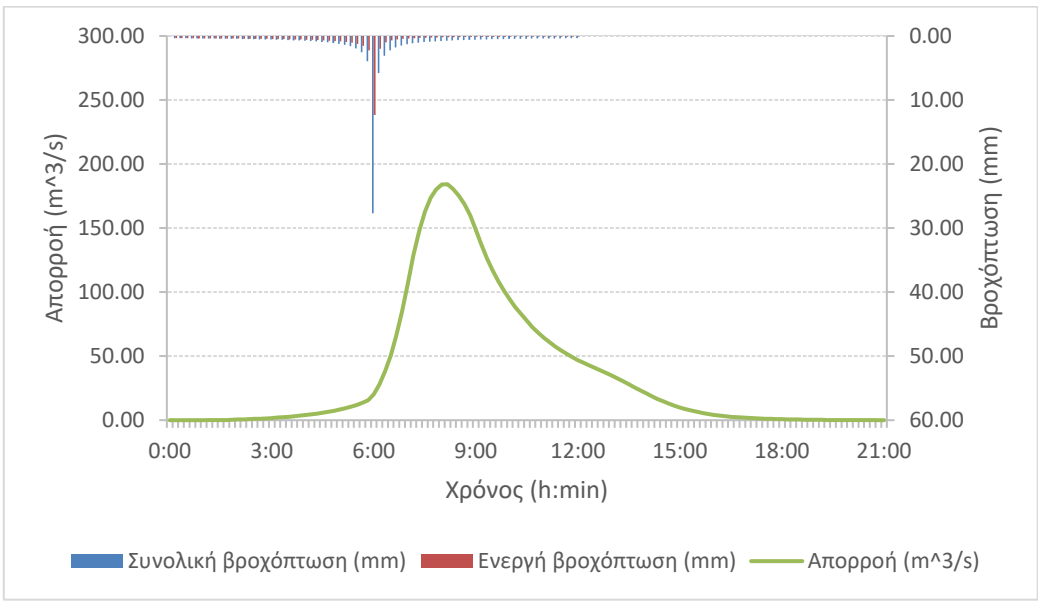
Εικόνα Π 23: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)



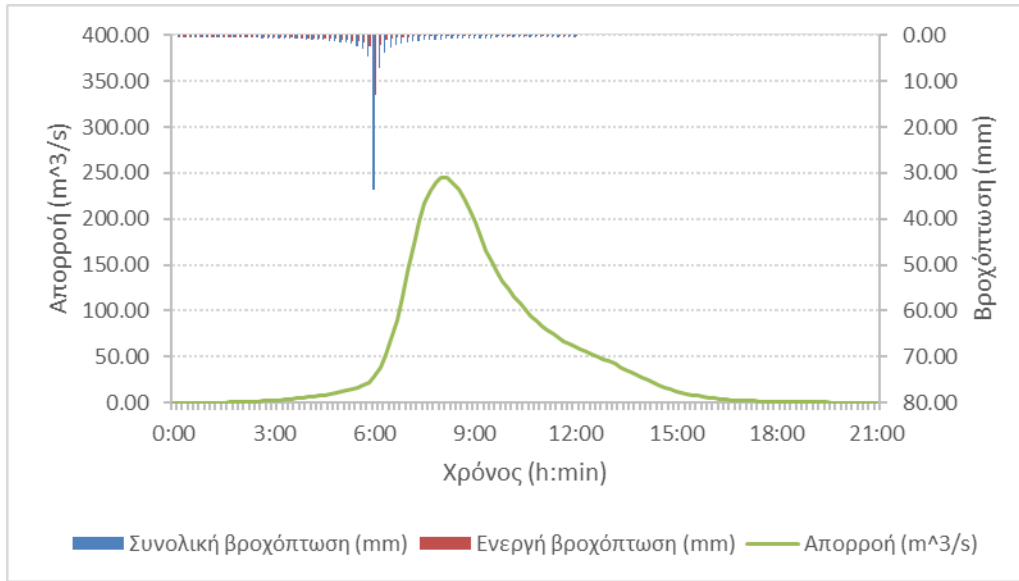
Εικόνα Π 24: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)



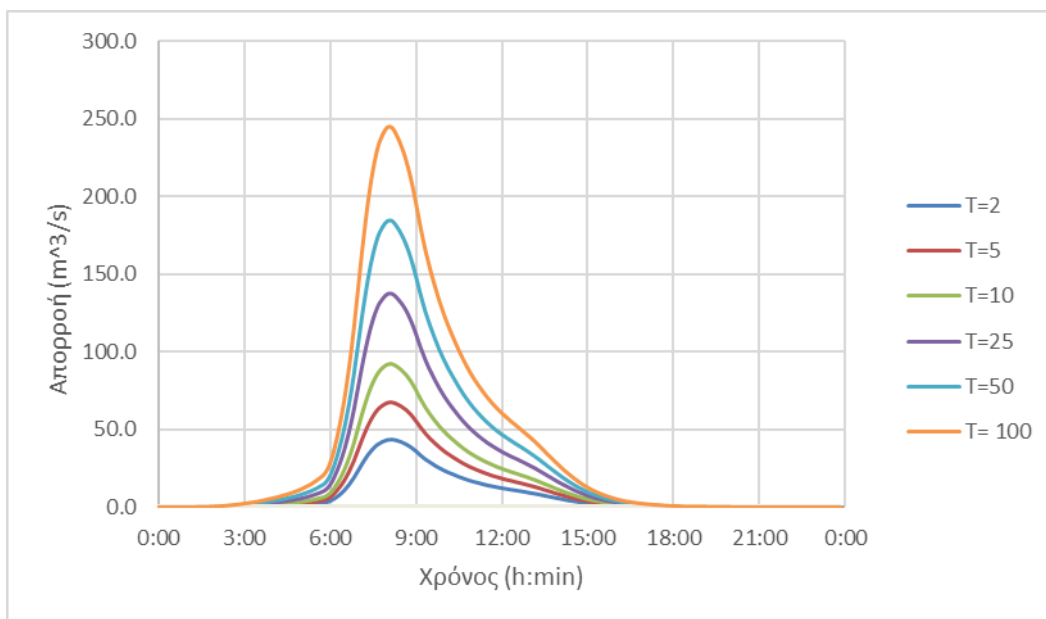
Εικόνα Π 25: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 26: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)

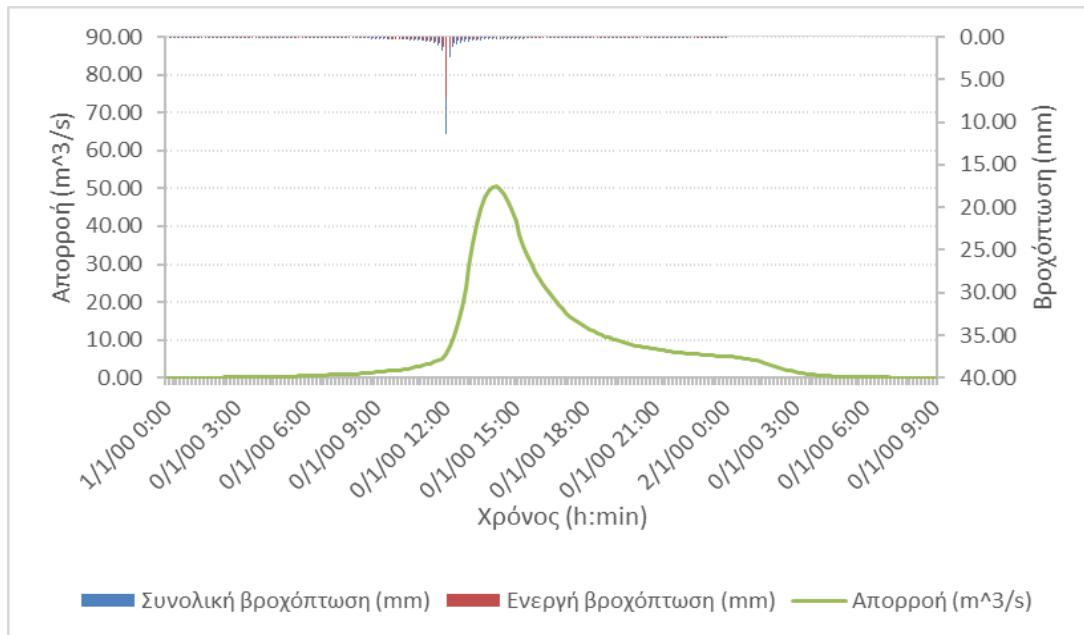


Εικόνα Π 27: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (πριν την πυρκαγιά)

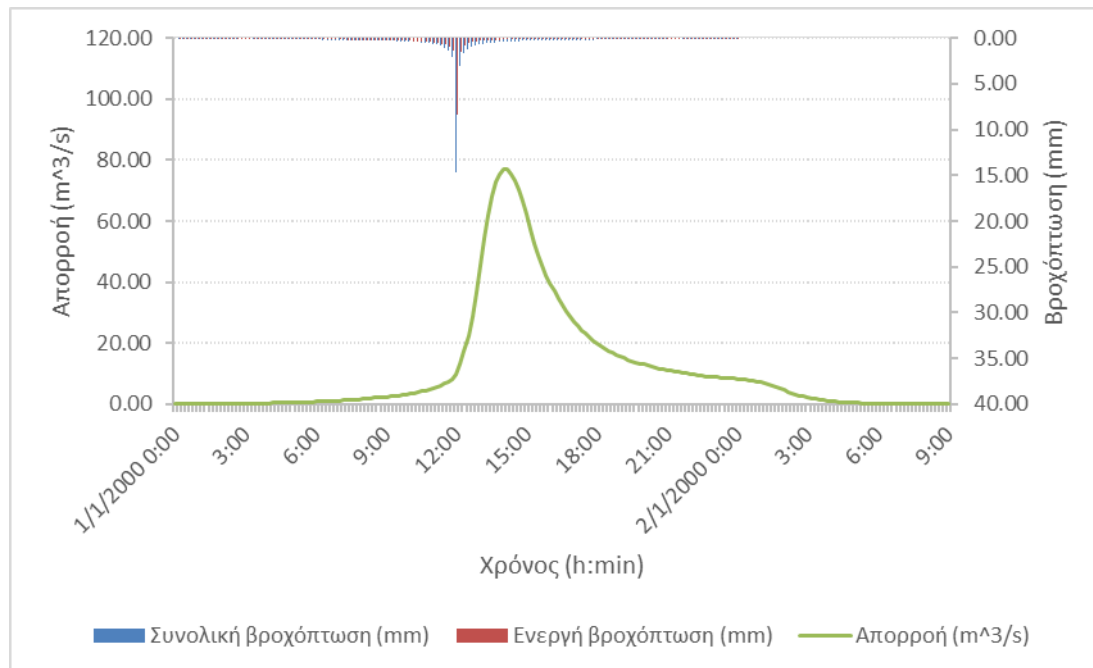


Εικόνα Π 28: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100\gamma$ και $t=12h$ πριν την πυρκαγιά

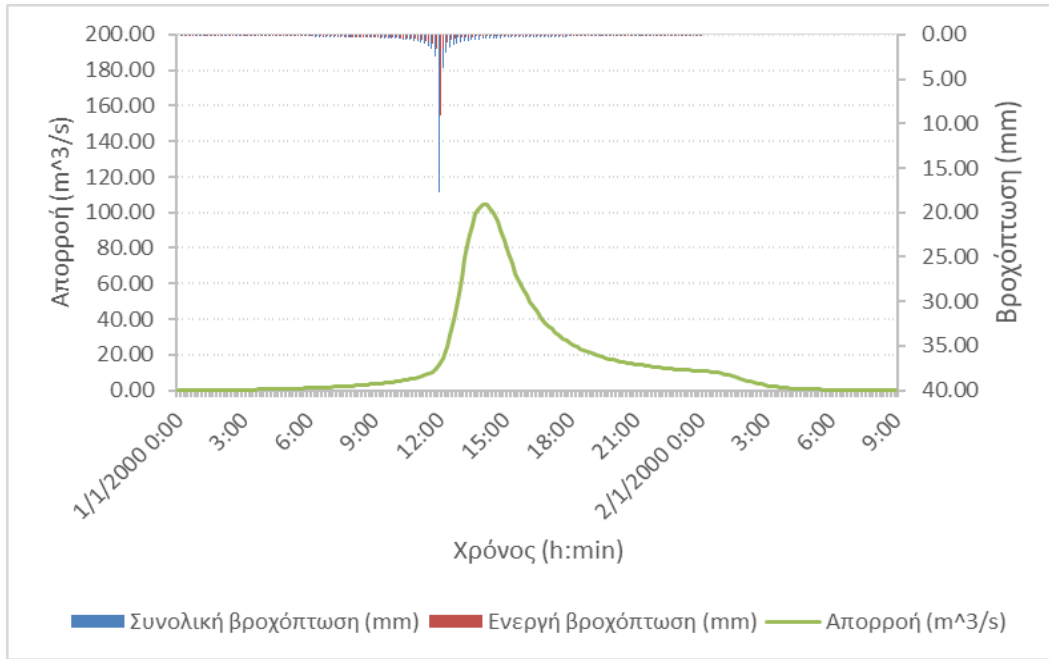
Για $t=24$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν την πυρκαγιά.



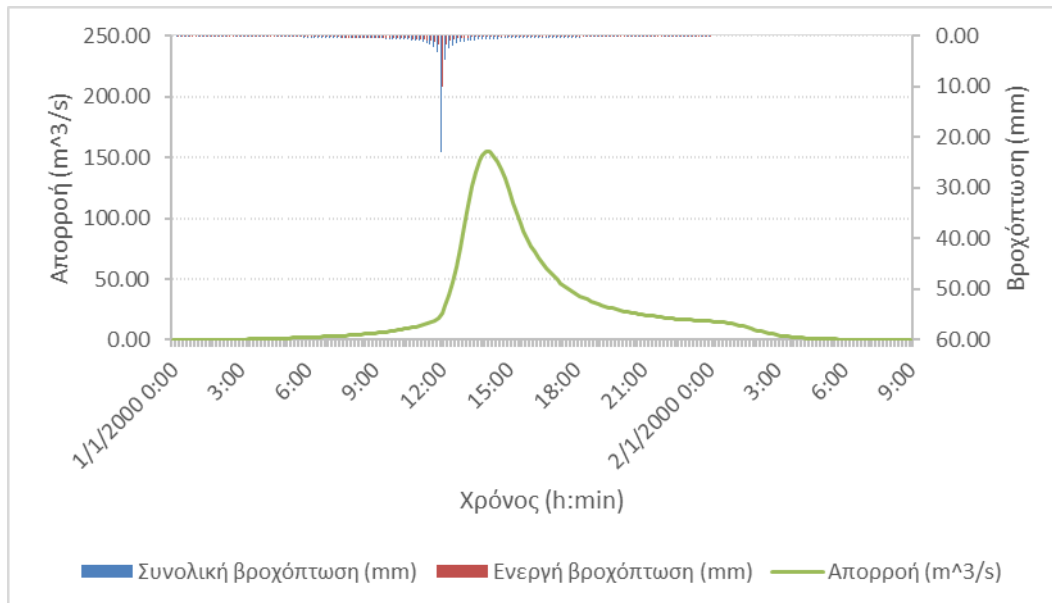
Εικόνα Π 29: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)



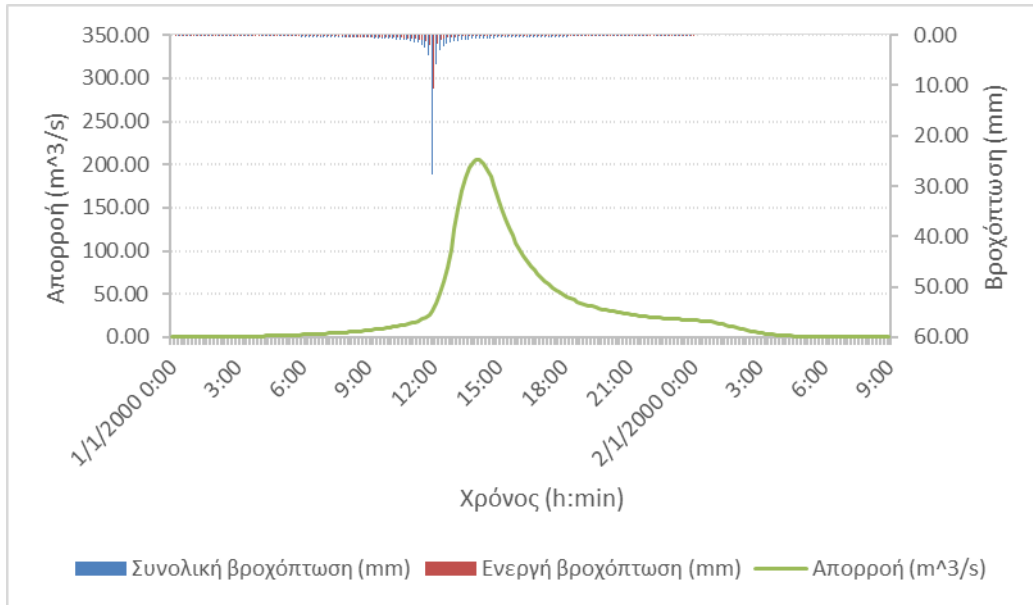
Εικόνα Π 30: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)



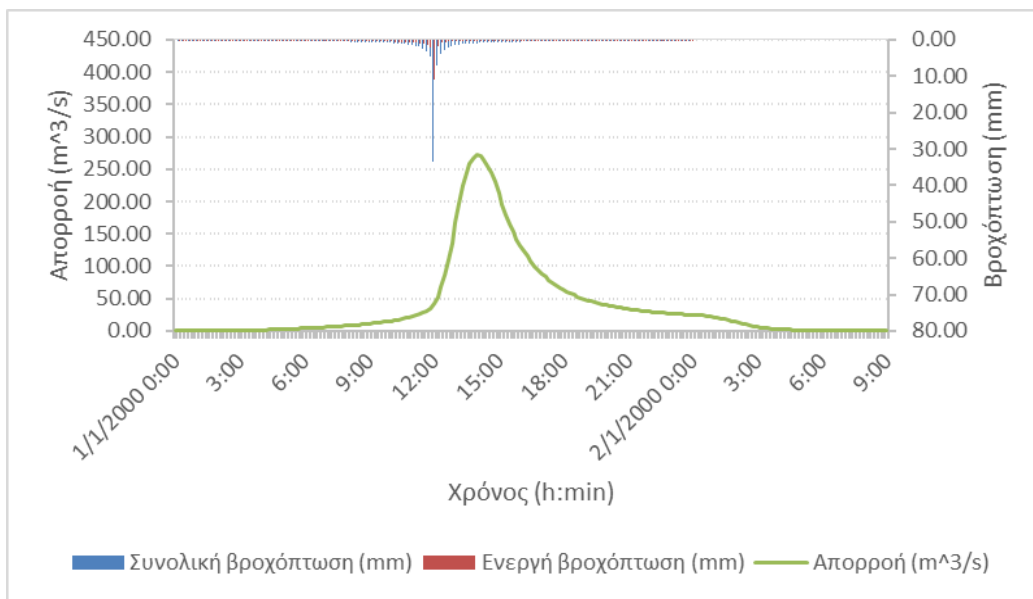
Εικόνα Π 31: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)



