



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΤΙΣ  
ΑΠΟΡΡΟΕΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ  
ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΣΙΚΝΙΑ ΣΤΗΝ ΝΗΣΟ ΛΕΣΒΟ

ΧΡΥΣΑΝΘΗ ΣΚΑΛΙΕΡΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΧΡΙΝΤΖΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση 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.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Χαρίλαο Βαγγέλη, μέλος Δ.Ε.Π., ο οποίος με βοήθησε με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αρχή της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Ιωάννη Κούρτη για την πολύτιμη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής .

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την αγάπη και την στήριξη τους σε όλη την πορεία των σπουδών μου τους γονείς μου, τα αδέρφια μου, την γιαγιά μου και τους φίλους μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφεται η υδρολογική προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής και η υδρολογική απόκριση στις εναλλαγές χρήσεων γης. Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Τσικνιά, βρίσκεται στην νήσο Λέσβο και έχει έκταση περίπου 86 km<sup>2</sup>.

Αφού έγινε η συλλογή πρωτογενών δεδομένων, δηλαδή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, των χρήσεων γης, των τύπων εδάφους και των όμβριων καμπυλών (Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου), πραγματοποιήθηκε η προεπεξεργασία και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων σε μορφή χαρτών σε περιβάλλον GIS και με την χρήση της εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS.

Η υδρολογική προσομοίωση έλαβε χώρα με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS, δηλαδή προσομοιώθηκαν διεργασίες βροχόπτωσης- απορροής για την λεκάνη μελέτης για την αρχική κατάσταση της περιοχής και για διάφορα σενάρια αλλαγών χρήσεως γης. Στο πρώτο σενάριο θεωρήθηκε ότι μεγάλο μέρος της λεκάνης μελέτης αστικοποιήθηκε (40% της έκτασης της), στο δεύτερο σενάριο έγινε αλλαγή χρήσεως των δασών και των ελαιώνων σε περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία και στο τρίτο σενάριο έγιναν υποθέσεις πυρκαγιών. Στο πρώτο σενάριο πυρκαγιάς θεωρήθηκε ότι κάηκε μέρος του βόρειου κομματιού της λεκάνης μελέτης (23% της συνολικής έκτασης), στο δεύτερο ότι κάηκε μέρος του νότιου κομματιού της λεκάνης μελέτης (8% της συνολικής έκτασης) και στο τρίτο ότι κάηκε τμήμα του βόρειου κομματιού, αλλά λιγότερη έκταση σε σχέση με το πρώτο (13% της συνολικής έκτασης). Η υδρολογική προσομοίωση έγινε για περιόδους επαναφοράς ( $T = 2, 5, 10, 25, 50,$  και  $100$  έτη) και για διάρκειες βροχόπτωσης ( $t = 6, 12,$  και  $24$  ώρες). Για την χρονική κατανομή του ύψους βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης (Alternating Block Method, Chow, 1988). 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 της SCS.

Στη συνέχεια, αφού κατασκευάστηκαν τα σενάρια αλλαγής χρήσεων γης και για καθένα από αυτά εξήχθησαν πλημμυρογραφήματα για τις προαναφερθείσες περιόδους επαναφοράς και χρονικές διάρκειες και έγινε σύγκρισή τους με την υπάρχουσα κατάσταση.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι αλλαγές της χρήσης δεν είχαν σημαντική μεταβολή στον αριθμό καμπύλης CN και κατά συνέπεια και στην απορροή της λεκάνης απορροής σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Η μεγαλύτερη μεταβολή προέκυψε για το πρώτο σενάριο πυρκαγιάς (περίπου 23% αποτεφρωμένη έκταση), όπου η παροχή αιχμής κυμαίνεται από 90.5 m<sup>3</sup>/s έως 342.7 m<sup>3</sup>/s, ενώ στην υπάρχουσα κατάσταση κυμαίνοτο από 73.9 m<sup>3</sup>/s έως 313.4 m<sup>3</sup>/s για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες και για περιόδους επαναφοράς  $T = 2, 5, 10, 25, 50,$  και  $100$  έτη. Ο πλημμυρικός όγκος για το συγκεκριμένο σενάριο πυρκαγιάς κυμαίνεται από  $2.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> έως  $8.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ενώ στην υπάρχουσα κατάσταση κυμαίνοτο από  $1.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> έως  $7.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup> για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες και για περιόδους επαναφοράς  $T = 2, 5, 10, 25, 50,$  και  $100$  έτη.

## ABSTRACT

The present thesis presents the hydrological simulation of a watershed and the hydrological response to land use changes. The study area is located in Lesvos and has an area of about 86 km<sup>2</sup>. First the collection of primary data was carried out, such as digital terrain model, land use and soil types map, Intensity – Duration – Frequency curves, and then the pre-processing and visualization of the results in the form of maps in a GIS environment and using the HEC-GeoHMS toolkit were performed.

The hydrological simulation was carried out using the HEC-HMS software, i.e., rainfall-runoff processes were simulated for the study basin for the existing state of the area and for various land use change scenarios. In the first scenario, it was assumed that a large part of the study basin was urbanized (40% of its area), in the second scenario the use of forests and olive groves was changed to land mainly used for agriculture, and in the third scenario fire was assumed to occur. In the first fire scenario, it was assumed that part of the northern area of the study basin burned (23% of the total area), in the second that part of the southern area of the study basin burned (8% of the total area) and in the third that part of the northern area burned again, but to a less percent than that of the first fire scenario (13% of the total area). The hydrological simulations were performed for return periods ( $T = 2, 5, 10, 25, 50,$  and  $100$  years) and for rainfall durations ( $t = 6, 12,$  and  $24$  h). Rainfall distribution took place using the Alternating Block Method. The land use change scenarios were then developed and for each of the these scenarios, flood hydrographs were extracted for return periods  $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  years and rainfall durations  $t = 6, 12, 24$  hours, which were compared with the respective hydrographs for the existing condition.

The results revealed that the changes of the land uses did not have a significant change in the CN curve number, and consequently in the runoff of the catchment compared to the existing situation. The largest change was obtained for the first fire scenario (about 23% of the area burnt) where the peak flow ranged from 90.5 m<sup>3</sup>/s to 342.7 m<sup>3</sup>/s while in the existing situation it ranged from 73.9 m<sup>3</sup>/s to 313.4 m<sup>3</sup>/s for rainfall duration  $t = 6$  hours and for return periods  $T = 2, 5, 10, 25, 50$  and  $100$  years. The flood volume for the above-mentioned fire scenario varied from  $2.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup> to  $8.1 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, while in the existing condition it ranged from  $1.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> to  $7.4 \times 10^6$  m<sup>3</sup> for rainfall duration  $t = 6$  hours and for return periods  $T = 2, 5, 10, 10, 25, 50,$  and  $100$  years.



# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	iii
ABSTRACT .....	iv
1. Εισαγωγή .....	1
1.1. Σκοπός της εργασίας .....	1
1.2. Το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκάνης απορροής .....	1
1.3. Υδρολογικά Μοντέλα .....	2
1.4.1 Γενικά για τις πλημμύρες .....	3
1.4.2. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ.....	4
1.4.3. Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρώπη και Ελλάδα .....	5
1.5. Λογισμικό.....	6
1.6. Υδρολογική συμπεριφορά δασωμένων λεκανών απορροής .....	6
1.7. Πυρκαγιές .....	7
1.7.1. Χαρακτηριστικά των πυρκαγιών .....	7
1.7.2. Οι πυρκαγιές σε Μεσόγειο και Ελλάδα.....	9
1.7.3. Επίδραση πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής .....	11
1.8. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	12
1.9. Διάρθρωση της εργασίας .....	18
2. Θεωρητικό υπόβαθρο .....	20
2.1. Περιοχή μελέτης.....	20
2.1.1. Λεκάνη Απορροής Τσικνιά.....	20
2.1.2. Περιγραφή λεκάνης μελέτης.....	21
2.1.3. Γεωλογικά Χαρακτηριστικά .....	23
2.1.4. Κλιματικές Συνθήκες.....	25
2.1.5. Δασική Βλάστηση .....	26
2.2. Υδρολογική προσομοίωση λεκάνης απορροής.....	27
2.2.1.Γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής.....	29
2.2.2. Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους .....	31
2.2.3. Απώλειες βροχής .....	38
2.2.3.1 Εκτίμηση του περισσεύματος βροχής με την μέθοδο SCS.....	39
2.2.3.2. Όμβρια καμπύλη για την λεκάνη απορροής .....	42
2.2.3.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS .....	44
2.2.3.4.Εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης (tc) - Εξίσωση Giandotti .....	46

2.2.3.5. Χρονική κατανομή βροχόπτωσης με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method) .....	47
2.2.4. Λογισμικό HEC-HMS .....	48
2.2.4.1. Προετοιμασία αρχείων εισόδου στο πρόγραμμα HEC-HMS .....	49
2.2.4.2. Μοντέλο λεκάνης απορροής.....	50
2.2.4.3. Μετεωρολογικό μοντέλο.....	51
2.3. Σενάρια εναλλαγής χρήσεων γης.....	52
2.3.1. Σενάριο 1 – Αστικοποίηση.....	53
2.3.2. Σενάριο 2 - Αλλαγή χρήσεως γης δασών και ελαιώνων σε Περιοχή που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης .....	56
2.3.3. Σενάρια – Πυρκαγιάς.....	58
3. Αποτελέσματα .....	65
3.1. Υετογράμματα με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.....	65
3.2. Υδρογραφήματα με βάση τα αποτελέσματα του HEC-HMS.....	67
3.2.1. Υπάρχουσα κατάσταση.....	68
2.3.2. Σενάριο 1 .....	74
2.3.3. Σενάριο 2 .....	82
2.3.4. Σενάριο 3 .....	90
4. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	115
4.1. Συμπεράσματα .....	115
4.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	115
5. Βιβλιογραφία.....	117
5.1. Ελληνική Βιβλιογραφία .....	117
5.2. Ξένη βιβλιογραφία .....	120
5.3. Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο.....	121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	122



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Αριθμός Πυρκαγιών στην Ελλάδα από το έτος 1980 έως το 2013 (Πηγή: European Commission JRC, 2014).....	9
Εικόνα 2: Αριθμός δασικών πυρκαγιών ανά έτος για την περίοδο 2000-2021 στην Ελλάδα (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος).....	10
Εικόνα 3: Αριθμός Πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου από το έτος 1980 έως το 2013 (Πηγή: European Commission JRC, 2014).....	11
Εικόνα 4: Υδατικό Διαμέρισμα GR14 (Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2017-2023).....	21
Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης.....	22
Εικόνα 6: Γεωλογικός χάρτης της Λέσβου που δείχνει τις γεωλογικές τομές του νησιού (Πηγή: Katsikatsos et al., 1986). ....	24
Εικόνα 7: Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία.....	25
Εικόνα 8: Μέσο Μηνιαίο Ύψος Υετού .....	26
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-geoHMS.....	28
Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας στο HEC-HMS.....	29
Εικόνα 11: Χρήσεις Γης στην περιοχή μελέτης του έτους 2018.....	30
Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας ΨΜΕ μέσω του μενού Preprocessing.....	32
Εικόνα 13: Fill sinks.....	33
Εικόνα 14: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με τη διεύθυνση απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013).....	33
Εικόνα 15: Κάναβος διευθύνσεων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013).....	34
Εικόνα 16: Flow direction .....	34
Εικόνα 17: Κάναβος πλήθους φατνίων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013) .....	35
Εικόνα 18: Κάναβος συγκεντρωτικής ροής .....	35
Εικόνα 19: Κάναβος υδατορεμάτων.....	36
Εικόνα 20: Κατάτμηση υδρογραφικού δικτύου .....	36
Εικόνα 21: Οριοθέτηση υπολεκανών .....	37
Εικόνα 22: Οριοθέτηση υπολεκανών σε μορφή vector .....	37
Εικόνα 23: Υδρογραφικό δίκτυο σε διανυσματική μορφή.....	38
Εικόνα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη μελέτης.....	41
Εικόνα 25: Συσχέτιση τιμών CN με το ποσοστό κάλυψης για κάθε ομάδα υδροπερατότητας .....	42
Εικόνα 26: Χωρική μεταβολή παραμέτρου $k'$ (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου).....	43
Εικόνα 27: Χωρική μεταβολή παραμέτρου $l'$ (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου).....	43
Εικόνα 28: Χωρική μεταβολή παραμέτρου $\psi'$ (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου).....	44
Εικόνα 29: Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα – SCS .....	45
Εικόνα 30: Μοντέλο λεκάνης απορροής .....	50

Εικόνα 31: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC-HMS .....	51
Εικόνα 32: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου .....	52
Εικόνα 33: Σενάριο 1- Αστικοποίηση.....	53
Εικόνα 34: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 1 .....	55
Εικόνα 35: Χρήσεις γης Σεναρίου 2 .....	56
Εικόνα 36: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 2.....	58
Εικόνα 37: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3α .....	59
Εικόνα 38: Χρήσεις γης Σεναρίου 3α.....	60
Εικόνα 39: Χρήσεις γης Σεναρίου 3β.....	61
Εικόνα 40: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3β.....	62
Εικόνα 41: Χρήσεις γης Σεναρίου 3γ .....	63
Εικόνα 42: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3γ .....	64
Εικόνα 43: Υετογράμματα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονότα σχεδιασμού περιόδων επαναφοράς 2 (α), 5 (β), 10 (γ), 25 (δ), 50 (ε) και 100 (στ) ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για τη λεκάνη μελέτης.....	66
Εικόνα 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	68
Εικόνα 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	69
Εικόνα 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	70
Εικόνα 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	71
Εικόνα 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	72
Εικόνα 49: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h .....	73
Εικόνα 50: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ετών και t=6h για την υπάρχουσα κατάσταση.....	74
Εικόνα 51: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υπάρχουσα κατάσταση .....	75
Εικόνα 52: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση .....	76
Εικόνα 53: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση .....	77



Εικόνα 69: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση .....	95
Εικόνα 70: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση .....	96
Εικόνα 71: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ετών και t=6h για την υπάρχουσα κατάσταση (A) και για το Σενάριο 3α (B) .....	98
Εικόνα 72: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και για την υφιστάμενη κατάσταση .....	99
Εικόνα 73: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση .....	100
Εικόνα 74: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση .....	101
Εικόνα 75: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση .....	102
Εικόνα 76: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση .....	103
Εικόνα 77: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση .....	104
Εικόνα 78: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ετών και t=6h για την υπάρχουσα κατάσταση (α) και για το Σενάριο 3β (β) .....	106
Εικόνα 79: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	107
Εικόνα 80: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	108
Εικόνα 81: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	109
Εικόνα 82: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	110
Εικόνα 83: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	111

Εικόνα 84: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης .....	112
Εικόνα 85: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 ετών και t=6h για την υπάρχουσα κατάσταση (A) και για το Σενάριο 3γ (B).....	114
Εικόνα Π1: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	122
Εικόνα Π2: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	122
Εικόνα Π3: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	123
Εικόνα Π4: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	123
Εικόνα Π5: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	124
Εικόνα Π6: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h .....	124
Εικόνα Π7: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	125
Εικόνα Π8: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	125
Εικόνα Π9: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	126
Εικόνα Π10: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	126
Εικόνα Π11: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	127
Εικόνα Π12: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h .....	127
Εικόνα Π13: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 .....	128
Εικόνα Π14: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 .....	128
Εικόνα Π15: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 .....	129
Εικόνα Π16: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 .....	129













Εικόνα Π92: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ .....	167
Εικόνα Π93: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ .....	168
Εικόνα Π94: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ .....	168
Εικόνα Π95: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ .....	169
Εικόνα Π96: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ .....	169
Εικόνα Π97: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	170
Εικόνα Π98: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	170
Εικόνα Π99: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	171
Εικόνα Π100: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	171
Εικόνα Π101: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	172
Εικόνα Π102: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ .....	172

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης μελέτης.....	22
Πίνακας 2: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2018 .....	30
Πίνακας 3: Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972).....	40
Πίνακας 4: Οι τεταγμένες του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS (Πηγή: Τσακίρης, 2013).....	45
Πίνακας 5: Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης και χρόνου υστέρησης για την λεκάνη μελέτης.....	47

Πίνακας 6: Σημειακή βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Τσικνιά.....	47
Πίνακας 7: Σενάρια αλλαγής χρήσεως γης που μελετήθηκαν για την λεκάνη μελέτης. ....	52
Πίνακας 8: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης (Σενάριο 1-Αστικοποίηση) και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D .....	54
Πίνακας 9: Χρήσεις γης Σεναρίου 2 και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D.....	57
Πίνακας 10: Χρήσεις γης Σεναρίου 3α και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D .....	60
Πίνακας 11: Χρήσεις γης Σεναρίου 3β και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D .....	61
Πίνακας 12: Χρήσεις γης Σεναρίου 3γ και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D .....	63
Πίνακας 13: Συνολική βροχόπτωσης (mm) διάρκειας 6h και διαφορετικών περιόδων επαναφοράς T σε έτη για τη λεκάνη μελέτης του ποταμού Τσικνιά.....	67
Πίνακας 14: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για την υφιστάμενη κατάσταση. ....	73
Πίνακας 15: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 6, 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για το Σενάριο 1.....	81
Πίνακας 16: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 6, 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για το Σενάριο 2.....	89
Πίνακας 17: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 6, 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για το Σενάριο 3α.....	97
Πίνακας 18: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 6, 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για το Σενάριο 3β.....	105
Πίνακας 19: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης t= 6, 12, 24 ώρες για περιόδους επαναφοράς T =2, 5, 10, 25, 50, 100 έτη για το Σενάριο 3γ.....	113



# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός της επίδρασης των αλλαγών χρήσεων γης στην απορροή φυσικών λεκανών απορροής. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι η λεκάνη απορροής του ρέματος Τσικνιά που βρίσκεται στον κόλπο Καλλονής στην Λέσβο, Βορειοανατολικό Αιγαίο και ανήκει στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου. Η Λέσβος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Ελλάδας μετά την Κρήτη και την Εύβοια, με έκταση 1,636 km<sup>2</sup> και ακτογραμμή 459 km.

Η Λέσβος παρουσιάζει μία από τις υψηλότερες συχνότητες πλημμυρών στην Ελλάδα, κατά μέσο όρο μία πλημμύρα ανά 2.6 έτη με βάση στοιχεία που συλλέχθηκαν μεταξύ 1952 και 2017 (Λέκκας 2017). Οι περισσότερες πλημμύρες συμβαίνουν μεταξύ των μηνών Οκτωβρίου και Φεβρουαρίου. Χαρακτηρίζονται ως αιφνίδιες πλημμύρες μικρής διάρκειας με γρήγορη άνοδο της στάθμης του νερού και είναι αποτέλεσμα καταιγίδων υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής ανάπτυξης, <https://ermis-f.eu/sep-lesvos/>).

Η αλλαγή των χρήσεων γης μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στις απορροές της λεκάνης του ρέματος Τσικνιά. Για παράδειγμα, η μετατροπή γεωργικών εκτάσεων σε οικιστικές περιοχές ή η αποψίλωση των δασών μπορούν να αυξήσουν τον όγκο απορροής της απορροής των υδάτων και να επιταχύνουν τη ροή τους, με αποτέλεσμα την αύξηση του κινδύνου πλημμύρας (Γιάννιου, 2015). Αντίθετα, η διατήρηση φυσικών περιοχών, όπως οι υγροβιότοποι και τα δάση, μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικός αποτροπέας των πλημμυρών, απορροφώντας το νερό και προστατεύοντας τις κοινότητες από τις πλημμύρες (Βαρσάμη, 2014).

Από τη μελέτη της επίδραση των διαφορετικών σεναρίων αλλαγής χρήσης γης στις απορροές της λεκάνης του ρέματος Τσικνιά, μπορούν να αναδειχθούν σημαντικά συμπεράσματα καθώς και να προταθούν πιθανά μέτρα για την αειφόρο διαχείριση της περιοχής.

## 1.2. Το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκάνης απορροής

Το υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού της κύκλου (Μπενέκου, 2014). Αποτελεί δηλαδή το ισοζύγιο του νερού που εισέρχεται, εξέρχεται και αποθηκεύεται σε ένα υδρολογικό σύστημα. Από τις υδρολογικές διεργασίες του κύκλου του νερού, σημαντικές για την τεχνική υδρολογία και το υδρολογικό ισοζύγιο σε επίπεδο λεκάνης απορροής είναι οι διαδικασίες της κατακρήμνισης, της διήθησης/κατακράτησης και της εξατμισοδιαπνοής (Τσακίρης, 2013).

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 (Τάντος, 2006):

$$\Delta S = P - R - G - E - T \quad (1)$$

Σύμφωνα με την Εξ. (1), η μεταβολή στην αποθήκευτικότητα μιας λεκάνης απορροής ( $\Delta S$ ) 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 (Τσακίρης, 2013). Σε μικρή χρονική κλίμακα, για παράδειγμα ωριαία ή ημερήσια, τα υδρολογικά αυτά ελλείμματα λαμβάνονται υπόψιν ως συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου (Τσακίρης, 2013).

### 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 μηχανισμούς του υδρολογικού κύκλου, με στόχο την αναπαράσταση των υδρολογικών εργασιών σε κατάλληλη χωρική και χρονική κλίμακα και 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, όπου η αναπαράστασή τους γίνεται μέσω εμπειρικών προσεγγίσεων, στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν την μελέτη (π.χ. η εξάτμιση και η διήθηση).
- 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 (Μιμίκου, 2006).

Το ένα πρόβλημα είναι ότι το φυσικό φαινόμενο δεν μπορεί να αναπαραχθεί ικανοποιητικά, διότι δεν περιέχεται ο απαιτούμενος αριθμός μεταβλητών, ενώ το δεύτερο είναι πως οι παράμετροι μεταβάλλονται συστηματικά ή τυχαία αλλά θεωρούνται σταθερές. Τα υδρολογικά μοντέλα διαιρούνται σε κατηγορίες σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια (Μιμίκου, 2006):

- Με βάση τη χωρική κλίμακα τα υδρολογικά μοντέλα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: δηλαδή σε συγκεντρωτικά, ημι-κατανεμημένα και κατανεμημένα, σύμφωνα με το αν η υδρολογική λεκάνη είναι ενιαία, ή διαχωρίζεται σε μεγάλες υπολεκάνες ή σε μικρότερα τμήματα, αντίστοιχα.
- Με βάση 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 προσδιοριστικά, όπου δεν υπάρχει στοχαστική δομή σε καμία μεταβλητή και σε στοχαστικά, όπου υπάρχει τουλάχιστον μία μεταβλητή με στοχαστική δομή.
- Με βάση τον τρόπο προσέγγισης του υδρολογικού κύκλου διακρίνονται σε φυσικής βάσης, όπου χρησιμοποιούνται φυσικές εξισώσεις, σε εννοιολογικά που προσομοιώνεται μια στοιχειώδη διαδικασία του φυσικού φαινομένου και σε εμπειρικά που χρησιμοποιούνται παράμετροι χωρίς φυσική σημασία.

#### 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 δεν καλύπτεται από νερό σε φυσιολογικές συνθήκες. Αυτός ο όρος περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα ρέματα καθώς και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, ωστόσο δεν περιλαμβάνονται πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης». Οι πλημμύρες προκαλούνται 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, όπως η έντονη βροχόπτωση και η υψηλή στάθμη της θάλασσας, είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν κατ' ουσία να ελεγχθούν (Ζωίδου, 2012). Παρόλα αυτά, αν μια δεδομένη βροχόπτωση θα προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις, 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, όπως η παροχή αιχμής, ο πλημμυρικός όγκος και η 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

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο διαμόρφωσε την Οδηγία για τα πλημμυρικά νερά, τον Σεπτέμβριο του 2007 (2007/60/ΕΚ), προκειμένου να υπάρχει ένα ολοκληρωμένο σχέδιο σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Κύριος σκοπός της είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα. Η Οδηγία 2007/60 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 στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται μια προκαταρκτική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στις λεκάνες απορροής των ποταμών και τις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες (Άρθρο 4 & 5).
- Στο δεύτερο στάδιο δημιουργούνται χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες 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).
- Στο τρίτο στάδιο καταρτίζονται Σχεδία Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (Άρθρο 7). Τα σχέδια αυτά θα πρέπει να επικεντρώνονται στην πρόληψη των πλημμυρών και των συνεπειών της, ενώ είναι αναγκαίο να προβλέπουν τρόπους προστασίας τέτοιων περιοχών καθώς επίσης και την προετοιμασία του πληθυσμού για την αντιμετώπιση μιας 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 διαφέρει ανάλογα την περιοχή, λόγω της μεταβλητότητας του ανάγλυφου και του κλίματος κατά μήκος της χώρας. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency, 2021), έχουν σημειωθεί περισσότερες από 175 καταστροφικές πλημμύρες στην Ευρώπη τα τελευταία 10 χρόνια, αποτελώντας μέρος μιας συνολικά αυξανόμενης τάσης αυξανόμενων ακραίων καιρικών φαινομένων και φυσικών καταστροφών από τη δεκαετία του 1980 (European Environment Agency, 2021). Επιπλέον, προβλέπεται περαιτέρω 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 όχι μόνο στην Ευρώπη αλλά και σε παγκόσμιο (Βαρσάμη, 2014). Στη Ελλάδα, οι πλημμύρες των τελευταίων 40 ετών έχουν προκαλέσει πολύ μεγαλύτερη θνησιμότητα από αυτήν που προκάλεσαν οι σεισμοί στο ίδιο χρονικό διάστημα (Βαρσάμη, 2014). 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 της ποικιλόμορφης υδρολογικής κατάστασης σε διάφορες περιοχές (ποικιλία 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 τις διαδικασίες βροχόπτωσης δημιουργώντας 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 1,800 mm στις ορεινές περιοχές της δυτικής Ελλάδας, ενώ στα ανατολικά διαμερίσματα της χώρας η τιμή αυτή κυμαίνεται γύρω 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 (Βαρσάμη, 2014). Οι πλημμύρες στην Ελλάδα συχνά οφείλονται σε επεισόδια έντονης βροχόπτωσης μεγάλης έντασης. Οι περισσότερες έντονες βροχοπτώσεις παράγονται από το πέρασμα χαμηλών βαρομετρικών, τα οποία συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα (και πιο σπάνια από θερμά) και καταφθάνουν από τα δυτικά, νοτιοδυτικά ή βορειοδυτικά (Μιμίκου, 2013). Επίσης, σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πλημμυρών παίζει η αστικοποίηση και η μείωση των δασικών εκτάσεων, γιατί αυξάνεται η πλημμυρική απορροή και μειώνεται ο χρόνος συγκέντρωσης (Καββαδά, 2014). 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).

Οι πλημμύρες που καταγράφονται στη χώρα μας οφείλονται κατά κύριο λόγο σε φυσικά αίτια, έχουν επιδεινωθεί σημαντικά εξαιτίας των ανθρώπινων παρεμβάσεων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, την άναρχη δόμηση και μείωση του πρασίνου (Βαρσάμη, 2014). 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 κατά συνέπεια η διάβρωση του εδάφους 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% (Βαρσάμη, 2014). Παρόλο που η αποδάσωση κρίνεται αναγκαία για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών στις ζώνες πυροπροστασίας, η άκριτη αποψίλωση που συνήθως γίνεται για την επέκταση της αστικής ζώνης, αποτελεί πρόβλημα και αίτιο για πλημμύρες εφόσον αλλάζει η διηθητικότητα του εδάφους και δεν μπορεί να συγκρατηθεί το ίδιο ποσοστό νερού που συγκρατούνταν από τα δέντρα.

## 1.5. Λογισμικό

Για την εκπόνηση της παρούσας 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 10.5. (Geospatial Hydrologic Modeling Extension) - US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center: πρόσθετη εργαλειοθήκη του λογισμικού ArcGIS
- HEC-HMS 4.4.1. (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 κατά 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, ενώ τα φυλλοβόλα είδη και η ποώδης βλάστηση 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, η βλάστηση μιας λεκάνης απορροής συμβάλλει τόσο στην αποθήκευση και στη συγκράτηση σημαντικού ποσοστού βροχής όσο και στην αποτροπή της διάβρωσης του εδάφους (Σεφεριάδη, 2019). Με αυτόν τον τρόπο, ο κίνδυνος πλημμύρας μειώνεται σημαντικά.

Σήμερα η επίδραση της βλάστησης είναι εφικτό να ποσοτικοποιηθεί χρησιμοποιώντας αριθμητική έκφραση των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια μιας βροχής (Μπαλούτσος κ.α., 2001). Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την υδατοσυγκράτηση 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 αλλαγές 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).

Συνεπώς, η φυτοκάλυψη έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των αιχμών των πλημμυρικών υδρογραφημάτων δρώντας προς την κατεύθυνση της μείωσης του όγκου άμεσης απορροής και της επιβράδυνσης και εξομάλυνσης των ρυθμών της (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 χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, διακρίνονται σε αστικές πυρκαγιές, δηλαδή σε καταστήματα ή σε κατοικίες, πυρκαγιές σε βιομηχανικές ζώνες, σε πλοία, σε αεροδρόμια, σε οχήματα, καθώς και πυρκαγιές που εκδηλώνονται σε δάση (Ζυμαράκη, 2023). Επιπλέον, διακρίνονται και ανάλογα με το μέγεθος και την ένταση τους, δηλαδή σε μεγάλες, μεσαίες και μικρές. Εκτός των παραπάνω, εξαρτώνται και από την ποσότητα του καιόμενου υλικού και την έκταση του χώρου (Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, <https://www.pkm.gov.gr>).

- Μεγάλες πυρκαγιές είναι αυτές που καλύπτουν έκταση άνω των 100 m<sup>2</sup> . Ο όγκος των υλικών που καίγονται είναι μεγάλος και αναπτύσσεται θερμοκρασία που κυμαίνεται από 1,000 έως 1,200 °C. Για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών αυτής της κατηγορίας, απαιτείται μεγάλος αριθμός Πυροσβεστικών Δυνάμεων.
- Μεσαίες πυρκαγιές είναι αυτές που καταλαμβάνουν έκταση κάτω των 100 m<sup>2</sup> . Η ποσότητα των καιόμενων υλικών είναι μικρή και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται

φτάνει τους 800–1,000 °C. Για τη κατάσβεση των πυρκαγιών της κατηγορίας αυτής δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός Πυροσβεστικών Δυνάμεων.

- Μικρές πυρκαγιές λέγονται οι αρχικές φωτιές και της μικρής έκτασης πυρκαγιές. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε αυτήν την περίπτωση αυτή είναι κάτω από 800 °C, και είναι δυνατό να σβηστούν 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>):

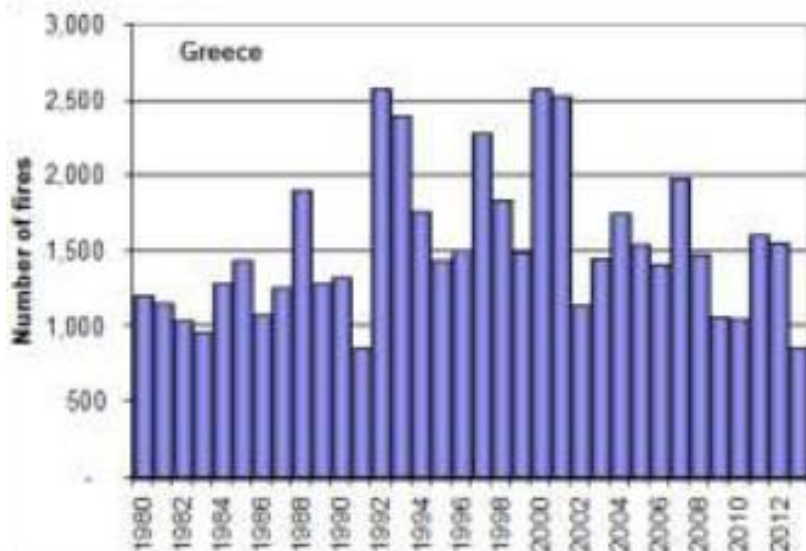
- Κοινές πυρκαγιές ή στερεών ή Α' κατηγορίας
- Πυρκαγιές εύφλεκτων υγρών ή Β' κατηγορίας
- Πυρκαγιές αερίων καυσίμων ή Γ' κατηγορίας
- Πυρκαγιές μετάλλων ή Δ' κατηγορίας
- Πυρκαγιές παρουσία ηλεκτρικού ρεύματος ή Ε' κατηγορίας

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

- Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες, οι οποίες είναι σπάνιες στην χώρα μας. Σε αυτή την περίπτωση καίγονται κατά κανόνα η καύσιμη ύλη, όπως ξερά φύλλα, κλαδιά, βρύα κ.α., που έχει συγκεντρωθεί κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ακόμη και κάτω από αυτήν, και βρίσκεται συνήθως σε στάδιο αποσύνθεσης. Διαδίδονται αργά και σε μερικές περιπτώσεις υπάρχει πιθανότητα να γίνουν από τις πιο επικίνδυνες πυρκαγιές, επειδή ακριβώς δεν προκαλούν ανησυχία λόγω του ότι είναι αβέβαιο το αν υπάρχει καπνός ή όχι .
- 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.
- Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες, όπου σε 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, ειδικότερα αν έχει ισχυρούς ανέμους, γεγονός που τις καθιστά εξαιρετικά επικίνδυνες και δύσκολα αντιμετωπίσιμες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας και εκδήλωση χειμαρρικών φαινομένων στην πεδινή και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης, επικίνδυνο τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία και ζωή.

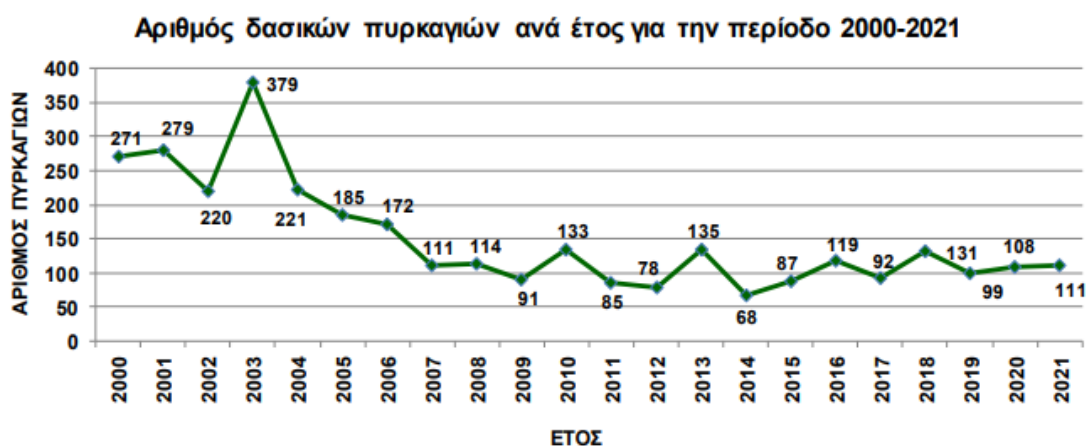
### 1.7.2. Οι πυρκαγιές σε Μεσόγειο και Ελλάδα

Στην Ελλάδα, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μία από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές σε ένα περιβάλλον που είναι ευάλωτο λόγω του μεσογειακού κλίματος που επικρατεί και την βλάστηση (Στεργιόπουλος, 2019). Στα μεσογειακά οικοσυστήματα επηρεάζει σημαντικά τις επιμέρους λειτουργίες και πολλαπλές χρήσεις του δάσους και ασκεί καθοριστικές επιδράσεις στο φυσικό κύκλο διαδοχής της βλάστησης, καθώς και στη λειτουργία των φυσικών οικοσυστημάτων (Ζυμαράκη, 2023). Οι μεσογειακές χώρες πλήττονται συχνά από πυρκαγιές ειδικά τους θερινούς μήνες, καθώς λόγω του ξηρού κλίματος ευνοείται η έναρξη και η εξάπλωση της φωτιάς (European Environment Agency, 2013). Στην Εικόνα 1, παρουσιάζονται οι πυρκαγιές στην Ελλάδα από το 1980 έως το 2013, παρατηρείται μία αύξηση από το 1992 έως το 2001 και στα ακόλουθα έτη υπάρχει μια μείωση αλλά ο αριθμός των πυρκαγιών είναι υψηλός.