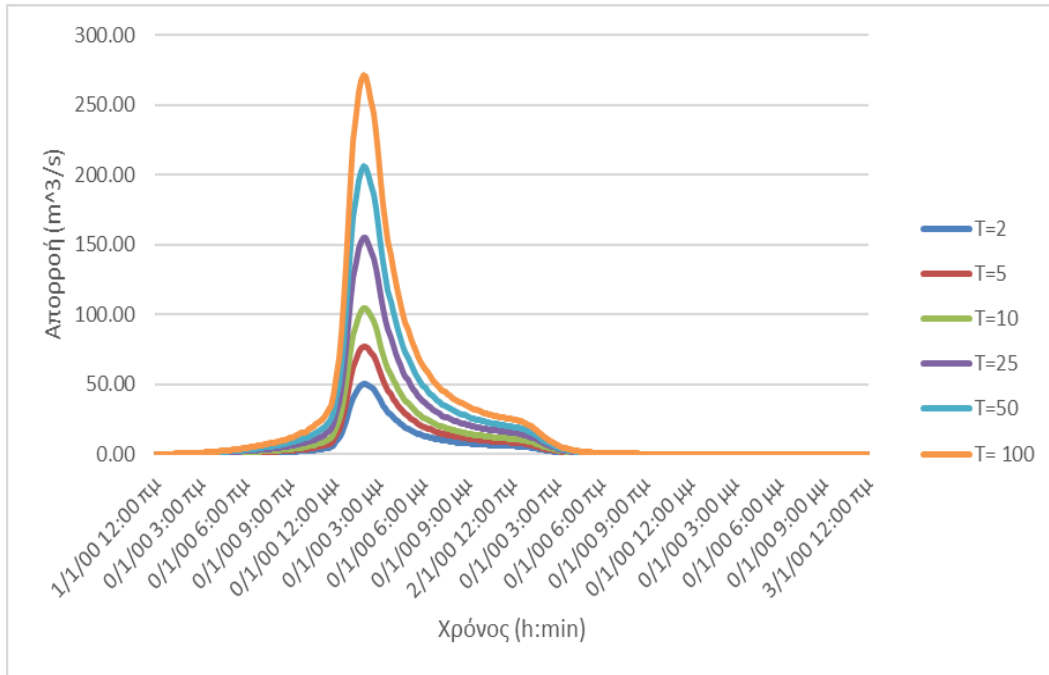
Εικόνα Π 32: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 33: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)

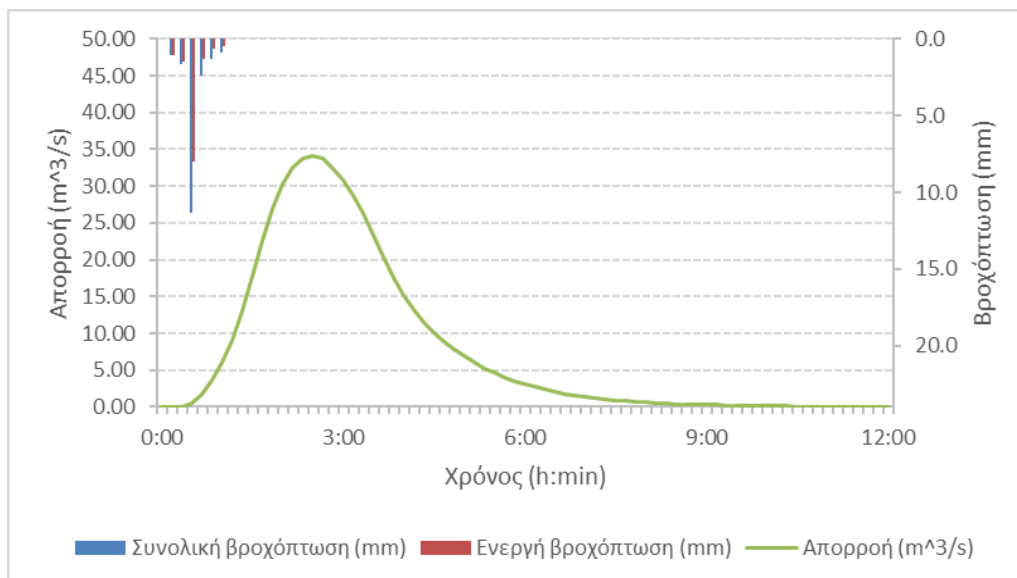


Εικόνα Π 34: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (πριν την πυρκαγιά)

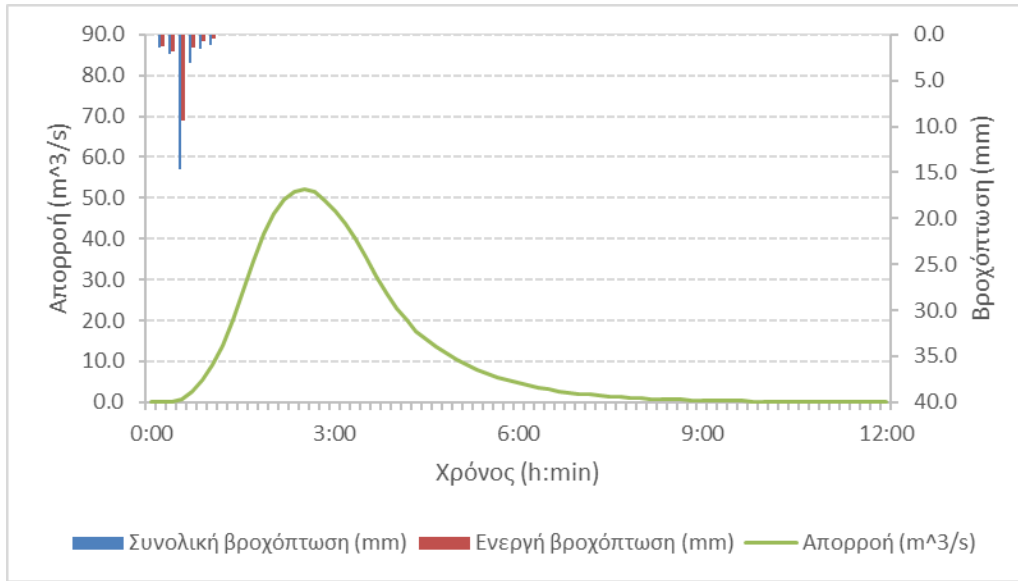


Εικόνα Π 35: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=24h$ πριν την πυρκαγιά

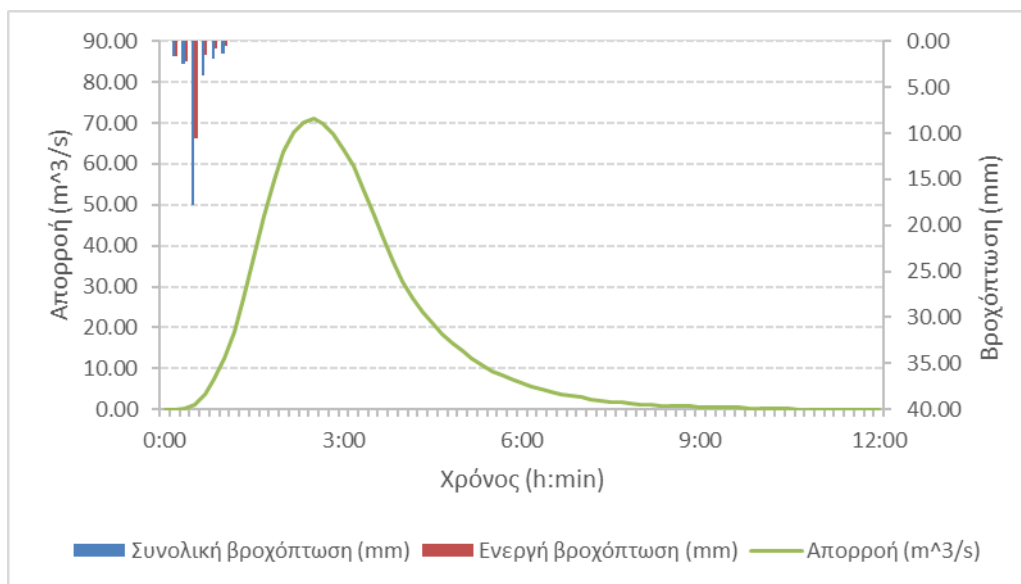
Για $t=1$ ώρα και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη μετά την πυρκαγιά.



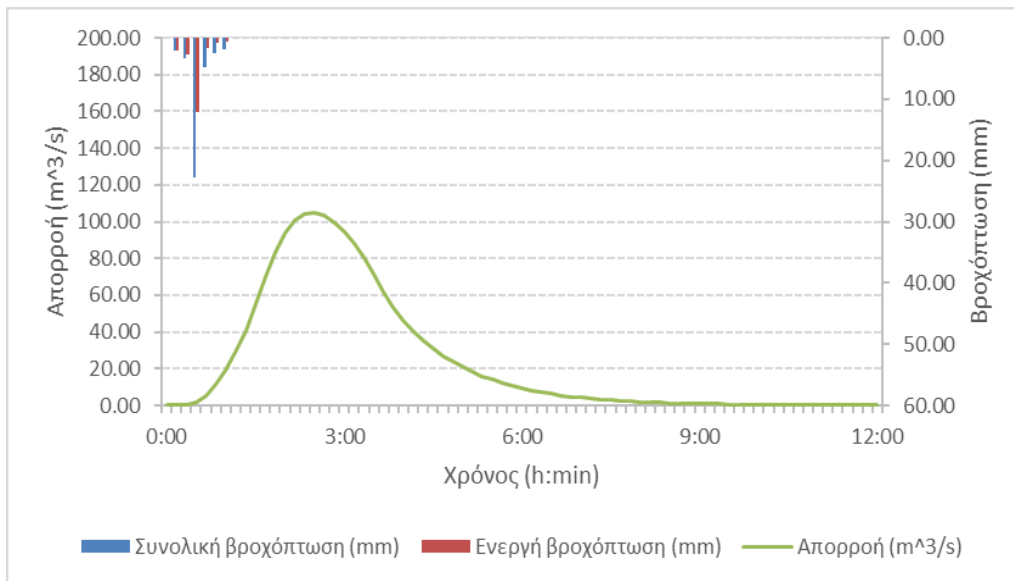
Εικόνα Π 36: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)



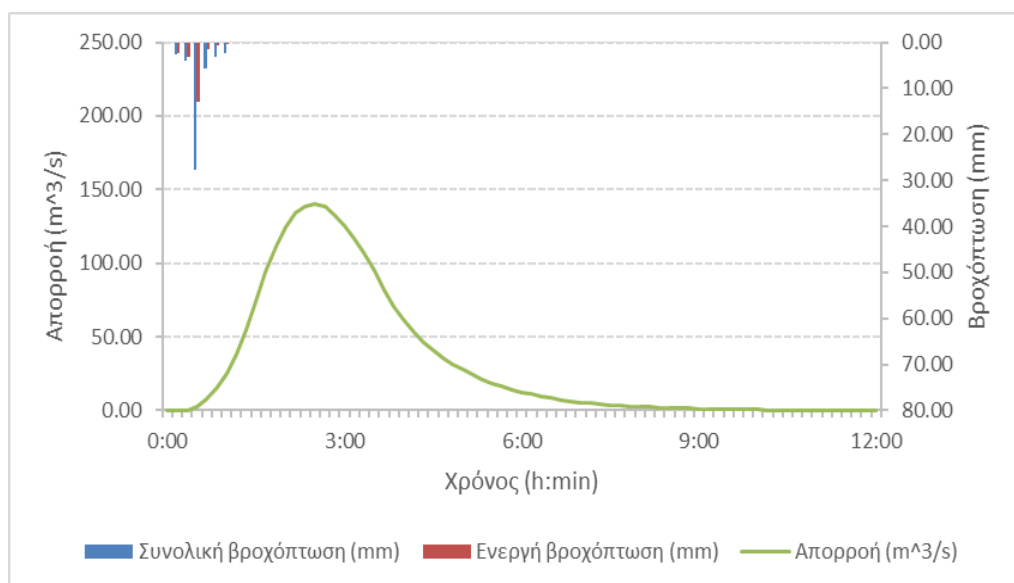
Εικόνα Π 37: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)



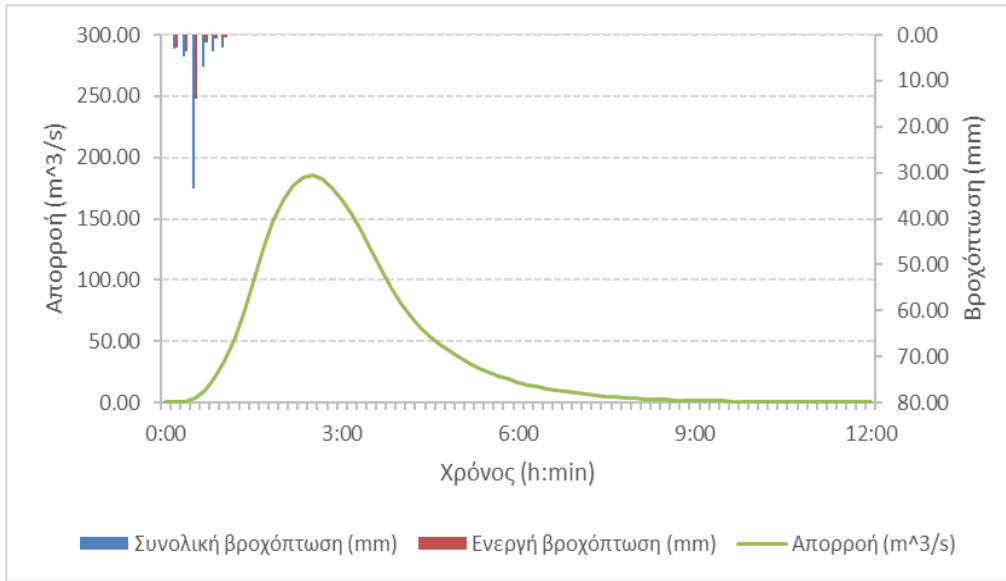
Εικόνα Π 38: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)



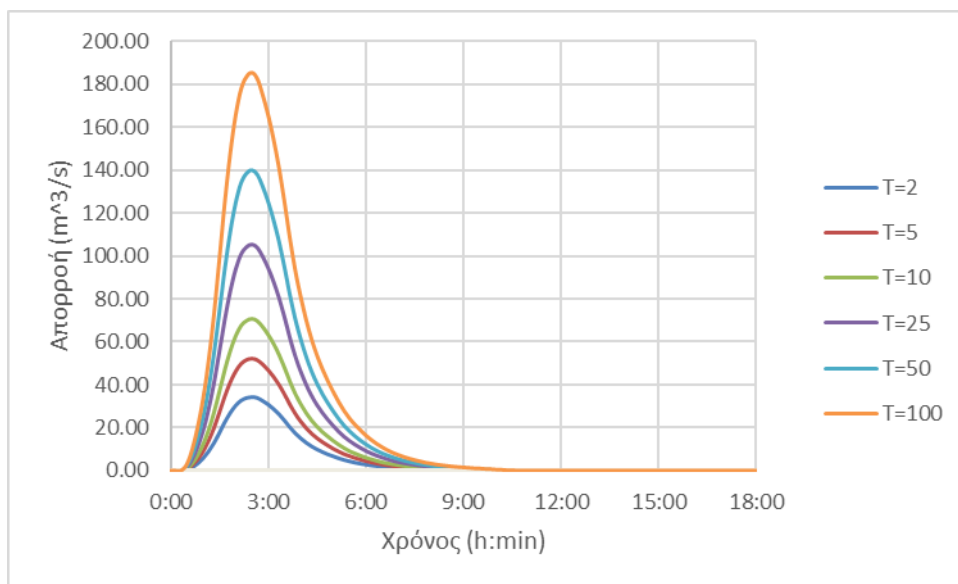
Εικόνα Π 39: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 40: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)

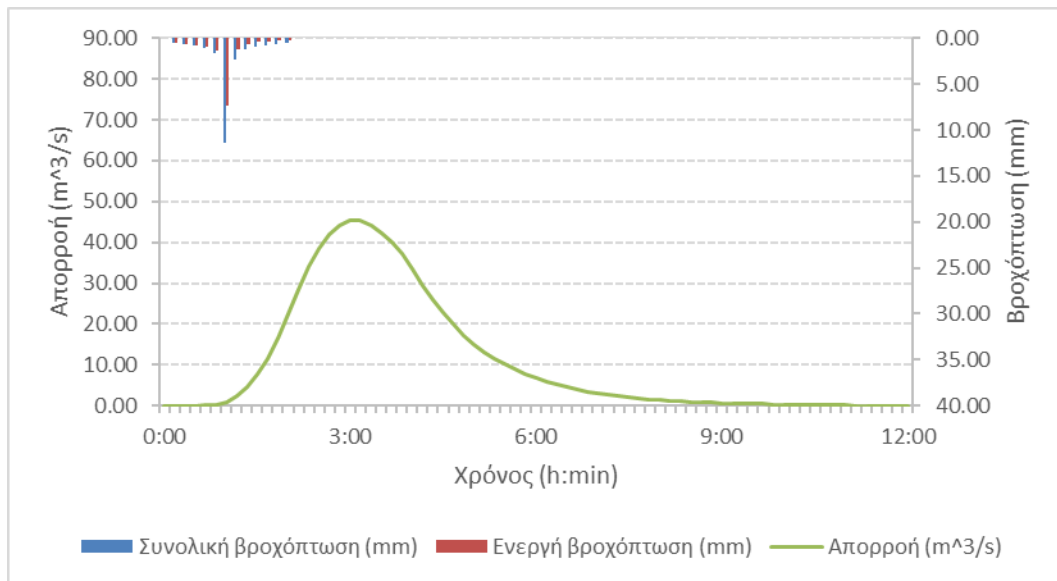


Εικόνα Π 41: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 1h (μετά την πυρκαγιά)