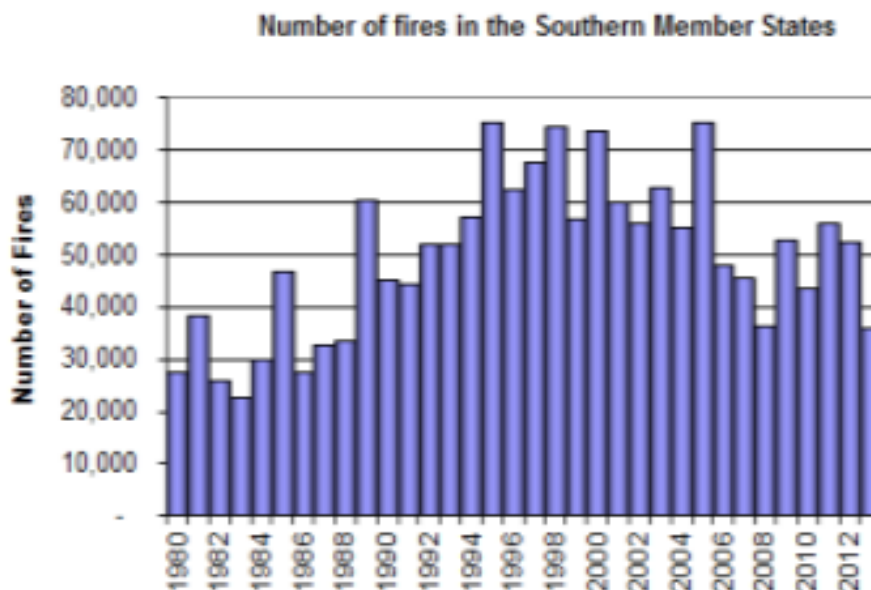
Εικόνα 1: Αριθμός Πυρκαγιών στην Ελλάδα από το έτος 1980 έως το 2013 (Πηγή: European Commission JRC, 2014)

Επιπλέον, στην χώρα μας, εξαιτίας των απότομων κλίσεων των δασικών εκτάσεων, του ξηρού κλίματος τα καλοκαίρια με μεγάλη διάρκεια, τις έντονες βροχοπτώσεις την περίοδο του χειμώνα, και του μικρού βάθους του εδάφους, αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους, απωλειών νερού και πλημμυρών λόγω αυξημένων επιφανειακών απορροών, φαινόμενα που επιδεινώνονται μετά από μια πυρκαγιά (Μπαλούτσος κ.α., 2001). Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται επίσης ο αριθμός των πυρκαγιών στην Ελλάδα για τα έτη 2000–2021, παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός πυρκαγιών καταγράφηκε το 2003 (379), με τα τελευταία χρόνια να έχει μειωθεί σημαντικά.



Εικόνα 2: Αριθμός δασικών πυρκαγιών ανά έτος για την περίοδο 2000-2021 στην Ελλάδα (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος)

Συμπερασματικά, οι μεσογειακές περιοχές έχουν κλίμα και βλάστηση που δημιουργούν τις ιδανικές συνθήκες για την εκδήλωση πυρκαγιών, οι οποίες ανατάσσουν τα μεσογειακά οικοσυστήματα (Βαρσάμη, 2014). Η έκταση που επηρεάζεται από τις φωτιές στις ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου (π.χ., Πορτογαλία, Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία και Ελλάδα), διαφέρει σημαντικά από έτος σε έτος, λόγω των διαφορετικών μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των πυρκαγιών έχει μια αυξητική τάση από το 1990 (WWF, 2012). Παρατηρώντας την Εικόνα 3, φαίνεται μία ανοδική τάση από το 2000 μέχρι το 2005 των πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου και ύστερα παρατηρείται μείωση των πυρκαγιών αλλά ο αριθμός τους εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλός.



Εικόνα 3: Αριθμός Πυρκαγιών στις Ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου από το έτος 1980 έως το 2013 (Πηγή: European Commission JRC, 2014)

### 1.7.3. Επίδραση πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής

Η πυρκαγιά μπορεί να είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την μετέπειτα κατάσταση της λεκάνης απορροής. Σημαντικό ρόλο για την σοβαρότητα των επιπτώσεων έχει η ένταση και η διάρκεια της φωτιάς (Αντωνιάδης, 2016). Η εκδήλωση και εξέλιξη μιας πυρκαγιάς έχει σοβαρότατες και πολύπλευρες επιπτώσεις, για παράδειγμα οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικολογικές και αισθητικές επιπτώσεις στη λεκάνη απορροής και τους κατοίκους της περιοχής (Στεργιάδου και Εσκίογλου, 2010). Οι αλλαγές, λόγω πυρκαγιάς, στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής παρουσιάζονται σε μεγάλο βαθμό βραχυπρόθεσμα και σε μικρότερο μακροπρόθεσμα. Οι κυριότερες μεταβολές και διεργασίες που συμβαίνουν σε μια λεκάνη απορροής μετά από πυρκαγιά και συντελούν στην εκδήλωση πλημμύρας είναι (Μπαλούτσος, 2001):

- Καταστροφή της βλάστησης.
- 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 ύψους βροχής 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 ανθρώπινων παρεμβάσεων.

Έχουν διεξαχθεί έρευνες που υποστηρίζουν ότι τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά (π.χ., σχήμα, μέγεθος κλπ.) της λεκάνης απορροής σπάνια επηρεάζονται από πυρκαγιές με μικρή ή μεσαία ένταση (Hudson et al., 1983). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει η επιφανειακή απορροή στα επίπεδα που είχαν πριν την εμφάνιση της φωτιάς εξαρτάται απόλυτα από το χρόνο ανάκαμψης της φυτικής κάλυψης. Από αυτά προκύπτει ότι η ελεγχόμενη αναδάσωση σε περιοχές που έχει καταστραφεί η βλάστηση είναι αναγκαία προκειμένου να αποφευχθεί 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

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, έγινε η παραγωγή της καμπύλης συχνότητας πλημμύρας χρησιμοποιώντας μια στοχαστική τεχνική Monte Carlo και προσδιορίστηκαν οι αλλαγές 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, που βρίσκεται στη Σικελία της Ιταλίας. Μετά την ανάλυση των γεγονότων πριν και μετά την πυρκαγιά αυξήθηκε η μέση τιμή της CN και μειώθηκε η χρονική υστέρηση 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.

Οι Batelis and Nalbantis (2012) μελέτησαν την επίδραση των δασικών πυρκαγιών στο υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης απορροής του ποταμού Ενιπέα, στη Θεσσαλία. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκε 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 αντιπροσωπεύουν τις πυρκαγιές που συνήθως εκδηλώνονται στην περιοχή της Μεσογείου. 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 των δύο προηγούμενων σεναρίων (1 και 2) μαζί με μια μικρή ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των καμένων περιοχών αυτών των σεναρίων. Όπως προβλεπόταν, το πρώτο σενάριο είχε ως αποτέλεσμα μικρές μεταβολές στην απορροή στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Τα πλημμυρογραφήματα για συνθήκες πριν και μετά την πυρκαγιά έδειξαν μικρές αυξήσεις για μικρής έκτασης καμένη περιοχή και μεγάλες αυξήσεις για μεγάλης έκτασης καμένη περιοχή. Οι αλλαγές αυτές προήλθαν από την αύξηση της άμεσης απορροής και την μείωση της διήθησης. Ωστόσο, δεν επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό η συνολική απορροή της λεκάνης λόγω της περιορισμένης επιφάνειας που κάηκε. Στο Σενάριο 2, παρατηρούνται επίσης μικρές αλλαγές στην απορροή. Πιο συγκεκριμένα, τα πλημμυρογραφήματα για συνθήκες πριν και μετά την πυρκαγιά δείχνουν μικρές αυξήσεις για υψηλές ροές και μειώσεις για χαμηλές ροές, οι οποίες είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές του Σεναρίου 1. Όπως αναμενόταν, στο Σενάριο 3 οι αλλαγές στην απορροή μεταξύ των συνθηκών πριν και μετά την πυρκαγιά είναι μεγαλύτερες από αυτές των προηγούμενων σεναρίων. Συμπεραίνεται 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 να είναι υψηλές, ειδικά κατά τους μήνες με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση. Τέλος, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια συνάρτηση 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 έρευνα τους προτείνεται μια μεθοδολογία για την κατασκευή καμπυλών συχνότητας πλημμύρας πριν και μετά από δασικές πυρκαγιές σε μικρές μη μετρούμενες λεκάνες. Προσεγγίζεται η κατανομή των βροχοπτώσεων χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo και καθορίζεται η αβεβαιότητα σε ορισμένες από τις εμπλεκόμενες μεταβλητές. Η γενικευμένη κατανομή ακραίων τιμών για την ετήσια μέγιστη βροχόπτωση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της περίσσειας βροχόπτωσης και την αναλογική μέθοδο για την εκτίμηση της μέγιστης ροής, σε συνδυασμό με τη μέθοδο SCS-CN. Για συνθήκες πριν από την πυρκαγιά, γίνεται υπόθεση για την αβεβαιότητα στον χωρικό μέσο αριθμό της καμπύλης. Για συνθήκες μετά την πυρκαγιά, χρησιμοποιούνται μετρήσεις της αιχμής της στάθμης του νερού πλημμύρας στην έξοδο της λεκάνης, λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα τόσο σε αυτές τις μετρήσεις όσο και στην

υδραυλική τραχύτητα. Για την αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου χρησιμοποιείται η μέθοδος Sequential Latin Hypercube για συσχετισμένες μεταβλητές. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε μια μικρή λεκάνη στην Αττική, η οποία κάηκε το 2007. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε για την λεκάνη απορροής του χείμαρρου Γιαννούλα, ο οποίος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος χείμαρρος στην πεδιάδα Θριασίου Αττικής, στα δυτικά της Αθήνας. Με βάση τη μεθοδολογία, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για να διερευνηθεί η αβεβαιότητα σχετικά με την επίδραση του μεγέθους δείγματος στο 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. Διενεργήθηκαν εκτενείς δοκιμές σχετικά με την επίδραση κάποιων αλγοριθμικών επιλογών και την ευαισθησία στις παραμέτρους κατανομής των στοχαστικών μεταβλητών. Από τα αποτελέσματα της μελέτης, προκύπτει ότι 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. Επίσης, η προτεινόμενη μεθοδολογία επιλύει τα προβλήματα κατασκευής καμπυλών συχνότητας πλημμύρας για κανονικές υδρολογικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, η μεθοδολογία είναι απλή στη ρύθμιση καθώς 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 στην απλότητα της διαδικασίας.

Στην διπλωματική εργασία της Βαρσάμη (2014) εξετάστηκε το υδρολογικό καθεστώς μιας ορεινής δασικής λεκάνης απορροής και η εκτίμηση της μεταβολής της υδρολογικής απόκρισης μετά από ενδεχόμενη πυρκαγιά χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα HEC-HMS. Η περιοχή που μελετήθηκε βρίσκεται στο ελατοδάσος Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας με έκταση 1.45 km<sup>2</sup>. Η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης έγινε σε επίπεδο επεισοδίου βροχής με σκοπό να εκτιμηθούν οι πλημμυρικές επιπτώσεις. Για την προσομοίωση των υδρολογικών εργασιών επιλέχθηκαν οι κατάλληλοι μέθοδοι από ένα σύνολο δυνατοτήτων που διαθέτει το πρόγραμμα HEC-HMS. Τα αρχικά ελλείμματα εκτιμήθηκαν με την μέθοδο του αριθμού καμπύλης της Soil Conservation Service – SCS, η άμεση απορροή με τη μέθοδο του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος της SCS και η βασική απορροή με το πρότυπο εκθετικής μείωσης. Επιπλέον, λόγω του δασικού χαρακτήρα της λεκάνης συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο και πρότυπο για την εκτίμηση των απωλειών παρεμπόδισης. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για δύο μεμονωμένα γεγονότα βροχής, όπου και υπολογίστηκαν τα υδρογραφήματα εξόδου για κάθε επεισόδιο. Στη συνέχεια έγινε η διαδικασία της βαθμονόμησης, με το δείκτη Nash-Sutcliffe ως μέτρο προσαρμογής, και η επαλήθευση του υδρολογικού μοντέλου με ένα τρίτο επεισόδιο βροχόπτωσης. Στο τελικό στάδιο της εργασίας διερευνήθηκε η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης μελέτης με την κατασκευή ενός σεναρίου πυρκαγιάς, ώστε να ελεγχθεί η μεταβολή της πλημμυρικής απορροής μετά τη φωτιά σε μία δασική έκταση. Για την ανάλυση των επιδράσεων της μελετώμενης πυρκαγιάς επαναπροσδιορίστηκαν οι παράμετροι του μοντέλου (CN, αρχικές απώλειες, χρόνος υστέρησης), με βάση αντίστοιχα αποτελέσματα μελετών της διεθνούς βιβλιογραφίας και λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη

περιοχή. Από τα υδρογραφήματα που παράχθηκαν διαπιστώνεται η οξεία μεταβολή στη συμπεριφορά της λεκάνης μετά την επίδραση της πυρκαγιάς. Το συμπέρασμα είναι πως αυξήθηκαν σημαντικά τα πλημμυρικά μεγέθη, δηλαδή η παροχή αιχμής και ο πλημμυρικός όγκος δεκαπλασιάζονται, ενώ ο χρόνος εμφάνισης της πλημμυρικής αιχμής μειώνεται κατά 45 λεπτά. Τα παραπάνω αποτελέσματα καταδεικνύουν την καθοριστική επίδραση στην υδρολογική συμπεριφορά σε μία δασική έκταση που έχει καεί, αφού δεν υπάρχει φυτοκάλυψη και δημιουργείται αδιαπέρατη επιφάνεια.

Η Μπενέκου (2014) στην διπλωματική της εργασία εφάρμοσε το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS στην ορεινή πειραματική λεκάνη Βαρετάδας στην περιοχή της Αμφιλοχίας, προκειμένου να εκτιμηθεί η υδρολογική απόκριση μια 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 km<sup>2</sup>. Η επιλογή της περιοχής έγινε λόγω του ορεινού της χαρακτήρα και του έντονου ενδιαφέροντος που παρουσιάζει 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 χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στην προσομοίωση και πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου. Στο πρόγραμμα ArcGIS 9.3 έγινε η προεπεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και εξήχθησαν οι γεωμορφολογικές παράμετροι που χρειάζονται για την προσομοίωση. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης για τέσσερα διαφορετικά επεισόδια βροχής, όπου εφαρμόστηκαν οι δύο μέθοδοι υπολογισμού άμεσης απορροής SCS και Snyder, και υπολογίστηκαν τα υδρογραφήματα εξόδου. Έπειτα, ακολούθησε βαθμονόμηση και επαλήθευση του υδρολογικού μοντέλου, σε ένα επεισόδιο βροχής. Τέλος, στο πλαίσιο της εργασίας έγινε επαναπροσδιορισμός των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου, δηλαδή η κατακράτηση από τη φυτοκόμη, ο αριθμός καμπύλης CN και οι αρχικές απώλειες (Ia) μετά την επίδραση μιας πιθανής πυρκαγιάς μέτριας έντασης, χρησιμοποιώντας τιμές από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της μεθόδου SCS δείχνουν ότι τα υδρογραφήματα μετά την πυρκαγιά έχουν πιο απότομη κλίση και είναι πιο αιχμηρά σε σχέση με πριν λόγω της απότομης παροχής αιχμής που προέκυψε. Παρατηρείται ότι σε όλα τα επεισόδια τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο πλημμυρικός όγκος αυξάνονται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Όσον αφορά τον πλημμυρικό όγκο αυξάνεται από 64 % έως 138 %, ενώ η παροχή αιχμής αυξάνεται από 100 % έως 585 %. Με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου Snyder, τα υδρογραφήματα μετά την πυρκαγιά διαφέρουν σημαντικά συγκριτικά με αυτά πριν την πυρκαγιά. Είναι προφανές ότι και σε αυτή τη μέθοδο προσομοίωσης της άμεσης απορροής, οι πλημμυρικές αιχμές είναι πολύ πιο έντονες. Παρατηρείται ότι σε όλα τα επεισόδια τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο πλημμυρικός όγκος αυξάνονται σημαντικά, όπως ακριβώς και με τη μέθοδο SCS. Τα παραπάνω αποτελέσματα φανερώνουν την καθοριστική επίδραση των δασικών πυρκαγιών στη συμπεριφορά των υδατορευμάτων, εξαιτίας της απώλειας μεγάλου μέρους φυτοκάλυψης της λεκάνης απορροής, πράγμα που οδηγεί στην εμφάνιση μεγαλύτερου περισσεύματος βροχής και κατά συνέπεια σε πιο έντονα πλημμυρικά

φαινόμενα. Άρα συμπεραίνεται ότι μια πυρκαγιά καταστρέφει τη φυτοκάλυψη και συμβάλλει στη διάβρωση και τη δημιουργία υδροφοβικού στρώματος με αποτέλεσμα την εμφάνιση πιο έντονων πλημμυρικών φαινομένων. Η απώλεια της βλάστησης οδηγεί στην ταχύτερη και πιο έντονη ροή του νερού προς τα κατάντη.

Η Γιαννιού (2015) στην διπλωματική της εργασία αναλύει την διαδικασία ανάλυσης πλημμύρας μέσω των διαδικασιών της υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης απορροής ποταμού και της μετέπειτα υδραυλικής προσομοίωσης των υδατορευμάτων, με στόχο την εξαγωγή χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης. Για την υλοποίηση των παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HEC-HMS για την υδρολογική προσομοίωση και HEC-RAS για την υδραυλική προσομοίωση. Η προεπεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS, χρησιμοποιώντας τις εργαλειοθήκες HEC-GeoHMS και HEC-GeoRAS. Επιπλέον, μέσω της εργαλειοθήκης Waves (επέκταση του ArcGIS), αξιοποιήθηκαν δεδομένα μετρήσεων ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου για την εξαγωγή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος στις εκβολές των υδατορευμάτων, ώστε αυτό στη συνέχεια να αποτελέσει δεδομένο εισόδου για περαιτέρω υδραυλική ανάλυση των υδατορευμάτων. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Νομού Ρεθύμνου, χαρακτηρίζεται ως αρκετά ορεινή με τα πεδινά να περιορίζονται κυρίως στα βόρεια παράλια. Στην περιοχή υπάρχουν πολυάριθμοι μεγάλοι χείμαρροι και αρκετοί μικρότεροι, οι οποίοι διασχίζουν την πόλη του Ρεθύμνου, εκβάλλοντας στη θάλασσα. Σημαντικό χαρακτηριστικό της περιοχής είναι το φράγμα Ποταμών Αμαρίου, το οποίο βρίσκεται περίπου εικοσιπέντε χιλιόμετρα από το Ρέθυμνο και παρουσιάζει μεγάλο υδρολογικό ενδιαφέρον. Αφού έγινε η προεπεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, ακολούθησε η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης μελέτης για τέσσερις περιόδους επαναφοράς  $T=20, 50, 100, 1000$  έτη, και ενός παρατηρημένου επεισοδίου βροχής. Από την υδρολογική προσομοίωση παράχθηκαν τα πλημμυρογράφηματα για κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης και για κάθε υδρολογικό σενάριο, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην υδραυλική προσομοίωση των ποταμών. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε υδραυλική προσομοίωση για το συνδυασμό του πραγματικού επεισοδίου βροχόπτωσης και του ύψους κύματος, όπως αυτό υπολογίστηκε ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων ανέμου που επικρατούσαν την συγκεκριμένη ημέρα. Για την υδρολογική προσομοίωση επιλέχθηκε η μέθοδος SCS ως πρότυπο υπολογισμού των απωλειών βροχής. Τα τελικά αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης εξήγαγαν τις πιεζομετρικές επιφάνειες, οι οποίες σε σύγκριση με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους υπολογίζουν τα βάθη του νερού. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίστηκαν με ακρίβεια τα όρια της κατάκλυσης της πλημμύρας και συγκρίθηκε η διακύμανση των πλημμυρισμένων εκτάσεων σε σχέση με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής αιχμής. Η διαδικασία της χαρτογράφησης της πλημμύρας πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό HEC-RAS και επαναλήφθηκε για κάθε σενάριο. Από τα αποτελέσματα προέκυψε σχετικά μικρό πεδίο πλημμυρικών κατακλύσεων με μικρή αύξηση του εμβαδού των κατακλυζόμενων εκτάσεων με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται λόγω των σημαντικών υψομετρικών διαφορών ανάντη και κατάντη των ποταμών.

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 επίσης εξετάζει το μέγεθος των αναμενόμενων αλλαγών (απορροή, αύξηση ιζήματος) που συμβαίνουν σε επίπεδο υπολεκάνης, για την καλύτερη κατανόηση των δύο διαδικασιών, δηλαδή πώς η εκδήλωση πυρκαγιάς μπορεί να αλλάξει την ισορροπία νερού και θρεπτικών συστατικών και πώς η εξαφάνιση της βλάστησης μπορεί να επηρεάσει τη διάβρωση του εδάφους. Ο βασικός στόχος της έρευνας ήταν να αξιολογήσει την καταλληλότητα του εργαλείου μοντελοποίησης λεκάνης απορροής (SWAT) για προσομοίωση των συνθηκών και των επιπτώσεων μετά την πυρκαγιά σε επίπεδο λεκάνης απορροής, αξιολογώντας το εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο διαχείρισης μετά την πυρκαγιά, εξετάζοντας μέτρα έκτακτης ανάγκης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν επιβεβαιώνουν 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 της καμένης περιοχής που μελετήθηκε. Συμπεραίνεται ότι σε επίπεδο υπο-λεκάνης, οι πυρκαγιές ενισχύουν την υδρολογική συμπεριφορά, τις απώλειες ιζημάτων και τις συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών στη ροή του ρέματος, ενώ σε επίπεδο της λεκάνης απορροής, οι πυρκαγιές φαίνεται να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την παροχή αιχμής και στη βασική ροή, αλλά έχουν περιορισμένη επίδραση στη συνολική ετήσια ροή, η οποία είναι ελαφρώς αυξημένη σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς πυρκαγιά. Επιπρόσθετα, η πρόβλεψη υψηλών συγκεντρώσεων θρεπτικών ουσιών που φτάνουν στη λεκάνη απορροής μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του νερού. Με την αυξανόμενη απειλή 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 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 αυτήν την ανάλυση, χρησιμοποιήθηκε το υδρολογικό μοντέλο Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Είναι ένα μοντέλο που 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). 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  $\gamma$  και ο συντελεστής συσχέτισης και το ποσοστό BIAS (PBIAS). Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SWAT για να εξεταστούν διάφορα σενάρια αλλαγής χρήσης γης που θα ήταν πιθανό να παρατηρηθούν σε μία δασική λεκάνη. Τα ενδεχόμενα σενάρια αφορούσαν πυρκαγιές (4 σενάρια, με το τέταρτο να αφορά εκτεταμένη περιοχή), υλοτομία (2 σενάρια) και αναδάσωση (2 σενάρια) σε τμήματα της λεκάνης της περιοχής μελέτης και τα οποία εφαρμόστηκαν με αλλαγή του αριθμού καμπύλης (Curve Number-CN). Τέλος, εξετάστηκαν η στατιστική σημαντικότητα των αλλαγών που επήλθαν στις απορροές του ποταμού λόγω των σεναρίων αυτών με χρήση του στατιστικού ελέγχου Student t-test. Στο πρώτο σενάριο πυρκαγιάς (17.2 % της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης) παρατηρήθηκε ότι δεν είχε σημαντική επίδραση στις απορροές, οι οποίες ήταν ελαφρώς αυξημένες από τις τιμές της παρούσας κατάστασης. Στο δεύτερο (9.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) και στο τρίτο σενάριο πυρκαγιάς (6.6 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) επίσης δεν επηρεάστηκαν σημαντικά οι απορροές του ποταμού σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Στο τέταρτο σενάριο πυρκαγιάς (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης), οι αλλαγές στις απορροές είναι μεγάλες, αλλά 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 και δεν είχε σημαντική επίδραση στη επιφανειακή απορροή. Κατά το δεύτερο σενάριο υλοτομίας (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης), έγινε αλλαγή χρήσης γης σε μεγαλύτερη έκταση της λεκάνης απορροής και σε αυτή την περίπτωση, οι διαφορές στις αιχμές των υδρογραφημάτων δεν είχαν ιδιαίτερες διαφορές σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Κατά το πρώτο σενάριο αναδάσωσης επιλέχθηκε η ανάπλαση κωνοφόρου δάσους, αλλά οι αλλαγές που σημειώνονται στις παροχές δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές. Στο τελευταίο σενάριο (79.2 % της έκτασης της συνολικής περιοχής μελέτης) που εξετάστηκε αφορούσε την δενδροφύτευση μεγαλύτερης έκτασης και λόγω των μικρών διαφορών στους αριθμούς CN, δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες αλλαγές 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.

## 1.9. Διάρθρωση της εργασίας

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

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός της εργασίας, η περιγραφή του υδρολογικού ισοζυγίου σε επίπεδο λεκάνης απορροής και η επεξήγηση των υδρολογικών μοντέλων. Στη

συνέχεια αναλύεται το ζήτημα 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 της παρούσας διπλωματικής. Επιπροσθέτως, αναλύεται η υδρολογική συμπεριφορά των δασωμένων λεκανών απορροής. Τέλος, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των δασικών πυρκαγιών, οι πυρκαγιές σε Ευρώπη και Ελλάδα και η επίδραση τους στο υδρολογικό καθεστώς των λεκανών απορροής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας, η περιοχή μελέτης και τα στάδια της υδρολογικής ανάλυσης. Αρχικά περιγράφεται η περιοχή μελέτης, δηλαδή η λεκάνη απορροής του ποταμού Τσικνιά. Έπειτα παρουσιάζονται τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και η δασική βλάστηση που διακρίνεται στην περιοχή. Στη συνέχεια, 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. Έπειτα αναλύονται τα σενάρια αλλαγής χρήσεων γης που εφαρμόστηκαν και στο τέλος περιγράφεται το λογισμικό υδρολογική προσομοίωσης HEC-HMS. Το κεφάλαιο κλείνει με με σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, δηλαδή περιλαμβάνονται τα υδρογραφήματα για την αρχική κατάσταση και για τα σενάρια που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο για περιόδους επαναφοράς  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για διάρκεια βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες. Επίσης παρατίθενται στο Παράρτημα πλημμυρογραφήματα για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς και για διάρκειες βροχόπτωσης  $t=6, 12, 24$  ώρες παρατίθενται στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στο παράρτημα περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα που δεν παρουσιάστηκαν λεπτομερώς στο κύριο μέρος της διπλωματικής εργασίας. Όπως, ήδη έχει αναφερθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t=6, 12, 24$  ώρες και για περιόδους επαναφοράς  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη.



## 2. Θεωρητικό υπόβαθρο

### 2.1. Περιοχή μελέτης

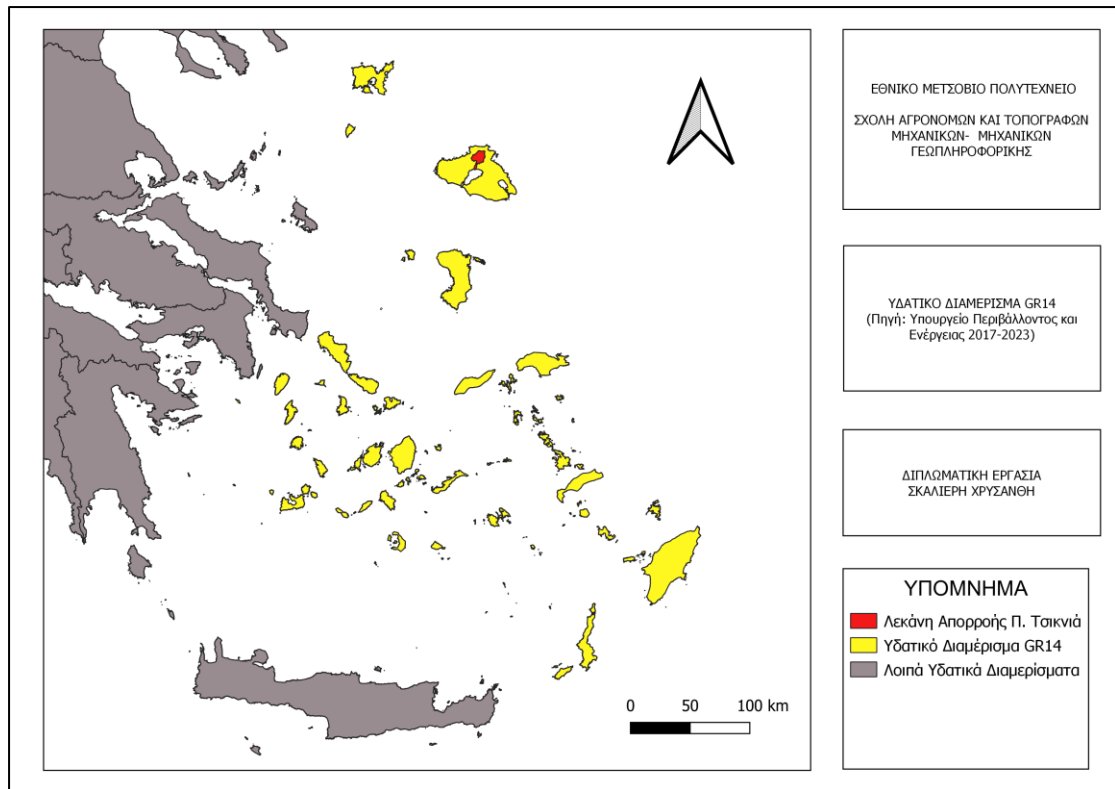
#### 2.1.1. Λεκάνη Απορροής Τσικνιά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού βρίσκεται στον κόλπο Καλλονής, ο οποίος είναι ο μεγαλύτερος κόλπος της Λέσβου και εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της. Συνδέεται με τα νερά του Αιγαίου με ένα στενό δίαυλο μήκους 4 km και το μέγιστο μήκος του κόλπου είναι περίπου 22 km με μέγιστο πλάτος 10 km (Βεζυράκης, 2017).

Ο Τσικνιάς είναι ο ποταμός με τη μεγαλύτερη λεκάνη απορροής του νησιού και ανήκει στους σημαντικότερους χειμαρρους της Λέσβου (Βεζυράκης, 2017). Ο ποταμός Τσικνιάς διαθέτει μια συνολική έκταση λεκάνης απορροής 87,59 km<sup>2</sup> που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του βόρειου και κεντρικού τμήματος της (Βεζυράκης, 2017). Οριοθετείται στα βόρεια από το όρος Λεπέτυμνος με υψόμετρο 968 m, που είναι και το υψηλότερο όρος του νησιού, δυτικά από τα όρη Φουρτούνα και Πετσοφά και ανατολικά από τη Μαυριά και τις Τρουλιές (Βεζυράκης, 2017). Η κεντρική κοίτη του ποταμού έχει γενική διεύθυνση ροής από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά ενώ περίπου 3 km πριν τις εκβολές του στον κόλπο της Καλλονής αλλάζει πορεία και κατευθύνεται από τον βορρά προς τον νότο.

Η λεκάνη απορροής του Τσικνιά αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα του όρους Λεπέτυμνος, το οποίο αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα ηφαιστειακά κέντρα της Λέσβου, αλλά και ολόκληρου του Αιγαίου (Βεζυράκης, 2017). Στο σύνολό της η λεκάνη δομείται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα και μόνο σε μικρά τμήματά της και κυρίως προς την εκβολή του χειμάρρου, παρατηρούνται συγκεντρώσεις χειμαρρωδών αποθέσεων (άργιλοι, άμμοι, ποτάμιες αποθέσεις), μικρού όμως πάχους (Βεζυράκης, 2017). Μέσα στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά αναπτύσσεται μια μεγάλη ποικιλία ηφαιστειακών σχηματισμών. Η περιορισμένη φυτοκάλυψη της λεκάνης και η παρουσία εν μέρει ευδιάβρωτων σχηματισμών όπως τόφφοι και πυροκλαστικά λατυποπαγή, σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν στον κόλπο της Καλλονής (μικρά βάθη, περιορισμένη δράση κυματισμού, παράκτιων ρευμάτων και παλιρροιών) οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός δελταϊκού ριπιδίου μικρής έκτασης στις εκβολές του χειμάρρου (Βεζυράκης, 2017).

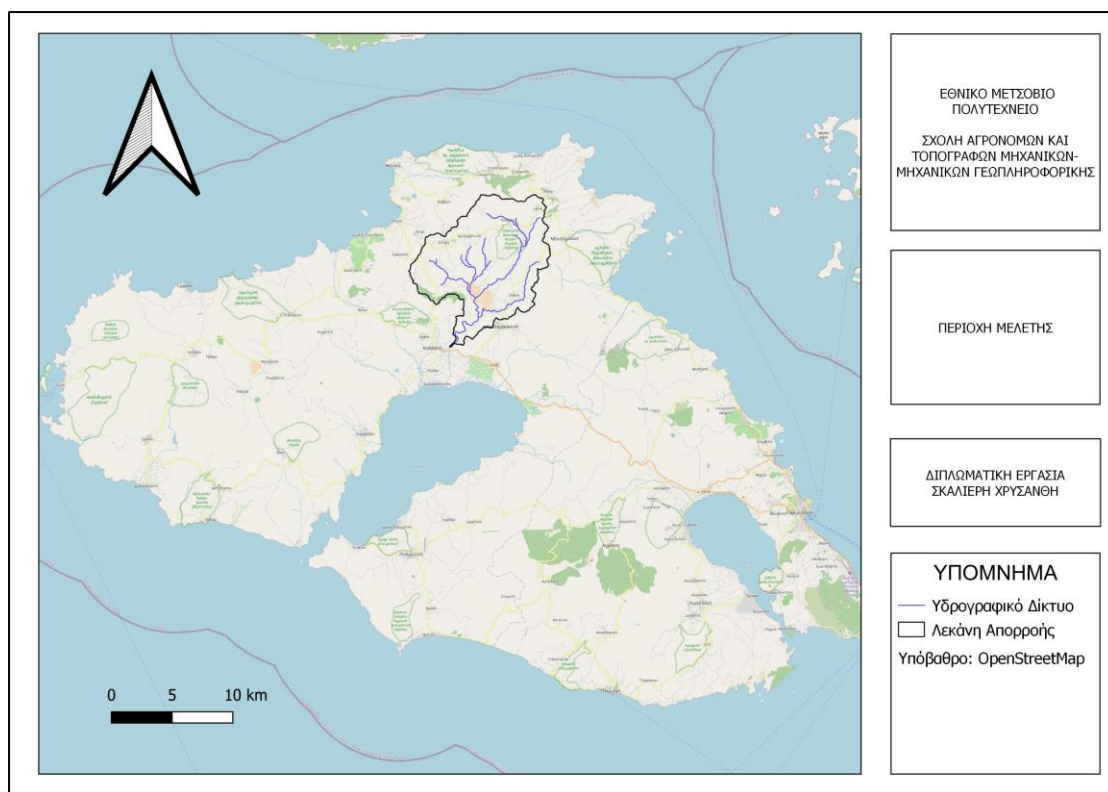
Η λεκάνη απορροής του ποταμού Τσικνιά ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της ευρύτερης περιοχής των νήσων Αιγαίου έτσι όπως ορίζεται από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων με κωδικό GR14, όπως παρουσιάζεται παρακάτω στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Υδατικό Διαμέρισμα GR14 (Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2017-2023)

### 2.1.2. Περιγραφή λεκάνης μελέτης

Η λεκάνη απορροής του ρέματος Τσικνιά είναι η μεγαλύτερη υδρολογική λεκάνη στον κόλπο Καλλονής και ευρίσκεται στο βόρειο τμήμα του. Η λεκάνη μελέτης έχει συνολική έκταση 86.80 km<sup>2</sup> και περίμετρο ίση με 66.28 km. Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης.



Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης

Η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται ως Β΄ τάξης με έντονες κλίσεις, καθώς η μέγιστη κλίση που εμφανίζει είναι ίση με 85,72%, ενώ η μέση 17.04% το οποίο υποδεικνύει ότι υπάρχουν τμήματα με πολύ απότομες ανηφορίες και κατηφορίες, ενώ υπάρχουν και τμήματα με πιο απαλές κλίσεις. Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι ίσο με 969.28 m, το ελάχιστο 9.22 m, ενώ το μέσο είναι 285.64 m. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης μελέτης που αναλύθηκαν παραπάνω.

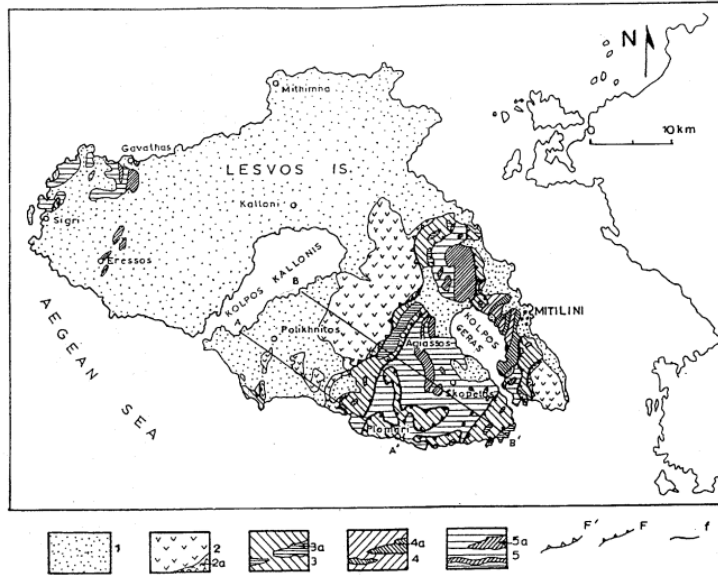
Πίνακας 1: Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης μελέτης

<b>Εμβαδόν (km<sup>2</sup>)</b>	86.80
<b>Περίμετρος (km)</b>	66.28
<b>Μέσο υψόμετρο (m)</b>	285.64
<b>Υψόμετρο εξόδου (m)</b>	9.22
<b>Μήκος κύριας μισγάγγειας (km)</b>	22.592
<b>Συνολικό μήκος κλάδων υδρογραφικού δικτύου (km)</b>	59.748

### 2.1.3. Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Η Λέσβος παρουσιάζει έντονη νεοτεκτονική δράση διότι βρίσκεται από γεωτεκτονική άποψη σε μια θέση με έντονη σύγχρονη κινητικότητα (Mercier et al., 1989, Παπαζάχος, 2001), καθώς η μικροπλάκα της Τουρκίας κινείται προς τα νοτιοδυτικά και ωθεί το χώρο του Αιγαίου προς την ίδια κατεύθυνση. Το ευρύτερο τεκτονικό πεδίο στην περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου επηρεάζεται κυρίως από μεγάλα δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, πάνω στα οποία γίνεται κυρίως η κίνηση της περιοχής και τα οποία διαμορφώνουν, μαζί με κανονικής κίνησης ρηξιγενείς επιφάνειες, τη δαντελωτή εμφάνιση της Μικρασιατικής ακτογραμμής (Mercier et al., 1989, Pavlides et al., 1990, Παπαζάχος, 2001, Τρανός, 2009 κ.ά.).