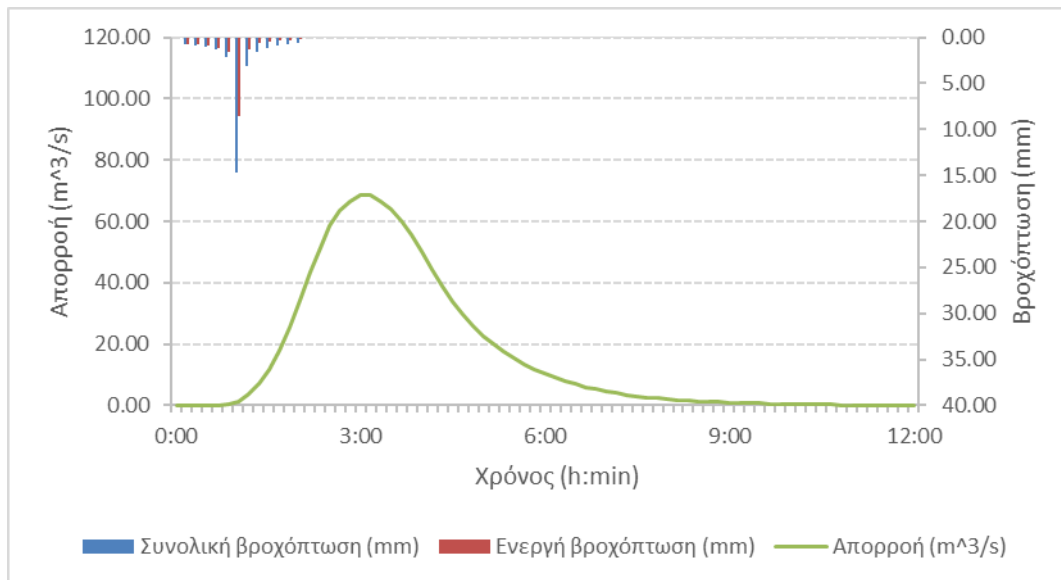


Εικόνα Π 42: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100\gamma$ και $t=1h$ μετά την πυρκαγιά

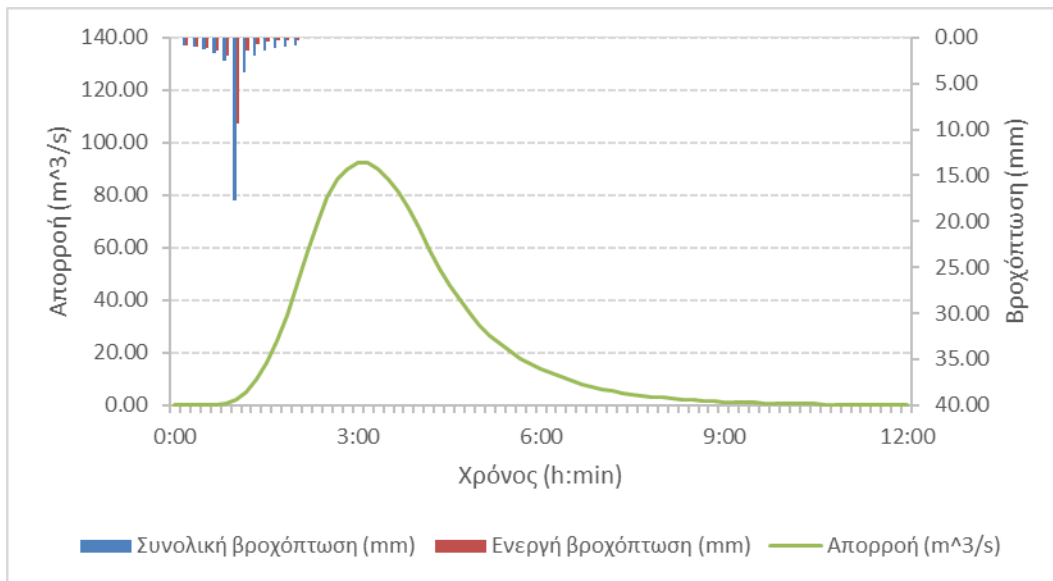
Για $t=2$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη μετά την πυρκαγιά.



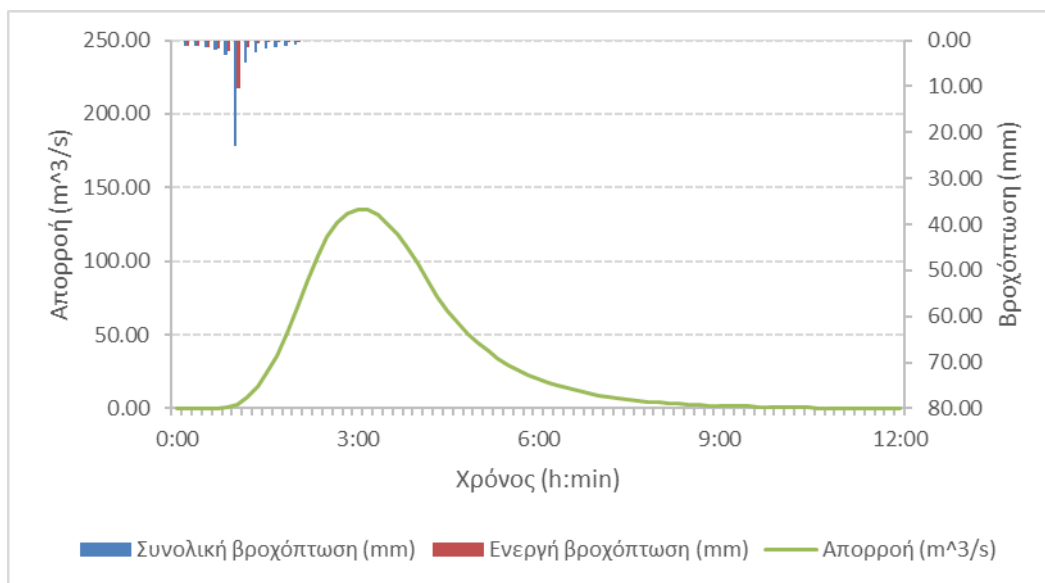
Εικόνα Π 43: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)



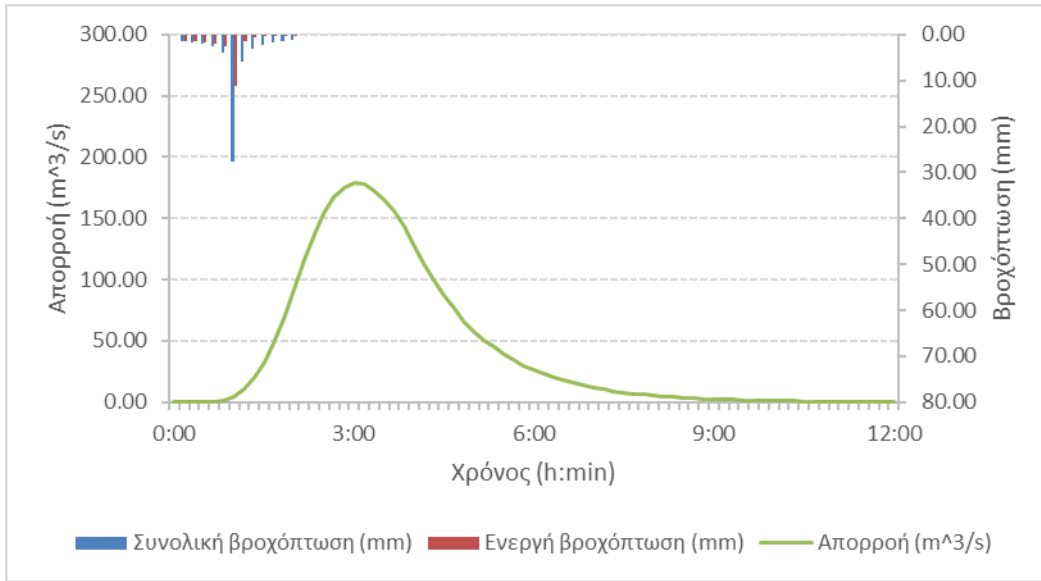
Εικόνα Π 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)



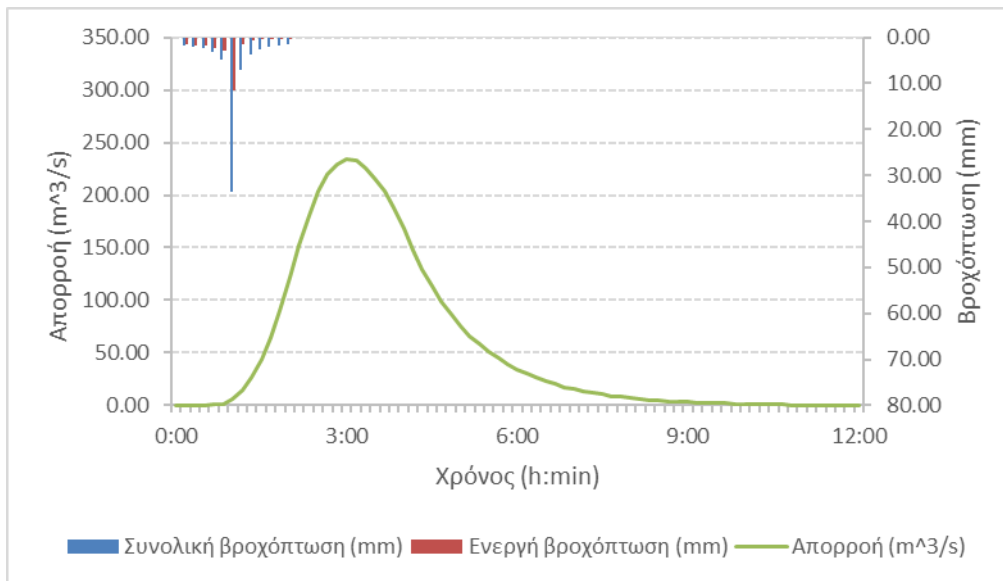
Εικόνα Π 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)



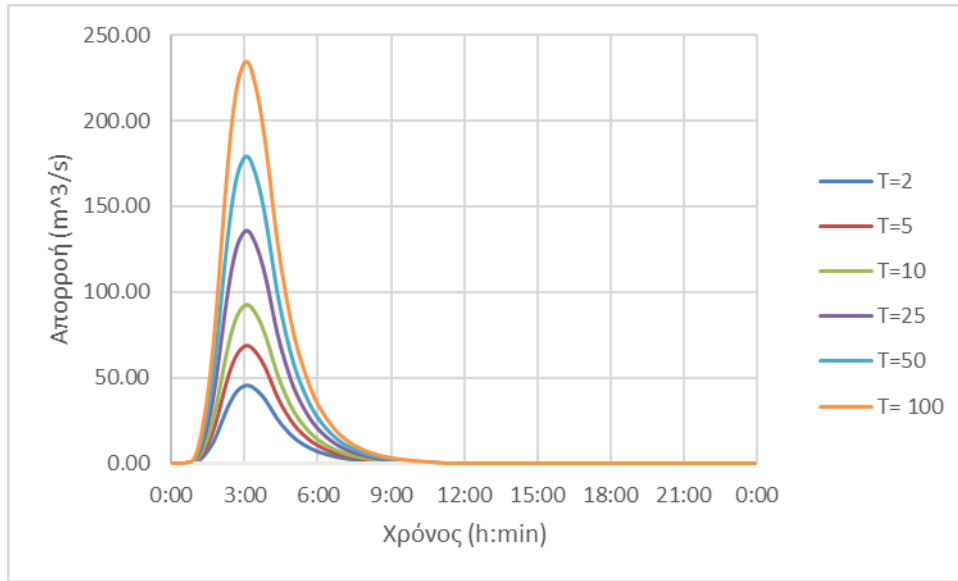
Εικόνα Π 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)

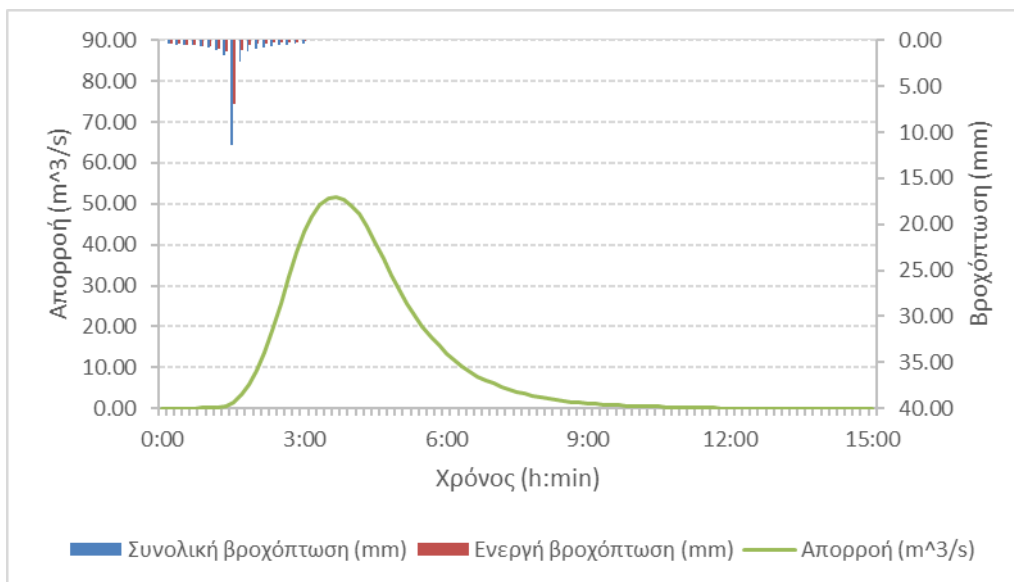


Εικόνα Π 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 2h (μετά την πυρκαγιά)

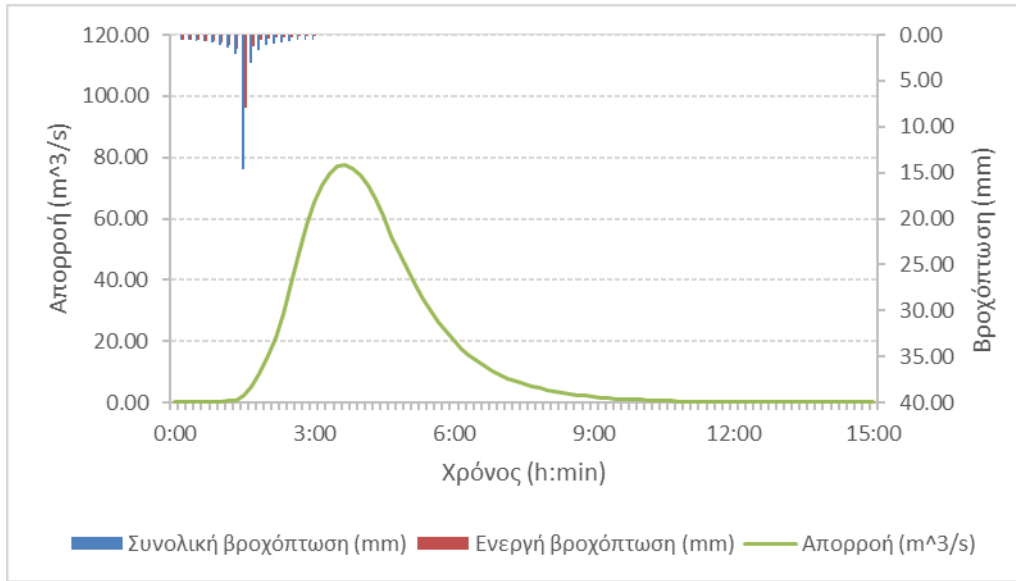


Εικόνα Π 49: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=2h$ μετά την πυρκαγιά

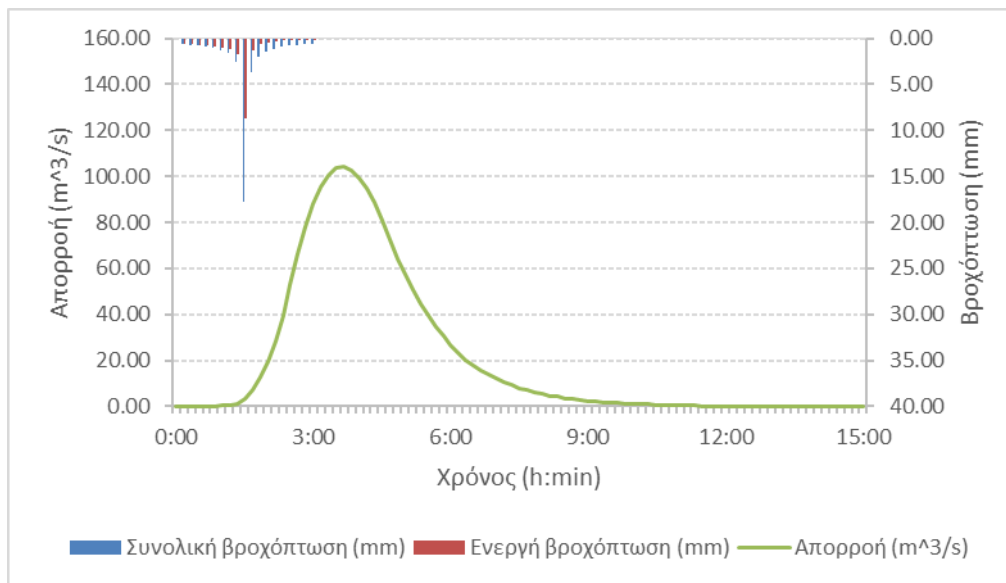
Για $t=3$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη μετά την πυρκαγιά.