Η γεωλογική δομή της Λέσβου αποτελείται από μία ενότητα προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων, η οποία καλύπτει το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6, δηλαδή την περιοχή της Μυτιλήνης και της χερσονήσου της Αμαλής, την περιοχή γύρω από τον κόλπο της Γέρας, το συνολικό ορεινό όγκο του Ολύμπου και των γύρω υψωμάτων έως το Πλωμάρι και όλη τη νότια ακτή της Λέσβου. Στα υπόλοιπα μέρη της Λέσβου βρίσκονται μικρές μόνο εμφανίσεις των προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων στο βορειοδυτικό άκρο του νησιού και οι οποίες στο μεγαλύτερο τμήμα τους καλύπτονται από μετααλπικούς σχηματισμούς με κυριότερους τα ηφαιστειακά πετρώματα νεογενούς ηλικίας (Θωμαΐδου, 2009).



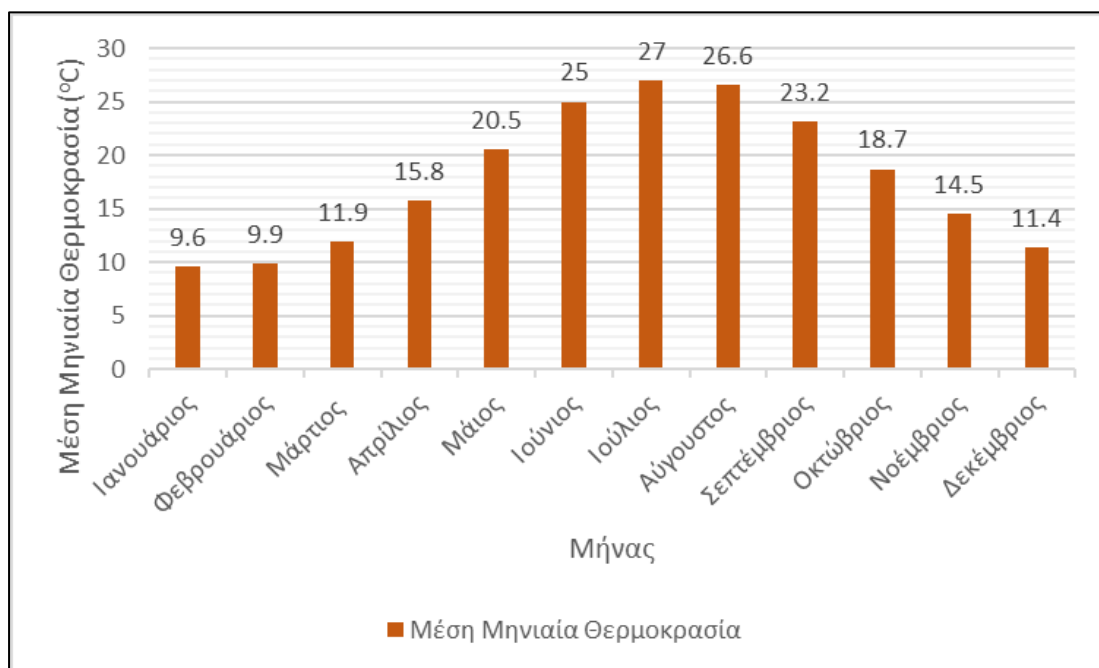
ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
-1	Τεταρτογενείς και νεογενείς σχηματισμοί
-2	Περιδοτίτες και σερπεντινίτες
-3	Τριαδικοί μεταβασίτες και μετακλαστικοί σχηματισμοί
(3a)	Ένθετα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα
-4	Τριαδικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες
(4a)	Ένθετα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα
-5	Νεοπαλαιοζωικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες
(5a)	Ένθετα κρυσταλλικά ανθρακικά πετρώματα
(F,F')	Επώθηση
(f)	Τεκτονικό ανάγλυφο

Εικόνα 6: Γεωλογικός χάρτης της Λέσβου που δείχνει τις γεωλογικές τομές του νησιού (Πηγή: Katsikatsos et al., 1986).

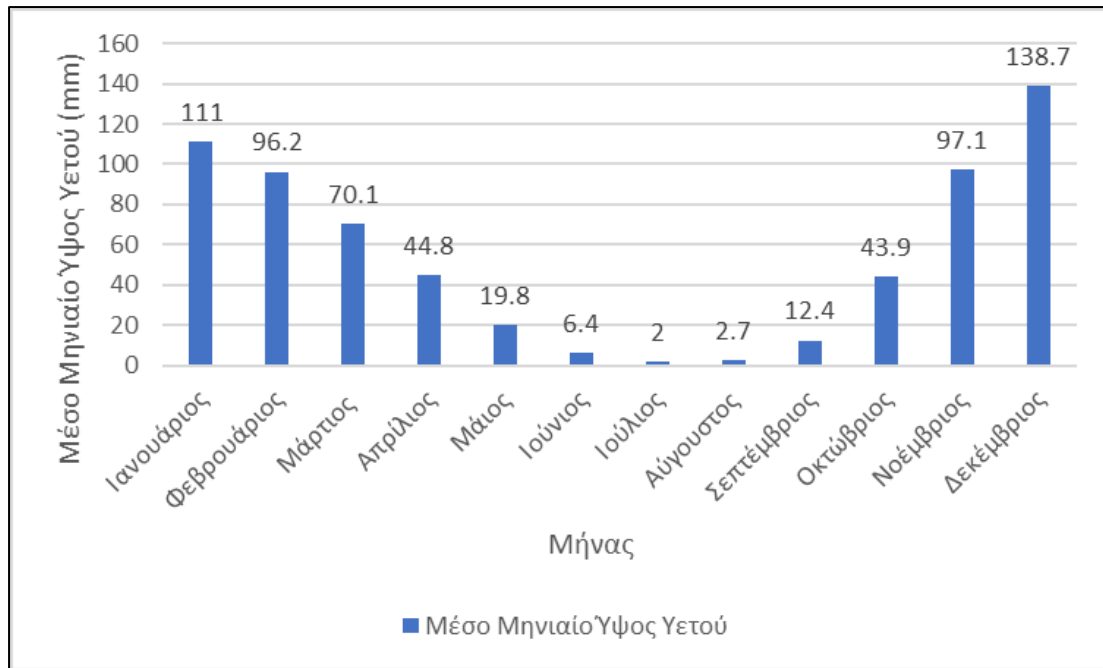
Στο σύνολό της η λεκάνη απορροής του ποταμού Τσικινιά δομείται κυρίως από ηφαιστειακά πετρώματα και μόνο σε μικρά τμήματά της και κυρίως προς την εκβολή του χειμάρρου, παρατηρούνται συγκεντρώσεις χειμαρρωδών αποθέσεων (άργιοι, άμμοι, ποτάμιες αποθέσεις), μικρού όμως πάχους. Μέσα στη λεκάνη αναπτύσσεται μια μεγάλη ποικιλία ηφαιστειακών σχηματισμών. Η περιορισμένη φυτοκάλυψη της λεκάνης και η παρουσία εν μέρει ευδιάβρωτων σχηματισμών όπως τόφφοι και πυροκλαστικά λατυποπαγή, σε συνδυασμό με τις ευνοϊκές συνθήκες που επικρατούν στον κόλπο της Καλλονής (μικρά βάθη, περιορισμένη δράση κυματισμού, παράκτιων ρευμάτων και παλιρροιών) οδήγησαν στη διαμόρφωση ενός δελταϊκού ριτιδίου μικρής έκτασης στις εκβολές του χειμάρρου (Βεζυράκης, 2017).

#### 2.1.4. Κλιματικές Συνθήκες

Το κλίμα της Λέσβου μπορεί να θεωρηθεί τυπικό Μεσογειακό κατά το οποίο σπανίζουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καταιγίδες, χιονοπτώσεις ή ακραίες θερμοκρασίες (Σιάργκα, 2005). Ο χειμώνας στην περιοχή χαρακτηρίζεται ήπιος και ύφυγρος και τα καλοκαίρια σχετικά δροσερά γεγονός που οφείλεται στους βορειοανατολικούς ανέμους που επικρατούν κατά τη θερινή περίοδο (Σιάργκα, 2005). Με βάση τα δεδομένα που προέρχονται από την ΕΜΥ, τα οποία αναφέρονται στα έτη 1955-2010 και παρουσιάζονται στην Εικόνα 7 η μέση μηνιαία θερμοκρασία και στην Εικόνα 8 το μέσο μηνιαίο ύψος υετού, προκύπτει το συμπέρασμα πως υπάρχει μια ξηρή θερινή περίοδος που ξεκινάει από τον Απρίλιο και φτάνει μέχρι τον Οκτώβριο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η μέση μηνιαία θερμοκρασία εμφανίζει μία μέγιστη τιμή 26.6 °C ενώ οι βροχοπτώσεις στην περίοδο αυτή σπανίζουν. Επίσης, εμφανίζεται μία ψυχρή και υγρή χειμερινή περίοδος που ξεκινά τον Νοέμβριο και φτάνει μέχρι τον Μάρτιο όπου η ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία φτάνει στους 9.6 °C τον μήνα Ιανουάριο και το μέγιστο μέσο μηνιαίο ύψος βροχής τα 138.7 mm τον μήνα Δεκέμβριο.



Εικόνα 7: Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία



Εικόνα 8: Μέσο Μηνιαίο Ύψος Υετού

### 2.1.5. Δασική Βλάστηση

Η δασική βλάστηση της Λέσβου χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη ποικιλία σε είδη και μορφές. Η εξέλιξη αυτής είναι συνδεδεμένη με την γεωλογική ιστορία του νησιού. Έτσι κύριο χαρακτηριστικό της δασικής χλωρίδας της είναι η στενή συσχέτιση των διαφόρων τύπων βλάστησης με τη γεωλογική δομή του νησιού (Κραλής, 2006).

Στην Λέσβο επικρατεί η οικολογική περιοχή των αείφυλλων πλατύφυλλων και σε πολύ περιορισμένη έκταση εμφανίζονται οι οικολογικές περιοχές των φυλλοβόλων δρυών και της ελάτης, με μοναδικό είδος της τελευταίας περιοχής τη μαύρη πεύκη (Κραλής, 2006).

Στην περιοχή όπου κυριαρχούν τα αείφυλλα πλατύφυλλα περιλαμβάνονται γεωργικές καλλιέργειες, φρυγανότοπους, χορτολιβαδικές εκτάσεις, κλειστούς θαμνότοπους, δάση τραχείας πεύκης, διάσπαρτους θαμνότοπους και αραιά δάση τραχείας πεύκης. Εμφανίζεται κυρίως σε υψόμετρο μεταξύ 0-700 m από την επιφάνεια της θάλασσας (Κραλής, 2006).

Η περιοχή των φυλλοβόλων δρυών περιλαμβάνει υποβαθμισμένα δρυοδάση και καστανεώνες. Η περιοχή αυτή απαντάται μεταξύ υψομέτρων 400 και 500–800 m από την επιφάνεια της θάλασσας και καταλαμβάνει πολύ μικρό ποσοστό έκτασης (Κραλής, 2006). Η περιοχή εμφάνισης της ελάτης αντιπροσωπεύεται από συστάδες μαύρης πεύκης με σημαντικότερο πληθυσμό αυτόν στην κορυφή Προφήτης Ηλίας στη Δυτική Λέσβο, στην οροσειρά του Ορδύμνου, μεταξύ των οικισμών Παράκοιλα – Ανεμώτια – Πτερούντα (Κραλής, 2006). Το κύριο είδος δάσους της Λέσβου είναι η τραχεία πεύκη, η οποία παρουσιάζει ποικιλία σε μορφές κόμης, χαρακτήρες κώνων και βελονών. Καταλαμβάνει έκταση 23.500 στρέμματα, ή 14,1% της συνολικής έκτασης του νησιού (Κραλής, 2006).

Πολλοί παράγοντες όπως η γεωγραφική απομόνωση, η μακροχρόνια αρνητική επιλογή για την κάλυψη των αναγκών σε ξύλο αλλά και ρητίνη, το εδαφολογικό μωσαϊκό, οι κλιματικές μεταβολές λόγω υψομέτρου και έκθεσης και οι πυρκαγιές αποτέλεσαν συντελεστή για την εξέλιξη της βλάστησης. Δοκιμές διαφορετικών προελεύσεων τραχείας πεύκης έδειξαν ότι η τραχεία πεύκη της Λέσβου είναι μια από τις καλύτερες Ελληνικές προελεύσεις σε αυξητικά χαρακτηριστικά (Πανέτσος, 1988, Aravanopoulos and Panetsos, 1998).

Εκτός από την τραχεία πεύκη, η μαύρη πεύκη αποτελεί ένα άλλο αυτοφυές κωνοφόρο και εμφανίζεται σε δύο απομονωμένες περιοχές, η μία στο ανατολικό τμήμα του νησιού μεταξύ των κόλπων Γέρας και Καλλονής, στην κορυφογραμμή Ψηλοκούδουνο, σε υψόμετρο 800 μέτρων και η άλλη δυτικά της Καλλονής στο όρος Προφήτης Ηλίας. Ο δεύτερος πληθυσμός είναι ο μεγαλύτερος, η έκταση του ανέρχεται στα 2.000 στρέμματα και από υψόμετρο 390 μέτρα και άνω αναμειγνύεται με την τραχεία πεύκη, ενώ στο ανώτερο τμήμα της φυσικής του εξάπλωσης είναι αμιγής (Κραλής, 2006).

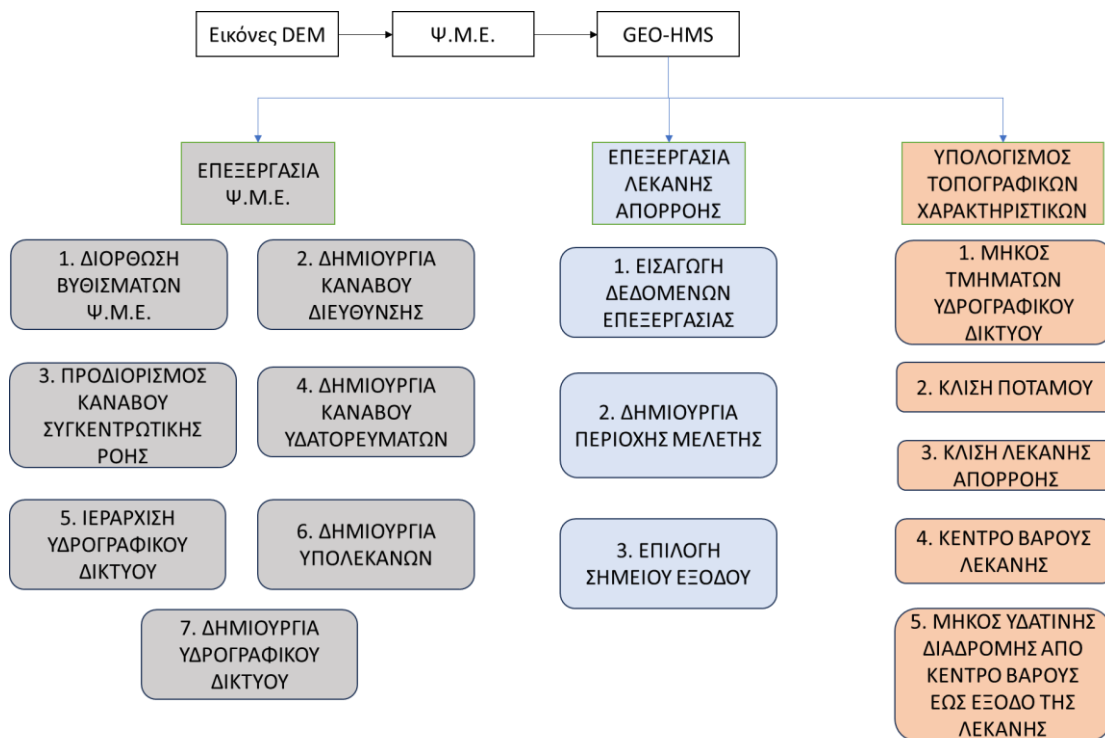
Μερικά άλλα αυτοφυή δασικά είδη είναι: η βαλανιδιά (*Quercus macrolepis* ή *aegilops*), το πουρνάρι (*Q. coccifera*), η ευθύφλοια δρυς (*Q. cerris*), η χνοώδης δρυς (*Q. pubescens*), η βαφική δρυς (*Q. infectoria*), ο πλάτανος ο ανατολικός (*Platanus orientalis*), με σημαντικότερο όσον αφορά στην εξάπλωση το πρώτο (Κραλής, 2006).

## 2.2. Υδρολογική προσομοίωση λεκάνης απορροής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την υδρολογική προσομοίωση του τμήματος της λεκάνης απορροής του Τσικνιά. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον έχει ολοκληρωθεί η γεωμορφολογική μελέτη της λεκάνης απορροής, στη συνέχεια γίνεται η υδρολογική ανάλυση 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 Τσικνιά παρουσιάζεται σε διάγραμμα ροής στην Εικόνα 9. Αρχικά, εισήχθησαν ψηφιακά αρχεία με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος στο πρόγραμμα ArcGIS, τα οποία συνενώθηκαν με την εντολή “*mosaic to new raster*” και δημιουργήθηκε το ενιαίο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ). Έπειτα, 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, έγινε επεξεργασία της λεκάνης απορροής, δημιουργήθηκε η περιοχή μελέτης και επιλέχθηκε το σημείο εξόδου της λεκάνης. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός διάφορων τοπογραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, όπως 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.



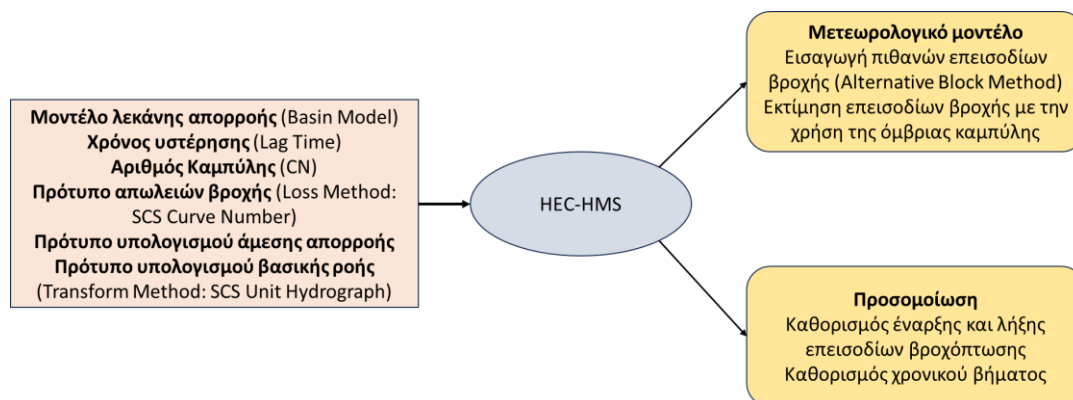


Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής διαδικασιών επεξεργασίας στο HEC-geoHMS

Το HEC-HMS αποτελεί λογισμικό υδρολογικής προσομοίωσης, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να προσομοιώνει τις πλήρεις υδρολογικές διεργασίες των δενδριτικών συστημάτων λεκάνης απορροής (Κουρουπάκη, 2021). Στο λογισμικό αυτό περιλαμβάνονται επίσης διαδικασίες που καθιστούν δυνατή την προσομοίωση, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής και της τήξης του χιονιού. Επιπλέον περιλαμβάνονται συμπληρωματικά εργαλεία ανάλυσης για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου, την πρόβλεψη ροής, την αξιολόγηση της αβεβαιότητας του μοντέλου, τη μεταφορά φερτών και την ποιότητα του νερού. Το μοντέλο προσομοίωσης κατασκευάζεται απομονώνοντας τον υδρολογικό κύκλο σε μικρά και εύκολα διαχειρίσιμα τμήματα, ώστε ο μελετητής να μπορεί να επιλέξει ποια διαδικασία προσομοίωσης ταιριάζει καλύτερα στις απαιτήσεις και στόχους της μελέτης του.

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των διαδικασιών που ακολουθήθηκαν για την κατάρτιση του εννοιολογικού μοντέλου της περιοχής μελέτης στο λογισμικό HEC-HMS. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν ως αρχεία εισόδου 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). Έπειτα, δημιουργήθηκαν τα μετεωρολογικά μοντέλα και εισήχθησαν τα μεμονωμένα επεισόδια βροχής που παράχθηκαν με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method, Chow 1988). Τα μεμονωμένα επεισόδια βροχόπτωσης δημιουργήθηκαν κάνοντας χρήση των όμβριων καμπυλών για την νήσο Λέσβο. Οι όμβριες καμπύλες έχουν καταρτιστεί στα

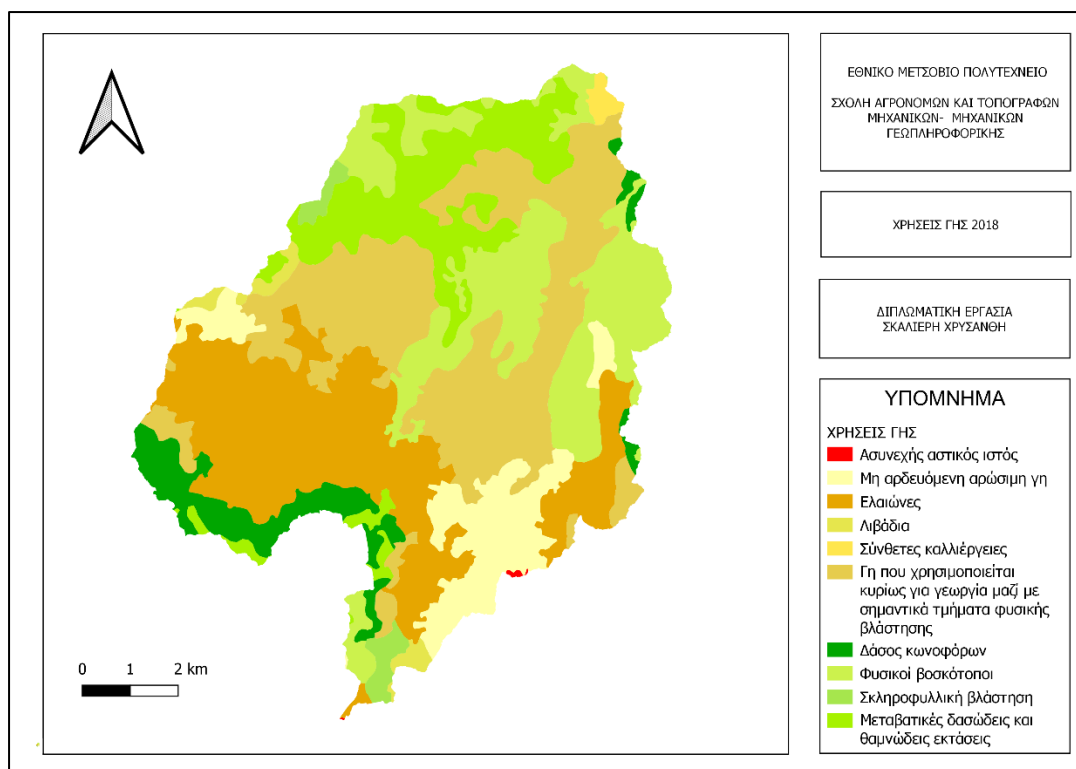
πλαίσια του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων πλημμύρας λεκανών απορροής στο υδατικό διαμέρισμα του Βόρειου Αιγαίου. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις αφού καθορίστηκε η χρονική διάρκεια του κάθε επεισοδίου βροχόπτωσης καθώς και το χρονικό βήμα αυτού.



Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής επεξεργασίας στο HEC-HMS

### 2.2.1. Γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής

Για την γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 10.5.1 (ArcGIS- ESRI) και η εργαλειοθήκη γεωχωρικής υδρολογικής προσομοίωσης HEC – GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension). Πρόκειται για ένα εργαλείο υδρολογίας 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 για να δημιουργηθούν αρχεία εισόδου για την υδρολογική προσομοίωση στο πρόγραμμα HEC-HMS. Με τη χρήση των παραπάνω προετοιμάστηκαν τα απαραίτητα δεδομένα που είναι χρήσιμα για τη διαδικασία της υδρολογικής προσομοίωσης της βροχής σε απορροή της λεκάνης και στη συνέχεια εισήχθησαν στο μοντέλο HEC-HMS. Πιο συγκεκριμένα, εξάγονται δύο αρχεία εισόδου για το HEC-HMS, το μοντέλο της λεκάνης (basin model), όπου φαίνονται τα γεωμορφολογικά και υδρολογικά στοιχεία της λεκάνης και το αρχείο χάρτη (background map) στο οποίο οπτικοποιείται οι λεκάνη απορροής και τα υδατορέματα της. Ως αρχεία εισόδου για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής σε μορφή raster και οι χρήσεις γης με βάση το Corine Land Cover (2018) του Copernicus. Οι χρήσεις γης παρουσιάζονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Χρήσεις Γης στην περιοχή μελέτης του έτους 2018

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το Corine 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 η περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης με ποσοστό 27.17%, ενώ τη μικρότερη καταλαμβάνει ο ασυνεχής αστικός ιστός με ποσοστό 0.05 %.

Πίνακας 2: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2018

Κωδικός corine	Περιγραφή	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0.04	0.05
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	7.46	8.59
223	Ελαιώνες	20.50	23.62
231	Λιβάδια	1.02	1.17
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.46	0.53
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	23.62	27.19
312	Δάσος κωνοφόρων	5.10	5.87
321	Φυσικοί βοσκότοποι	16.17	18.63
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	1.26	1.45
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	11.17	12.87

Τα αρχεία εξόδου του Hec-geoHMS και παράλληλα και αρχεία εισόδου για το λογισμικό HEC-HMS είναι τα ακόλουθα:

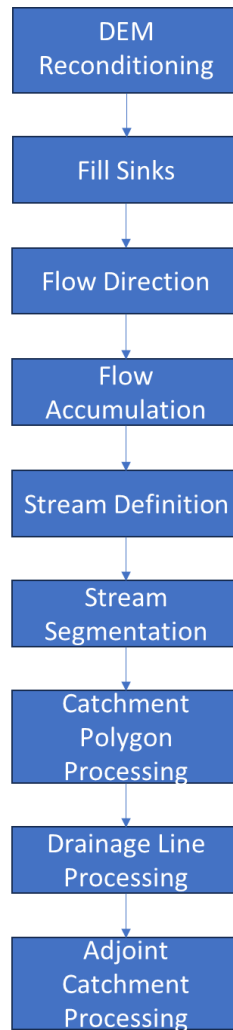
1. Το αρχείο χάρτη (background map file), στο οποίο οπτικοποιούνται η λεκάνη απορροής και τα υδατορέματα στην περιοχή μελέτης, και
2. Το αρχείο μοντέλου λεκάνης απορροής (basin model file) που περιέχει τα υδρολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης.

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 ενδιαφέροντος,
- Εξαγωγή υδρολογικών και γεωμορφολογικών δεδομένων ,
- Προσδιορισμός των προτύπων υπολογισμού υδρολογικών παραμέτρων, και δημιουργία αρχείων εισόδου HEC-HMS.

### 2.2.2. Προεπεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται πως έγινε η επεξεργασία των υδρολογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη HEC- GeoHMS και τις εντολές του μενού Preprocessing, με τη σειρά που παρουσιάζονται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Διάγραμμα ροής προεπεξεργασίας ΨΜΕ μέσω του μενού *Preprocessing*

Παρακάτω αναλύονται οι εντολές που εκτελέστηκαν από την εργαλειοθήκη HEC – GeoHMS:

- *DEM Reconditioning*: Γίνεται ανακατανομή των κελιών του κανάβου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, κατά μήκος των ρεμάτων, ώστε να γίνει διόρθωση ελλειπών ή λανθασμένων υψομέτρων που προέκυψαν κατά την υψομετρική αποτύπωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ακριβέστερη αποτύπωση της κοίτης του ποταμού.
- *Fill sinks*: Κατά τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους προκύπτουν ψευδή βυθίσματα στο ανάγλυφο. Τα βυθίσματα είναι τα φατνία που έχουν χαμηλότερο υψόμετρο από εκείνο που ορίζει ο χρήστης. Σκοπός της εντολής αυτής είναι η διόρθωση αυτών των βυθισμάτων έτσι ώστε να μην απομονωθούν τμήματα της λεκάνης και να φτάσουν όλα στο ίδιο επίπεδο (Εικόνα 13).

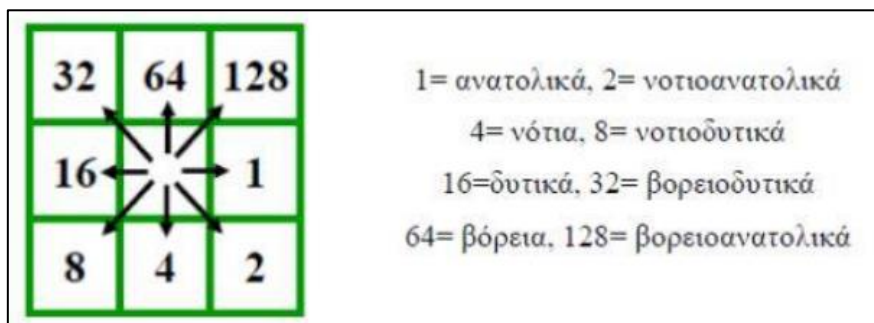


Εικόνα 13: Fill sinks

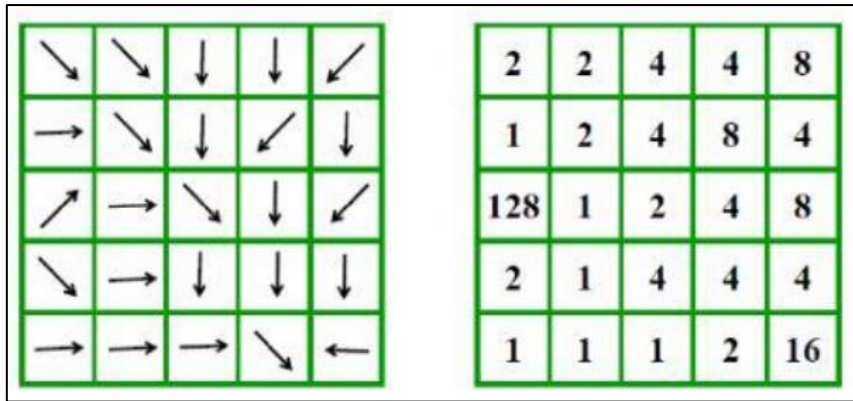
- *Flow Direction*: Με την εντολή αυτή υπολογίζεται η κατεύθυνση του νερού κάθε φατνίου χωριστά και δημιουργείται ο κάρταβος διεύθυνσης ροής (Εικόνα 16). Όπως σε μία πιξίδα, υπάρχουν οκτώ κατευθύνσεις στις οποίες μπορεί να κινηθεί η ροή από ένα φατνίο προς τα γειτονικά του, ανάλογα με την διεύθυνση της μέγιστης κλίσης. Ανάλογα με τη διεύθυνση της απορροής, κάθε φατνίο παίρνει μία τιμή όπως φαίνεται στην Εικόνα 14 και Εικόνα 15 (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013). Η κλίση μεταξύ δύο γειτονικών φατνίων υπολογίζεται ως η διαφορά των υψομέτρων τους διαιρεμένη με την απόσταση τους, δηλαδή:

$$\text{Κλίση} = \Delta z / \Delta x$$

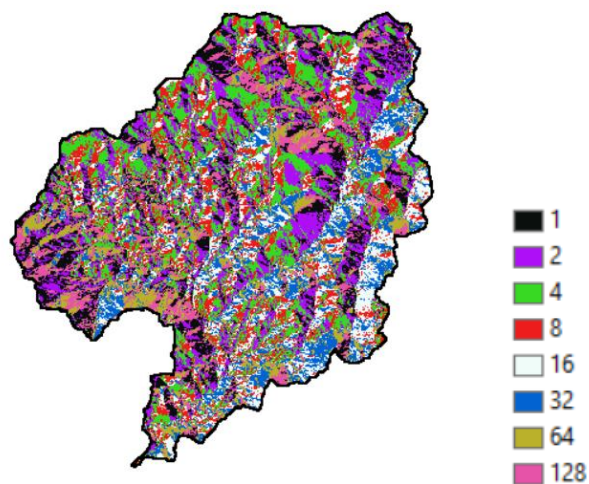
Η απόσταση  $\Delta x$  μετράται από το κέντρο των κελιών και είναι ίση με 1, όταν γειτνιάζουν έχοντας κοινή πλευρά ή με  $\sqrt{2}$  όταν έχουν μια κορυφή κοινή (Μισθού, 2006).



Εικόνα 14: Τιμή κεντρικού φατνίου ανάλογα με τη διεύθυνση απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)

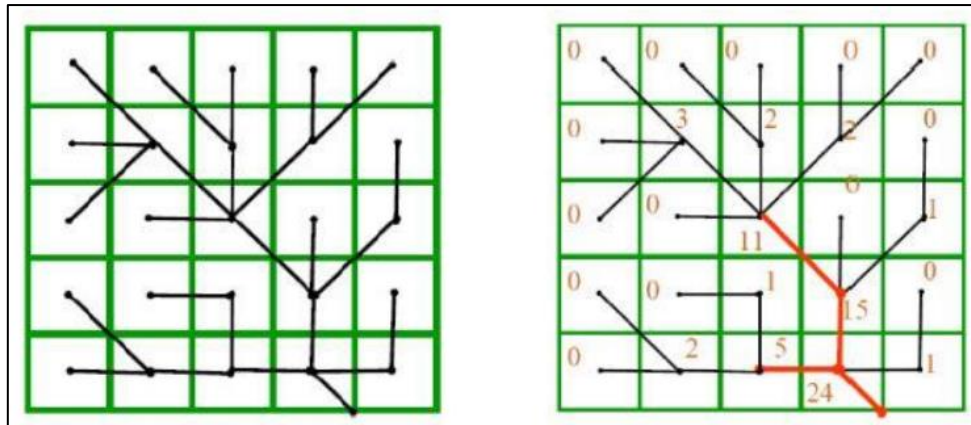


Εικόνα 15: Κάναβος διευθύνσεων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)



Εικόνα 16: Flow direction

- *Flow Accumulation*: Το εργαλείο αυτό δημιουργεί τον κάναβο συγκεντρωτικής ροής, αφού γίνει η υλοποίηση του κανάβου διεύθυνσης απορροής. Βασίζεται στον κάναβο διεύθυνσης απορροής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17 και προσδιορίζει το μοναδικό μονοπάτι, για κάθε φατνίο που ακολουθεί η σταγόνα της βροχής έως ότου να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης. Η συγκεντρωτική ροή για κάθε φατνίο του κανάβου ισούται με το άθροισμα των φατνίων που απορρέουν σ' αυτό από τα γειτονικά φατνία. Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται ο κάναβος που παράχθηκε.



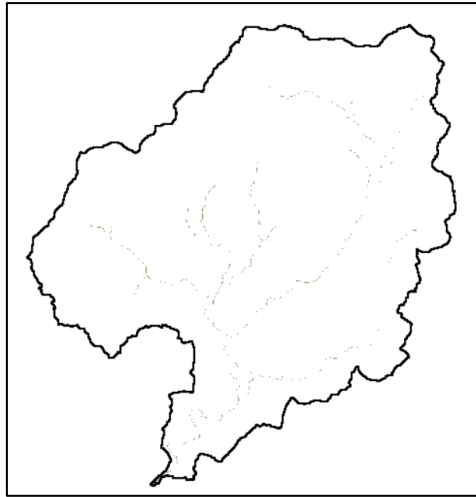
Εικόνα 17: Κάναβος πλήθους φατνίων απορροής (Στάμου και Σκοπελίτη, 2013)



Εικόνα 18: Κάναβος συγκεντρωτικής ροής

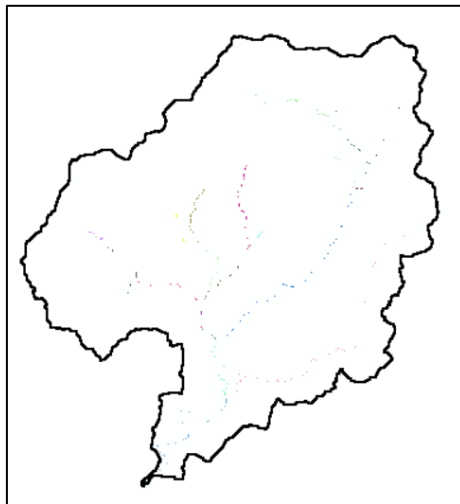
- *Stream Definition*: Σε αυτό το βήμα δημιουργείται κάναβος υδατορευμάτων, έχοντας ως κάναβο εισόδου αυτόν της συγκεντρωτικής ροής όπως φαίνεται στην Εικόνα 19. Ταξινομούνται όλα τα φατνία με συγκέντρωση ροής μεγαλύτερη από το κατώφλι που έχει ορίσει ο χρήστης ως φατνία που ανήκουν σε ένα υδατόρευμα. Όσο μικρότερο είναι το κατώφλι που επιλέγεται, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, επομένως και ο αριθμός των υπολεκανών που θα οριοθετηθούν.