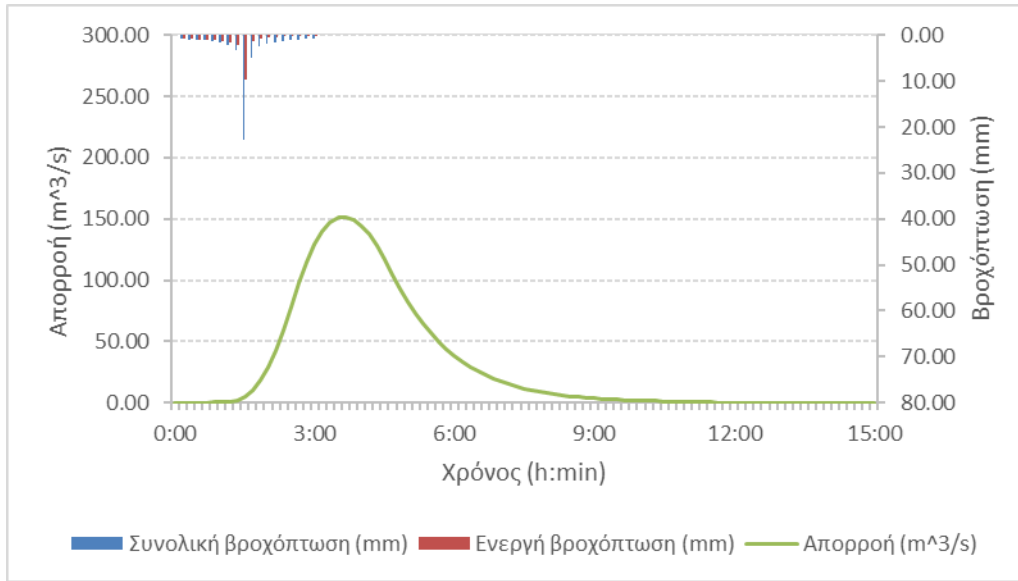
Εικόνα Π 50: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)



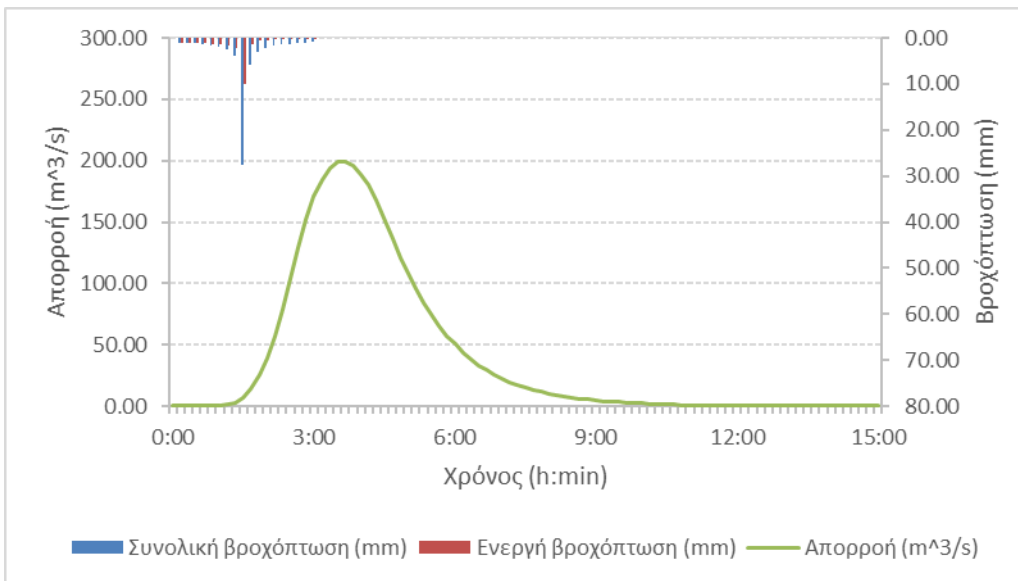
Εικόνα Π 51: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)



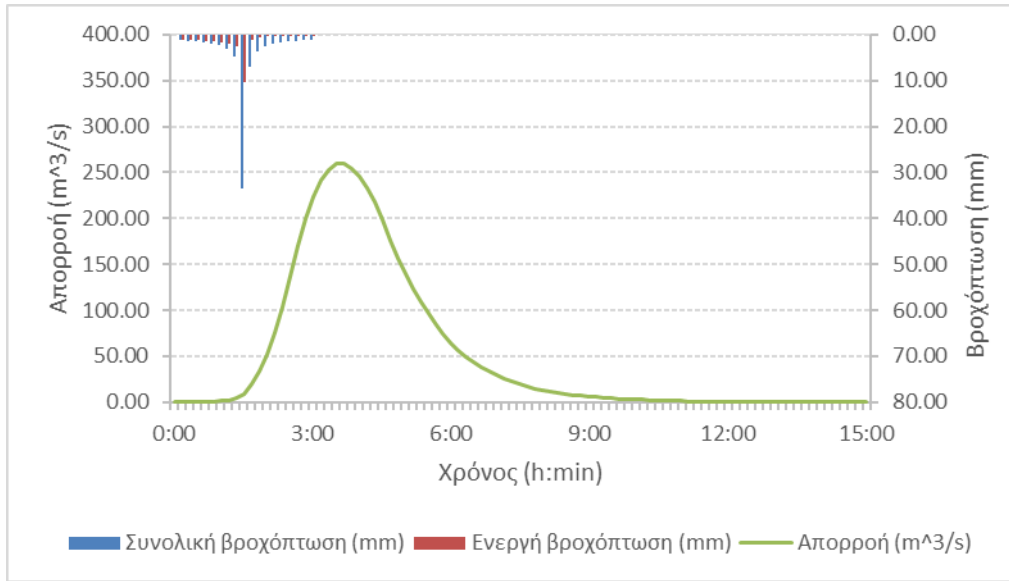
Εικόνα Π 52: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)



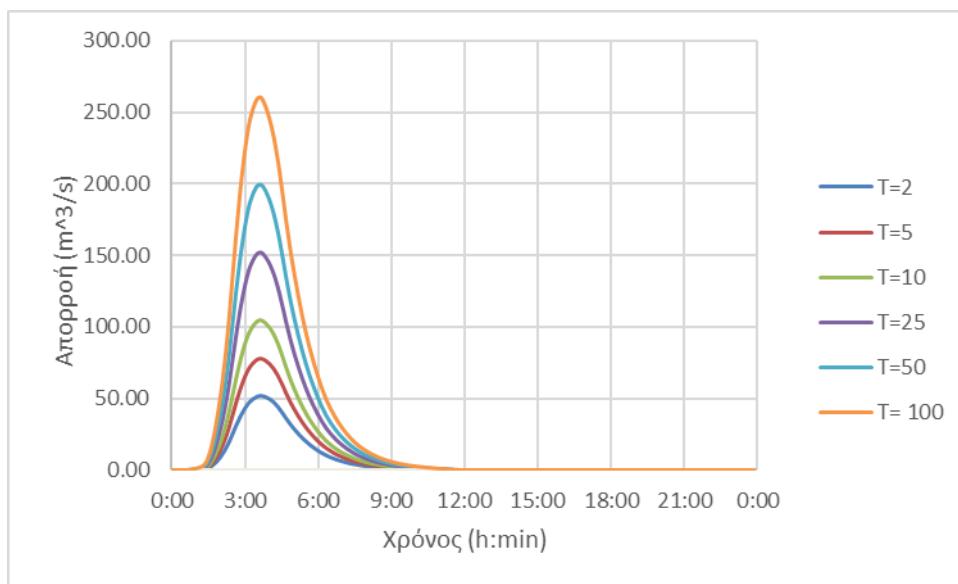
Εικόνα Π 53: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 54: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)

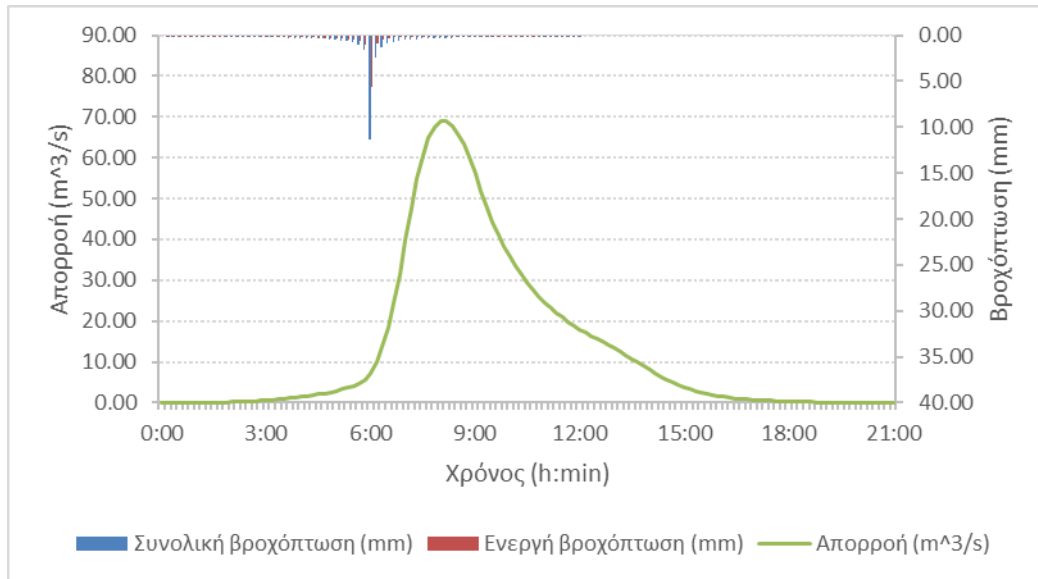


Εικόνα Π 55: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 3h (μετά την πυρκαγιά)

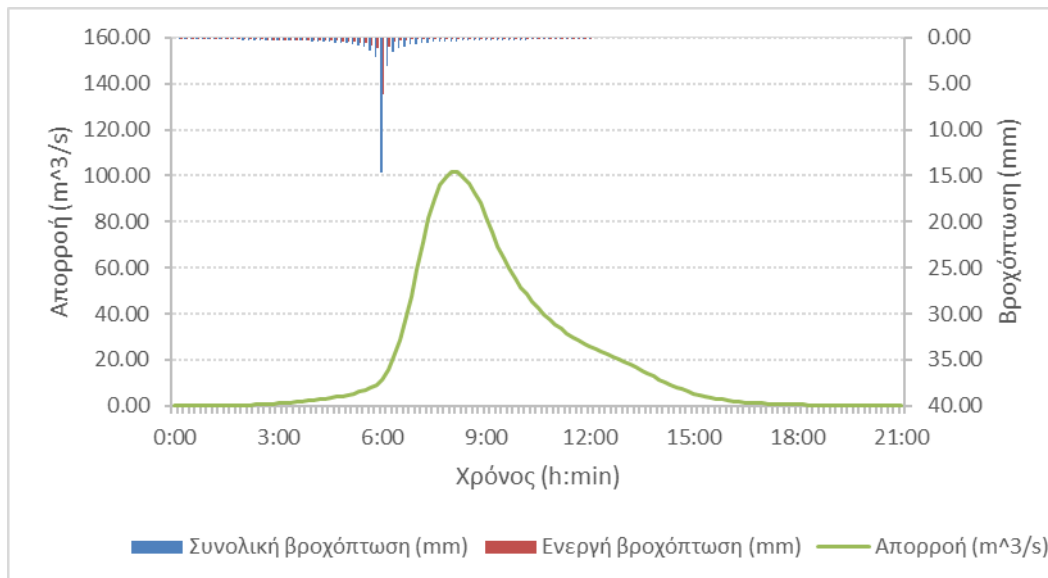


Εικόνα Π 56: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=3h$ μετά την πυρκαγιά

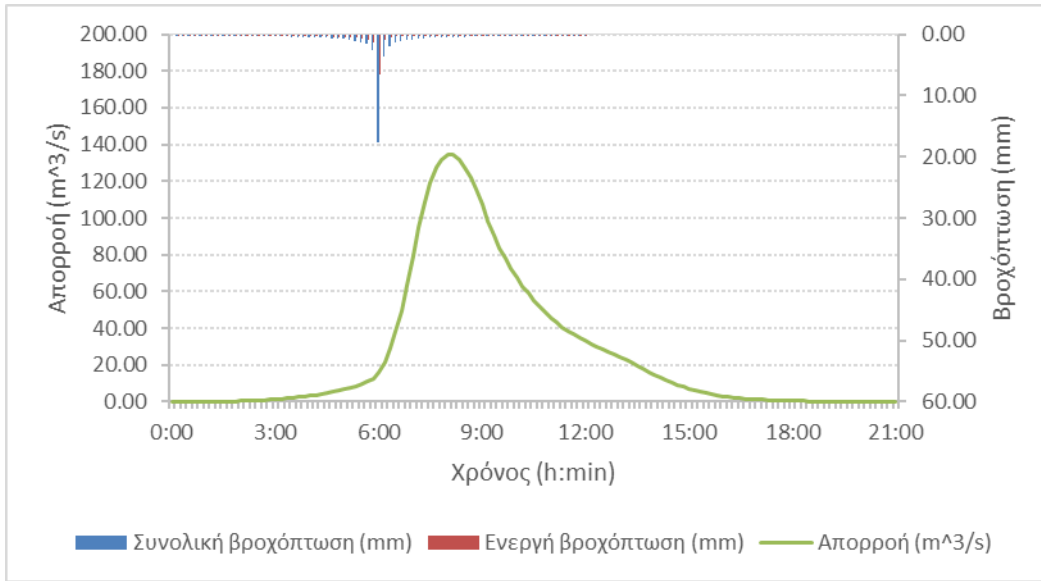
Για $t=12$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη μετά την πυρκαγιά.



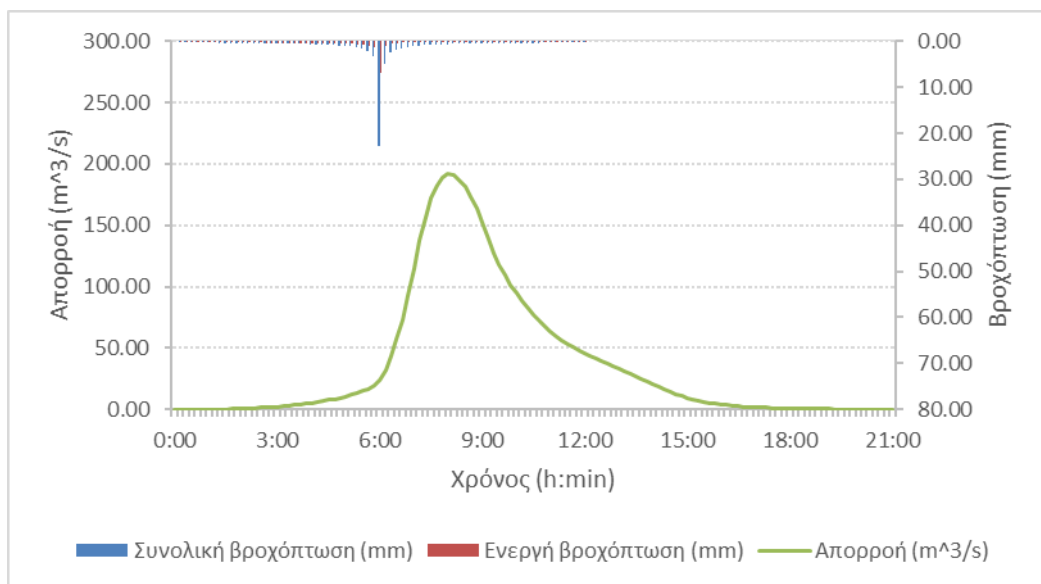
Εικόνα Π 57: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)



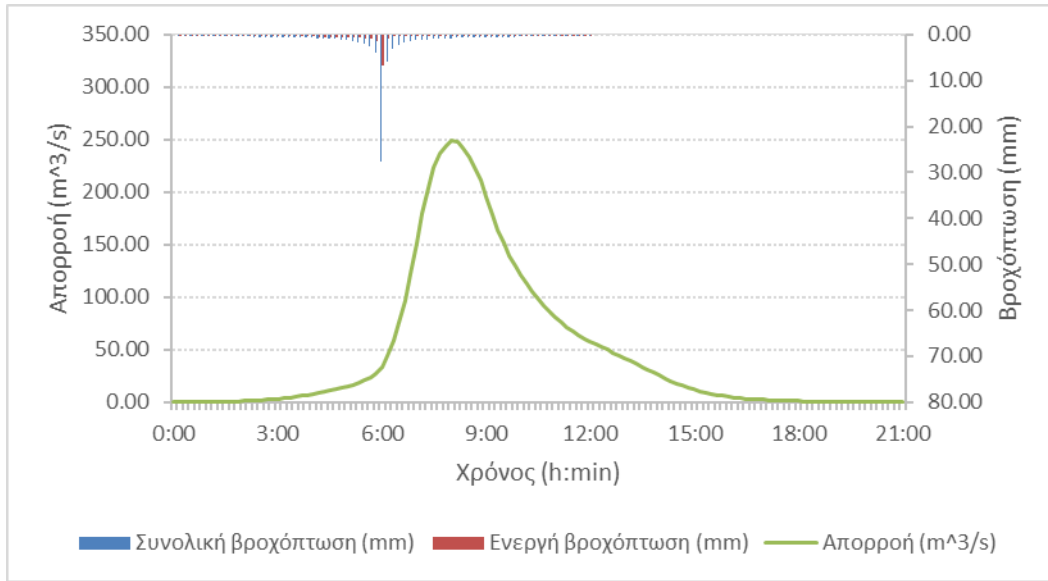
Εικόνα Π 58: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)



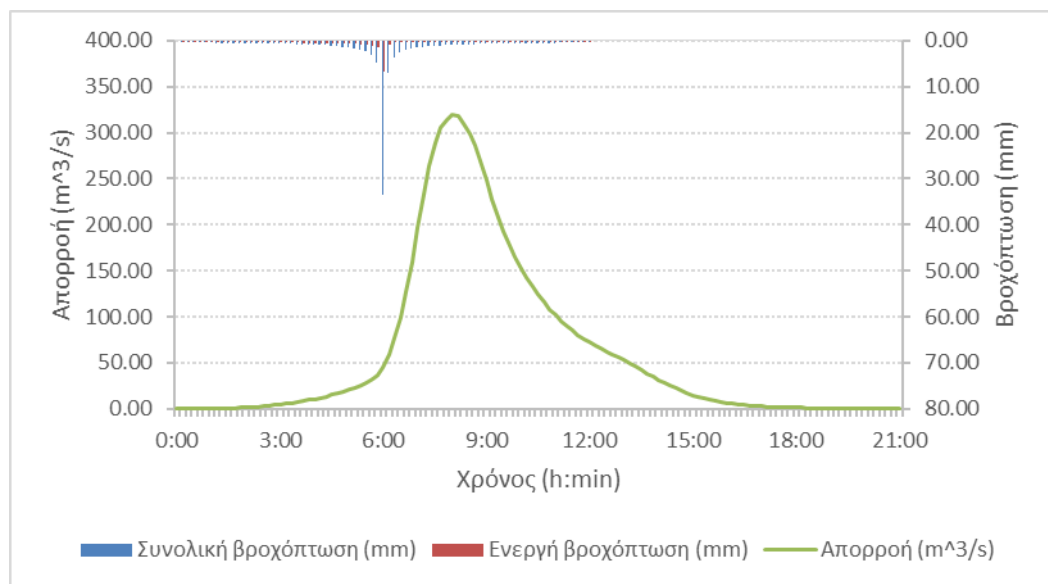
Εικόνα Π 59: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)



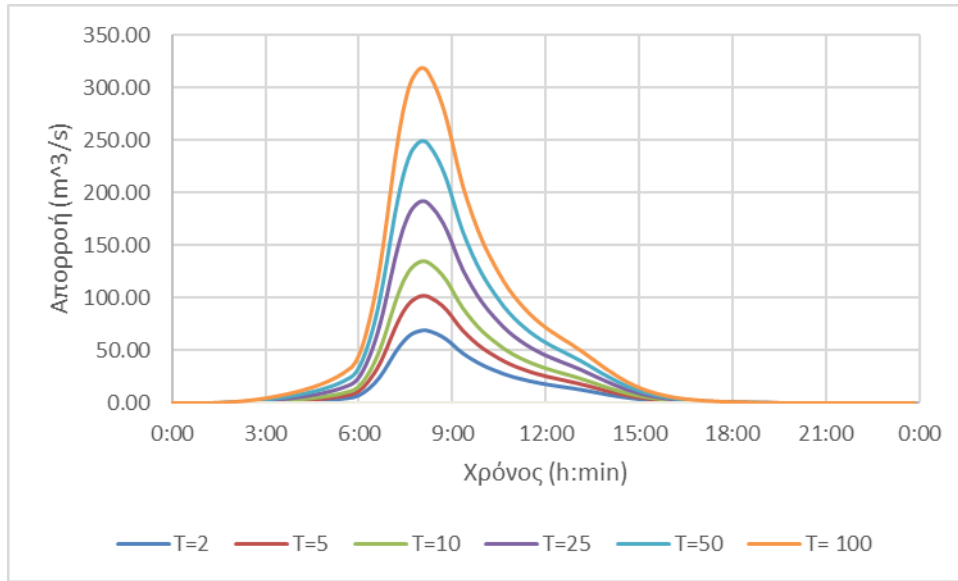
Εικόνα Π 60: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 61: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)

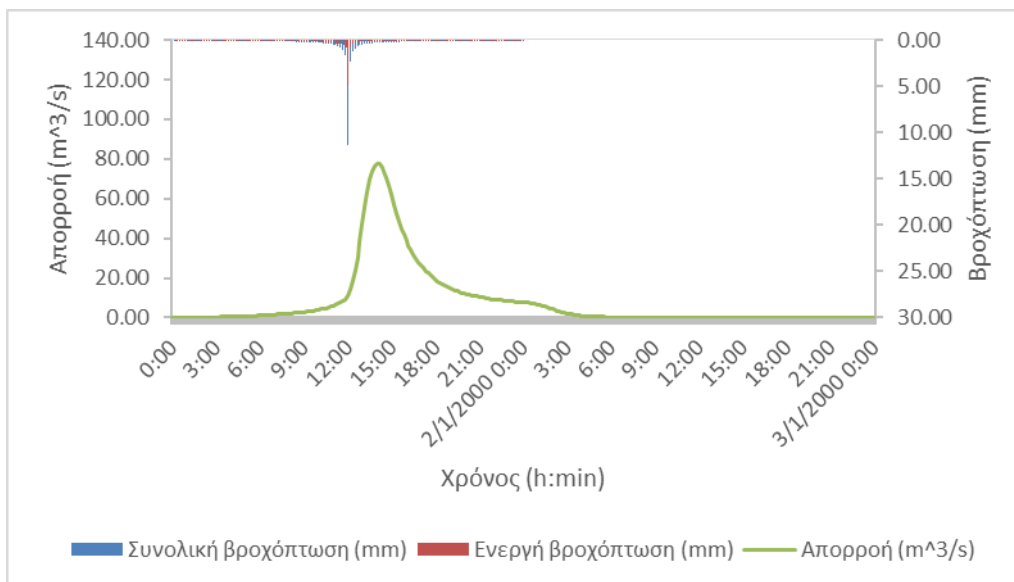


Εικόνα Π 62: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h (μετά την πυρκαγιά)

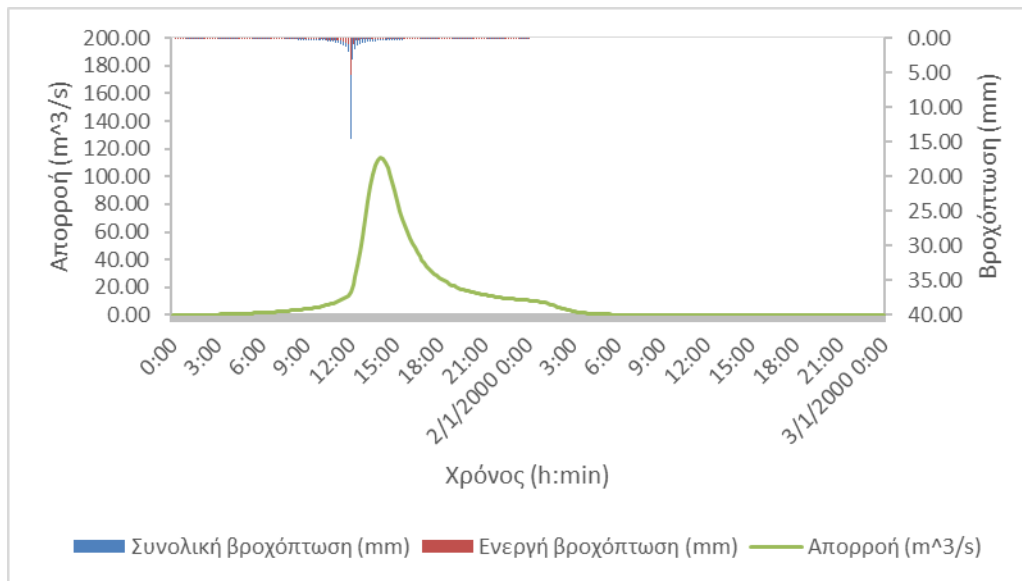


Εικόνα Π 63: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$ γ και $t=12h$ μετά την πυρκαγιά

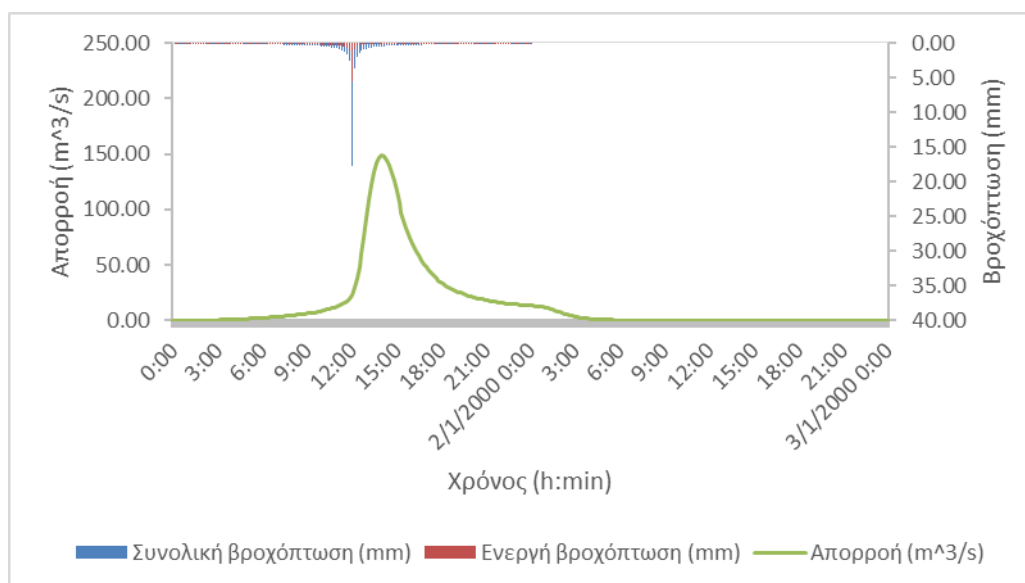
Για $t=24$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη μετά την πυρκαγιά.



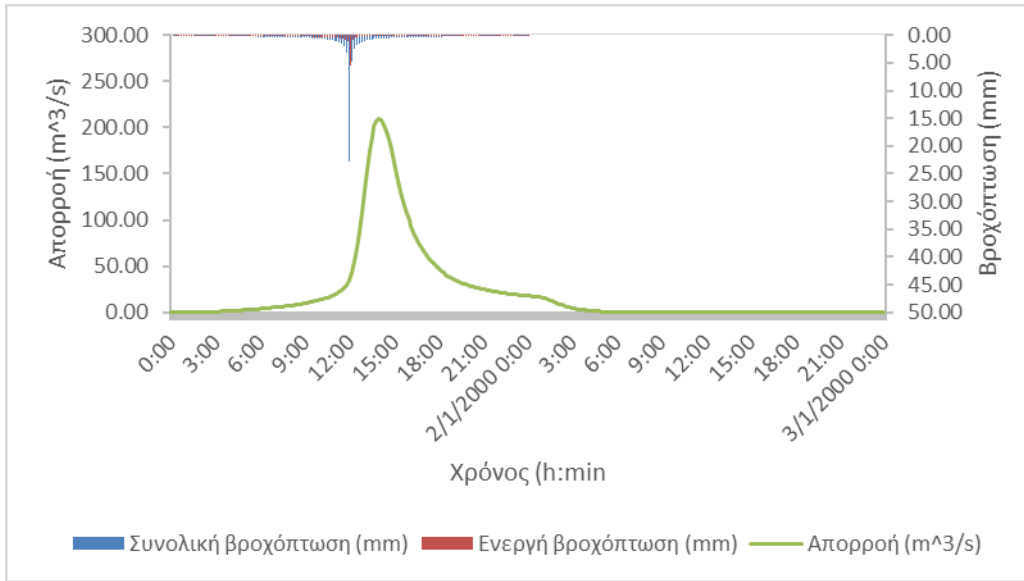
Εικόνα Π 64: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)



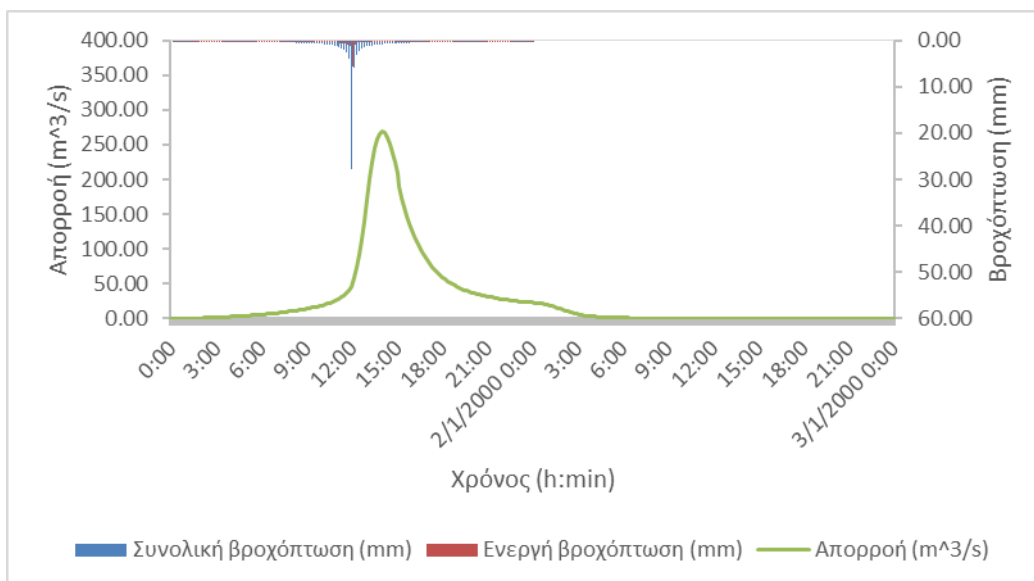
Εικόνα Π 65: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)



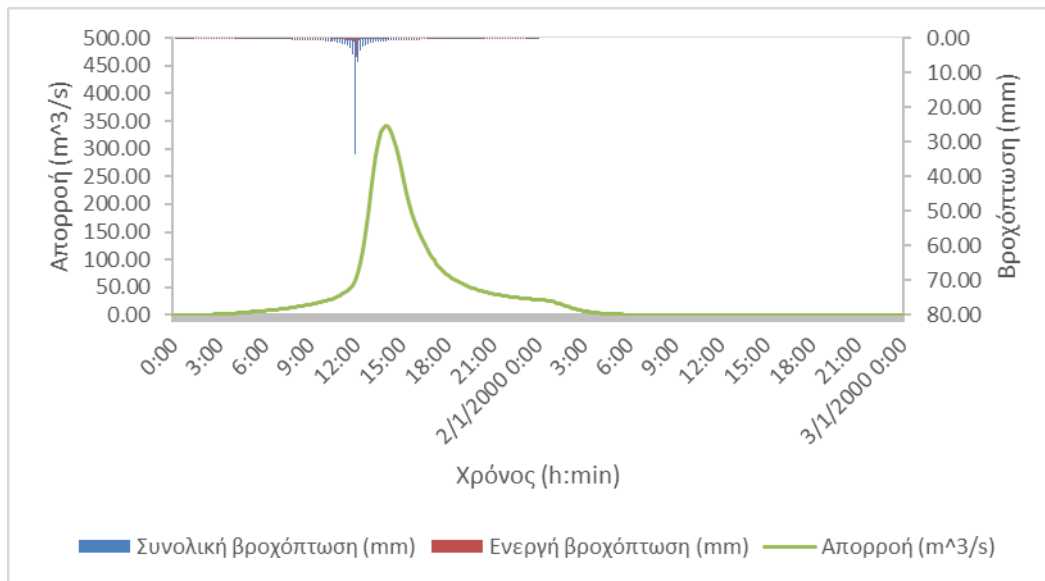
Εικόνα Π 66: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)



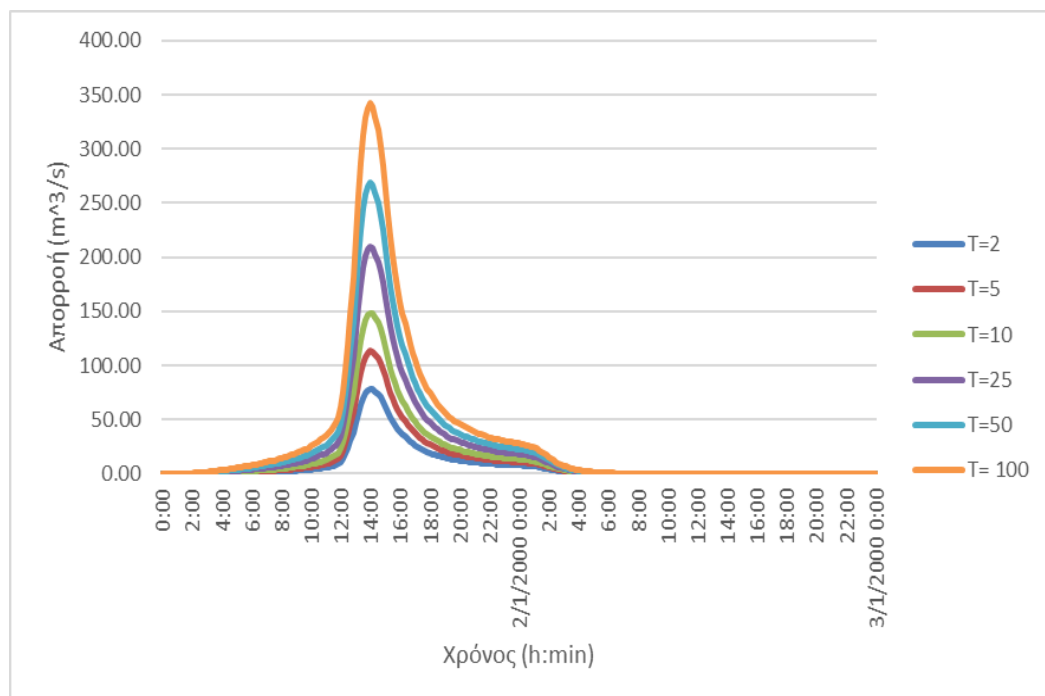
Εικόνα Π 67: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)



Εικόνα Π 68: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)

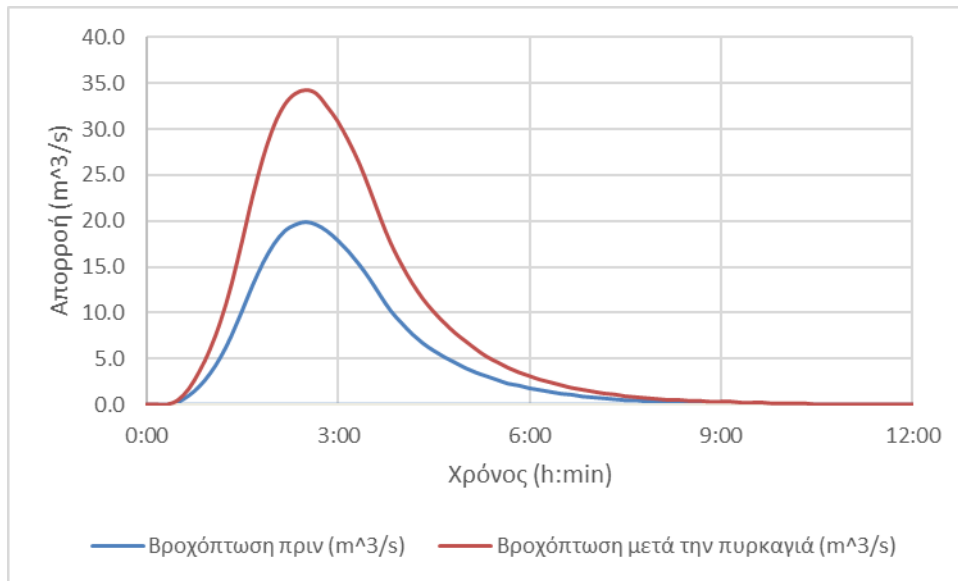


Εικόνα Π 69: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h (μετά την πυρκαγιά)