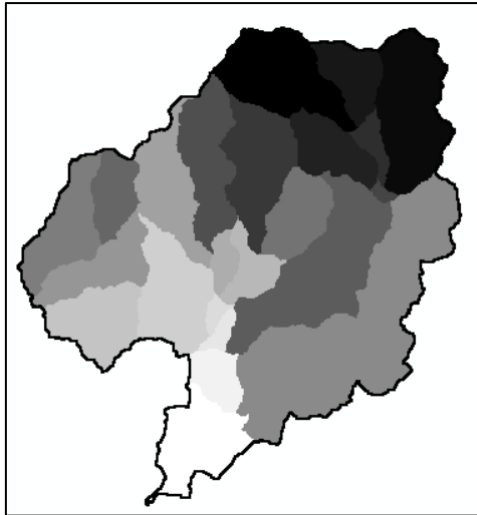
Εικόνα 19: Κανάβος υδατορεμάτων

- *Stream Segmentation*: Με την εντολή αυτή, γίνεται κατάτμηση του υδρογραφικού δικτύου με τον συνδυασμό των κανάβων του υδρογραφικού δικτύου και της διεύθυνσης απορροής (Εικόνα 20). 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.



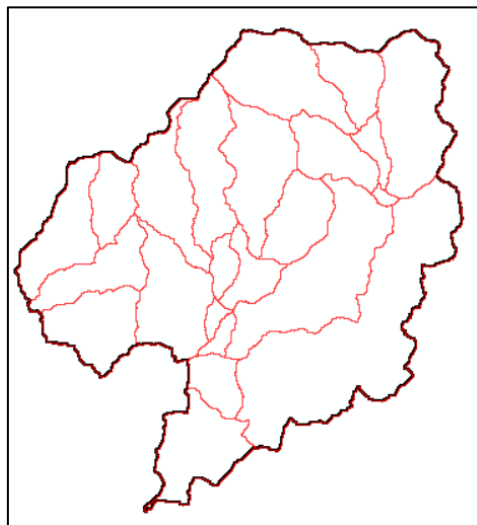
Εικόνα 20: Κατάτμηση υδρογραφικού δικτύου

- *Catchment Delineation*: Σε αυτό το βήμα οροθετείται μια υπολεκάνη για κάθε τμήμα του υδατορέματος (Εικόνα 21).



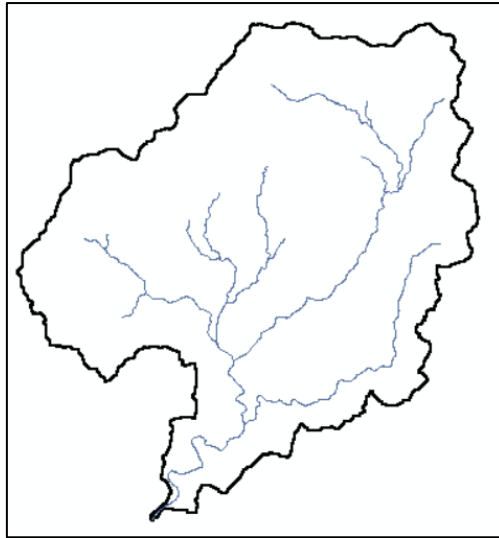
Εικόνα 21: Οριοθέτηση υπολεκανών

- *Catchment Polygon Processing*: Με αυτή την εντολή μετατρέπει τις λεκάνες του προηγούμενου βήματος από μορφή grid σε διανυσματική μορφή (vector), όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22: Οριοθέτηση υπολεκανών σε μορφή vector

- *Drainage Line /processing*: Μετατρέπει το υδρογραφικό δίκτυο από μορφή grid σε διανυσματική (vector) μορφή (Εικόνα 23).



*Εικόνα 23: Υδρογραφικό δίκτυο σε διανυσματική μορφή*

### 2.2.3. Απώλειες βροχής

Μετά την βροχόπτωση και πριν την απορροή ξεκινούν διάφορες διεργασίες που συντελούν στις απώλειες βροχής (Τσακίρης, 2013). Από την ποσότητα της βροχής, πριν αυτή φτάσει στο έδαφος, ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και καλείται αρχική συγκράτηση (interception) (Τσακίρης, 2013). Συνήθως το μέρος αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκόμη και εξατμίζεται λέγεται απώλεια συγκράτησης (interception loss) (Τσακίρης, 2013). Η απώλεια συγκράτησης εξαρτάται από την πυκνότητα και τον τύπο της βλάστησης (Τσακίρης, 2013).

Έπειτα η πτώση της βροχής στο έδαφος που ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης αποτελεί επίσης απώλεια (Τσακίρης, 2013). 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 την διηθητικότητα του εδάφους (δηλαδή την ικανότητα του εδάφους για διήθηση) και την ένταση της βροχής. Η ταχύτητα της διήθησης φτάνει στο μέγιστο 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 συνεχίζει, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλάτες του ανάγλυφου και ακολουθεί η επιφανειακή αποθήκευση. Το νερό που συγκεντρώνεται σ' αυτές τις κοιλάτες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση απώλεια (Τσακίρης, 2013). Η επιφανειακή απορροή που είναι απαλλαγμένη από κάθε είδους απώλειες καλείται καθαρή βροχή. Στην απορροή όμως είναι δύσκολο να

απομονωθεί η επιφανειακή απορροή, επειδή στο μέρος της επιπλέον απορροής που ακολουθεί ένα γεγονός βροχής, γνωστής ως άμεσης απορροής, εμπεριέχεται και η ταχεία υπεδάφια ροή (Τσακίρης, 2013).

Όσον αφορά στην εξατμισοδιαπνοή, σε μεγάλη χρονική κλίμακα (ετήσια ή υπερετήσια), αναφέρεται στην διαφορά ανάμεσα στα κατακρημνίσματα και την απορροή της υδρολογικής λεκάνης. Σε μικρότερη κλίμακα, όπως ανά ώρα, οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος βροχόπτωσης θεωρούνται αμελητέες σε σύγκριση με τον όγκο απορροής λόγω της έντασης της βροχόπτωσης (Καψάλης, 2009). Επιπλέον, οι διαφορές μεταξύ του όγκου του νετού και της απορροής αποδίδονται στις φυσικές διεργασίες της κατακράτησης και της διήθησης (Καψάλης, 2009).

### 2.2.3.1 Εκτίμηση του περισσεύματος βροχής με την μέθοδο SCS

Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες, η εκτίμηση του περισσεύματος 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:

- το ύψος βροχής,
- την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους, και
- τις χρήσεις 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 (Τσακίρης, 2013). 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:

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

και  $h_R = 0$ , για  $h_r < 0.2 \cdot S$

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

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ (mm)}, \text{ για } 0 \leq CN \leq 100 \quad (3)$$

μπορεί να προκύψει η σχέση μεταξύ  $h_R$  και  $h_r$ .

Με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων πέντε ημερών διακρίνονται τρεις κατηγορίες που χαρακτηρίζουν τις αρχικές συνθήκες υγρασίας του εδάφους (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006):

- **Κατηγορία I:** Αφορά στεγνά εδάφη, 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 σε συνδυασμό με χαμηλές θερμοκρασίες έχουν συμβεί τις τελευταίες μέρες πριν τη δεδομένη καταιγίδα και το έδαφος είναι σχεδόν κορεσμένο.

Στο Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι κατηγορίες που αναλύθηκαν παραπάνω με βάση την υγρασία του εδάφους.

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

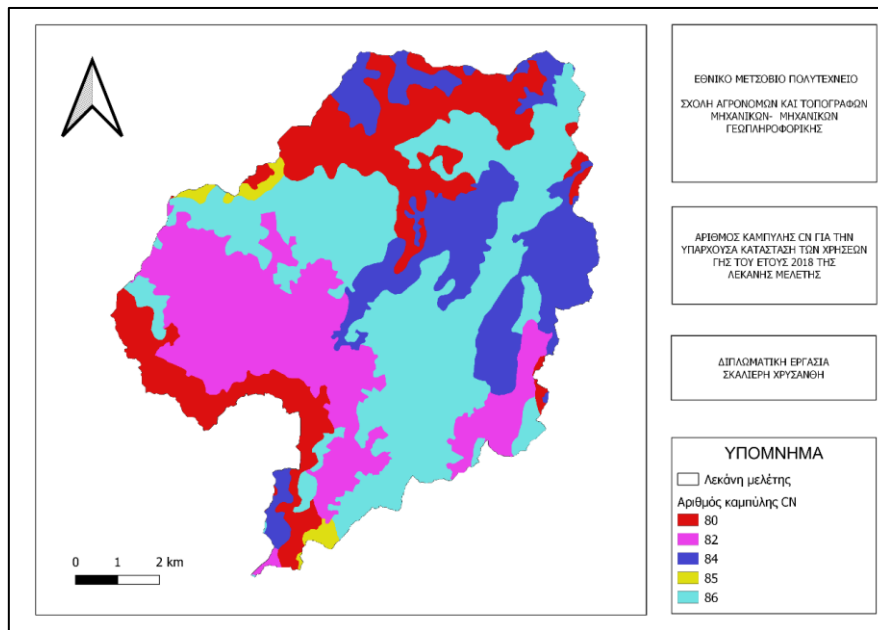
Κατηγορία	Συνολικό ύψος βροχής των 5 προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
I	< 13	< 35
II	13 ÷ 28	35 ÷ 53
III	> 28	> 53

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

- **Κατηγορία A:** Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα (αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη)
- **Κατηγορία B:** 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 να καθοριστεί η τιμή του αριθμού καμπύλης CN είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι χρήσεις γης και η γεωλογία της περιοχής μελέτης. Στο λογισμικό ArcGIS 10.5.1. προσδιορίστηκαν τα πολύγωνα χρήσεων γης, η κατηγορία του εδάφους και ο βαθμός υδατοπερατότητάς της. Εισήχθη ο χάρτης χρήσεων γης Corine Land Cover 2018 και με την εντολή Clip απομονώθηκαν τα τμήματα που αφορούν την περιοχή μελέτης.

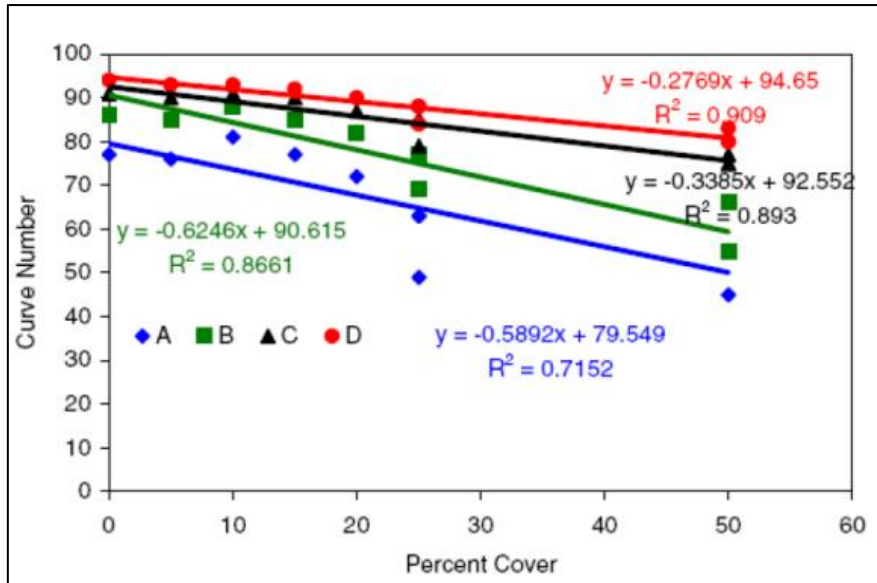
Αφού έγινε η κατηγοριοποίηση, πραγματοποιήθηκε η χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης CN για την περιοχή μελέτης. Η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης CN για τη λεκάνη απορροής είναι ίση με 83.5. Στην Εικόνα 24 παρουσιάζεται ο χάρτης της χωρικής κατανομής του αριθμού CN και παρατηρείται ότι σε πολύ μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης ο αριθμός καμπύλης είναι ίσος με 86 όπου είναι και ο υψηλότερος στην περιοχή, ενώ σε λιγότερα σημεία του χάρτη η τιμή ισούται με 85.



Εικόνα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN για την λεκάνη μελέτης

Για να εκτιμηθεί ο αριθμός καμπύλης CN μετά την πυρκαγιά υπάρχουν δύο τρόποι. Είτε να επιλεγθούν οι τιμές με βάση την εμπειρία των επιστημόνων, χωρίς να αξιολογηθούν τα δεδομένα που προκύπτουν μετά από πυρκαγιά, είτε να γίνει ακριβής υπολογισμός τους. Η απόκτηση δεδομένων αξιόπιστων για τη σύγκριση των συνθηκών πριν και μετά τη φωτιά καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη, διότι οι μελέτες που εκτιμούν την επίδραση πυρκαγιάς στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών απορροής είναι σπάνιες.

Μετά από μελέτη αρκετών ερευνητών που έχουν συσχετίσει 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. Οι Goodrich et al. (2005) ανέπτυξαν μία μέθοδο συνδέοντας τον αριθμό καμπύλης CN με το ποσοστό της χρήσης γης που δεν έχει καεί. Για κάθε υδρολογική ομάδα εδάφους (A, B, C, D) συνδυάστηκαν οι τιμές CN ανάλογα με τις χρήσεις γης και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους που δεν κάηκε. Η έρευνα αυτή αναφέρεται σε φυσικές και αστικές χρήσεις γης, εξαιρούνται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις και έχει ως σκοπό την τροποποίηση των τιμών του αριθμού καμπύλης μετά την πυρκαγιά, ανάλογα με το ποσοστό της κάλυψης που δεν κάηκε. Με βάση τα προαναφερθέντα δημιουργήθηκε το διάγραμμα που φαίνεται στην 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

### 2.2.3.2. Όμβρια καμπύλη για την λεκάνη απορροής

Η κατάρτιση των όμβριων καμπυλών συνίσταται στη στατιστική ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων μιας συγκεκριμένης περιοχής. Οι καμπύλες αυτές ουσιαστικά εκφράζουν την μέγιστη ένταση βροχόπτωσης  $i$  συναρτήσει της διάρκειας καταιγίδας  $t$  και τη περίοδο επαναφοράς  $T$ . Πρόκειται για μία αναλυτική σχέση της μορφής (Τσακίρης 2013):

$$i=i(t,T) \quad (3)$$

Στην παρούσα μελέτη για την προσομοίωση τμήματος λεκάνης απορροής του Τσικνιά χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη από το Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των λεκανών απορροής των ποταμών του Υδατικού διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου (Νότιου και Βόρειου Αιγαίου). Στις Εικόνες 26, 27 και 28 παρουσιάζονται οι χωρικές μεταβολές των παραμέτρων  $\kappa'$ ,  $\lambda'$  και  $\psi'$  αντίστοιχα. Η μαθηματική σχέση της όμβριας καμπύλης για την περιοχή μελέτης είναι:

$$i= 471.5 \cdot \{[\ln(1-(1/T))^{-0.084} - 0.727] \cdot (1 + (t/0.134)^{-0.741}) \quad (4)$$

όπου:

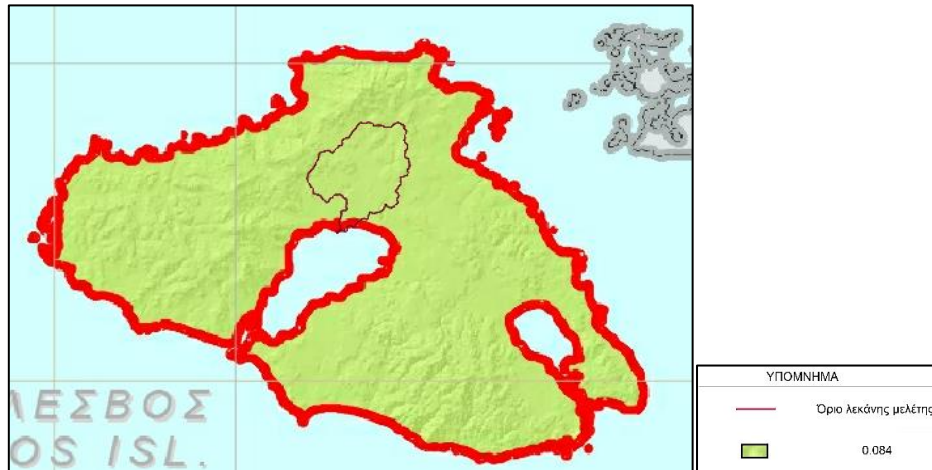
$i$ : η ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

$T$ : η περίοδος επαναφοράς (έτη)

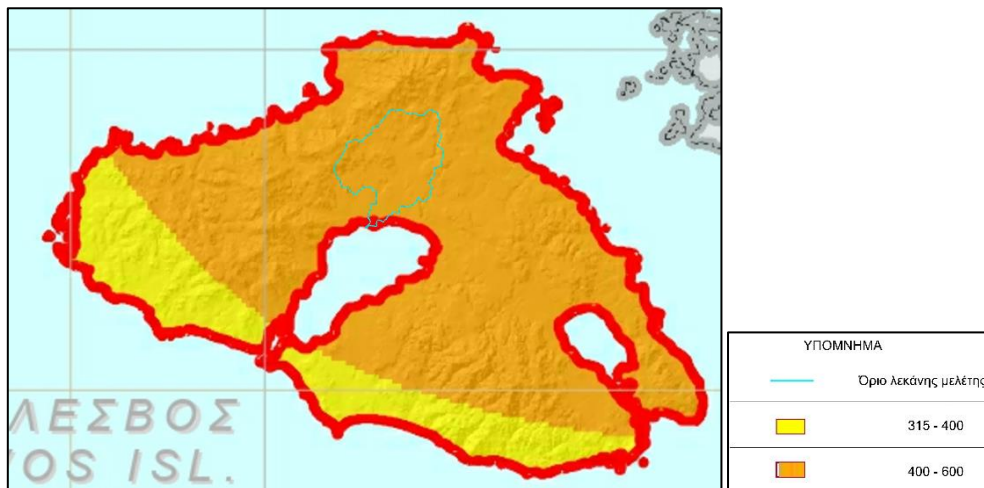
$t$ : η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης (h)

Οι βροχοπτώσεις σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για περιόδους επαναφοράς  $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη και για διάρκειες βροχόπτωσης  $t = 6, 12, 24$  ώρες, οι οποίες επιλέχθηκαν με σκοπό την εκτίμηση των ορίων βροχόπτωσης, δημιουργώντας έτσι συνολικά

18 υετογράμματα σχεδιασμού για την υπάρχουσα κατάσταση και για κάθε σενάριο εναλλαγής χρήσεων γης. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται τα συνολικά ύψη βροχόπτωσης για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης και κάθε περίοδο επαναφοράς σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη.



Εικόνα 26: Χωρική μεταβολή παραμέτρου  $k'$  (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου)



Εικόνα 27: Χωρική μεταβολή παραμέτρου  $\lambda'$  (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου)





Εικόνα 28: Χωρική μεταβολή παραμέτρου  $\psi'$  (Πηγή: ΥΠΕΚΑ- Σχέδιο Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος των Νήσων Αιγαίου)

### 2.2.3.3. Μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS

Η SCS των ΗΠΑ έκανε προτάσεις για χρήση συνθετικών υδρογραφημάτων, όπως το καμπυλόγραμμο και το τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα (Τσακίρης 2013). Η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι ένα από τα διαθέσιμα μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή στο λογισμικό HEC-HMS και 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 με την προϋπόθεση να είναι γνωστά τα μεγέθη  $U_p$  και  $t_p$ , που υπολογίζονται όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο (Τσακίρης 2013):

$$U_p = 2.08 \cdot \frac{A}{t_p} \quad (5)$$

$$t_p = \frac{t_R}{2} + t_L \quad (6)$$

όπου:

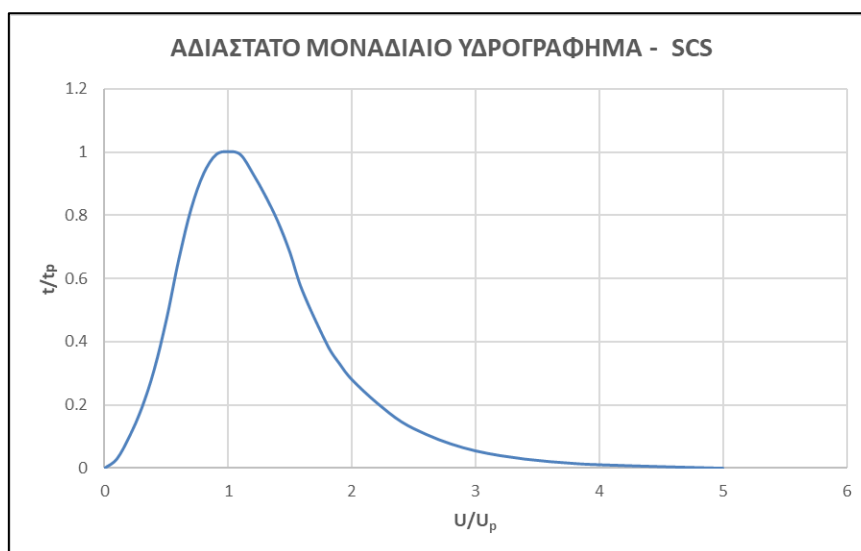
A: η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>)

$t_p$ : ο χρόνος που παρατηρείται η μέγιστη παροχή (h)

$t_R$ : η διάρκεια περισσεύματος της βροχής (h)

$t_L$ : ο χρόνος υστέρησης (h) της λεκάνης απορροής, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ του κέντρου μάζας του υετογράμματος 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)

$U_p$ : η αιχμή της πλημμυρικής παροχής ( $m^3/s$ ) του μοναδιαίου υδρογραφήματος (δηλαδή ύψους περισσεύματος βροχής = 1 cm)



Εικόνα 29: Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα – SCS

Πίνακας 4: 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		

Στην Εικόνα 29 παρουσιάζεται το μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS και στον Πίνακα 4 αναγράφονται οι τεταγμένες του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος της SCS (Τσακίρης, 2013). 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 (Τσακίρης, 2013).

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

Ο χρόνος συγκέντρωσης σε μια λεκάνη απορροής ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε να φτάσει το νερό από το πιο υδραυλικά απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην έξοδο της και εκφράζει την χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της πλημμυρικής απορροής σε σχέση με τον χρόνο που ξεκίνησε η βροχή στη λεκάνη (Τσακίρης, 2013). Με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΔ 696/74) για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης δύναται να χρησιμοποιηθεί η εμπειρική εξίσωση Giandotti:

$$t_c = 4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot \frac{L}{0.8} \cdot \sqrt{\Delta H} \quad (7)$$

όπου:

$t_c$ : ο χρόνος συγκέντρωσης (h)

A: η έκταση της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>)

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

$\Delta H$ : η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου 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:

$$t_L = 0.6 \cdot t_c \quad (8)$$

όπου:

$t_L$ : ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής (h)

Άρα για για την παρούσα μελέτη προκύπτουν τα αποτελέσματα, όπως αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακες 5 και 6, δηλαδή ο υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης και υστέρησης και η σημειακή βροχόπτωση για την λεκάνη μελέτης αντίστοιχα.

Πίνακας 5: Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης και χρόνου υστέρησης για την λεκάνη μελέτης

Έκταση (km <sup>2</sup> )	86.80
Μήκος κύριας Μισγάγγειας (km)	22.59
Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	176.59
Υψόμετρο εξόδου λεκάνης (m)	9.22
Χρόνος συγκέντρωσης (Giandotti) (h)	6.88
Χρόνος συγκέντρωσης (Giandotti) (min)	413
Χρόνος υστέρησης (Giandotti) (min)	275

Πίνακας 6: Σημειακή βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Τσικνιά

Σημειακή βροχόπτωση (mm)						
T (έτη)	2	5	10	25	50	100
Χρόνος (h)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)	d (mm)
6	53.7	71.9	84.9	102.6	116.6	131.4
12	64.8	86.7	102.4	123.7	140.7	158.5
24	77.8	104.2	123.0	148.6	169.0	190.5

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

Σύμφωνα με την μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχόπτωσης ή εναλλασσόμενων μπλοκ (Alternating Block Method, Chow 1988), η βροχόπτωση διάρκειας  $t$  και περιόδου επαναφοράς  $T$  κατανέμεται από τη σχέση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς. Έχοντας υπόψη ότι το ύψος της βροχής ισούται με το γινόμενο της έντασης επί την διάρκεια της, για βροχοπτώσεις ίδιας περιόδου επαναφοράς  $T$ , προκύπτει ότι:

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 \quad (9)$$

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  $h_2$ .

Με βάση την μέθοδο αυτή, τα τμηματικά ύψη βροχής των διάφορων διαρκειών προσδιορίζονται σύμφωνα με την όμβρια καμπύλη, διότι θεωρείται ότι περιγράφει καλύτερα την λεκάνη απορροής, και με τις διαφορετικές περιπτώσεις για τις περιόδους επαναφοράς και της χρονικής διάρκειας της βροχόπτωσης. Στη συνέχεια γίνεται ανακατανομή των τμηματικών υψών βροχής με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται μια

συμμετρική και φθίνουσα σειρά, με το μέγιστο τμηματικό ύψος βροχής να τοποθετείται στο κέντρο. Παράλληλα, το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι θεωρεί πως σε κάθε επιμέρους διάρκεια, το υπολογισμένο ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής (Ευστρατιάδης κ.α. 2012).

Λαμβάνεται υπόψη ότι κάθε τιμή ύψους βροχής περιλαμβάνει και την προηγούμενη, για να έχουμε λεπτομερή υπολογισμό, διαχωρίζουμε τις ώρες σε μικρά τμήματα. Στην παρούσα μελέτη ως χρονικό βήμα που επιλέχθηκε ήταν τα 10 min.

#### 2.2.4. Λογισμικό HEC-HMS

Το HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System) είναι από τα πλέον διαδεδομένα και εύχρηστα εργαλεία για μελέτες πλημμυρών και αναπτύχθηκε από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων που ανήκει στο Σώμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (Βαρσάμη 2014). Έχει σχεδιαστεί με σκοπό 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. Αυτό μπορεί να γίνει τόσο για μεμονωμένα γεγονότα όσο και για συνεχείς προσομοιώσεις. Διαιρεί την λεκάνη σε υπολεκάνες όπου σε κάθε μια από αυτές και για κάθε διεργασία μπορούν να οριστούν διαφορετικά μοντέλα ή διαφορετικές παράμετροι του ίδιου μοντέλου (Ευστρατιάδης κ.α. 2012). Ωστόσο, στην παρούσα εργασία δεν υπάρχουν υπολεκάνες.

Τα υδρογραφήματα που παράγονται χρησιμοποιούνται είτε αυτούσια είτε ως είσοδος σε άλλα λογισμικά. Χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων, καθώς είναι πολύ χρήσιμα για μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, αποστραγγιστικά έργα, μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων κ.α. (Feldman 2000).

Το πρόγραμμα αποτελεί ένα γενικευμένο σύστημα μοντελοποίησης που δύναται 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. Για την ορθή επιλογή απαιτείται γνώση των συνθηκών της λεκάνης και εξαρτάται από τους στόχους της υδρολογικής μελέτης και την εμπειρία του μελετητή (Scharffenberg and Fleming 2010). Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4.4.1. του λογισμικού HEC-HMS.

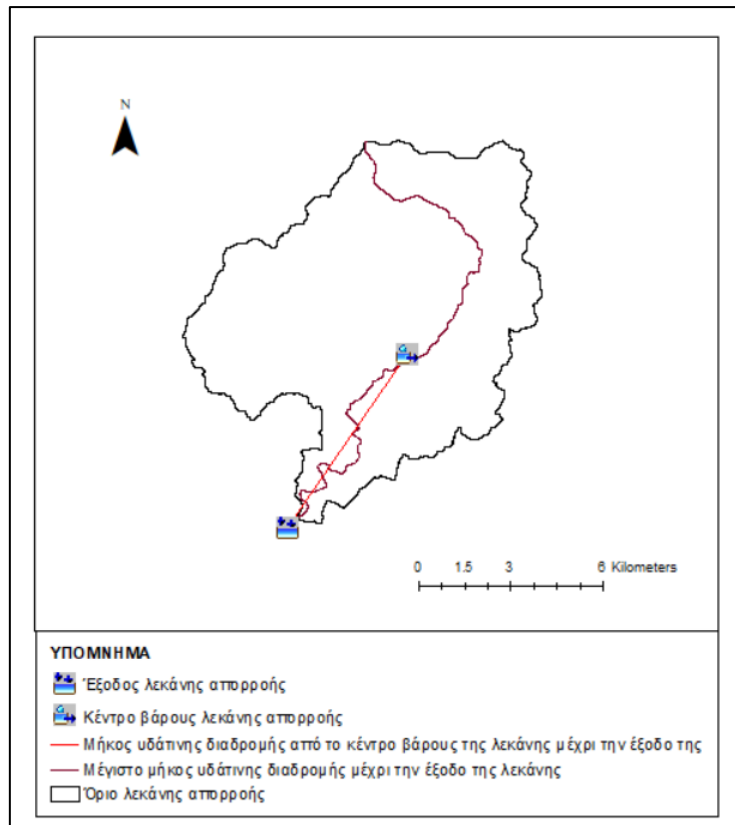
#### 2.2.4.1. Προετοιμασία αρχείων εισόδου στο πρόγραμμα HEC-HMS

Αφού ολοκληρώθηκε η προεπεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης, ορίστηκε η λεκάνη απορροής προσδιορίζοντας το σημείο εξόδου για την λεκάνη. Με σκοπό την προετοιμασία των αρχείων εισόδου στο HEC-HMS χρησιμοποιήθηκε το μενού HMS Project Setup της εργαλειοθήκης του HEC-GeoHMS, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 31. Με τη χρήση της εργαλειοθήκης αυτής δημιουργήθηκαν τα αρχεία εισόδου για το HEC-HMS, που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την μοντελοποίηση των διεργασιών βροχής-απορροής.

Με την εντολή Start New Project ορίζεται από τον χρήστη ένα όνομα για τη μελέτη, καθώς και δεδομένα για το ψηφιακό μοντέλο με βάση τα αρχεία που δημιουργήθηκαν με την χρήση της εργαλειοθήκης HEC-geoHMS. Το σημείο εξόδου (Project Point) προσδιορίζεται με το εργαλείο Add Project Points και αφού ολοκληρωθεί η προεπεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και δημιουργηθεί το νέο project, έπεται η επεξεργασία της λεκάνης απορροής και στο τέλος, η εξαγωγή των χρήσιμων τοπογραφικών χαρακτηριστικών της.

Ο υπολογισμός των τοπογραφικών χαρακτηριστικών πραγματοποιείται με τις εντολές των Basin Processing και Basin Characteristics του μενού του HEC-GeoHMS. Από το μενού Basin Processing δημιουργήθηκε η λεκάνη μελέτης όπως φαίνεται στην Εικόνα 30. Έπειτα, από το μενού Basin Characteristics, υπολογίστηκαν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τα οποία αποτελούν και τα δεδομένα εισόδου στο λογισμικό. Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν απαριθμούνται παρακάτω:

1. Το μήκος των τμημάτων του ποταμού
2. Το κέντρο βάρους της λεκάνης
3. Το μέγιστο μήκος της υδάτινης διαδρομής της λεκάνης μέχρι την έξοδο
4. Το μήκος της υδάτινης διαδρομής από το κέντρο βάρους της λεκάνης μέχρι την έξοδο της



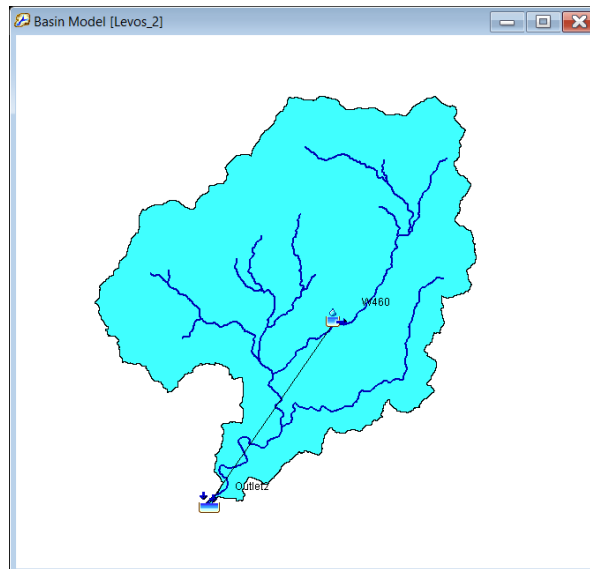
Εικόνα 30: Μοντέλο λεκάνης απορροής

Μέσω του προγράμματος δίνεται η δυνατότητα να επιλεγθούν οι μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν στο HEC-HMS. Στην παρούσα εργασία το πρότυπο απωλειών βροχής που επιλέχθηκε είναι το SCS Curve Number και ως πρότυπο άμεσης απορροής επιλέχθηκε το Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS.

Στο τέλος έγινε η τελική επεξεργασία των αρχείων εισόδου για το περιβάλλον του HEC-HMS. Εξήχθη συμβατός χάρτης (background shapefile) στο HEC-HMS του μοντέλου λεκάνης με τα υδρολογικά στοιχεία, τη σύνδεση τους και τις απαραίτητες γεωγραφικές πληροφορίες και τέλος δημιουργήθηκε το project του οποίου επεξεργάστηκε στη συνέχεια στο HEC-HMS (Create HEC-HMS project).

#### 2.2.4.2. Μοντέλο λεκάνης απορροής

Αφού έχει δημιουργηθεί σε περιβάλλον GIS το μοντέλο της λεκάνης απορροής, εισάγεται στο HEC-HMS. Η διαδικασία αυτή γίνεται επιλέγοντας File → Import → Basin Model. Επιπλέον, υπάρχει η παράθεση των χαρτών της λεκάνης και του ποταμού, ώστε να δημιουργείται ένα υπόβαθρο για να διευκολύνεται ο χρήστης (Εικόνα 31). Η λεκάνη που προέκυψε είναι η λεκάνη με ονομασία «W460» και με εμβαδόν 86.80 km<sup>2</sup>.



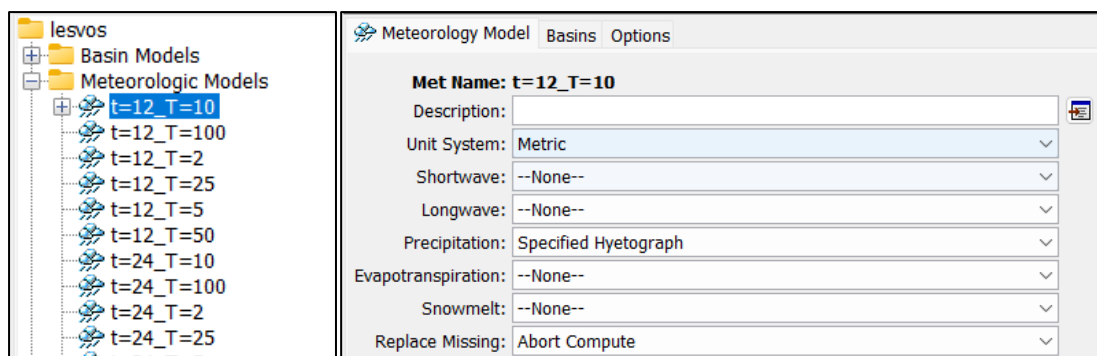
Εικόνα 31: Μοντέλο λεκάνης απορροής σε περιβάλλον HEC-HMS

#### 2.2.4.3. Μετεωρολογικό μοντέλο

Ο κύριος σκοπός της δημιουργίας μετεωρολογικών μοντέλων είναι να προετοιμαστούν μετεωρολογικές οριακές συνθήκες για τις λεκάνες. Για την εκπόνηση της μελέτης, δημιουργήθηκαν 18 μετεωρολογικά μοντέλα για την υφιστάμενη κατάσταση καθώς και για κάθε σενάριο. Το καθένα από τα οποία χαρακτηρίζονταν από διαφορετική περίοδο επαναφοράς (2, 5, 10, 25, 50 και 100 έτη) και διαφορετική διάρκεια βροχόπτωσης (6, 12 και 24 ώρες). Τα ίδια μετεωρολογικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν με το επαναπροσδιορισμένο CN για την εκτίμηση και την σύγκριση των αποτελεσμάτων της αρχικής κατάστασης σε σχέση με το κάθε σενάριο ξεχωριστά. Η δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου πραγματοποιήθηκε με την εντολή Components → Meteorologic Manager. Στην συνέχεια, καθορίζονται, από τον χρήστη, η έναρξη και η λήξη του επεισοδίου βροχής καθώς και το χρονικό βήμα των υπολογισμών (10 λεπτά) μέσω της εντολής: Components → Control Specifications Manager (Εικόνα 32).

Έπειτα, έγινε εισαγωγή των βροχομετρικών δεδομένων, που υπολογίσθηκαν με βάση την όμβρια καμπύλη, όπως ανακατανεμήθηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ.