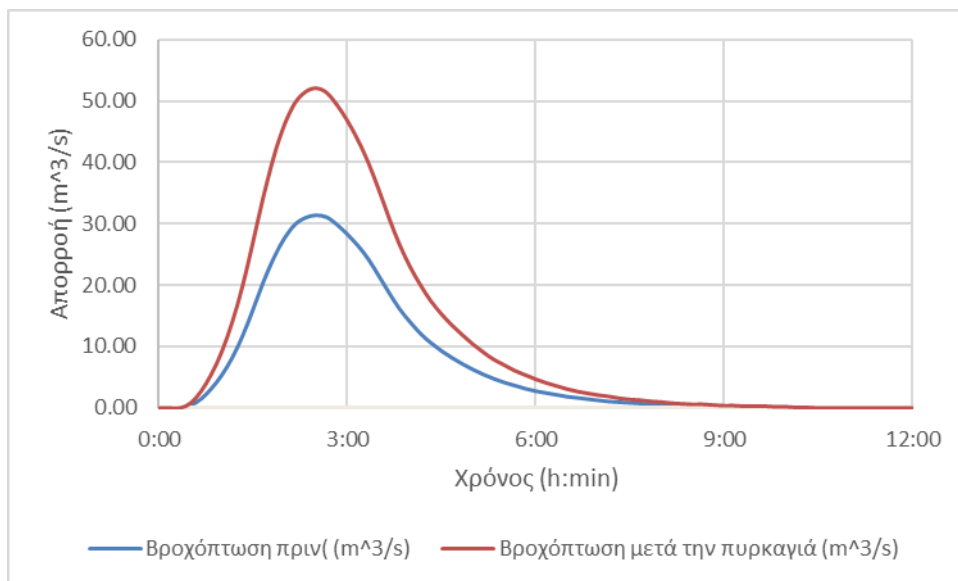


Εικόνα Π 70: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100γ και t=24h μετά την πυρκαγιά

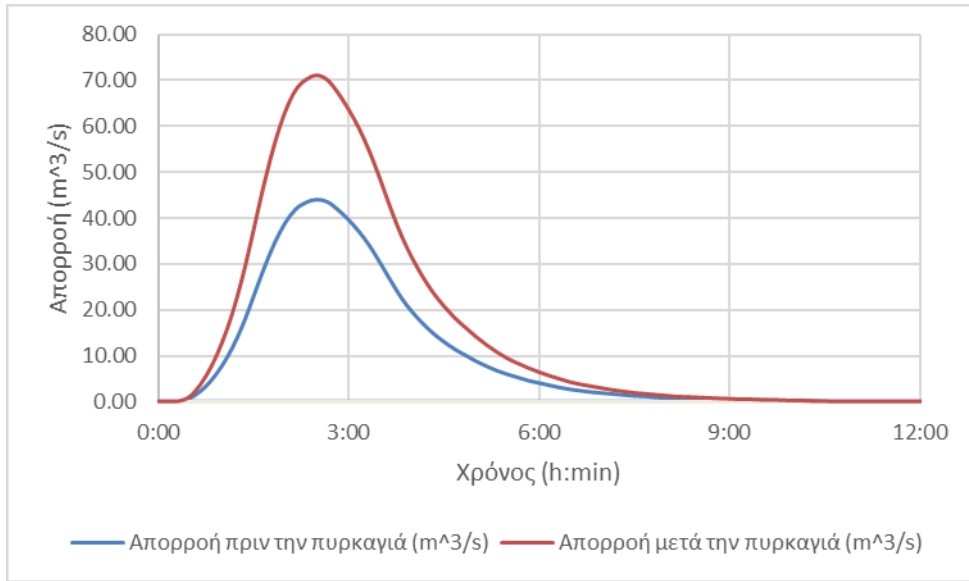
Για $t=1$ ώρα και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκριτικά).



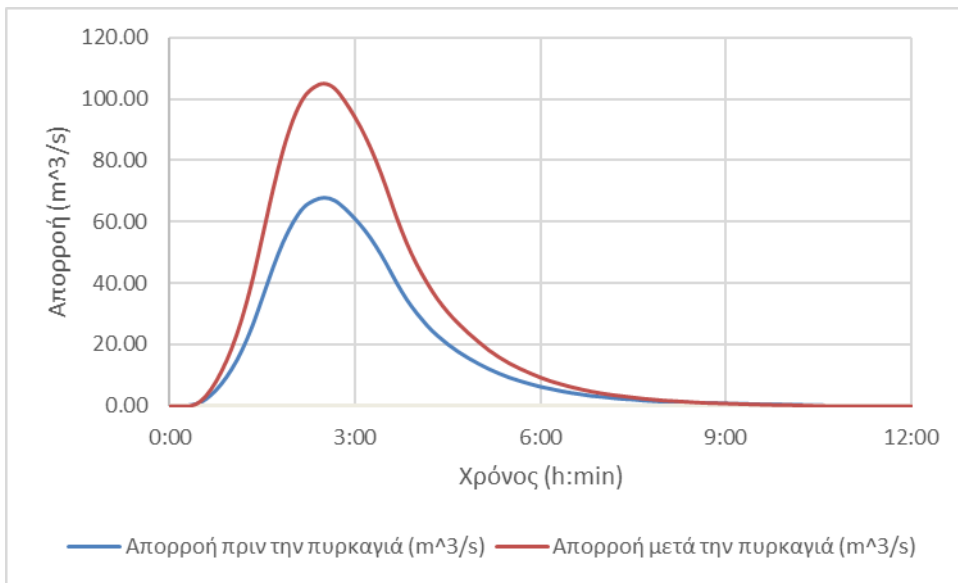
Εικόνα Π 71: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ γ και $t=1$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



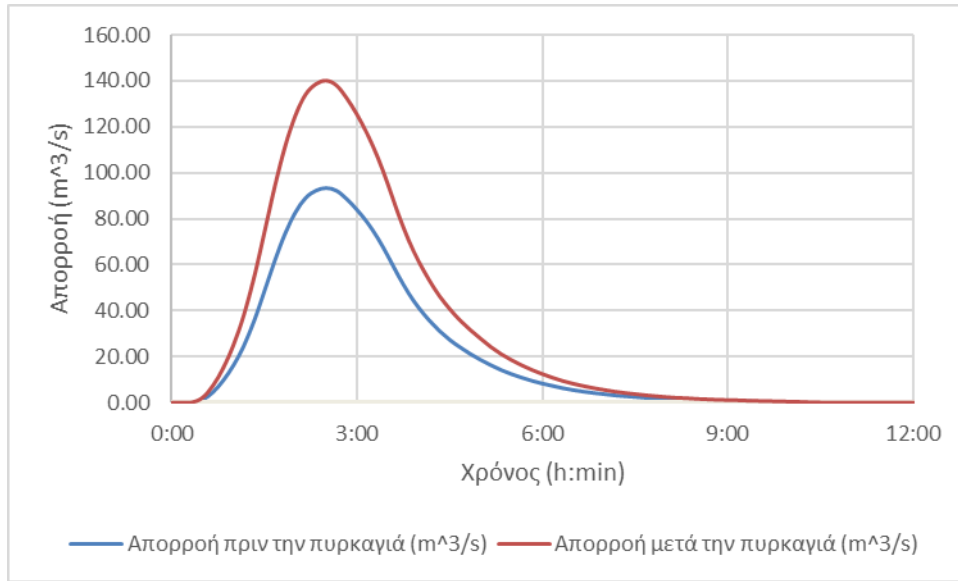
Εικόνα Π 72: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5$ γ και $t=1$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



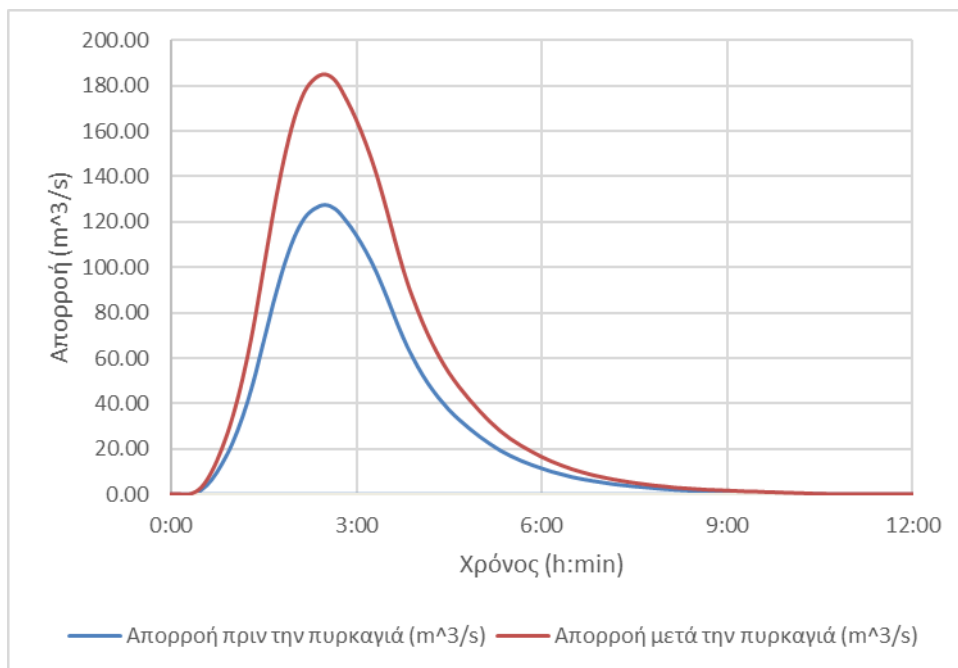
Εικόνα Π 73: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=1h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 74: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=1h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

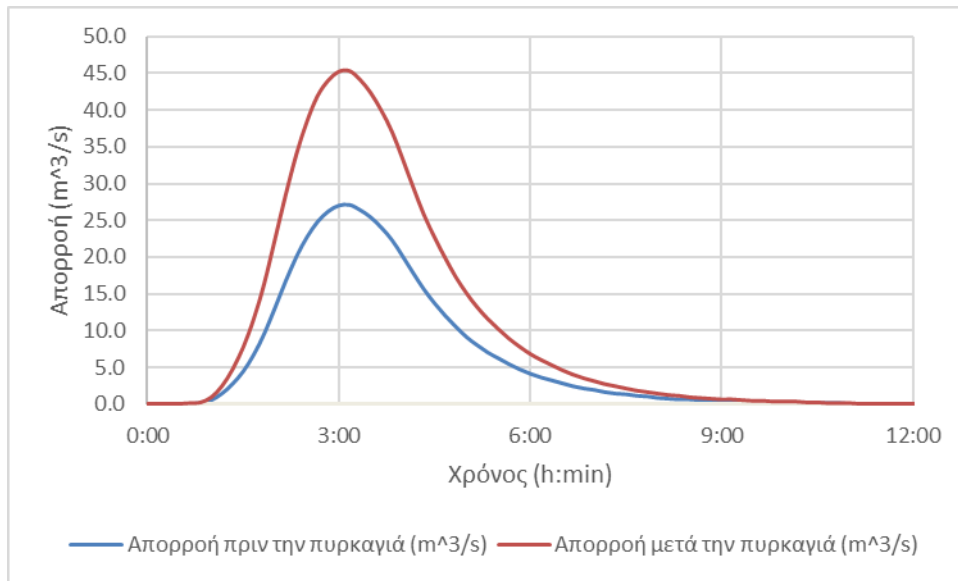


Εικόνα Π 75: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=50g$ και $t=1h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

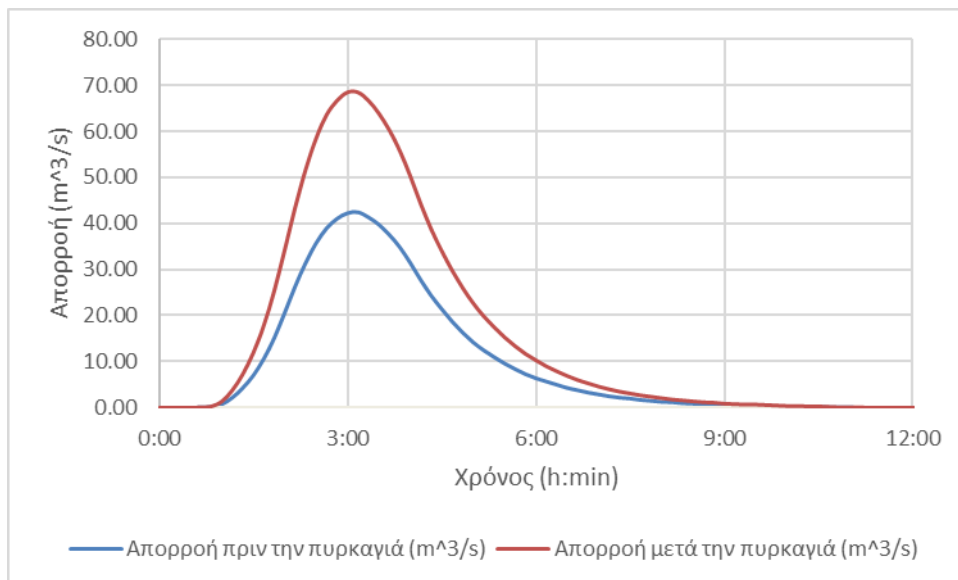


Εικόνα Π 76: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=100g$ και $t=1h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

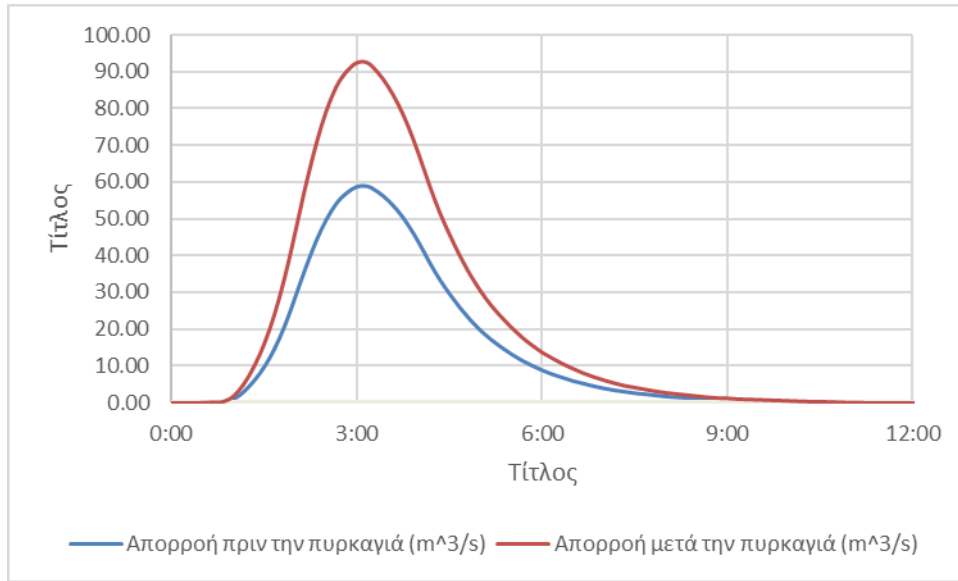
Για $t=2$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκριτικά).



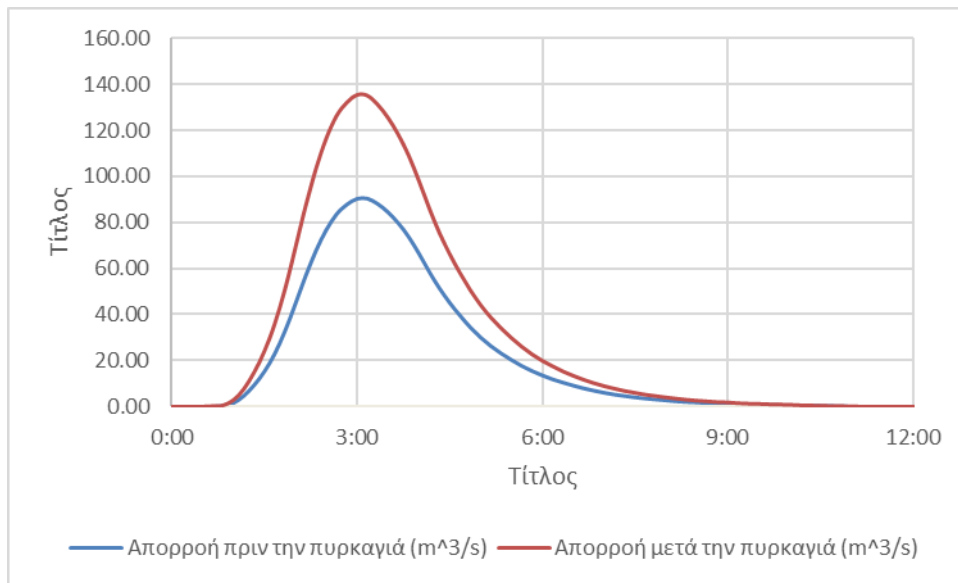
Εικόνα Π 77: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ γ και $t=2$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



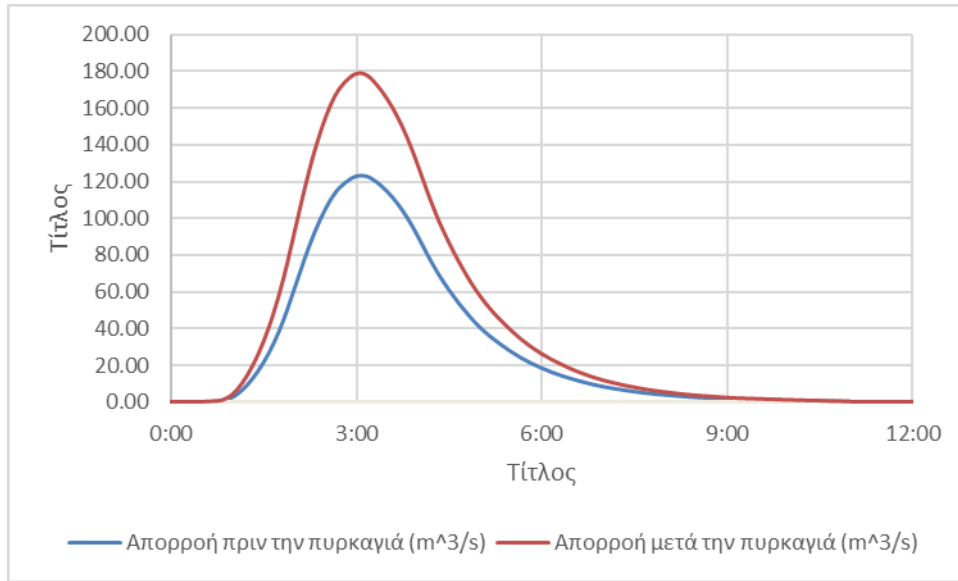
Εικόνα Π 78: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5$ γ και $t=2$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



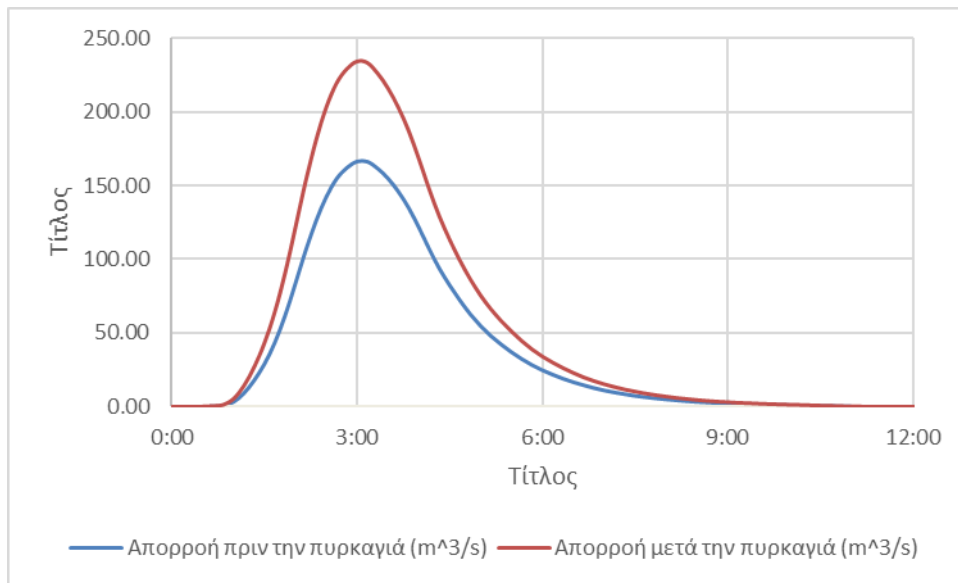
Εικόνα Π 79: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 80: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

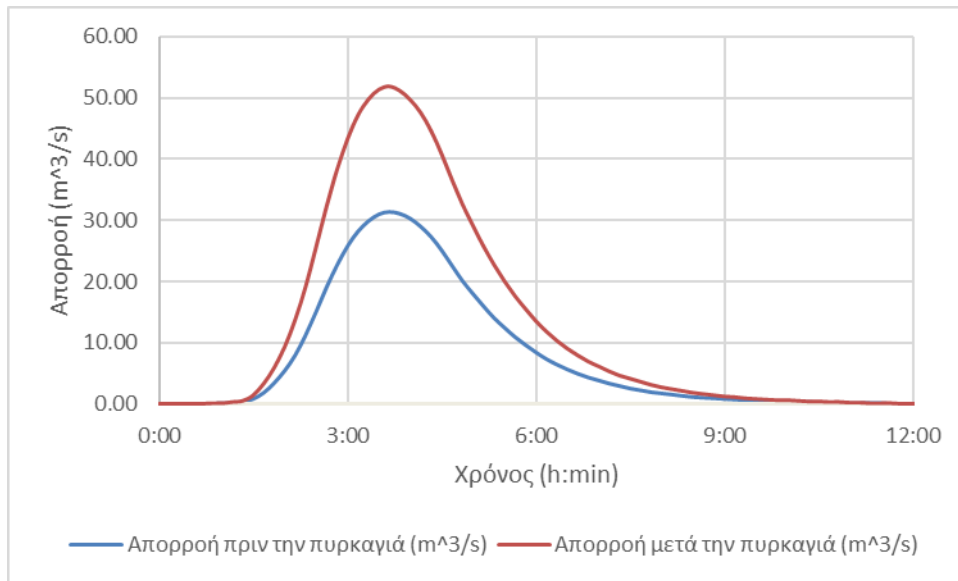


Εικόνα Π 81: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=50y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

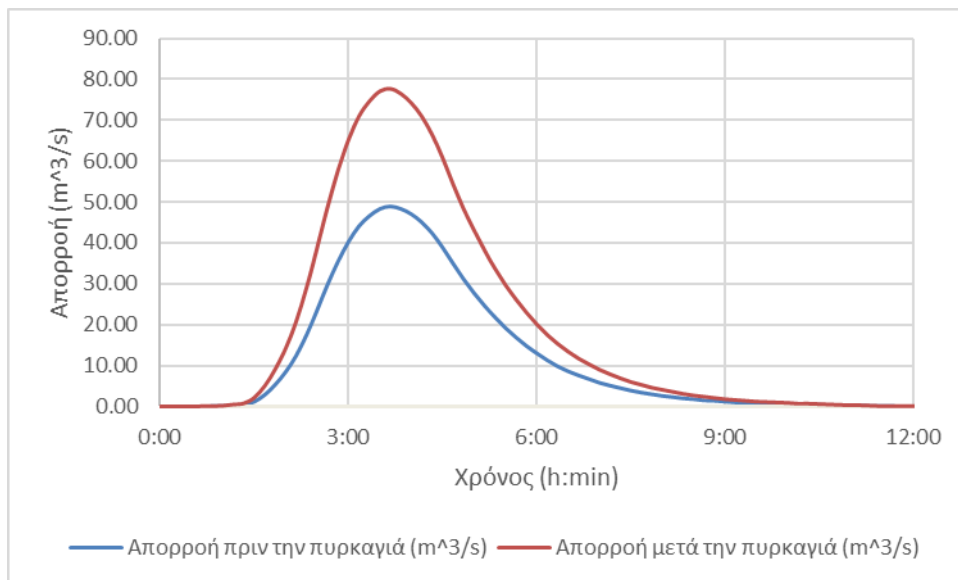


Εικόνα Π 82: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=100y$ και $t=2h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

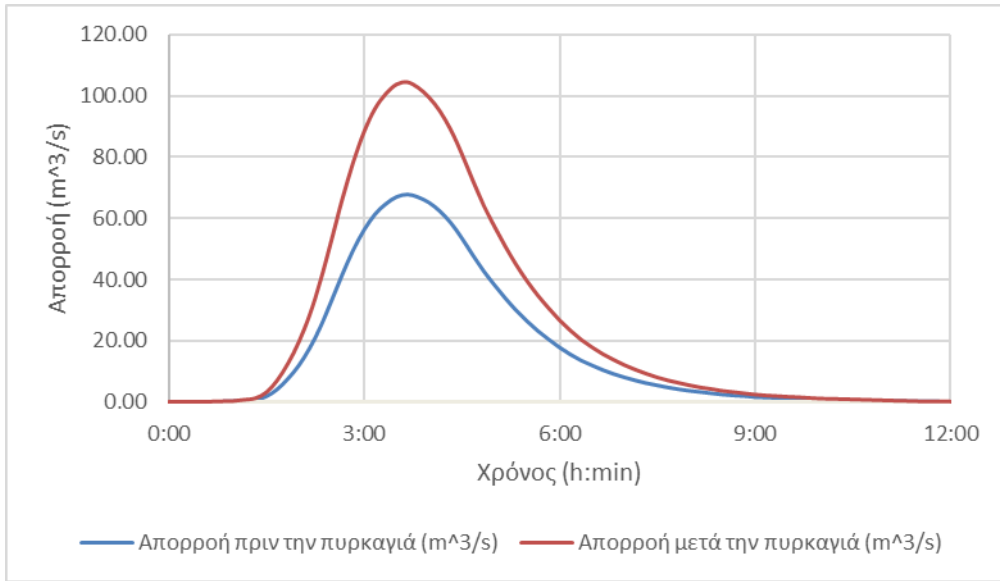
Για $t=3$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκριτικά).



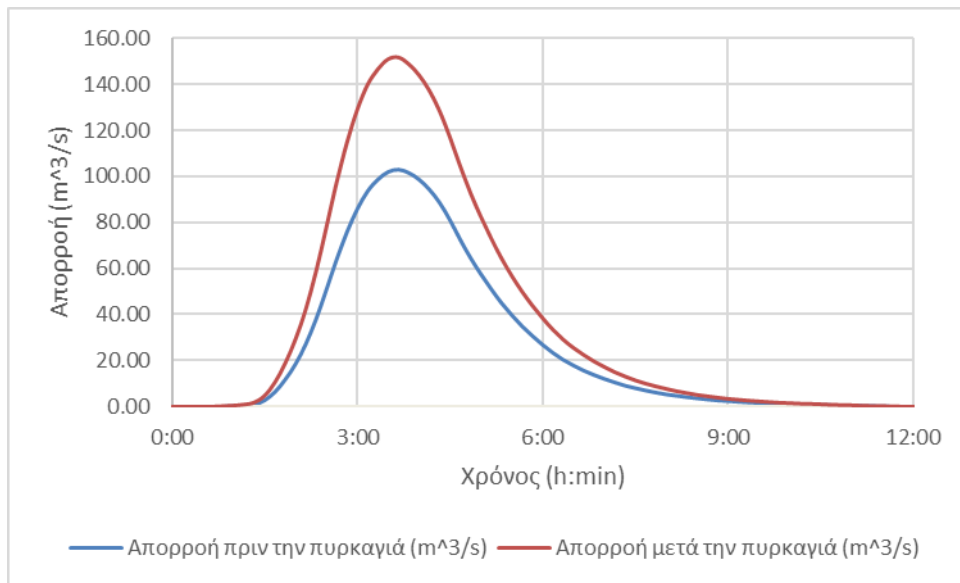
Εικόνα Π 83: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ γ και $t=3$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



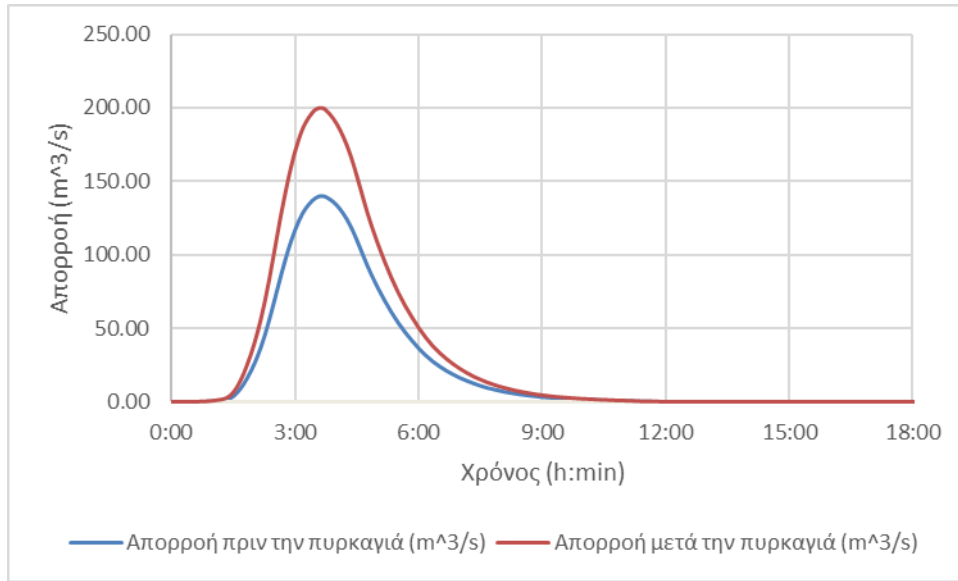
Εικόνα Π 84: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5$ γ και $t=3$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



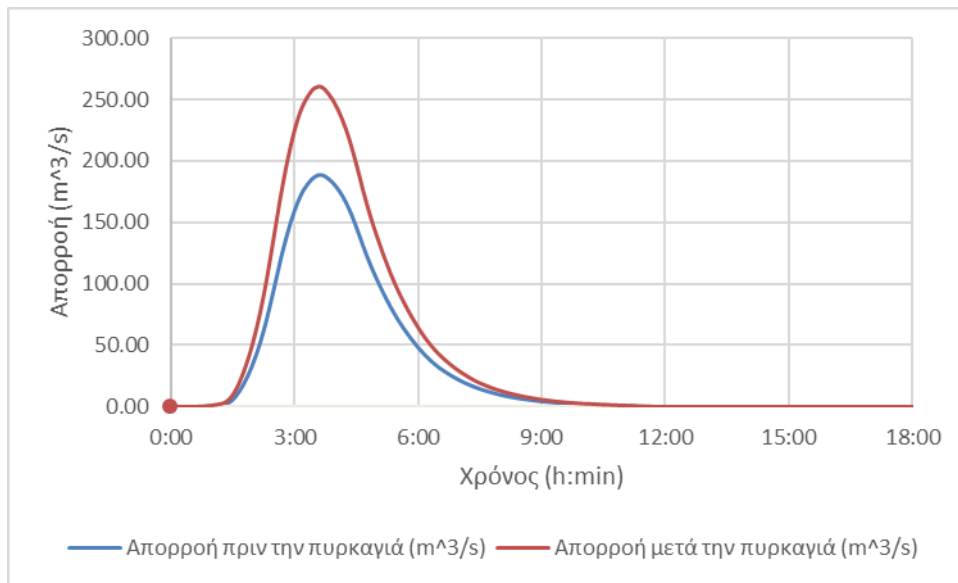
Εικόνα Π 85: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 86: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

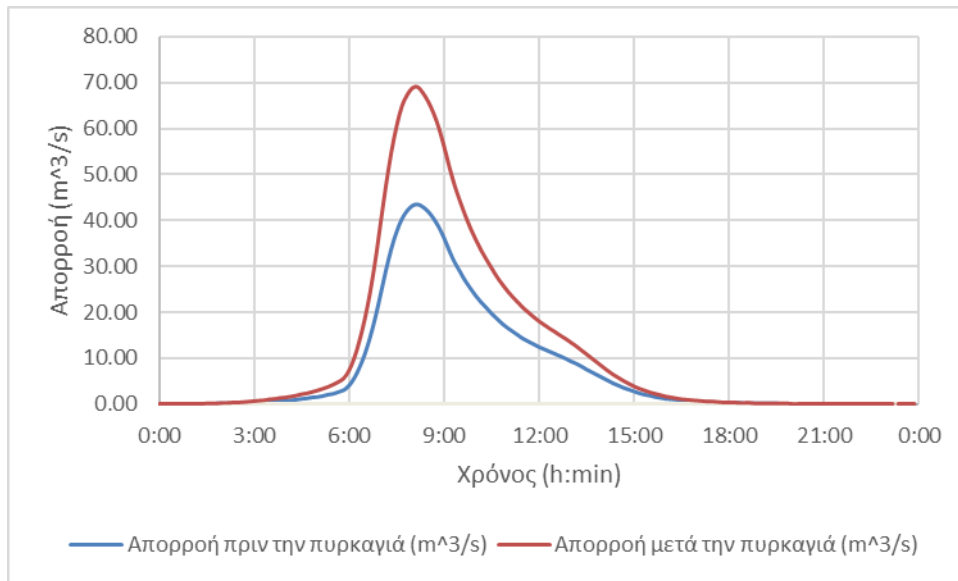


Εικόνα Π 87: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=50y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

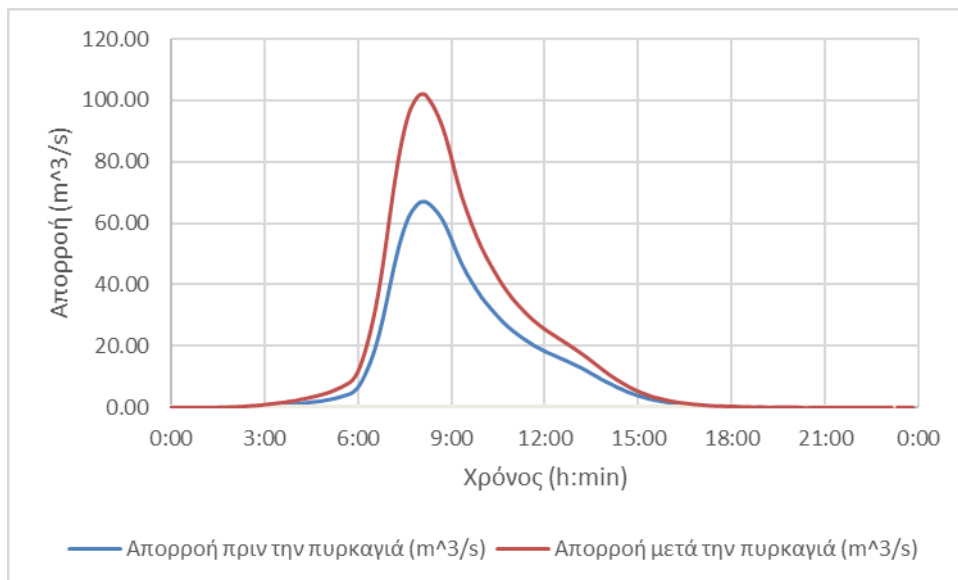


Εικόνα Π 88: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=100y$ και $t=3h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

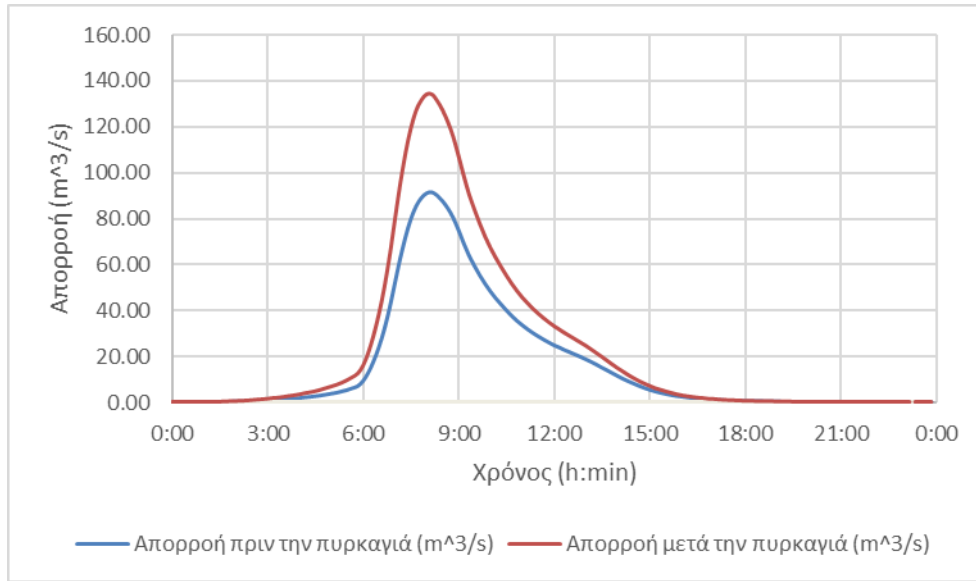
Για $t=12$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκριτικά).