Εικόνα 32: Δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου

### 2.3. Σενάρια εναλλαγής χρήσεων γης

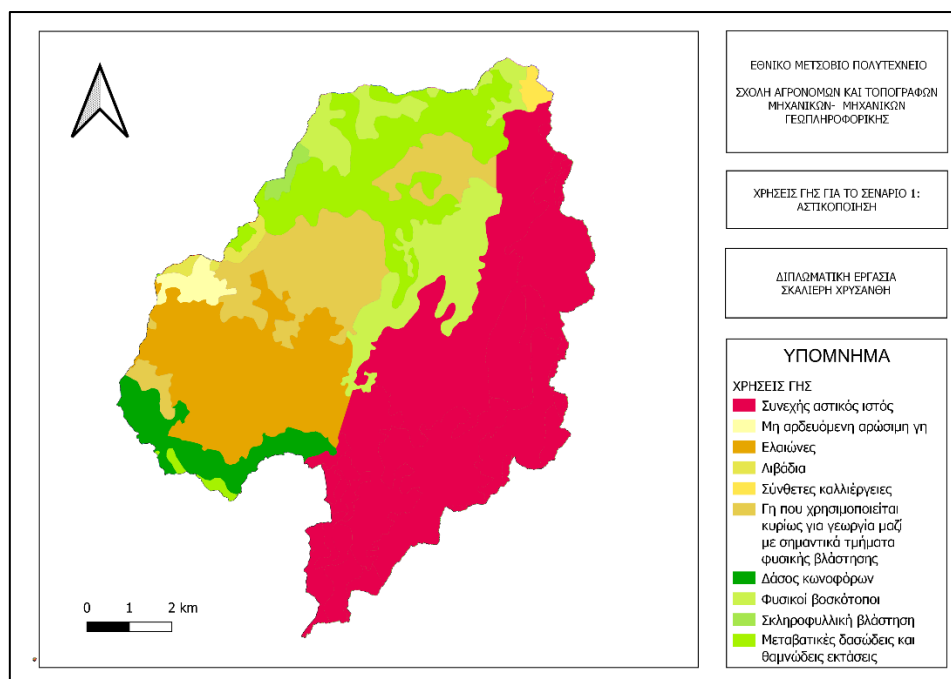
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται επιγραμματικά τα σενάρια που μελετήθηκαν για την περιοχή μελέτης ως προς την υδρολογική επίδραση. Στον Πίνακα 7 φαίνεται μια σύντομη περιγραφή τους.

Πίνακας 7: Σενάρια αλλαγής χρήσεως γης που μελετήθηκαν για την λεκάνη μελέτης.

<b>Σενάριο 1</b>		Αστικοποίηση μεγάλου μέρους της λεκάνης μελέτης (40% της έκτασης της)
<b>Σενάριο 2</b>		Αλλαγή χρήσεως γης δασών και ελαιώνων σε περιοχή που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (70% περίπου καλύπτεται από την νέα χρήση γης)
<b>Σενάριο 3</b>	<b>Σενάριο 3α</b>	Θεωρείται ότι κήκε ένα κομμάτι του βόρειου τμήματος της λεκάνης μελέτης (25% περίπου της συνολικής έκτασης)
	<b>Σενάριο 3β</b>	Θεωρείται ότι κήκε ένα μέρος του νότιου κομματιού της λεκάνης μελέτης (8% περίπου της συνολικής έκτασης)
	<b>Σενάριο 3γ</b>	Θεωρείται ότι κήκε ένα κομμάτι του βόρειου τμήματος της λεκάνης μελέτης (13% περίπου της συνολικής έκτασης)

### 2.3.1. Σενάριο 1 – Αστικοποίηση

Στο πρώτο σενάριο έγινε αστικοποίηση μεγάλου μέρους της περιοχής μελέτης (περίπου το 40%), όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 33:



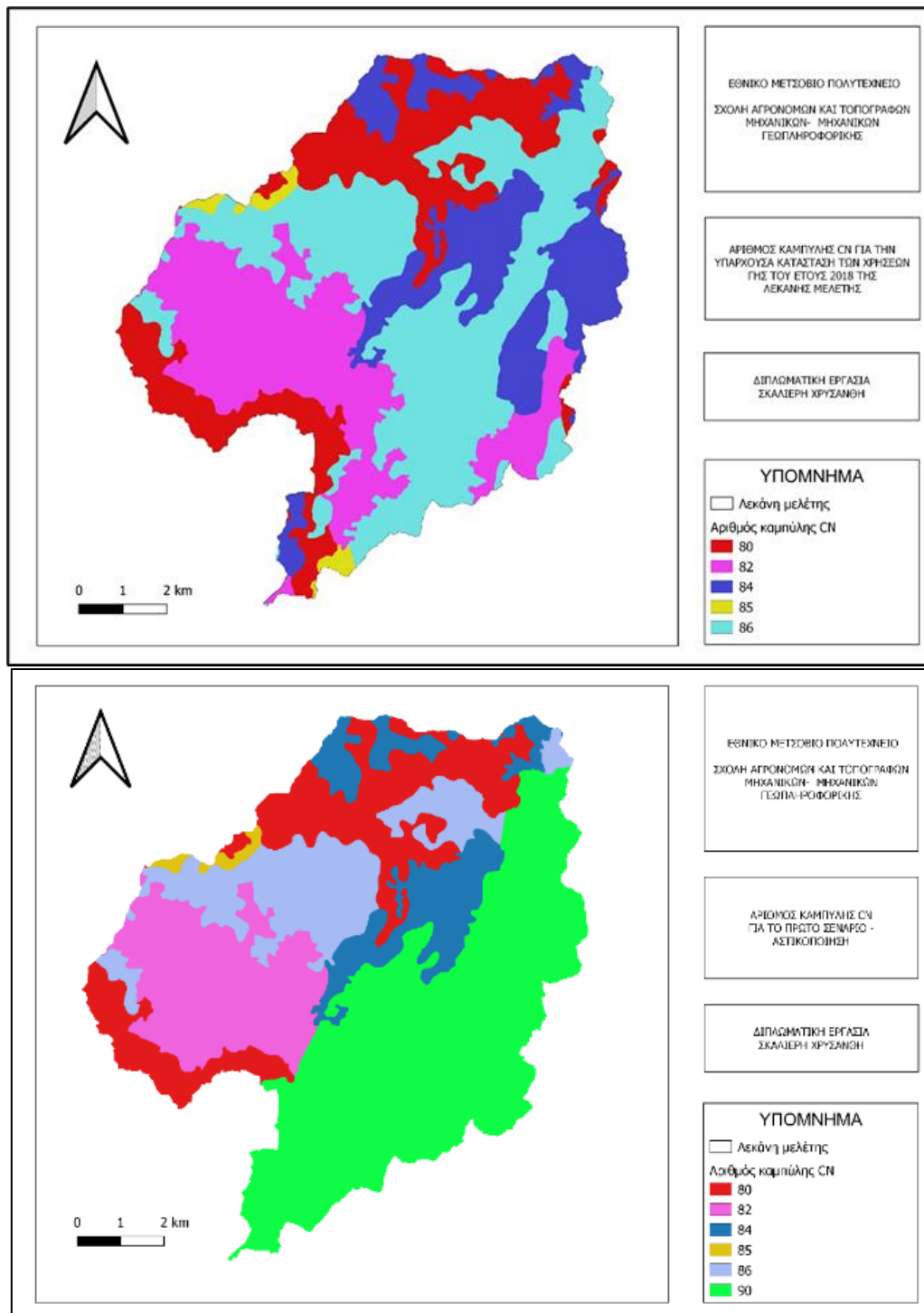
Εικόνα 33: Σενάριο 1- Αστικοποίηση

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης (Σενάριο 1- Αστικοποίηση) καθώς και την έκταση και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης που καλύπτει η καθεμία. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D.

Πίνακας 8: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης (Σενάριο 1-Αστικοποίηση) και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D

Κωδικός corine	Περιγραφή	D	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
111	Συνεχής αστικός ιστός	90	36.09	41.57
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	86	1.11	1.28
223	Ελαιώνες	82	13.62	23.62
231	Λιβάδια	85	0.64	15.69
242	Σύνθετες καλλιέργειες	86	0.46	0.53
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	86	10.92	12.58
312	Δάσος κωνοφόρων	80	3.77	4.34
321	Φυσικοί βοσκότοποι	84	9.09	10.47
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	80	0.48	0.55
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	80	10.60	12.25

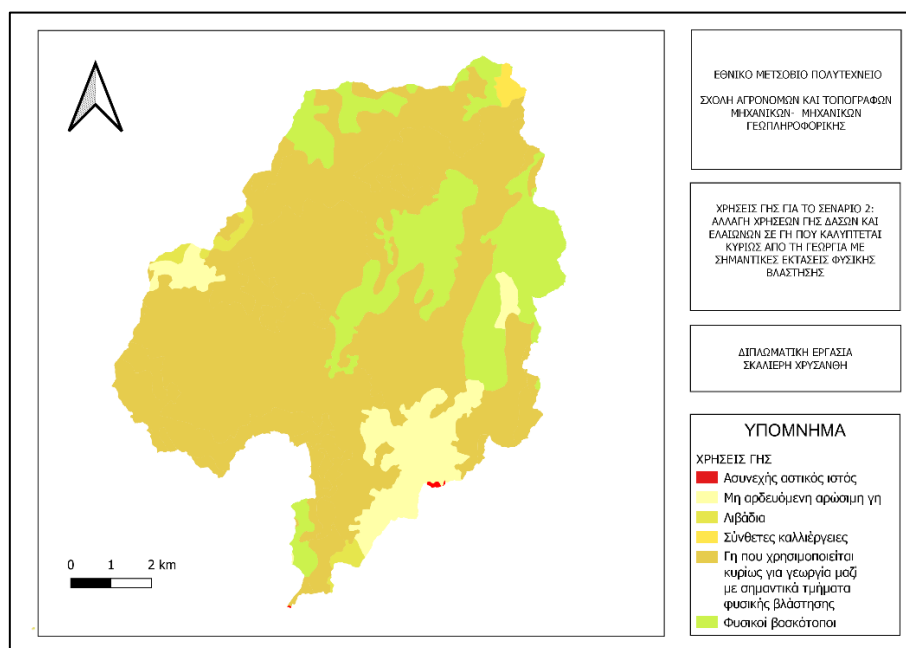
Στην αρχική κατάσταση η τιμή του CN είναι 83.5, ενώ για το Σενάριο 1 προκύπτει ότι είναι 85.8, δηλαδή το CN μεταβάλλεται περίπου κατά 3%. Στην Εικόνα 34 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης πριν και μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 1.



Εικόνα 34: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 1

### 2.3.2. Σενάριο 2 - Αλλαγή χρήσεως γης δασών και ελαιώνων σε Περιοχή που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης

Στο δεύτερο σενάριο έγινε εναλλαγή χρήσεων γης από δάση και ελαιώνες σε Περιοχή που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης. Αυξήθηκε σημαντικά η έκταση που καλύπτεται από τη γεωργία κατά 40 km<sup>2</sup> περίπου. Παρουσιάζεται στην Εικόνα 35 ο χάρτης χρήσεων γης για το σενάριο 2.



Εικόνα 35: Χρήσεις γης Σεναρίου 2

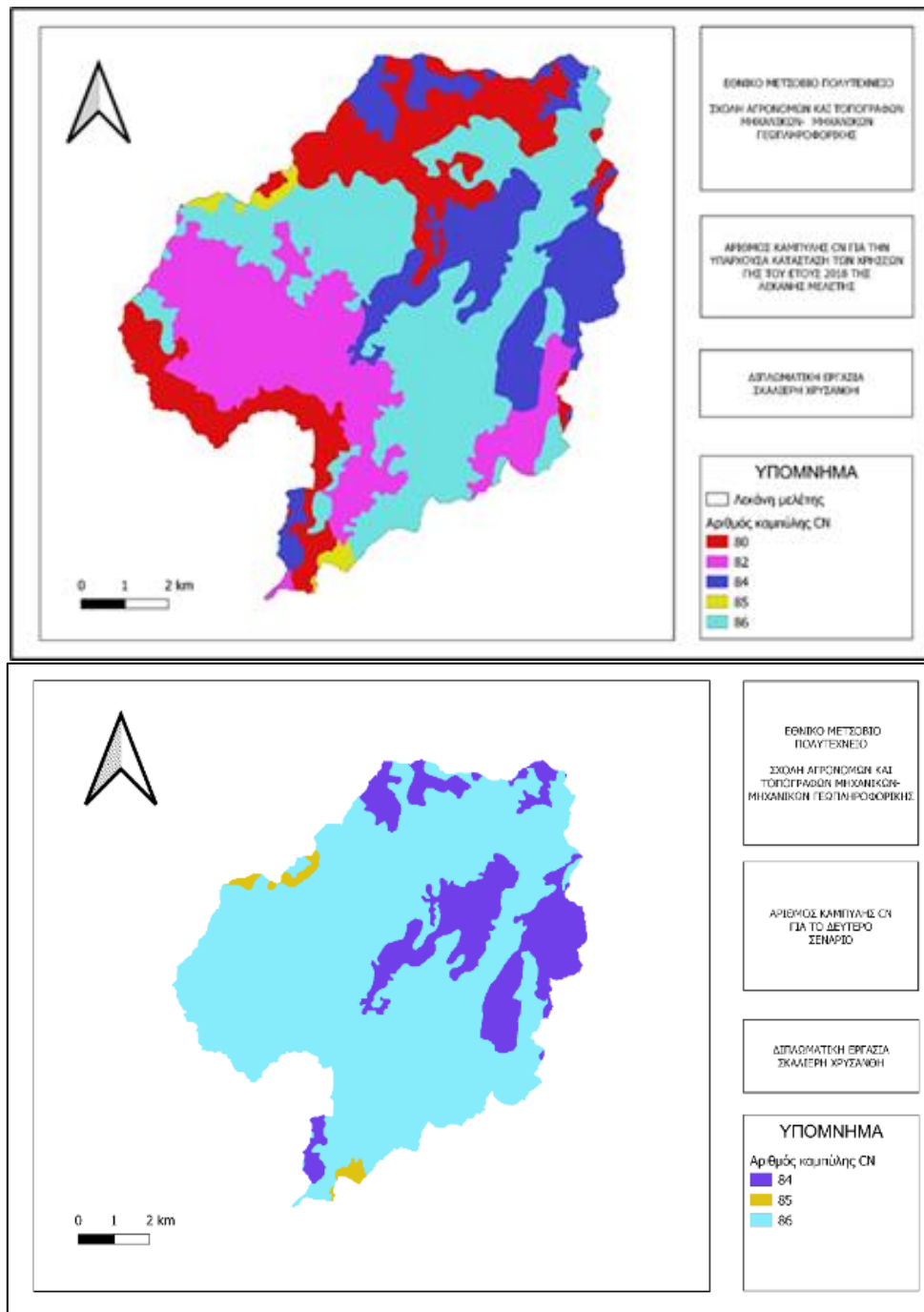
Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης για το Σενάριο 2 καθώς και την έκταση και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης που καλύπτει η καθεμία. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D.

Πίνακας 9: Χρήσεις γης Σεναρίου 2 και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D

Κωδικός corine	Περιγραφή	D	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	86	0.04	0.05
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	86	7.46	8.59
231	Λιβάδια	85	1.02	1.17
242	Σύνθετες καλλιέργειες	86	0.46	0.53
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	86	61.64	71.01
321	Φυσικοί βοσκότοποι	84	16.17	18.63

Παρατηρείται πως η χρήση γης 243 (Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης) καλύπτει το 71% της λεκάνης μελέτης.

Στην αρχική κατάσταση η τιμή του CN είναι 83.5, ενώ για το Σενάριο 2 προκύπτει ότι είναι 85.6, δηλαδή το CN μεταβάλλεται περίπου κατά 3%. Στην Εικόνα 36 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης πριν και μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 2.



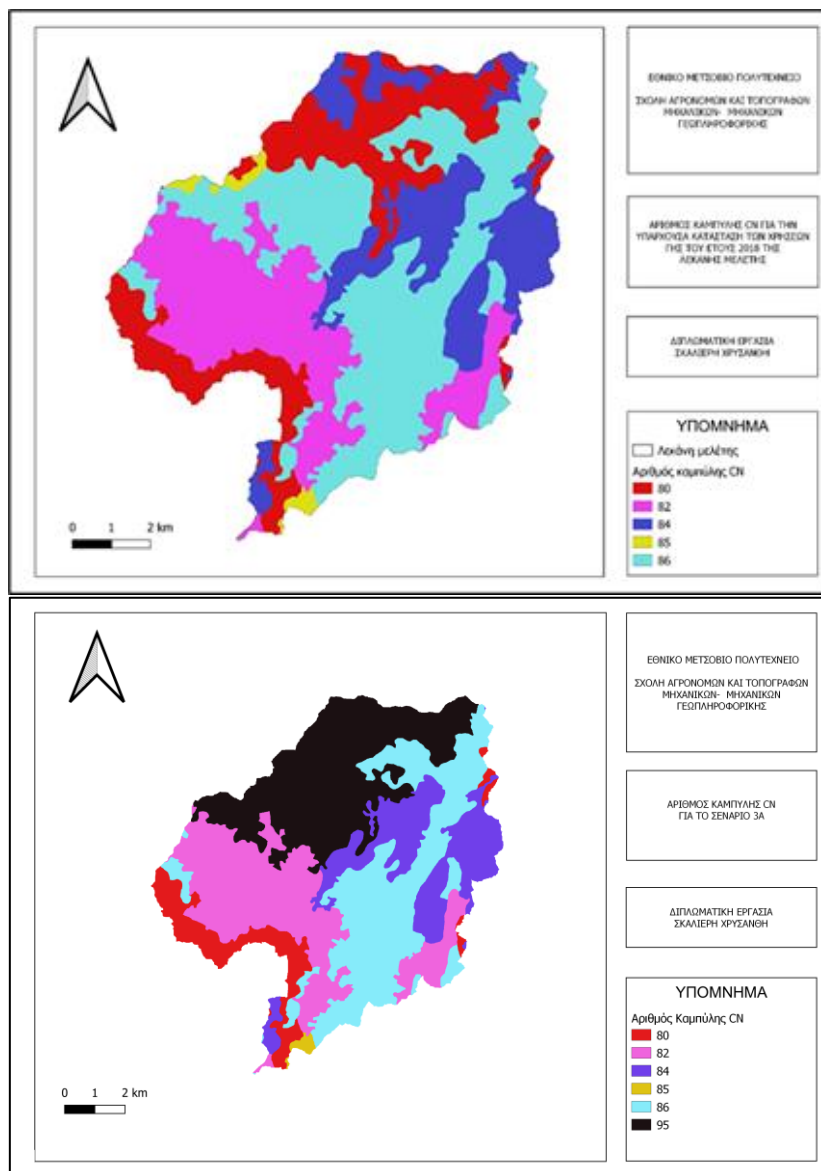
Εικόνα 36: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 2

### 2.3.3. Σενάρια – Πυρκαγιές

Στο παρόν κεφάλαιο γίνονται σενάρια που αφορούν το ενδεχόμενο πυρκαγιάς σε διάφορα τμήματα της λεκάνης μελέτης. Η πυρκαγιά έχει διάφορες επιπτώσεις, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο του νερού, αφού καταστρέφει την βλάστηση. Στην ουσία μετατρέπει την περιοχή σε γυμνό έδαφος, αλλάζει ο αριθμός της

καμπύλης CN, ο οποίος είναι καθοριστικός παράγοντας στην εξίσωση της μεθόδου SCS (Τσιχριντζής, 2021). Στα σενάρια που αναλύονται παρακάτω ο υπολογισμός του αριθμού καμπύλης έγινε με την μέθοδο των Goodrich et al. (2005).

1. **Σενάριο 3α:** Στο πρώτο σενάριο πυρκαγιάς θεωρήθηκε ότι κάηκε ένα κομμάτι του βόρειου τμήματος της λεκάνης μελέτης (Εικόνα 38). Συγκεκριμένα, υποτίθεται ότι κάηκε το 26.81% της συνολικής εκτάσεως της λεκάνης μελέτης και το νέο CN της περιοχής είναι 86.7, δηλαδή αυξάνεται σε σχέση από το αρχικό CN κατά 4%. Στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και του Σεναρίου 3α.



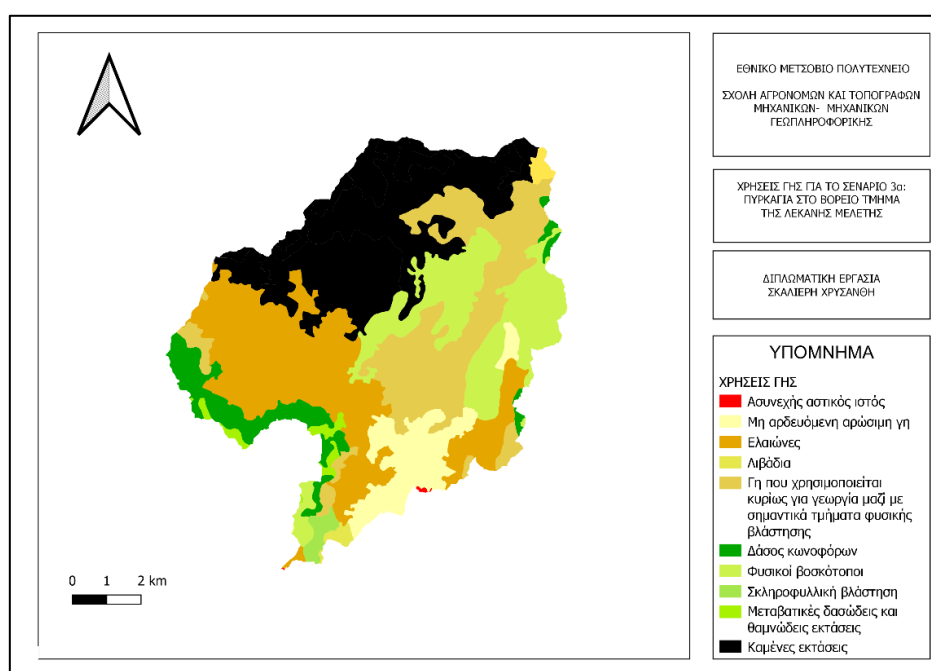
Εικόνα 37: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3α



Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης για το Σενάριο 3α καθώς και την έκταση και το ποσοστό επί της συνολικής έκτασης που καλύπτει η καθεμία. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D.

Πίνακας 10: Χρήσεις γης Σεναρίου 3α και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D

Κωδικός corine	Περιγραφή	D	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	86	0.04	0.05
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	86	6.34	7.30
223	Δάσος κωνοφόρων	82	20.50	23.62
231	Λιβάδια	85	0.38	0.44
242	Σύνθετες καλλιέργειες	86	0.46	0.53
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	86	15.94	18.36
312	Δάσος κωνοφόρων	80	5.10	5.87
321	Φυσικοί βοσκότοποι	84	13.07	15.06
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	80	0.78	0.90
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	80	0.90	1.37
334	Καμένες εκτάσεις	95	23.27	26.81

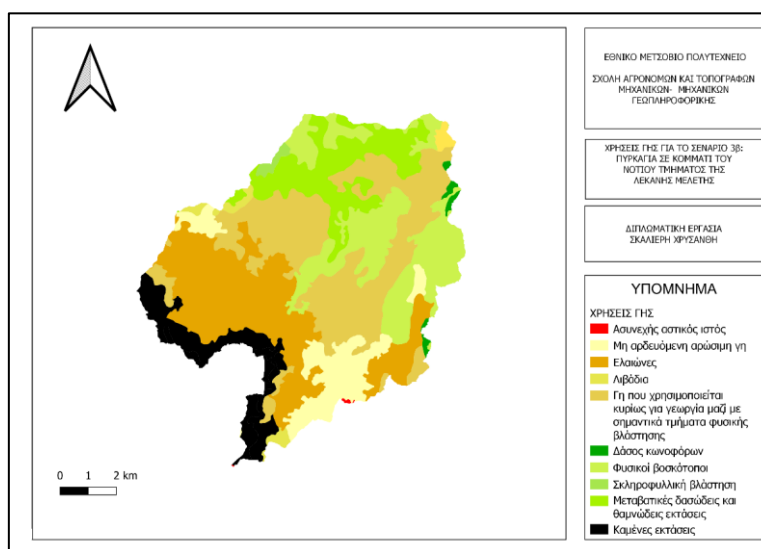


Εικόνα 38: Χρήσεις γης Σεναρίου 3α

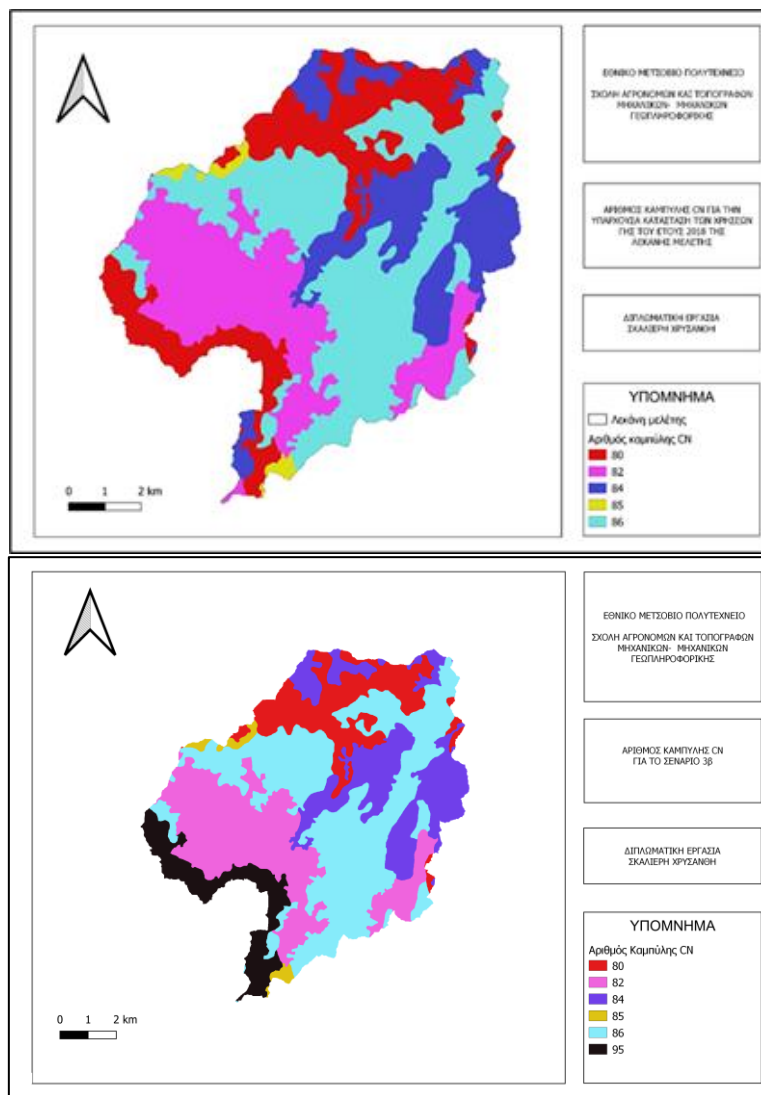
2. **Σενάριο 3β:** Στο δεύτερο σενάριο πυρκαγιάς θεωρήθηκε ότι κάηκε ένα μέρος του νότιου κομματιού της λεκάνης μελέτης (Εικόνα 39), συγκεκριμένα υποτίθεται ότι κάηκε το 7% της συνολικής εκτάσεως. Η μεταβολή του CN είναι 1% σε σχέση με το αρχικό, δηλαδή από 83.5 που ήταν αρχικά γι' αυτό το σενάριο σε 84.6. Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται οι χρήσεις γης του Σεναρίου 3β και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D.

Πίνακας 11: Χρήσεις γης Σεναρίου 3β και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D

Κωδικός corine	Περιγραφή	D	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	86	0.04	0.05
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	86	7.45	8.58
223	Δάσος κωνοφόρων	82	20.36	23.46
231	Λιβάδια	85	1.02	1.17
242	Σύνθετες καλλιέργειες	86	0.46	0.53
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	86	23.61	27.20
312	Δάσος κωνοφόρων	80	0.56	0.64
321	Φυσικοί βοσκότοποι	84	15.42	17.76
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	80	0.48	0.55
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	80	10.27	11.83
334	Καμένες εκτάσεις	95	7.07	8.14



Εικόνα 39: Χρήσεις γης Σεναρίου 3β



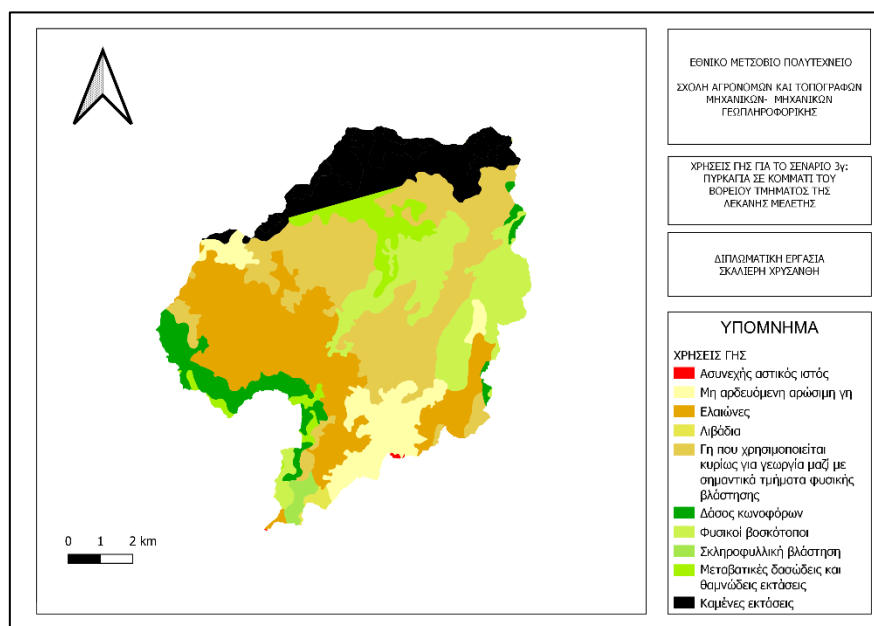
Εικόνα 40: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3β

Στην Εικόνα 40 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού καμύλης CN αρχικής κατάστασης και του Σεναρίου 3β.

3. Σενάριο 3γ: Στο τρίτο σενάριο πυρκαγιάς θεωρήθηκε ότι κάηκε ένα κομμάτι στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 41). Υποτίθεται πως κάηκαν 11.30 km<sup>2</sup>, δηλαδή το 13.02% της συνολικής έκτασης (Πίνακας 11). Το CN για το σενάριο αυτό υπολογίστηκε ότι είναι 85.2, δηλαδή είναι αυξημένο κατά 2% σε σχέση με το αρχικό.

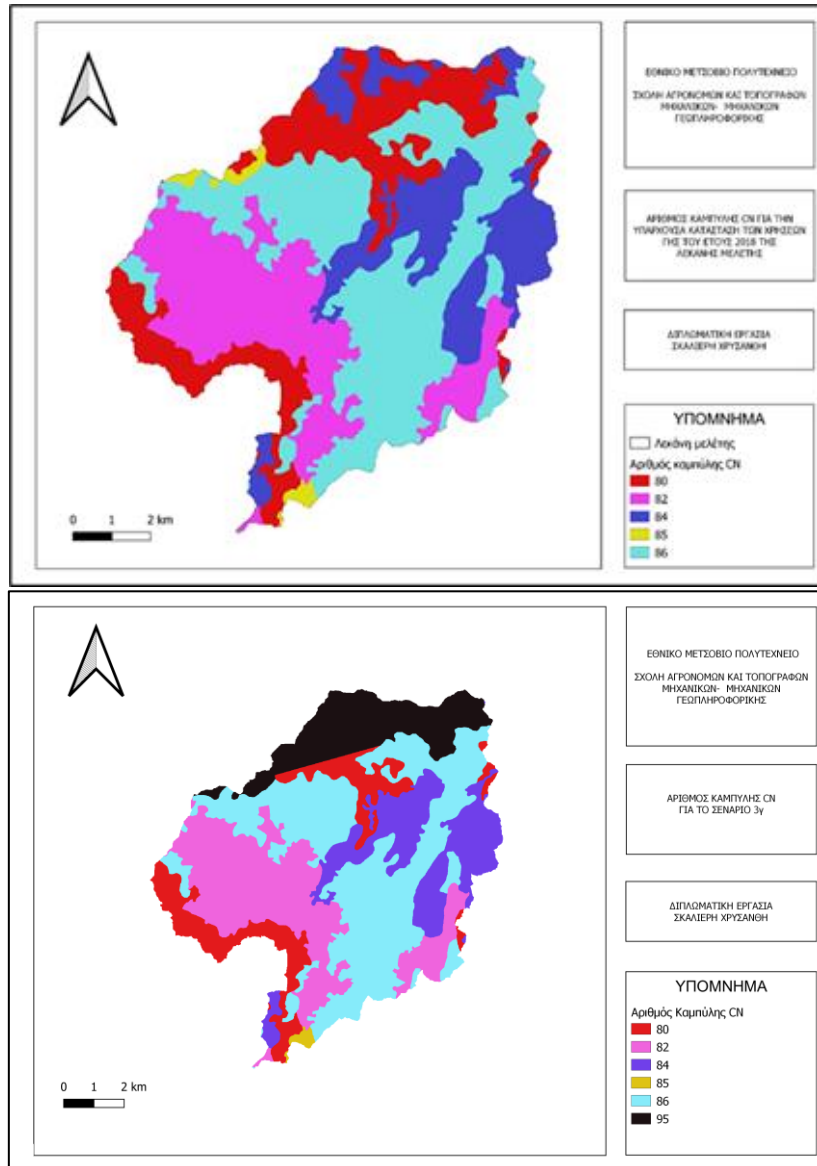
Πίνακας 12: Χρήσεις γης Σεναρίου 3γ και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II για κατηγορία διαπερατότητας D

Κωδικός corine	Περιγραφή	D	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	86	0.04	0.05
211	Μη αρδευόμενη αρώσιμη γη	86	7.45	8.58
223	Δάσος κωνοφόρων	82	20.49	23.60
231	Λιβάδια	85	0.38	0.44
243	Περιοχή που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	86	23.61	27.20
312	Δάσος κωνοφόρων	80	5.09	5.86
321	Φυσιικοί βοσκότοποι	84	13.07	15.06
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	80	0.78	0.90
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	80	4.77	5.50
334	Καμένες εκτάσεις	95	11.30	13.02



Εικόνα 41: Χρήσεις γης Σεναρίου 3γ

Στην Εικόνα 42 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και του Σεναρίου 3γ.



Εικόνα 42: Χάρτες χωρικής κατανομής αριθμού καμπύλης CN αρχικής κατάστασης και Σεναρίου 3γ

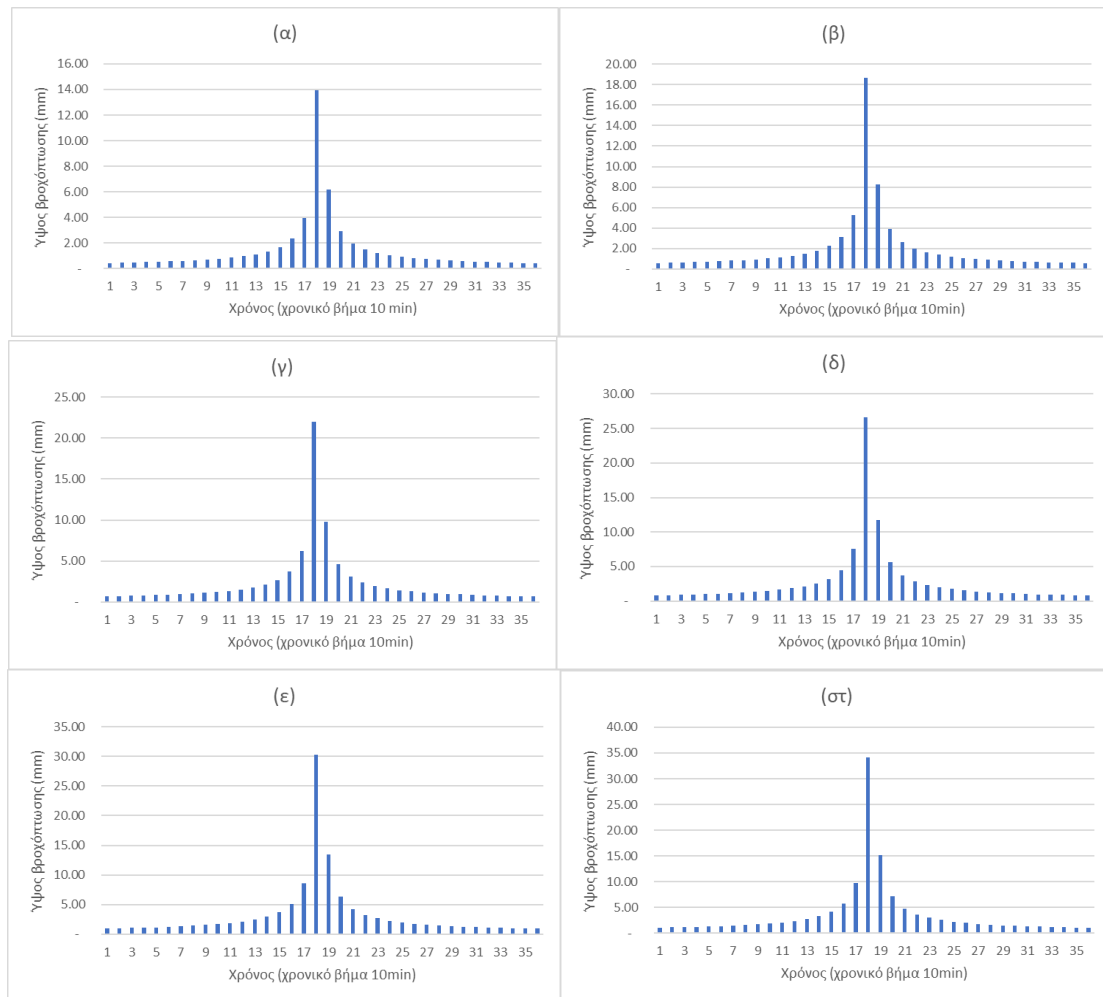
### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1. Υετογράμματα με βάση τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται ενδεικτικά τα υετογράμματα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδων επαναφοράς 2, 5, 10, 25, 50 και 100 ετών, για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ωρών με χρονικό βήμα 10 λεπτών.

Στην Εικόνα 43 παρουσιάζονται τα υετογράμματα βροχόπτωσης για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 (α), 5 (β), 10 (γ), 25 (δ), 50 (ε) και 100 (στ) ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6 ωρών, για τη λεκάνη μελέτης του ποταμού Τσικνιά. Παρατηρείται ότι:

- Στο υετόγραμμα (α) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 13.9 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 53.7 mm.
- Στο υετόγραμμα (β) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 18.6 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 71.9 mm.
- Στο υετόγραμμα (γ) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 22.0 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 84.9 mm.
- Στο υετόγραμμα (δ) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 26.6 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 105.5 mm.
- Στο υετόγραμμα (ε) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 30.3 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 116.6 mm.
- Στο υετόγραμμα (στ) το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης είναι 34.1 mm και το συνολικό ύψος βροχόπτωσης είναι ίσο με 131.4 mm.



**Εικόνα 43:** Υετογράμματα συνολικής βροχόπτωσης για γεγονότα σχεδιασμού περιόδων επαναφοράς 2 (α), 5 (β), 10 (γ), 25 (δ), 50 (ε) και 100 (στ) ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για τη λεκάνη μελέτης

Στον Πίνακα 13 που ακολουθεί απεικονίζεται η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης για διάρκεια 6 h και διάφορες περιόδους επαναφοράς με χρονικό βήμα 10 min για την λεκάνη απορροής ενδιαφέροντος του ποταμού Τρικιά.

Πίνακας 13: Συνολική βροχόπτωσης (mm) διάρκειας 6h και διαφορετικών περιόδων επαναφοράς T σε έτη για τη λεκάνη μελέτης του ποταμού Τσικνιά

t (min)	T= 2 έτη	T= 5 έτη	T= 10 έτη	T= 25 έτη	T= 50 έτη	T= 100 έτη
10	0.42	0.57	0.67	0.81	0.92	1.04
20	0.44	0.60	0.70	0.85	0.97	1.09
30	0.47	0.63	0.74	0.89	1.02	1.14
40	0.49	0.66	0.78	0.94	1.07	1.21
50	0.52	0.70	0.83	1.00	1.13	1.28
60	0.56	0.74	0.88	1.06	1.21	1.36
70	0.60	0.80	0.94	1.14	1.29	1.46
80	0.64	0.86	1.01	1.23	1.39	1.57
90	0.70	0.93	1.10	1.33	1.51	1.71
100	0.77	1.02	1.21	1.46	1.66	1.87
110	0.85	1.14	1.35	1.63	1.85	2.08
120	0.96	1.29	1.52	1.84	2.09	2.36
130	1.12	1.49	1.76	2.13	2.42	2.73
140	1.34	1.79	2.11	2.55	2.90	3.27
150	1.69	2.26	2.67	3.22	3.66	4.13
160	2.33	3.12	3.69	4.46	5.07	5.71
170	3.95	5.29	6.25	7.55	8.58	9.67
180	13.93	18.65	22.03	26.61	30.26	34.10
190	6.16	8.25	9.75	11.77	13.39	15.09
200	2.92	3.91	4.62	5.58	6.35	7.15
210	1.95	2.61	3.09	3.73	4.24	4.78
220	1.49	1.99	2.35	2.84	3.23	3.64
230	1.21	1.63	1.92	2.32	2.64	2.97
240	1.03	1.38	1.63	1.97	2.24	2.53
250	0.90	1.21	1.43	1.73	1.96	2.21
260	0.81	1.08	1.27	1.54	1.75	1.97
270	0.73	0.98	1.15	1.39	1.58	1.79
280	0.67	0.89	1.06	1.28	1.45	1.64
290	0.62	0.83	0.98	1.18	1.34	1.51
300	0.58	0.77	0.91	1.10	1.25	1.41
310	0.54	0.72	0.85	1.03	1.17	1.32
320	0.51	0.68	0.80	0.97	1.10	1.24
330	0.48	0.64	0.76	0.92	1.04	1.17
340	0.46	0.61	0.72	0.87	0.99	1.12
350	0.43	0.58	0.69	0.83	0.94	1.06
360	0.41	0.56	0.66	0.79	0.90	1.02

### 3.2. Υδρογραφήματα με βάση τα αποτελέσματα του HEC-HMS

Αφού έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό HEC-HMS, εφαρμόστηκε το υδρολογικό μοντέλο με την εντολή Compute Run. Με αυτή την εντολή τα αποτελέσματα που εξάγονται αφορούν την βροχόπτωση, τις απώλειες και την απορροή σε μορφή πινάκων

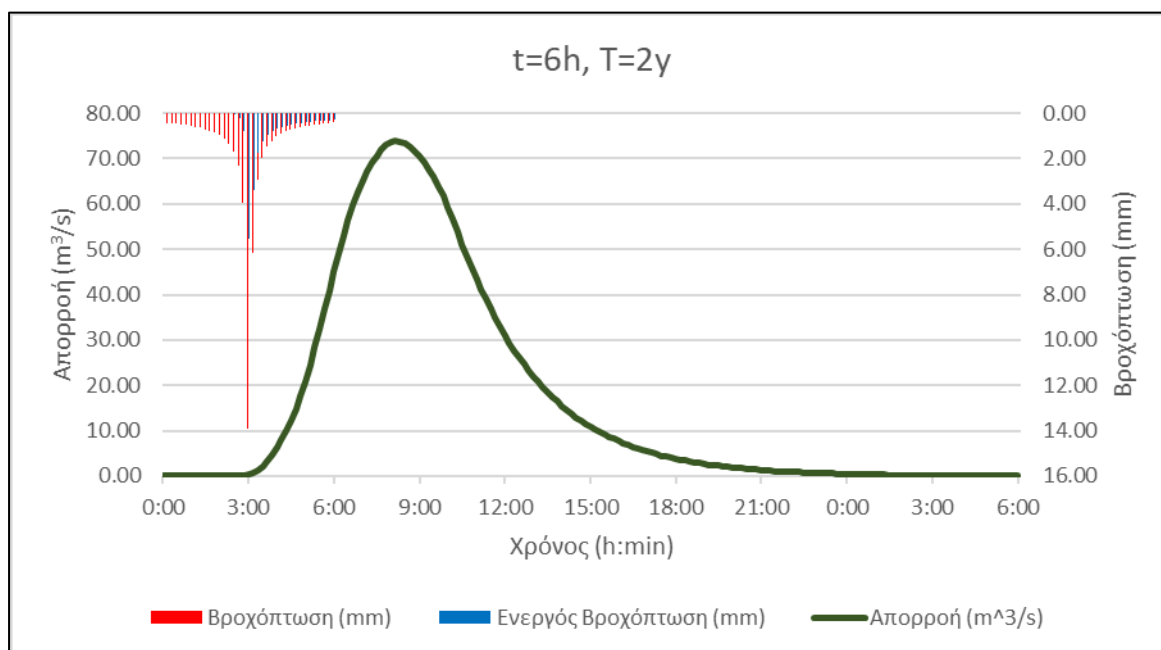


και διαγραμμάτων. Τα υδρογραφήματα της λεκάνης και τα διαγράμματα για τις βροχοπτώσεις ανακατασκευάστηκαν στο excel με σκοπό να παρουσιαστούν στην παρούσα εργασία.

### 3.2.1. Υπάρχουσα κατάσταση

Παρακάτω παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ( $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη) και για διάρκεια βροχόπτωσης 6h, τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο της λεκάνης για την υφιστάμενη κατάσταση. Επιπλέον, στο Παράρτημα παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα για τις ίδιες περιόδους επαναφοράς και για διάρκειες βροχόπτωσης 12h και 24h (Εικ. Π1 έως Π12) και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση, για τις οποίες ισχύει: (Ενεργός βροχόπτωση) = (Συνολική βροχόπτωση) – (Απώλειες).

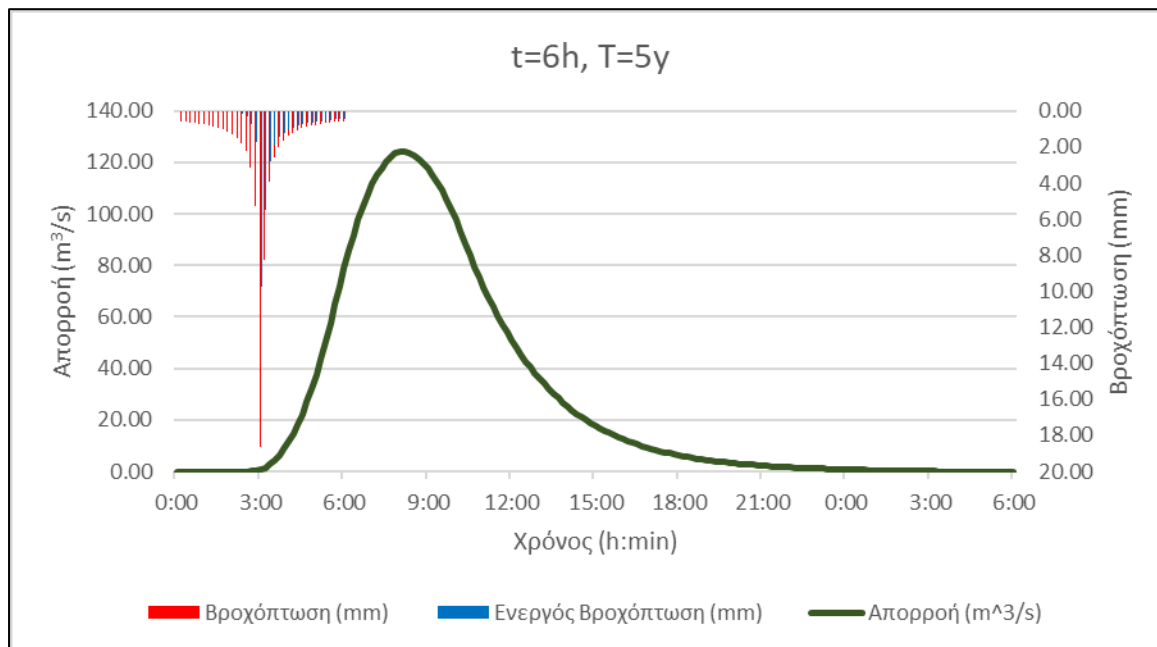
Στην Εικόνα 44 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 2$  έτη και διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για την αρχική κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $73.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με  $13.9 \text{ mm}$  και η ενεργός βροχόπτωση ίση με  $5.5 \text{ mm}$ . Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



Εικόνα 44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h

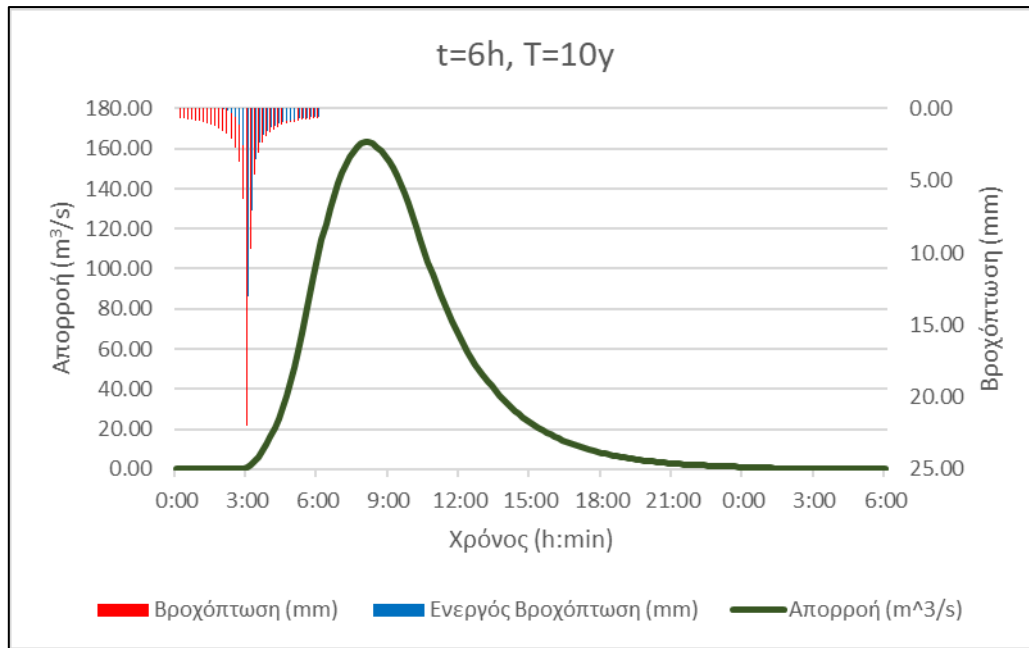
Στην Εικόνα 45 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες

για την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $124.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με  $18.6 \text{ mm}$  και η ενεργός βροχόπτωση ίση με  $9.8 \text{ mm}$ . Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



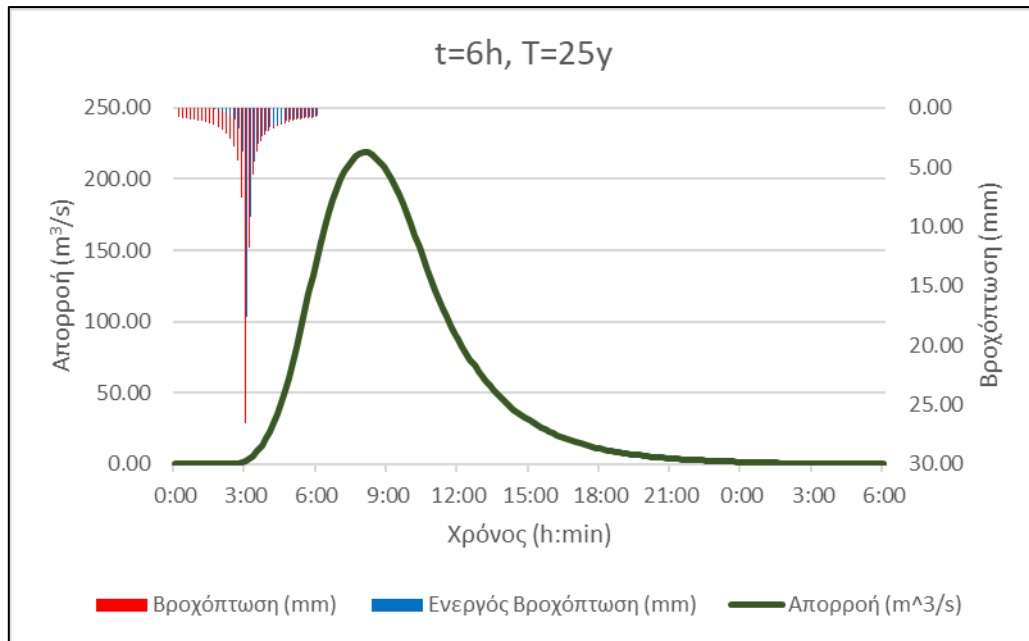
Εικόνα 45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h

Στην Εικόνα 46 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για την αρχική κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $163.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με  $22.0 \text{ mm}$  και η ενεργός βροχόπτωση ίση με  $13.0 \text{ mm}$ . Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



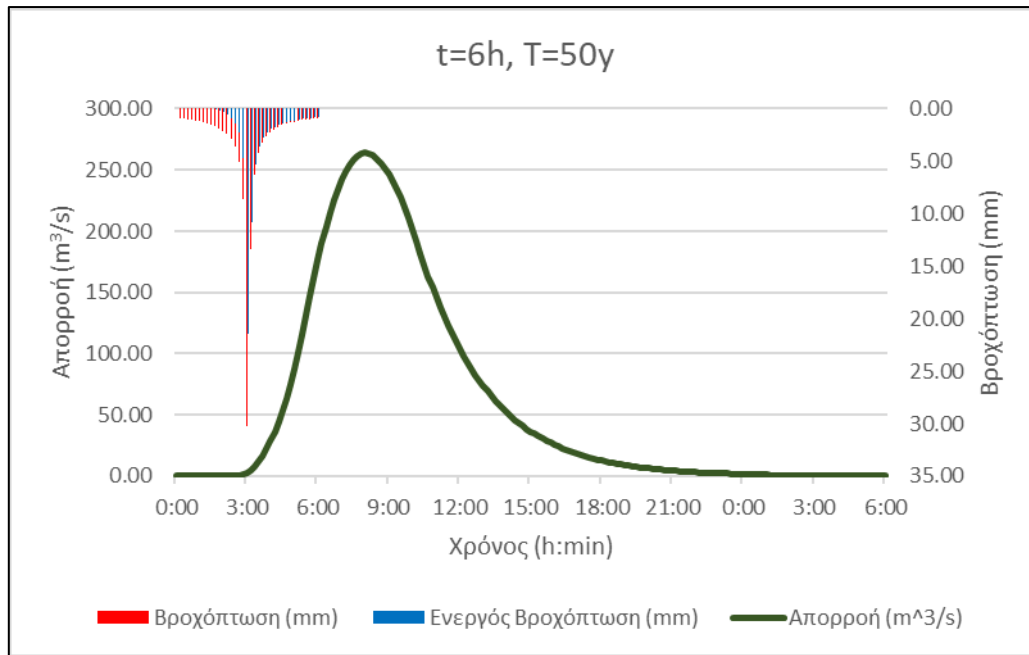
Εικόνα 46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h

Στην Εικόνα 47 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς T= 25 έτη και διάρκειας βροχόπτωσης t= 6 ώρες για την αρχική κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με 218.9 m<sup>3</sup>/s, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 26.6 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 17.70 mm. Ο πλημμυρικός όγκος είναι 5.2 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.



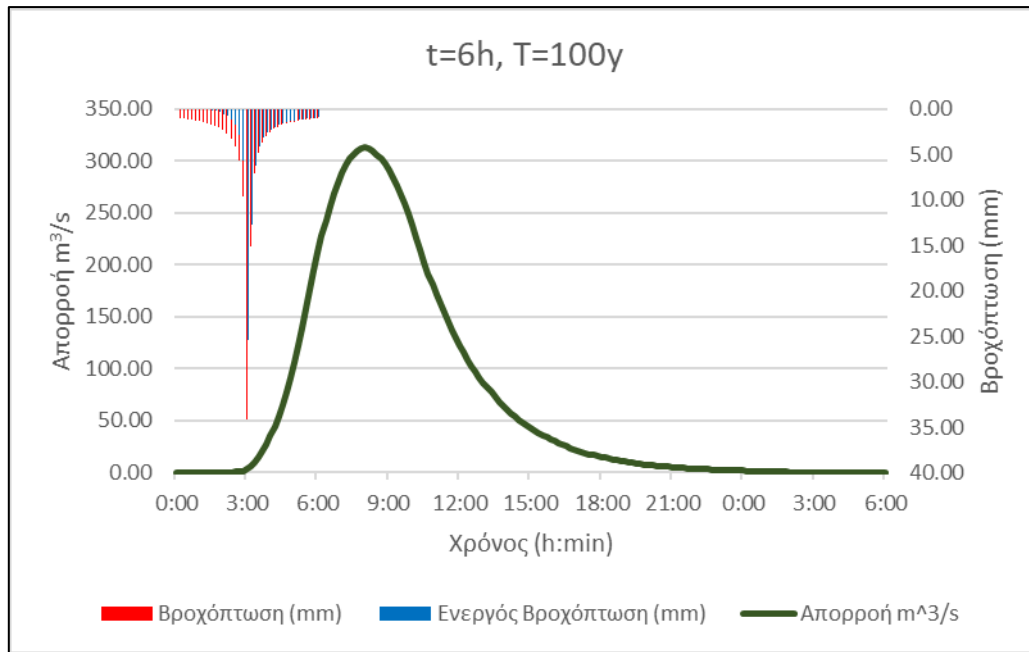
Εικόνα 47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h

Στην Εικόνα 48 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς T= 50 έτη και διάρκειας βροχόπτωσης t= 6 ώρες για την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με 264.3 m<sup>3</sup>/s, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 30.3 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 21.4 mm. Ο πλημμυρικός όγκος είναι 6.3 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.



*Εικόνα 48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h*

Στην Εικόνα 49 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς T= 100 έτη και διάρκειας βροχόπτωσης t= 6 ώρες για την αρχική κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με 313.4 m<sup>3</sup>/s, η συνολική βροχόπτωση είναι ίση με 34.1 mm και η ενεργός βροχόπτωση ίση με 25.4 mm. Ο πλημμυρικός όγκος είναι 7.4 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.



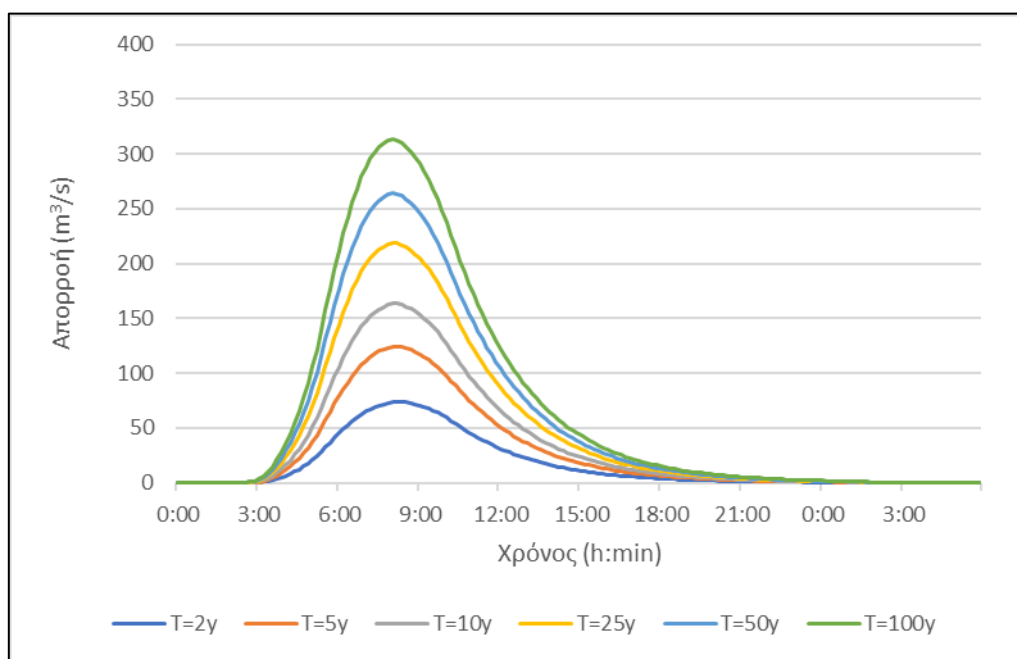
Εικόνα 49: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π1 έως Π12) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για την υφιστάμενη κατάσταση. Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για την υφιστάμενη κατάσταση.

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
12	2	90.9	13.9	7.1	2.5	Εικόνα Π1
12	5	149.0	18.6	7.2	4.0	Εικόνα Π2
12	10	193.1	22.0	7.2	5.2	Εικόνα Π3
12	25	255.1	26.6	7.1	6.8	Εικόνα Π4
12	50	305.6	30.3	6.9	8.2	Εικόνα Π5
12	100	359.6	34.1	6.7	9.6	Εικόνα Π6
24	2	107.6	13.9	6	3.4	Εικόνα Π7
24	5	171.7	18.6	5.9	5.3	Εικόνα Π8
24	10	219.5	22.0	5.8	6.8	Εικόνα Π9
24	25	285.9	26.6	5.5	8.8	Εικόνα Π10
24	50	339.2	30.3	5.4	10.5	Εικόνα Π11
24	100	395.7	34.1	5.1	12.2	Εικόνα Π12

Στην Εικόνα 51 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις υπάρχουσες χρήσεις γης για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Η παροχή αιχμής κυμαίνεται από  $73.9 \text{ m}^3/\text{s}$  για περίοδο επαναφοράς 2 ετών έως  $313.4 \text{ m}^3/\text{s}$  για περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  για περίοδο επαναφοράς 2 ετών ενώ για 100 έτη είναι  $7.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

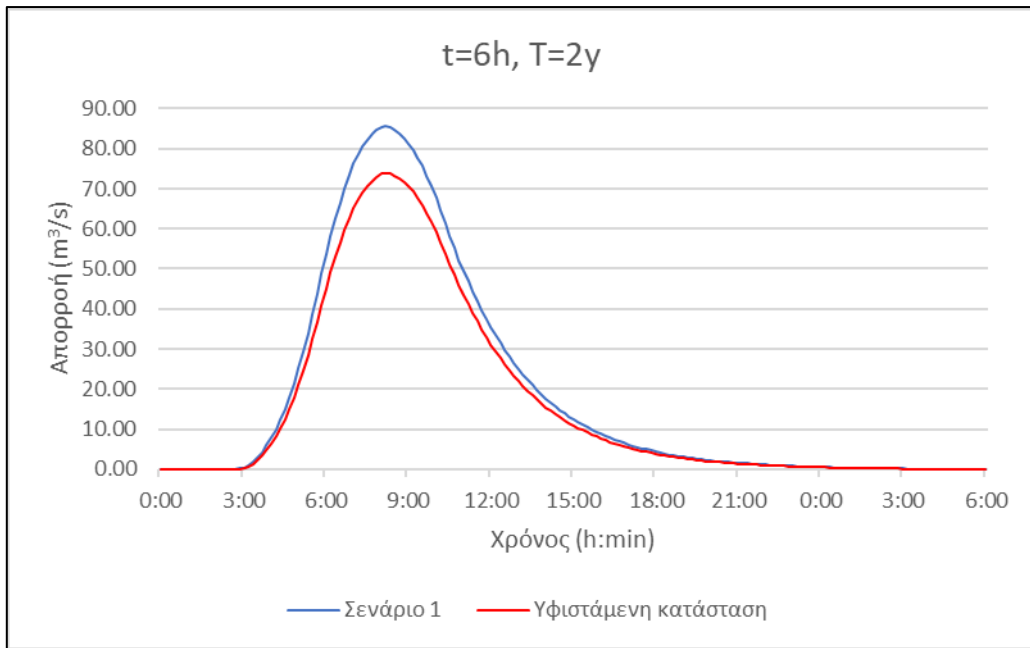


Εικόνα 50: Συγκεντρωτικό πλημμυρικό υδρογράφημα για  $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t = 6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση

### 2.3.2. Σενάριο 1

Παρακάτω παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ( $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη) και για διάρκεια βροχόπτωσης 6h, τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο της λεκάνης για το Σενάριο 1 (Αστικοποίηση) σε σύγκριση με την υπάρχουσα κατάσταση.

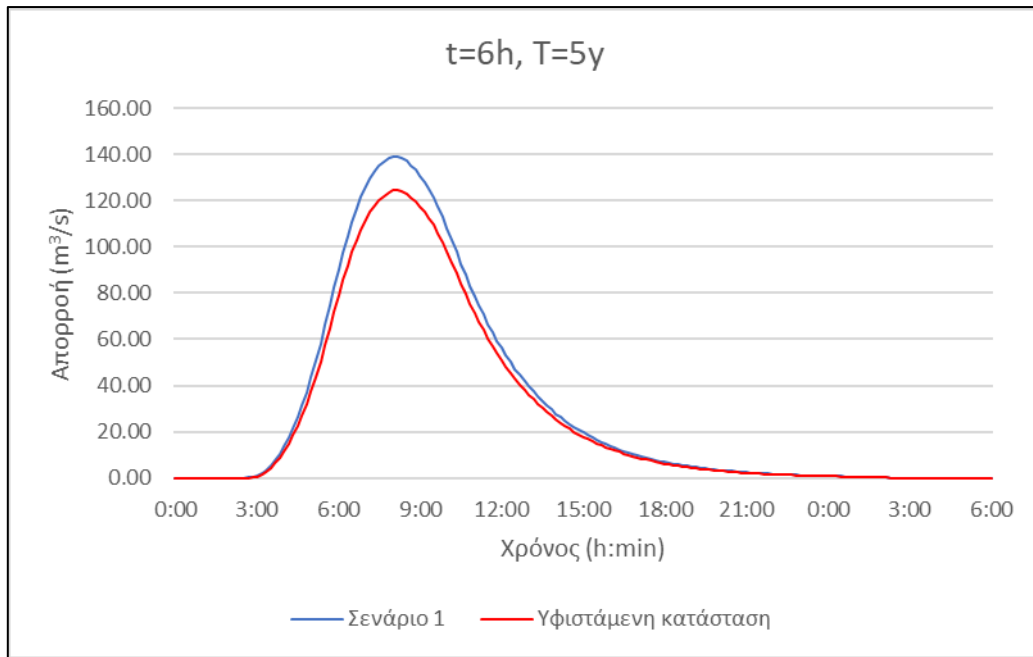
Στην Εικόνα 51 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 2$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 1 και για την υπάρχουσα κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $85.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι περίπου 15% παραπάνω σε σχέση με αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης ( $73.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος κατά 10%.



*Εικόνα 51: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υπάρχουσα κατάσταση*

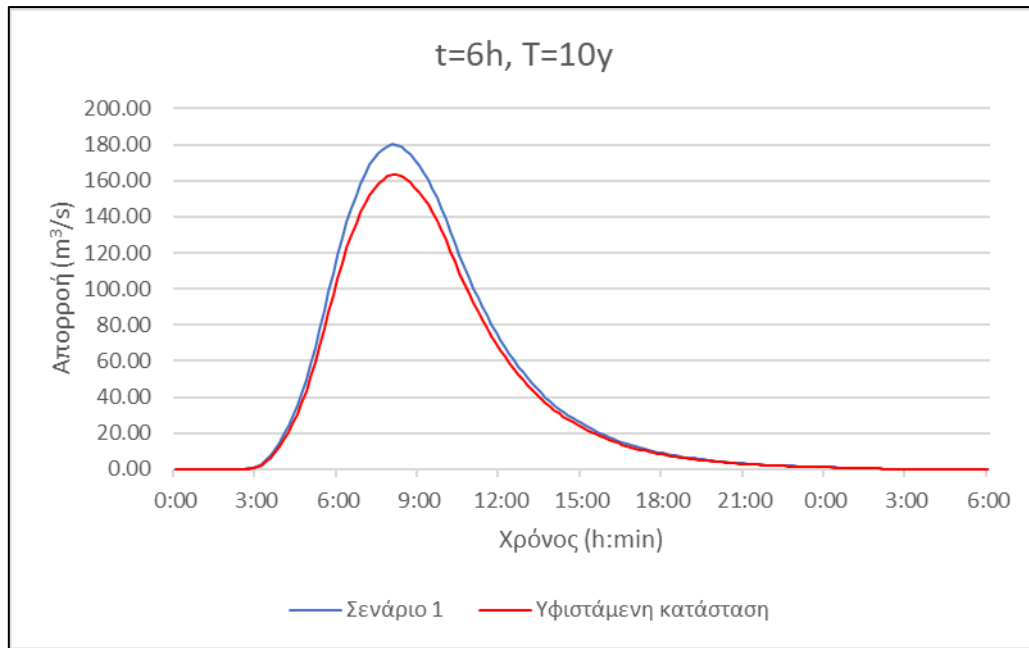
Στην Εικόνα 52 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $139.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή περίπου 12% παραπάνω από αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος κατά 10%.





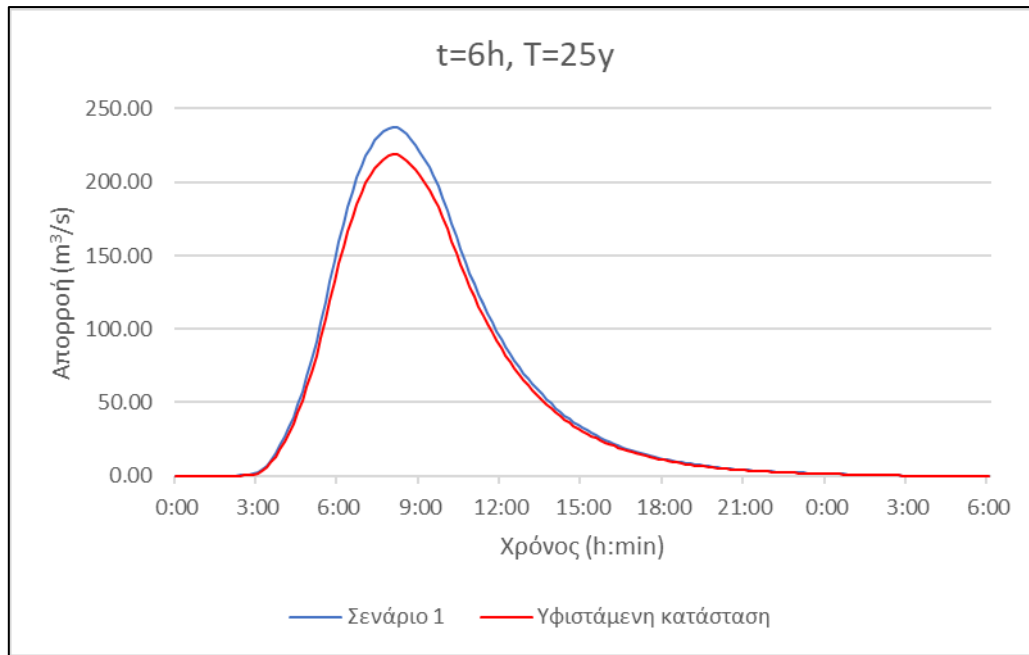
*Εικόνα 52: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 53 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $180.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή έχει 10% αύξηση σε σχέση με την αρχική. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 10%.



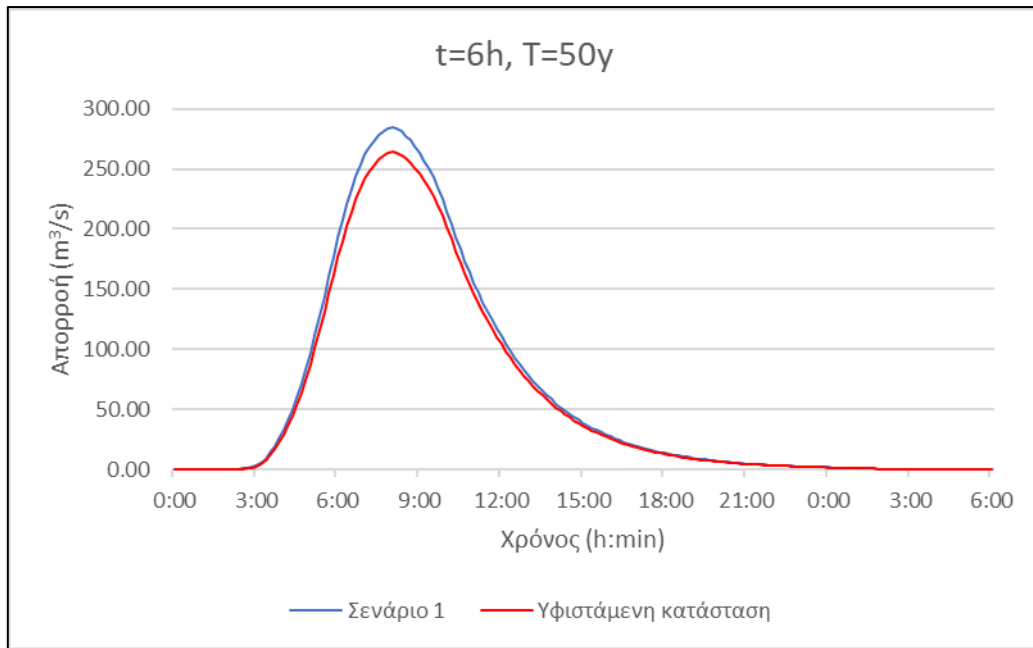
*Εικόνα 53: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 54 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=25$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 1 και την υπάρχουσα κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $237.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή υπάρχει μια αύξηση περίπου 9% σε σχέση με την αρχική. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $5.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



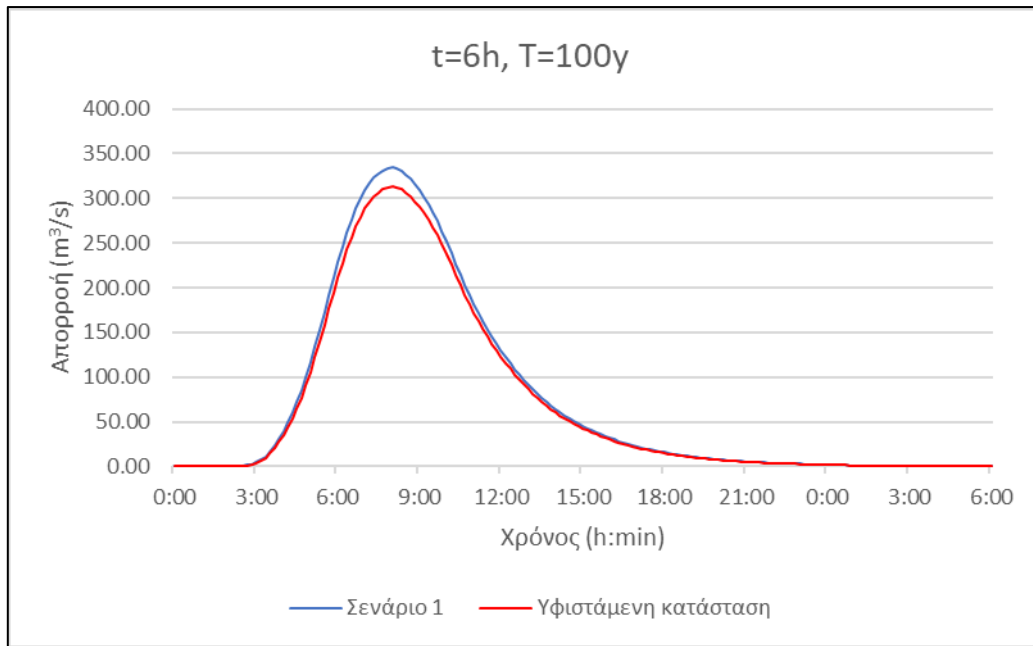
*Εικόνα 54: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 55 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=50$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 1. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $284.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 7.5% περίπου από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $6.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



*Εικόνα 55: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 56 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 100$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $334.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 7% σε σχέση με αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $7.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 7%.