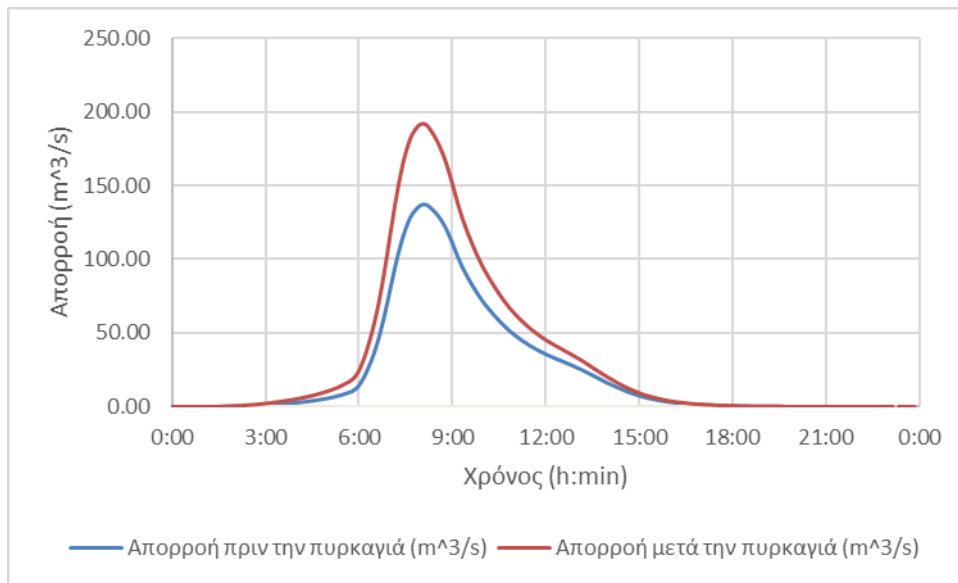
Εικόνα Π 89: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ γ και $t=12$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



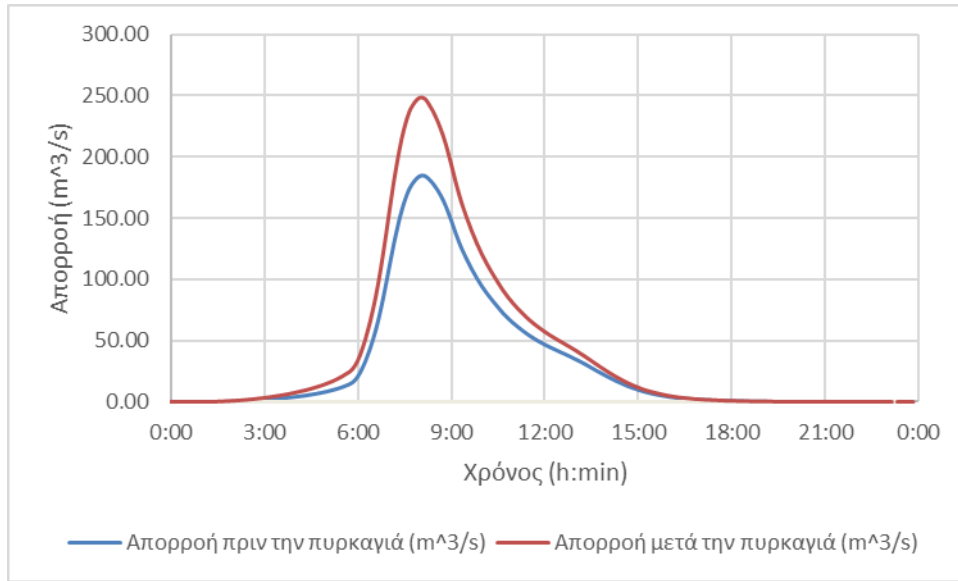
Εικόνα Π 90: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5$ γ και $t=12$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



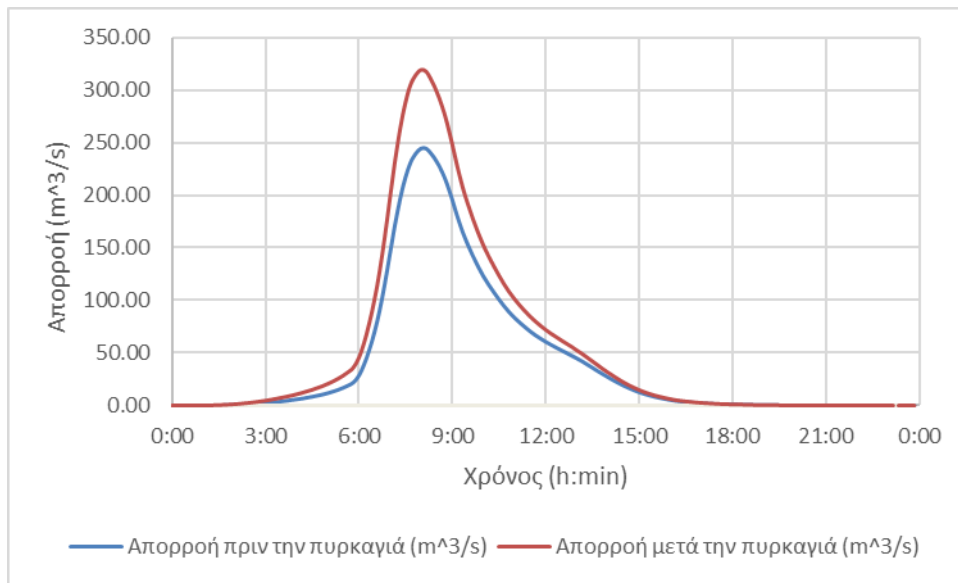
Εικόνα Π 91: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 10y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 92: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 25y$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

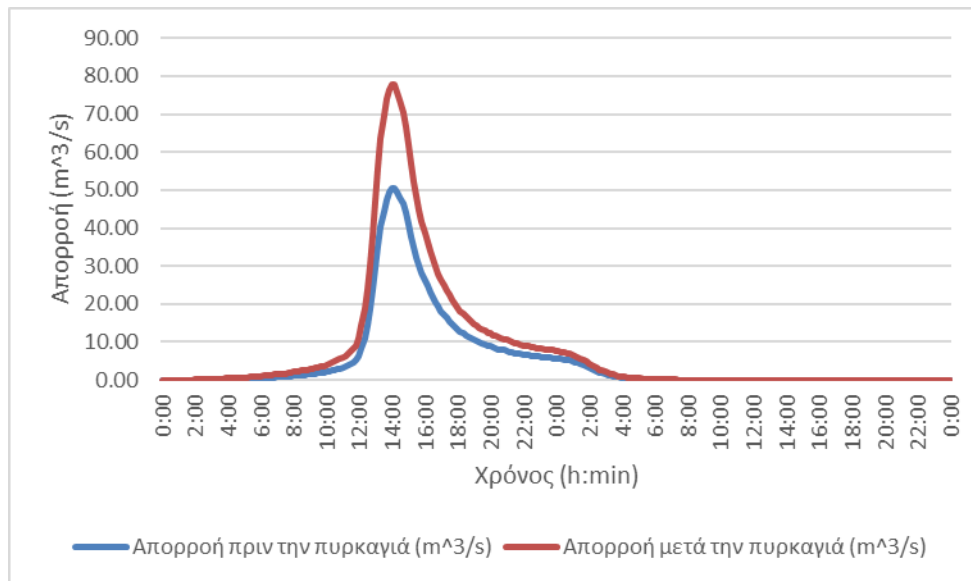


Εικόνα Π 93: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 50g$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

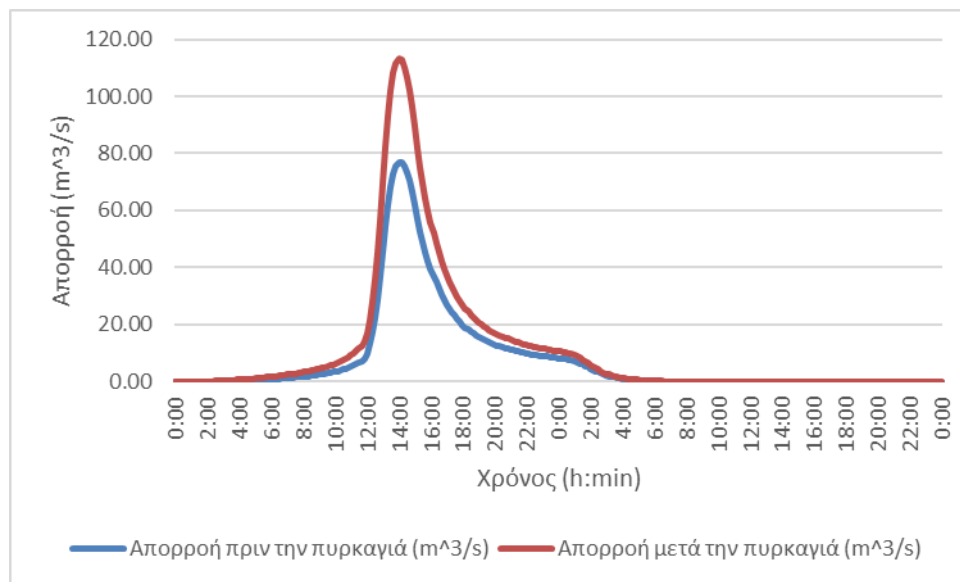


Εικόνα Π 94: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T= 100g$ και $t=12h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

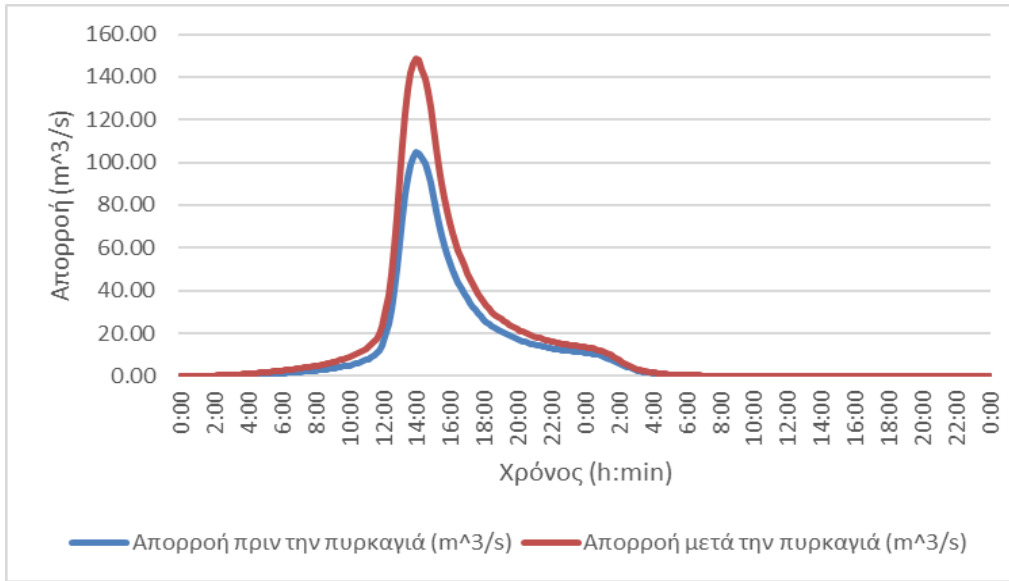
Για $t=24$ ώρες και $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$ έτη πριν και μετά την πυρκαγιά (συγκριτικά).



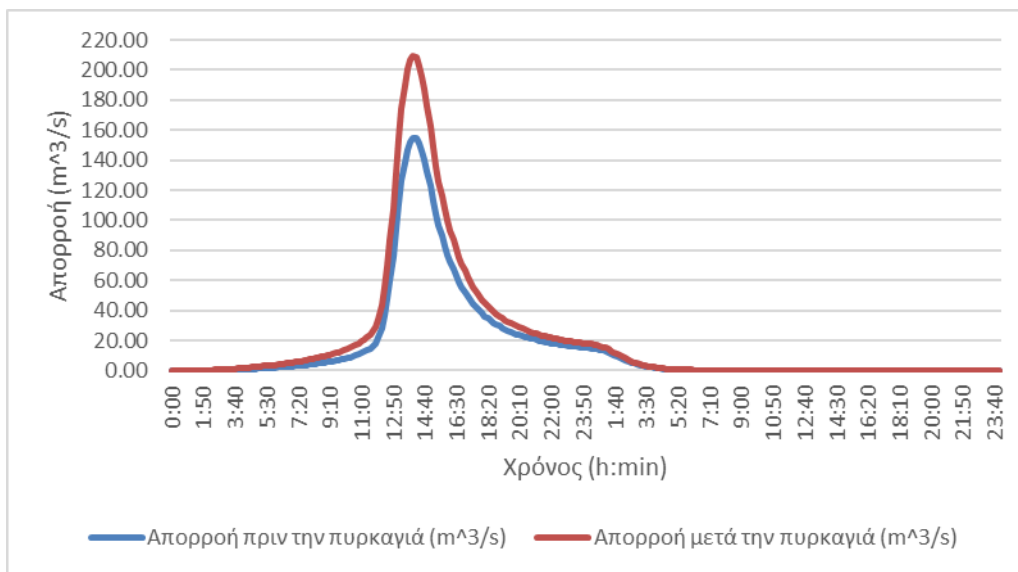
Εικόνα Π 95: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=2$ γ και $t=24$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



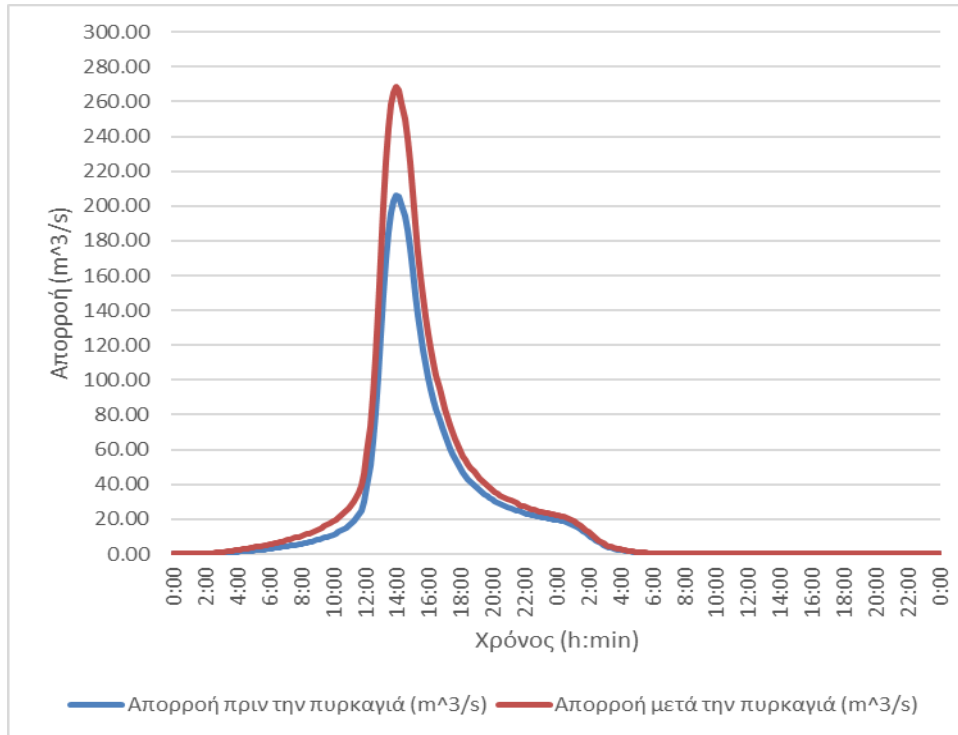
Εικόνα Π 96: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=5$ γ και $t=24$ h πριν και μετά την πυρκαγιά



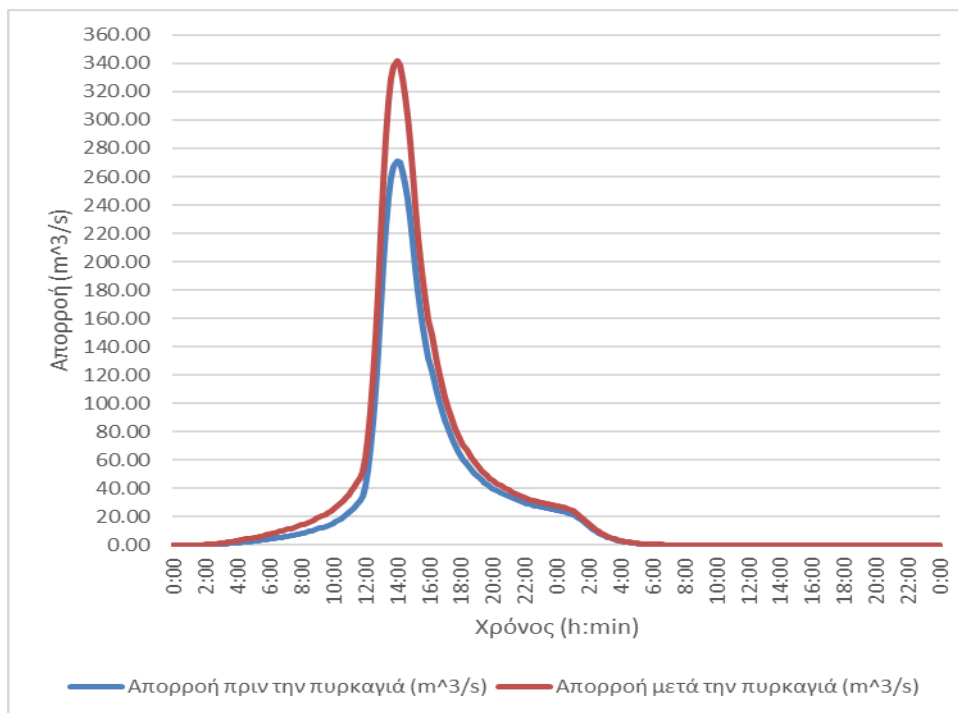
Εικόνα Π 97: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=10y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 98: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=25y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 99: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=50y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά



Εικόνα Π 100: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για $T=100y$ και $t=24h$ πριν και μετά την πυρκαγιά