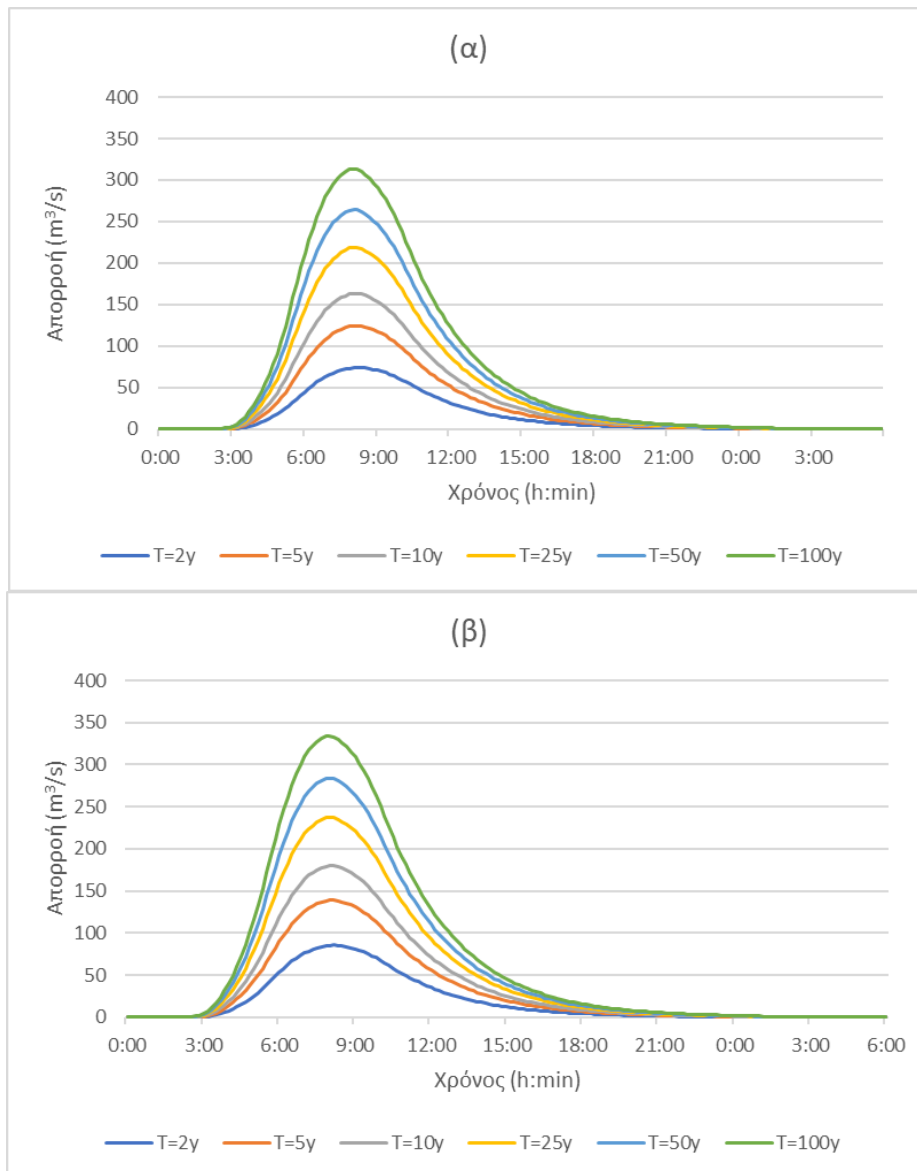
*Εικόνα 56: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1 και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π13 έως Π30) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 1. Επιπλέον παρουσιάζονται στα αντίστοιχα γραφήματα και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση, για τις οποίες ισχύει: (Ενεργός βροχόπτωση)= (Συνολική βροχόπτωση) – (Απώλειες). Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα στον Πίνακα 15:

Πίνακας 15: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 1

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
6	2	85.6	13.9	7.3	2.0	Εικόνα Π13
6	5	139.2	18.6	7.5	3.3	Εικόνα Π14
6	10	180.1	22.0	7.5	4.3	Εικόνα Π15
6	25	237.5	26.6	7.4	5.6	Εικόνα Π16
6	50	284.2	30.3	7.2	6.8	Εικόνα Π17
6	100	334.4	34.1	7	7.9	Εικόνα Π18
12	2	103.5	13.9	6	2.8	Εικόνα Π19
12	5	164.4	18.6	6.3	4.4	Εικόνα Π20
12	10	210.0	22.0	5.9	5.6	Εικόνα Π21
12	25	273.7	26.6	5.7	7.3	Εικόνα Π22
12	50	325.1	30.3	5.6	8.7	Εικόνα Π23
12	100	379.8	34.1	5.3	10.2	Εικόνα Π24
24	2	120.5	13.9	5	3.7	Εικόνα Π25
24	5	186.8	18.6	4.8	5.8	Εικόνα Π26
24	10	235.6	22.0	4.6	7.3	Εικόνα Π27
24	25	302.9	26.6	4.4	9.4	Εικόνα Π28
24	50	356.8	30.3	4.2	11.0	Εικόνα Π29
24	100	413.9	34.1	4.0	12.8	Εικόνα Π30

Στην Εικόνα 57 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για την υπάρχουσα κατάσταση (α) και για το Σενάριο 1 (β) για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών και για τις δύο περιπτώσεις ( $A=73.9 m^3/s$  και  $B= 85.6 m^3/s$ ) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ( $A=313.4 m^3/s$  και  $B=334.4 m^3/s$ ).



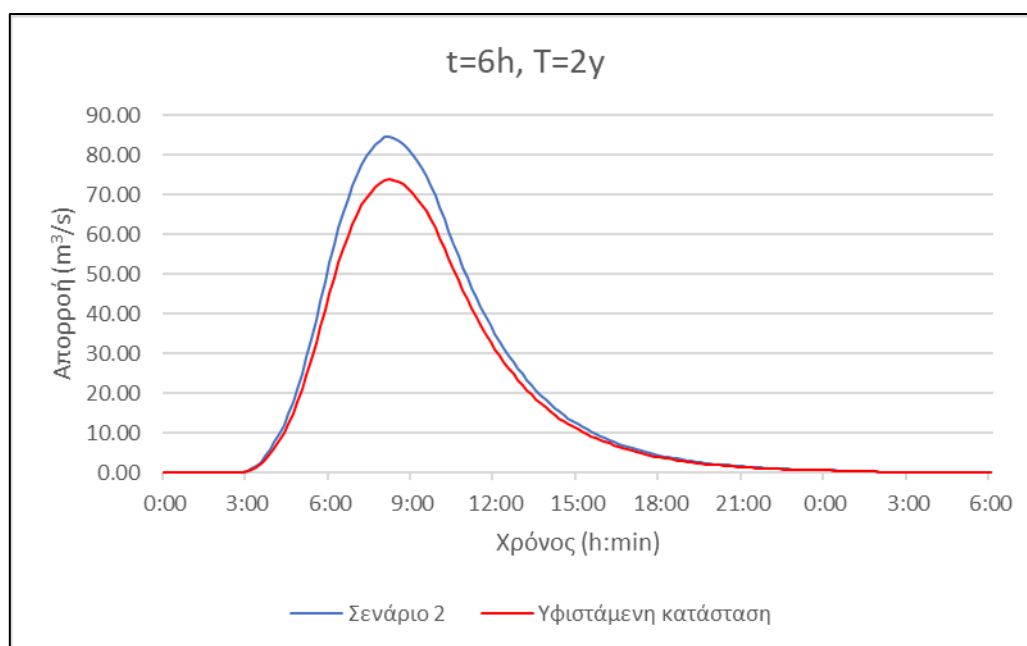
Εικόνα 57: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t=6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση (α) και για το Σενάριο 1 (β)

### 2.3.3. Σενάριο 2

Παρακάτω παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ( $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  years) και για διάρκεια βροχόπτωσης 6h, τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο της λεκάνης για το Σενάριο 2, όπου έγινε αλλαγή χρήσεως γης των δασών και των ελαιώνων σε περιοχή που καλύπτεται κυρίως από την γεωργία, και την υφιστάμενη κατάσταση.

Στην Εικόνα 58 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=2$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $84.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

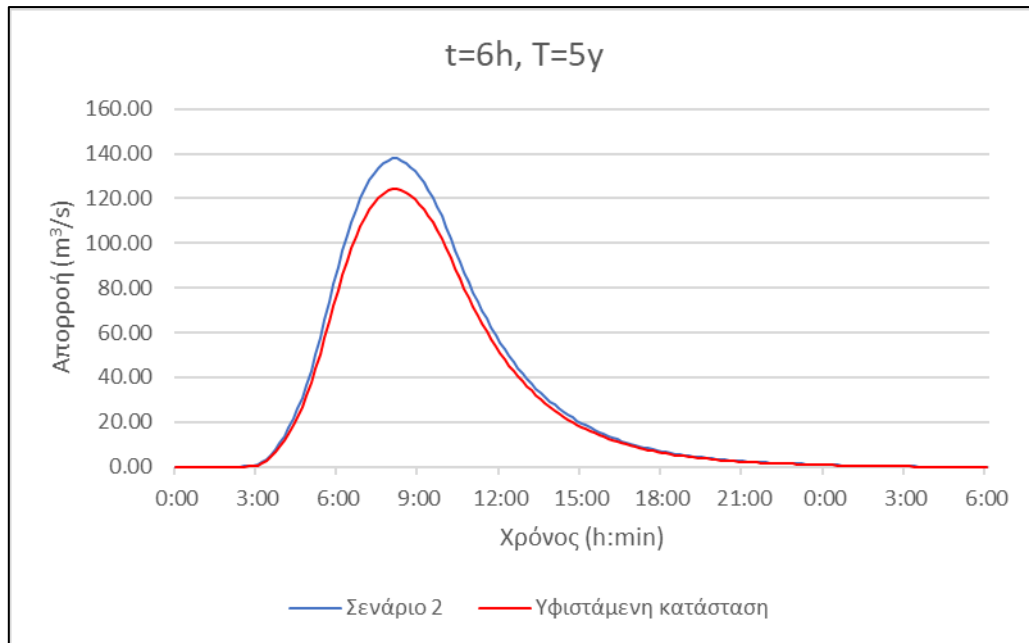
δηλαδή είναι αυξημένη 14% περίπου από αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος κατά 10%.



Εικόνα 58: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2

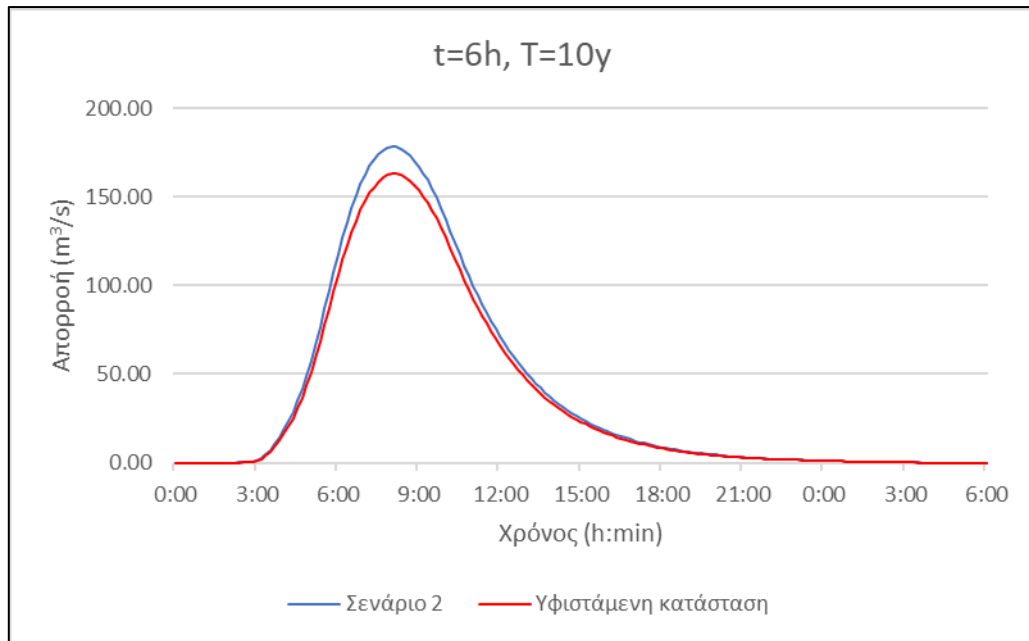
Στην Εικόνα 59 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $137.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη 11% περίπου από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος κατά 10%.





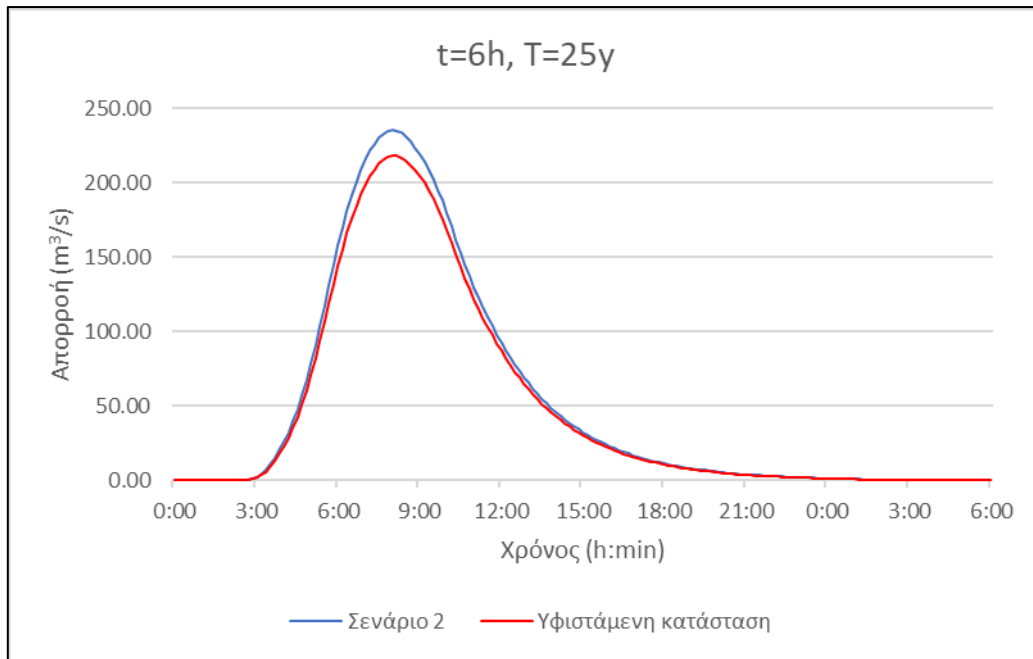
*Εικόνα 59: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2 και την υπάρχουσα κατάσταση*

Στην Εικόνα 60 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $178.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 9% από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $4.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



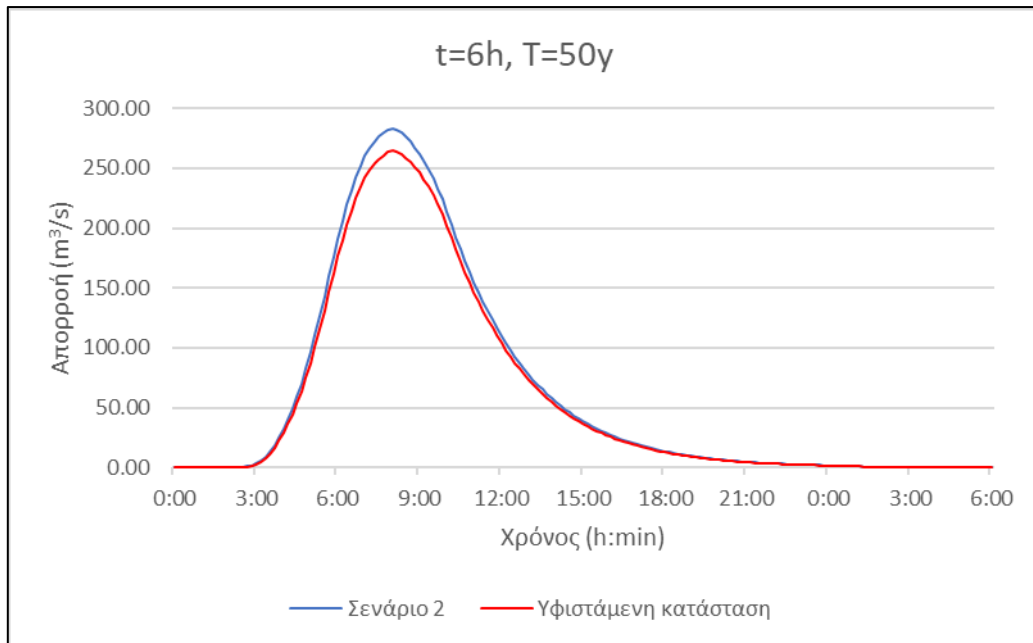
*Εικόνα 60: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2 και για την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 61 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 25$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $235.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 8% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $5.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



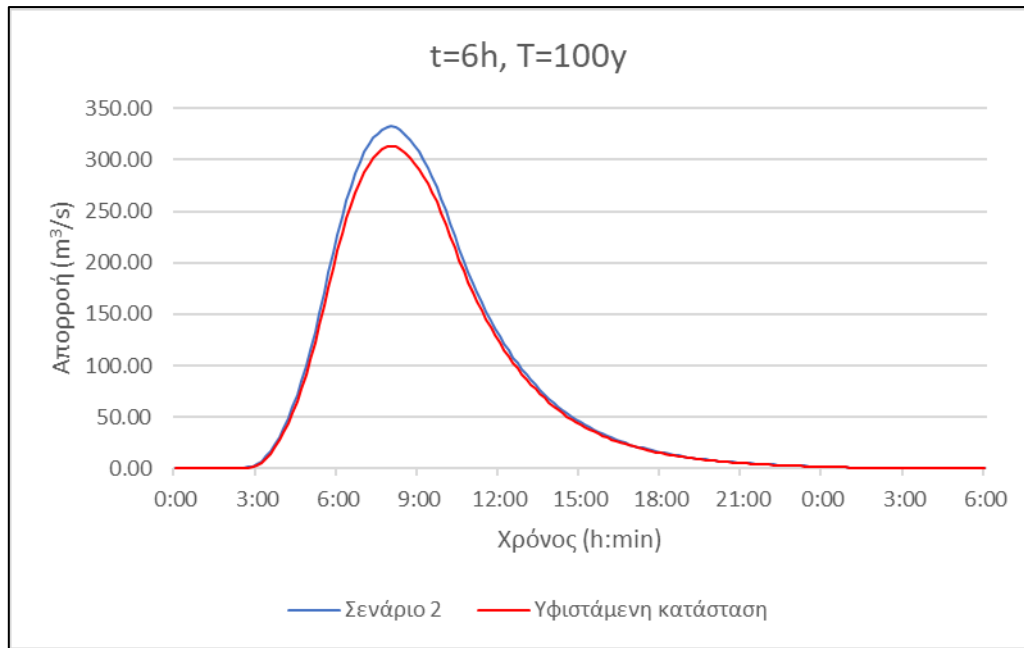
Εικόνα 61: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2 και για την υφιστάμενη κατάσταση

Στην Εικόνα 62 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=50$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $282.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 7% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $6.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



Εικόνα 62: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2 και για την υφιστάμενη κατάσταση

Στην Εικόνα 63 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 100$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 2 και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $332.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 6% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $7.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 7%.



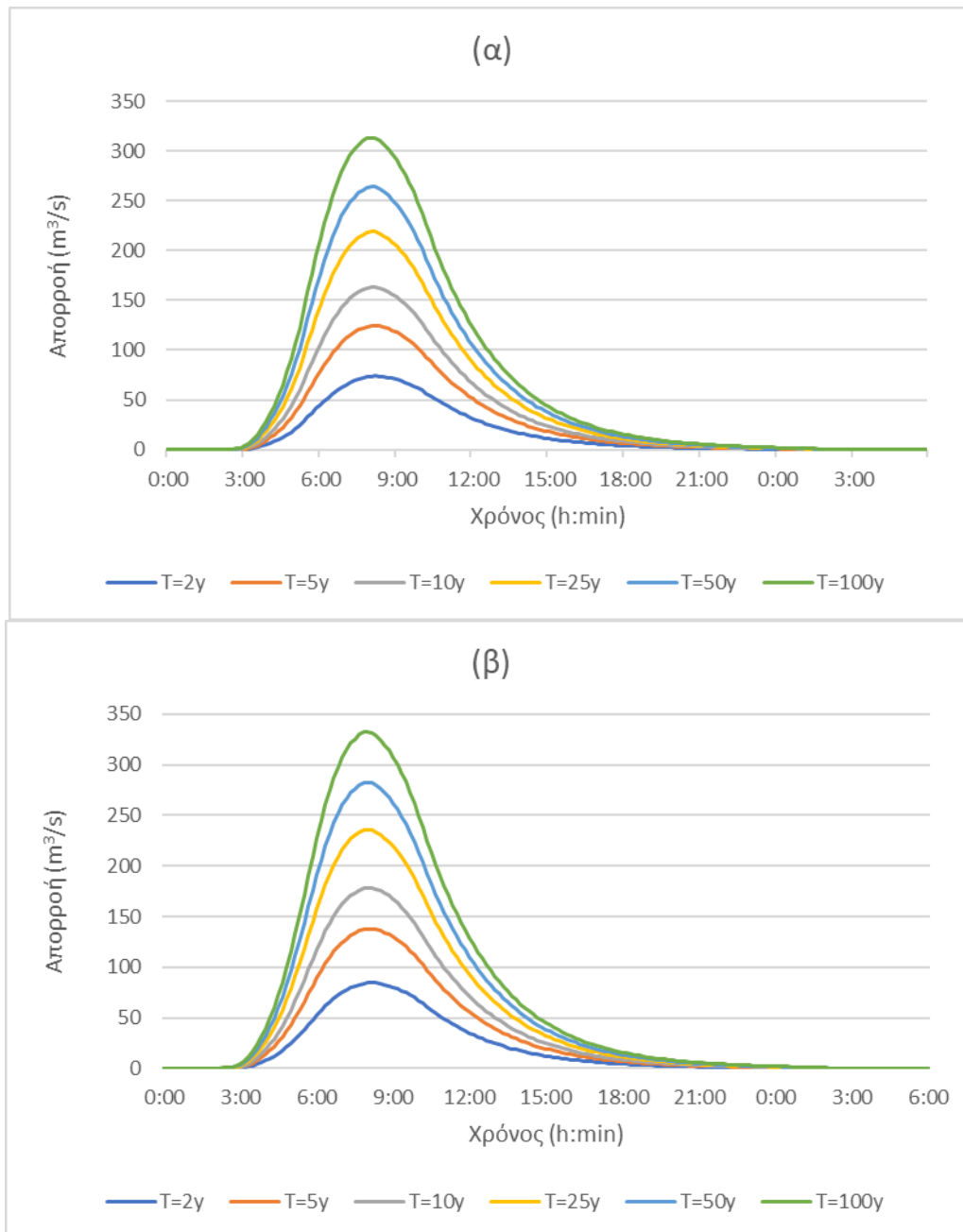
*Εικόνα 63: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2 και για την υφιστάμενη κατάσταση*

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π31 έως Π48) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 2. Επιπλέον παρουσιάζονται στα αντίστοιχα γραφήματα και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση, για τις οποίες ισχύει: (Ενεργός βροχόπτωση)= (Συνολική βροχόπτωση) – (Απώλειες). Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα στον Πίνακα 16:

Πίνακας 16: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 2.

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
6	2	84.5	13.9	7.4	2.0	Εικόνα Π31
6	5	137.9	18.6	7.6	3.3	Εικόνα Π32
6	10	178.6	22.0	7.6	4.2	Εικόνα Π33
6	25	235.9	26.6	7.5	5.6	Εικόνα Π34
6	50	282.5	30.3	7.4	6.7	Εικόνα Π35
6	100	332.5	34.1	7.1	7.9	Εικόνα Π36
12	2	102.4	13.9	6.1	2.8	Εικόνα Π37
12	5	163.0	18.6	6.1	4.4	Εικόνα Π38
12	10	208.5	22.0	6.0	5.6	Εικόνα Π39
12	25	272.1	26.6	5.7	7.3	Εικόνα Π40
12	50	323.4	30.3	5.7	8.7	Εικόνα Π41
12	100	378.0	34.1	5.4	10.1	Εικόνα Π42
24	2	119.4	13.9	5.0	3.7	Εικόνα Π43
24	5	185.4	18.6	4.9	5.7	Εικόνα Π44
24	10	234.2	22.0	4.7	7.2	Εικόνα Π45
24	25	301.4	26.6	4.5	9.3	Εικόνα Π46
24	50	355.3	30.3	4.3	11.0	Εικόνα Π47
24	100	412.4	34.1	4.1	12.8	Εικόνα Π48

Στην Εικόνα 64 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις χρήσεις γης της υφιστάμενης κατάστασης (α) και για το Σενάριο 2 (β) για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών και για τις δύο περιπτώσεις ( $A=73.9 m^3/s$  και  $B=84.5 m^3/s$ ) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ( $A=313.4 m^3/s$  και  $B=332.5 m^3/s$ ).



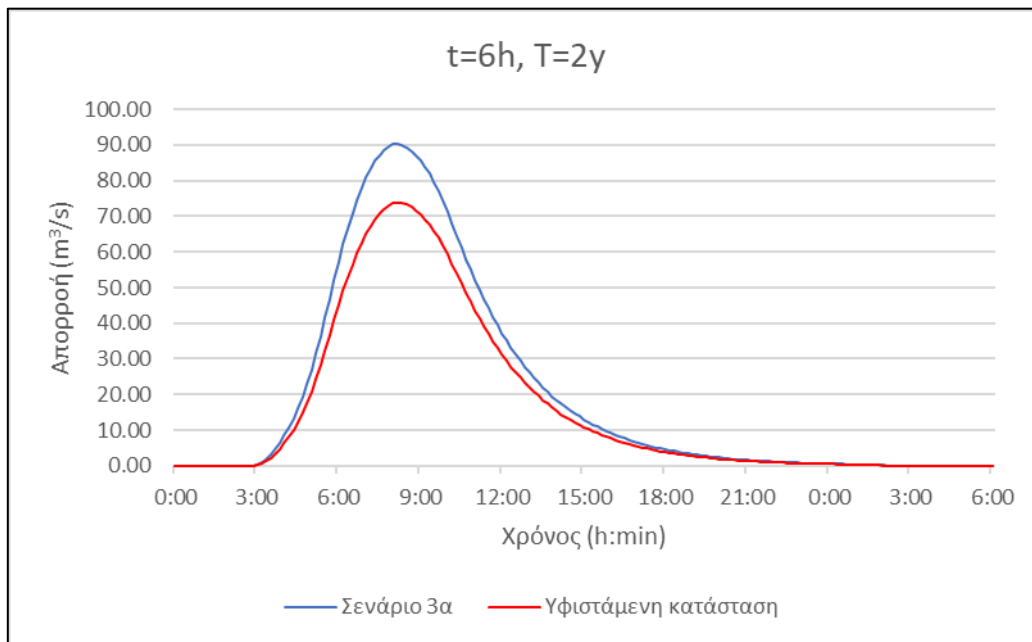
Εικόνα 64: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t=6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση (α) και για το Σενάριο 2 (β)

#### 2.3.4. Σενάριο 3

Στη συνέχεια παρουσιάζονται, για κάθε περίοδο επαναφοράς ( $T = 2, 5, 10, 25, 50, 100$  years) και για διάρκεια βροχόπτωσης 6h, τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα στην έξοδο της λεκάνης για κάθε ενδεχόμενο του Σεναρίου 3.

## 1. Σενάριο 3α

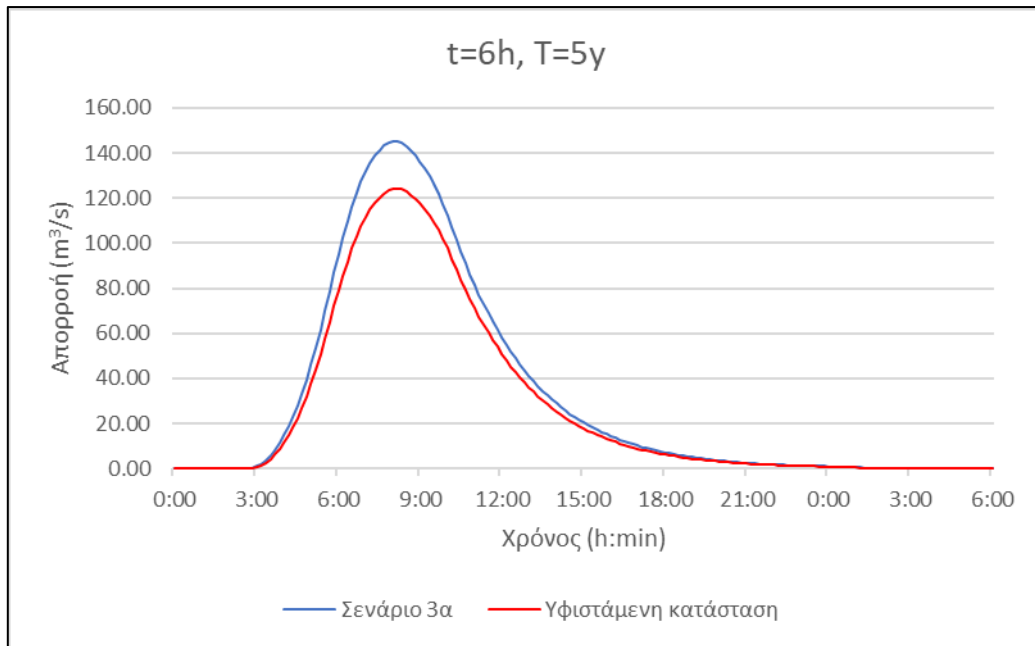
Στην Εικόνα 65 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=2$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3α, όπου υποτίθεται ότι έχει καεί ένα κομμάτι του βόρειου τμήματος της λεκάνης μελέτης, και για την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $90.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 22% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $2.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 10%.



Εικόνα 65: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση

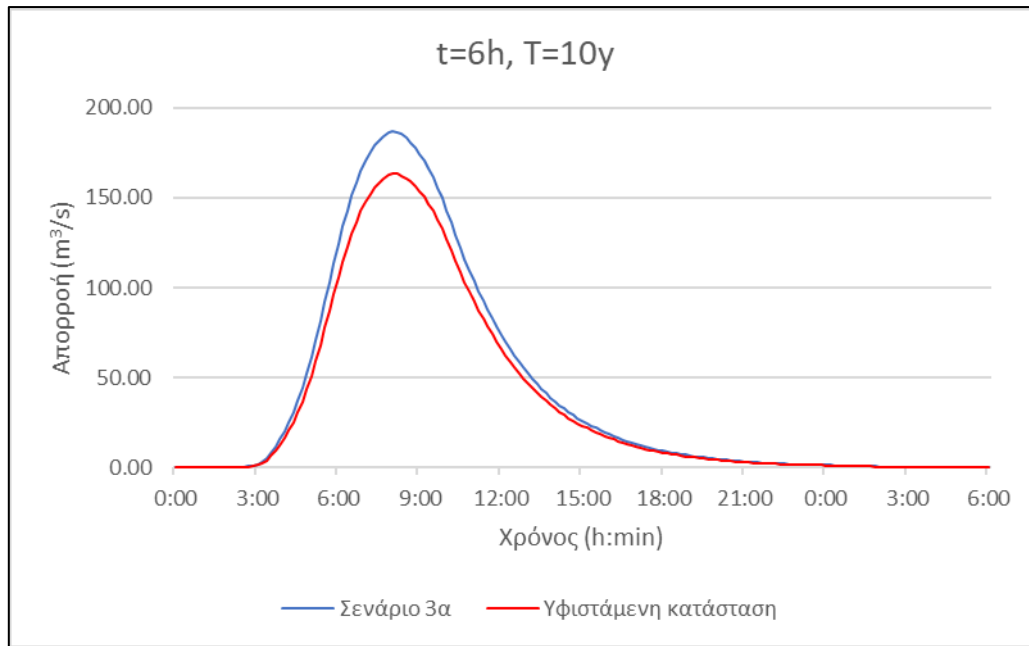
Στην Εικόνα 66 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $145.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη 17% από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 13%.





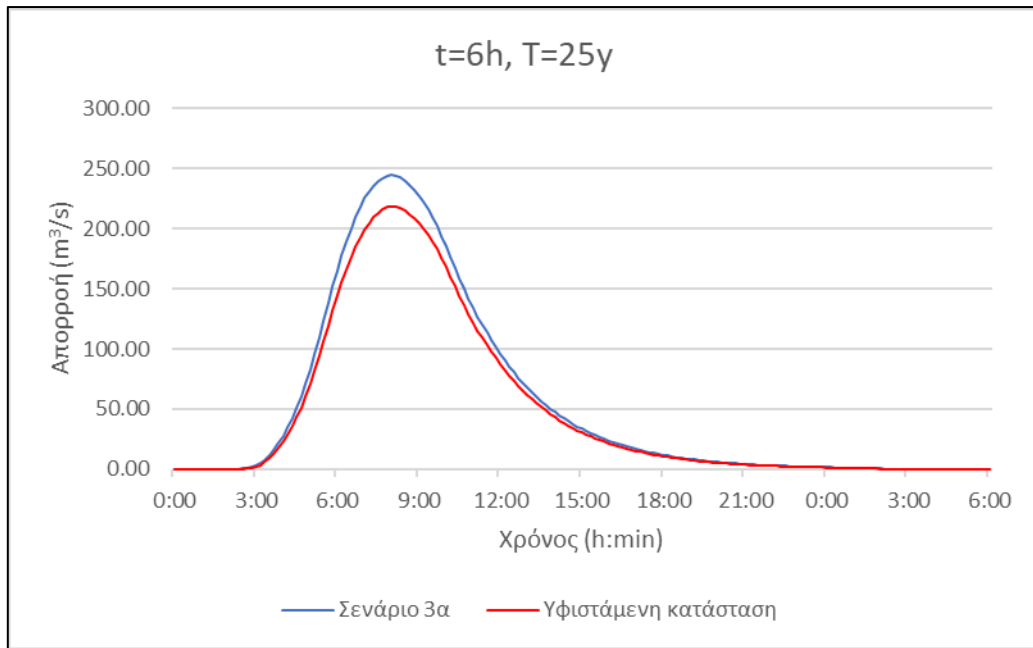
Εικόνα 66: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση

Στην Εικόνα 67 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $186.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 14% από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $4.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 13%.



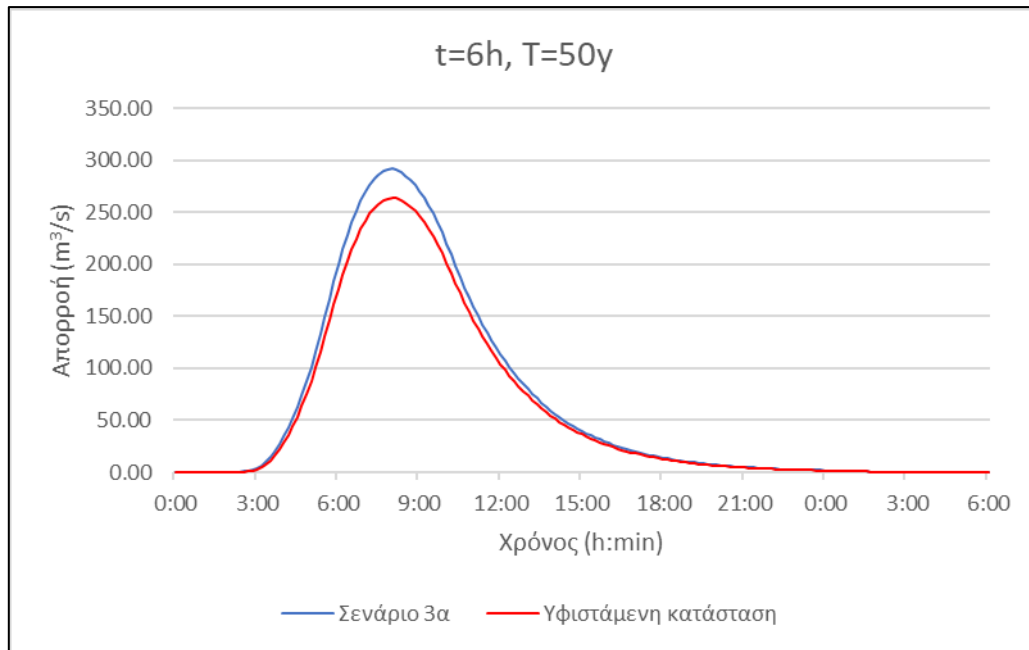
*Εικόνα 67: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 68 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=25$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $245.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι 12% περίπου αυξημένη από αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $5.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 12%.



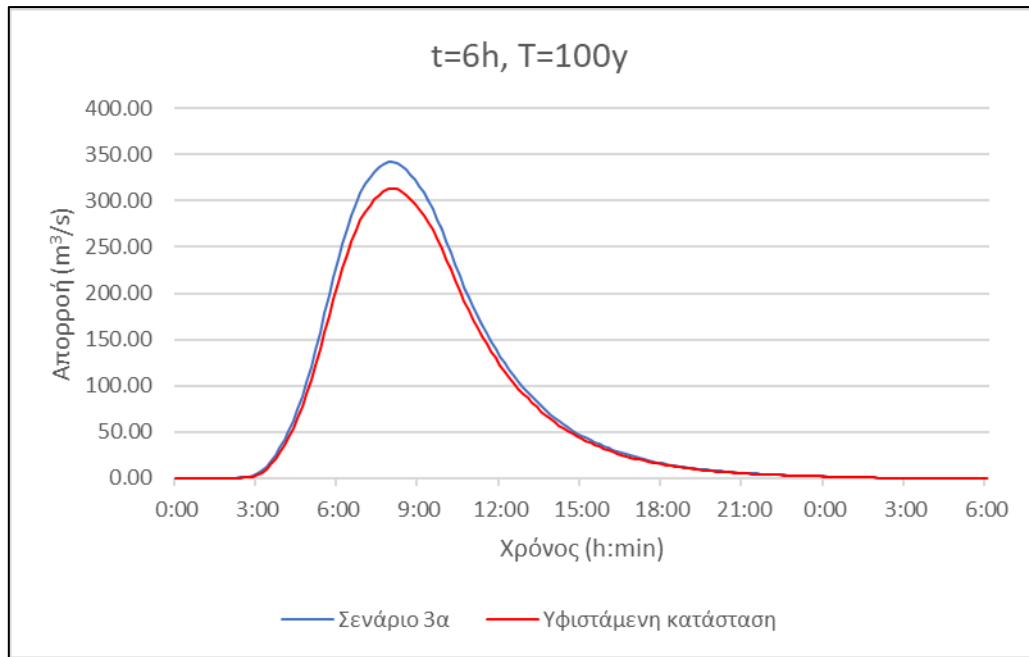
*Εικόνα 68: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 69 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=50$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $292.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη 11% περίπου σε σχέση με αυτήν της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $6.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 10%.



*Εικόνα 69: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 70 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 100$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $342.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη 9% σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $8.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 10%.



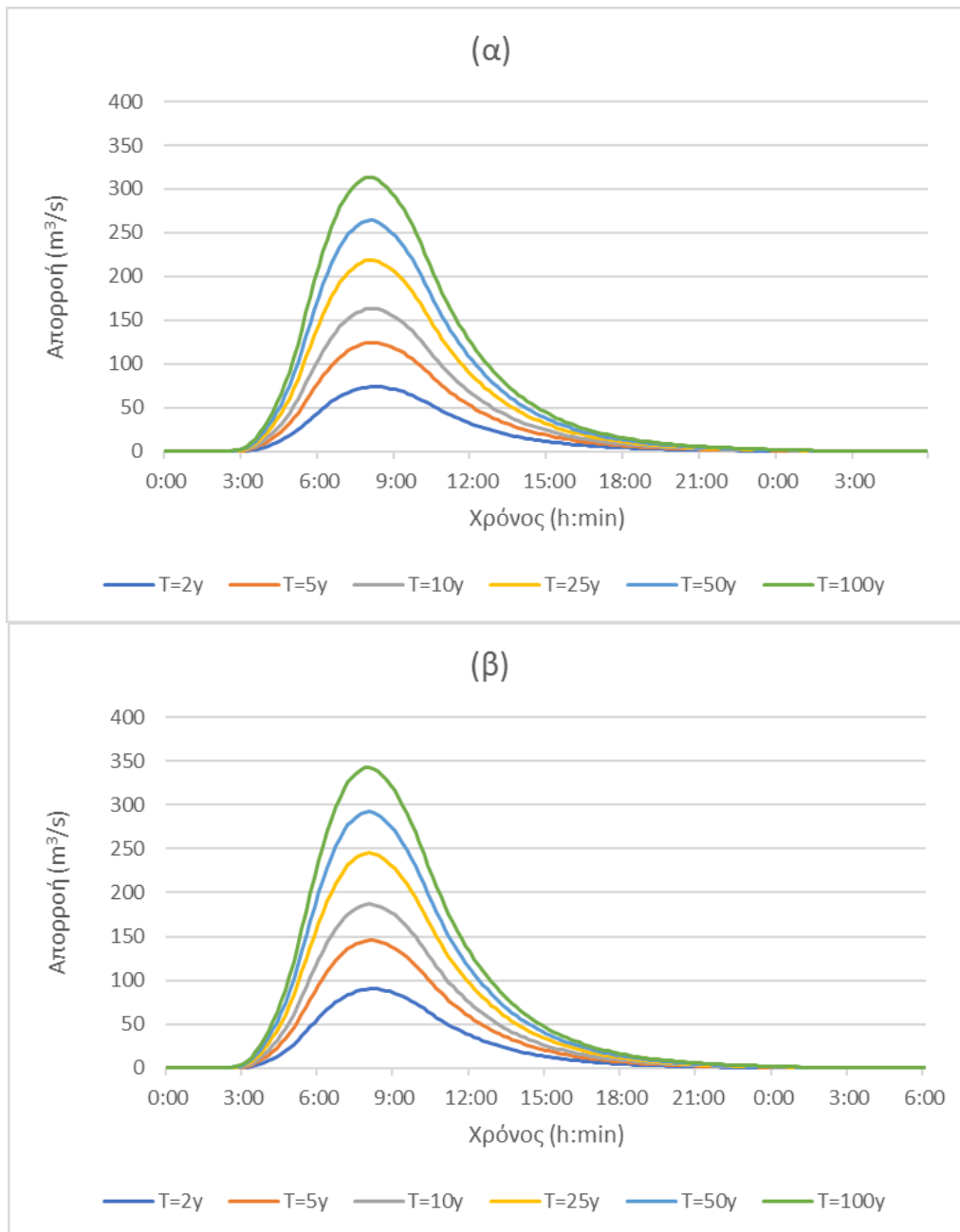
*Εικόνα 70: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π49 έως Π66) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3α. Επιπλέον παρουσιάζονται στα αντίστοιχα γραφήματα και η συνολική και ενεργός βροχόπτωση, για τις οποίες ισχύει: (Ενεργός βροχόπτωση)= (Συνολική βροχόπτωση) – (Απώλειες). Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα στον Πίνακα 17:

Πίνακας 17: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3α.

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
6	2	90.5	13.9	6.8	2.1	Εικόνα Π49
6	5	145.4	18.6	6.9	3.4	Εικόνα Π50
6	10	186.9	22.0	6.9	4.4	Εικόνα Π51
6	25	245.0	26.6	6.7	5.8	Εικόνα Π52
6	50	292.2	30.3	6.6	6.9	Εικόνα Π53
6	100	342.7	34.1	6.4	8.1	Εικόνα Π54
12	2	108.8	13.9	5.6	2.9	Εικόνα Π55
12	5	170.6	18.6	5.5	4.6	Εικόνα Π56
12	10	216.9	22.0	5.4	5.8	Εικόνα Π57
12	25	281.1	26.6	5.2	7.5	Εικόνα Π58
12	50	332.7	30.3	5.0	8.9	Εικόνα Π59
12	100	387.7	34.1	4.8	10.4	Εικόνα Π60
24	2	125.8	13.9	4.6	3.9	Εικόνα Π61
24	5	192.7	18.6	4.4	5.9	Εικόνα Π62
24	10	241.8	22.0	4.2	7/5	Εικόνα Π63
24	25	309.5	26.6	4.0	9.6	Εικόνα Π64
24	50	363.6	30.3	7.7	11.3	Εικόνα Π65
24	100	420.7	34.1	3.6	13.1	Εικόνα Π66

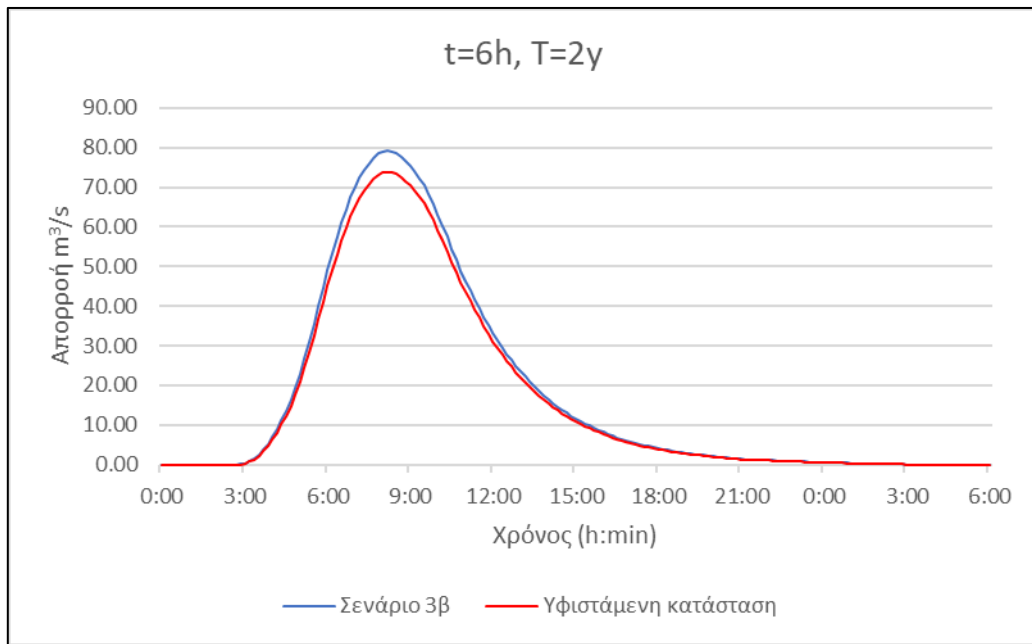
Στην Εικόνα 71 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις χρήσεις γης της αρχικής κατάστασης (α) και για το Σενάριο 3α (β) για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών και για τις δύο περιπτώσεις ( $A=73.9 m^3/s$  και  $B=90.5 m^3/s$ ) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ( $A=313.4 m^3/s$  και  $B=342.7 m^3/s$ ).



Εικόνα 71: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t=6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση (Α) και για το Σενάριο 3α (Β)

## 2. Σενάριο 3β

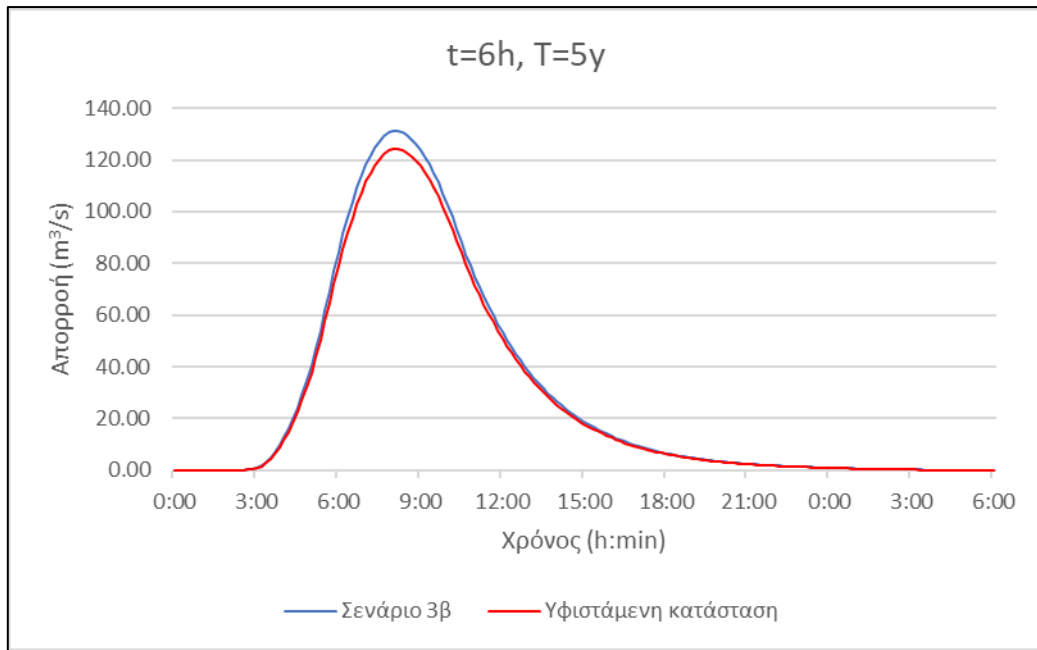
Στην Εικόνα 72 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 2$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 3β όπου υποτίθεται ότι κάηκε ένα μέρος του νότιου τμήματος της λεκάνης μελέτης και για την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $79.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 7% σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 5%.



*Εικόνα 72: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και για την υφιστάμενη κατάσταση*

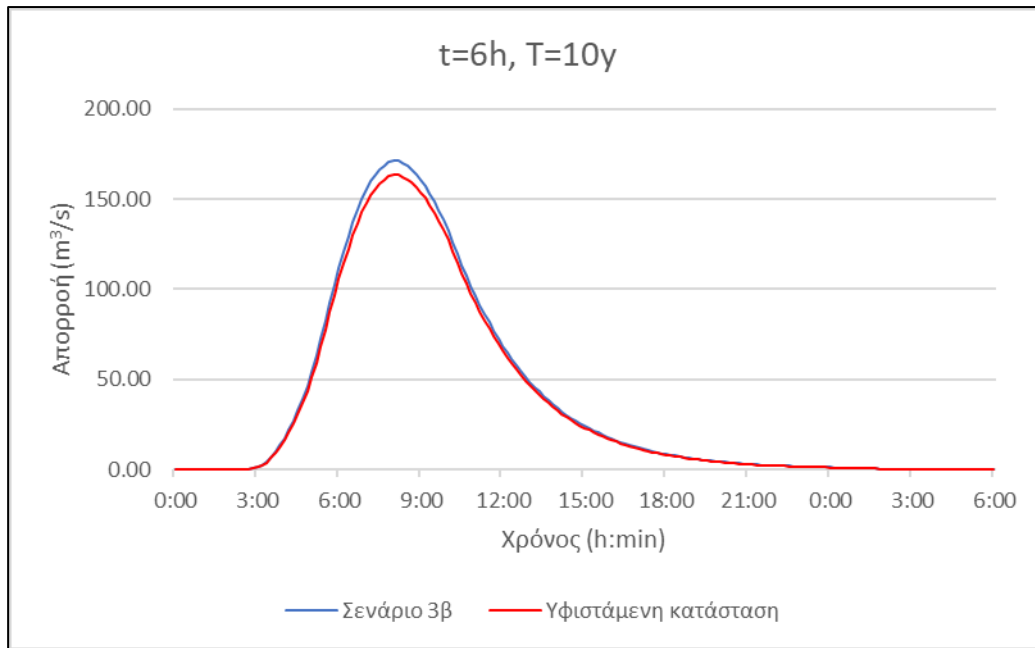
Στην Εικόνα 73 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3β και για την υπάρχουσα κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $131.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 5.5% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 3%.





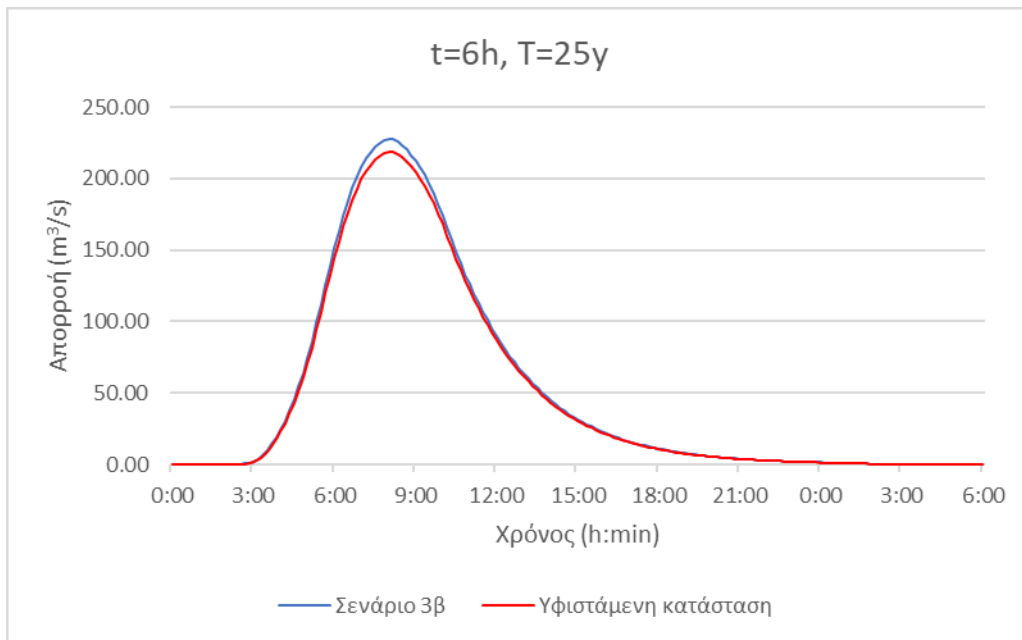
*Εικόνα 73: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 74 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $171.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι 5% αυξημένη από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $4.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 5%.



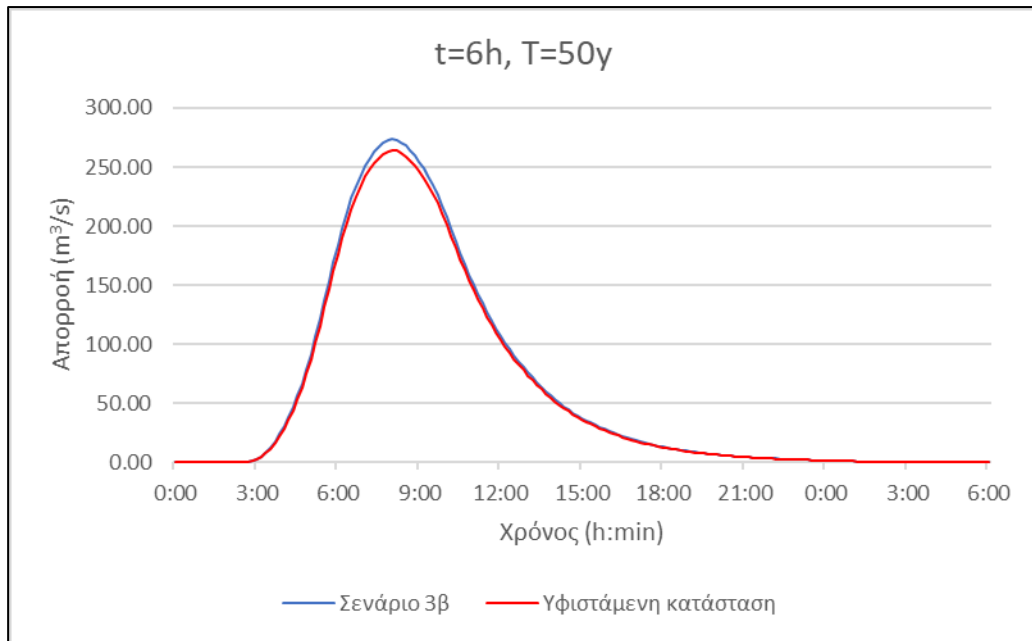
*Εικόνα 74: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 75 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=25$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $227.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 4% από αυτήν της αρχικής κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $5.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 4%.



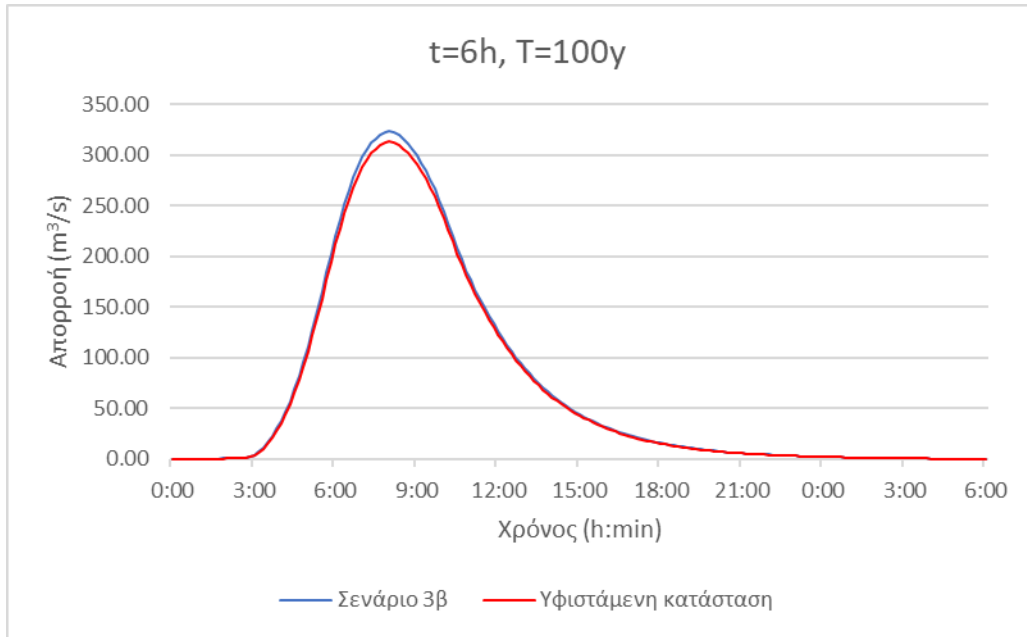
*Εικόνα 75: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 76 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=50$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $273.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 3.5% σε σχέση με την αρχική. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $6.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 3%.



*Εικόνα 76: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στην Εικόνα 77 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=100$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $323.3 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 3% σε σχέση αυτής της υπάρχουσας κατάστασης. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $7.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 4%.



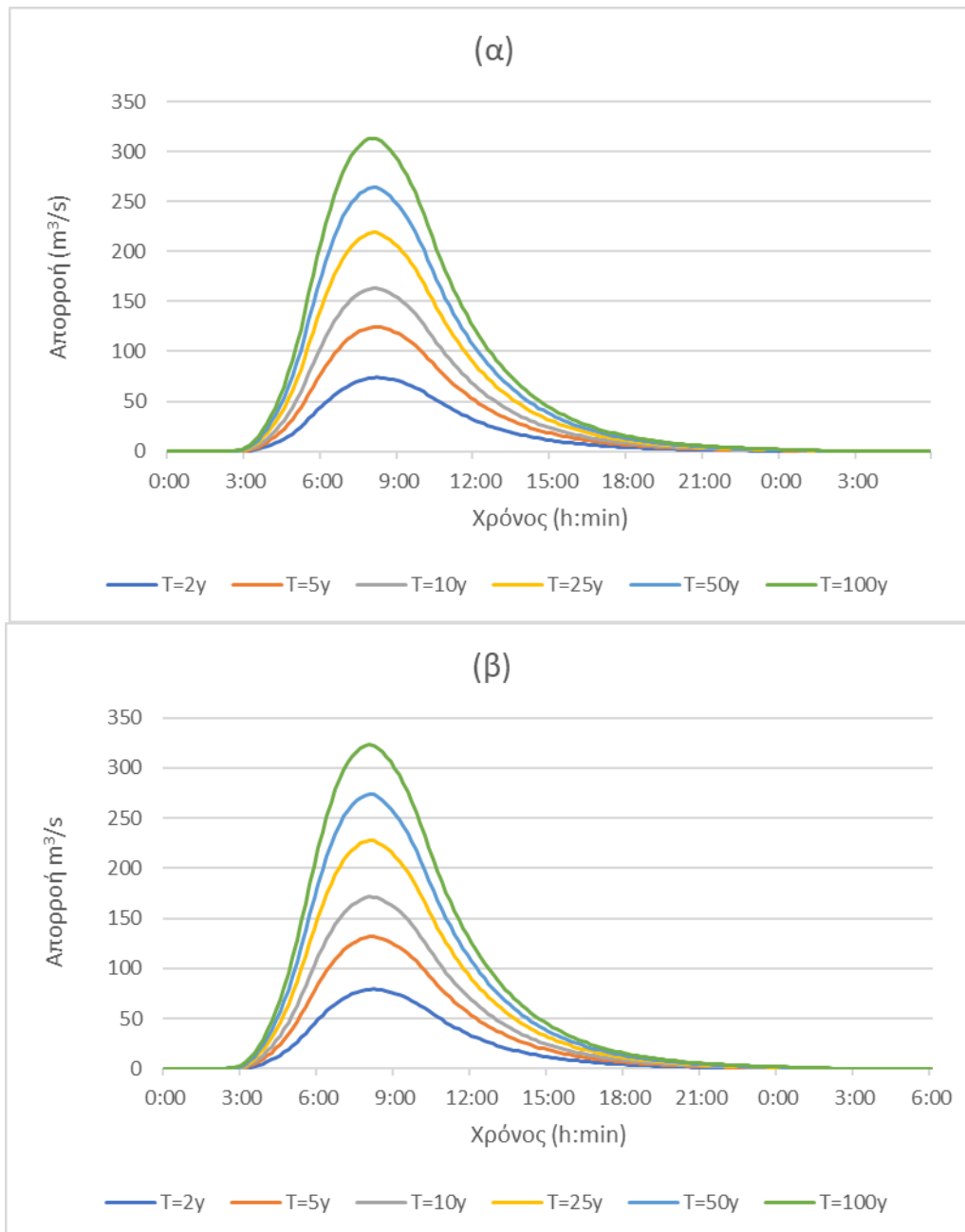
*Εικόνα 77: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β και την υφιστάμενη κατάσταση*

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π67 έως Π84) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3β. Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα:

Πίνακας 18: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3β.

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
6	2	79.3	13.9	7.9	1.9	Εικόνα Π67
6	5	131.3	18.6	8.2	3.1	Εικόνα Π68
6	10	171.3	22.0	8.3	4.1	Εικόνα Π69
6	25	277.7	26.6	8.2	5.4	Εικόνα Π70
6	50	273.8	30.3	8.1	6.5	Εικόνα Π71
6	100	323.3	34.1	7.9	7.7	Εικόνα Π72
12	2	96.8	13.9	6.6	2.6	Εικόνα Π73
12	5	156.3	18.6	6.7	4.2	Εικόνα Π74
12	10	201.1	22.0	6.6	5.4	Εικόνα Π75
12	25	264.0	26.6	6.4	7.1	Εικόνα Π76
12	50	314.9	30.3	6.3	8.4	Εικόνα Π77
12	100	369.2	34.1	6.0	9.9	Εικόνα Π78
24	2	113.7	13.9	5.5	3.5	Εικόνα Π79
24	5	178.9	18.6	5.4	5.5	Εικόνα Π80
24	10	227.2	22.0	5.2	7.0	Εικόνα Π81
24	25	294.0	26.6	5.0	9.1	Εικόνα Π82
24	50	347.7	30.3	4.8	10.7	Εικόνα Π83
24	100	404.6	34.1	4.6	12.5	Εικόνα Π84

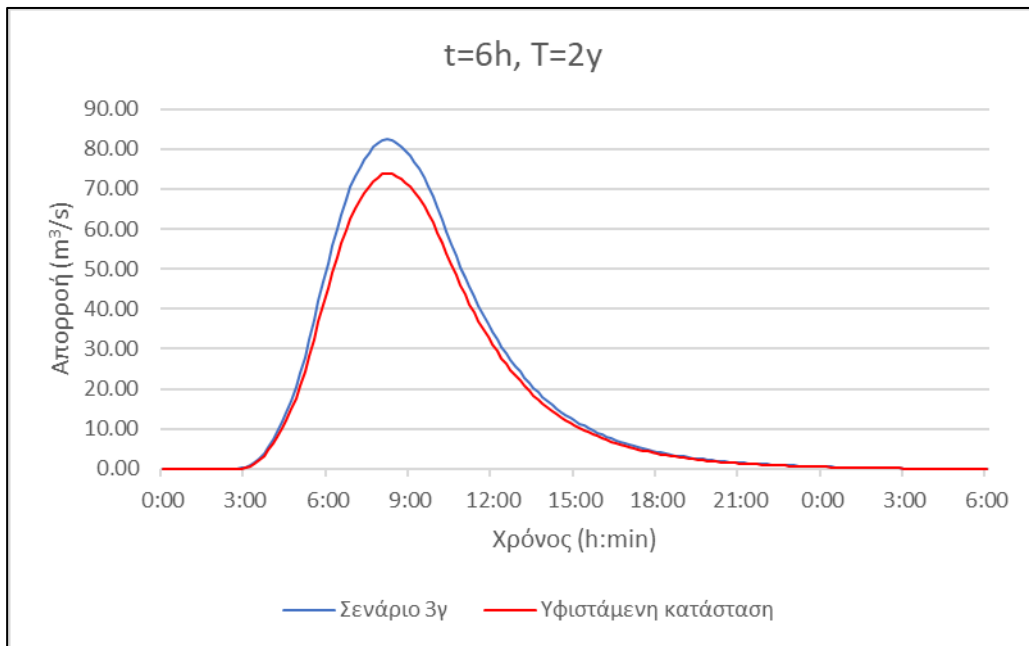
Στην Εικόνα 78 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις χρήσεις γης της αρχικής κατάστασης (α) και για το Σενάριο 3β (β) για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών και για τις δύο περιπτώσεις ( $A=73.9 m^3/s$  και  $B=79.3 m^3/s$ ) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ( $A=313.4 m^3/s$  και  $B=323.3 m^3/s$ ).



Εικόνα 78: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t=6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση (α) και για το Σενάριο 3B (β)

### 3. Σενάριο 3γ

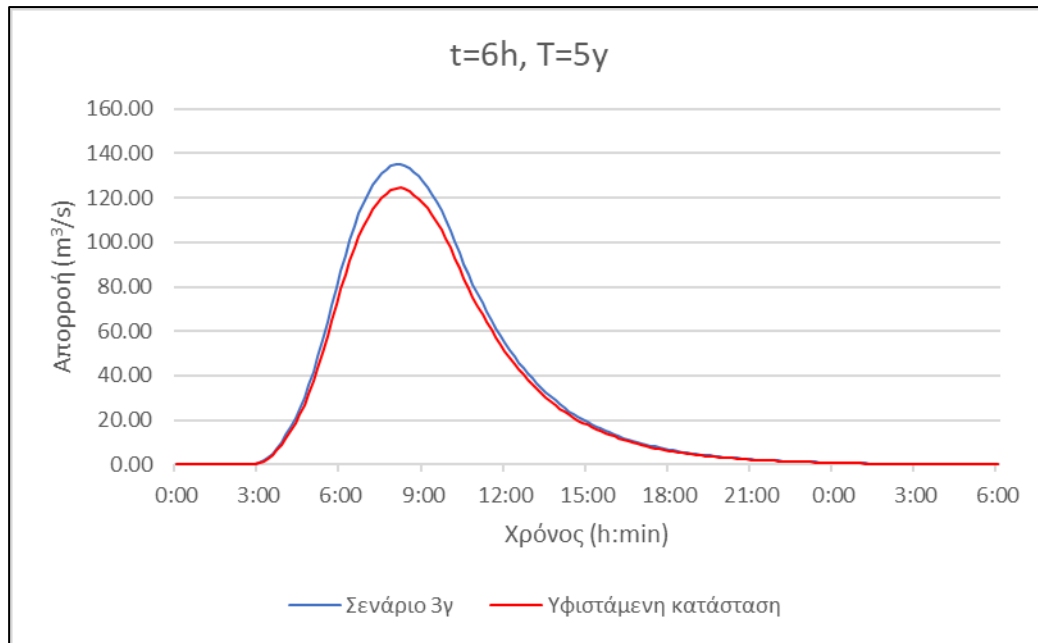
Στην Εικόνα 79 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 2$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 3γ, όπου κάηκε ένα κομμάτι του βόρειου τμήματος της λεκανής μελέτης (μικρότερο τμήμα από αυτό του Σεναρίου 3α) και για την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $82.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 11,5% σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος κατά 10%.



*Εικόνα 79: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

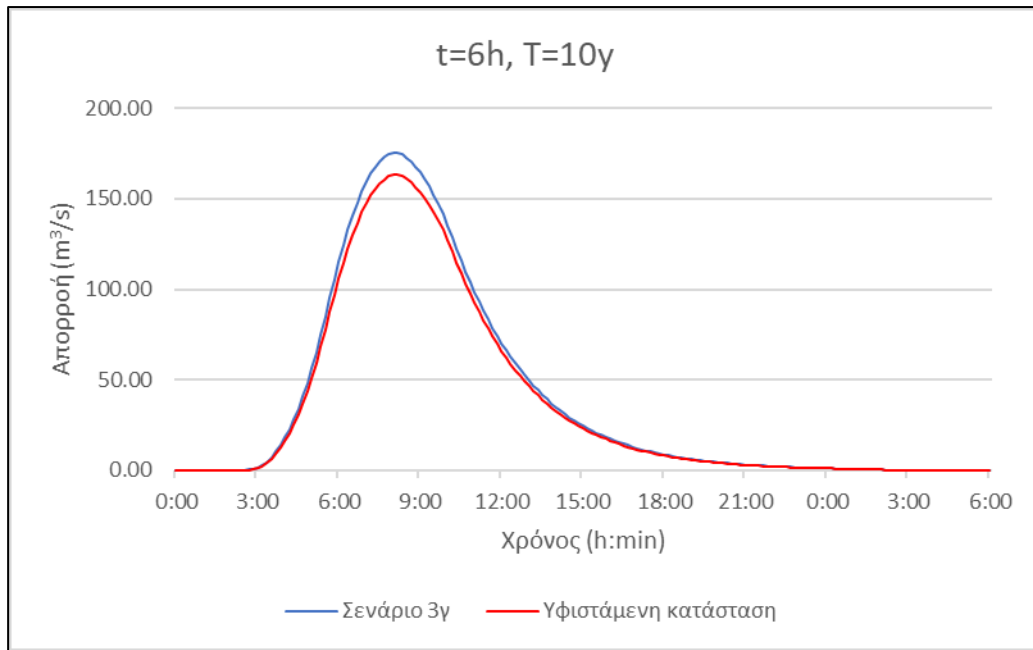
Στην Εικόνα 80 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 5$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 3γ και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $135.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 9% σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $3.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 7%.





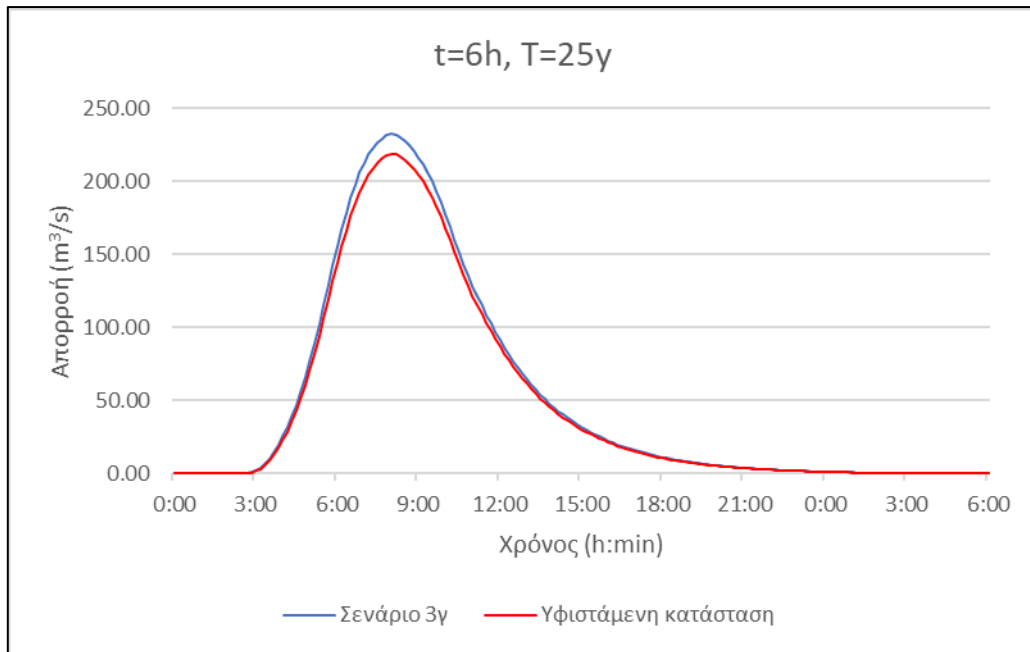
*Εικόνα 80: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

Στην Εικόνα 81 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T = 10$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες για το Σενάριο 3γ και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $175.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 7% σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $4.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 8%.



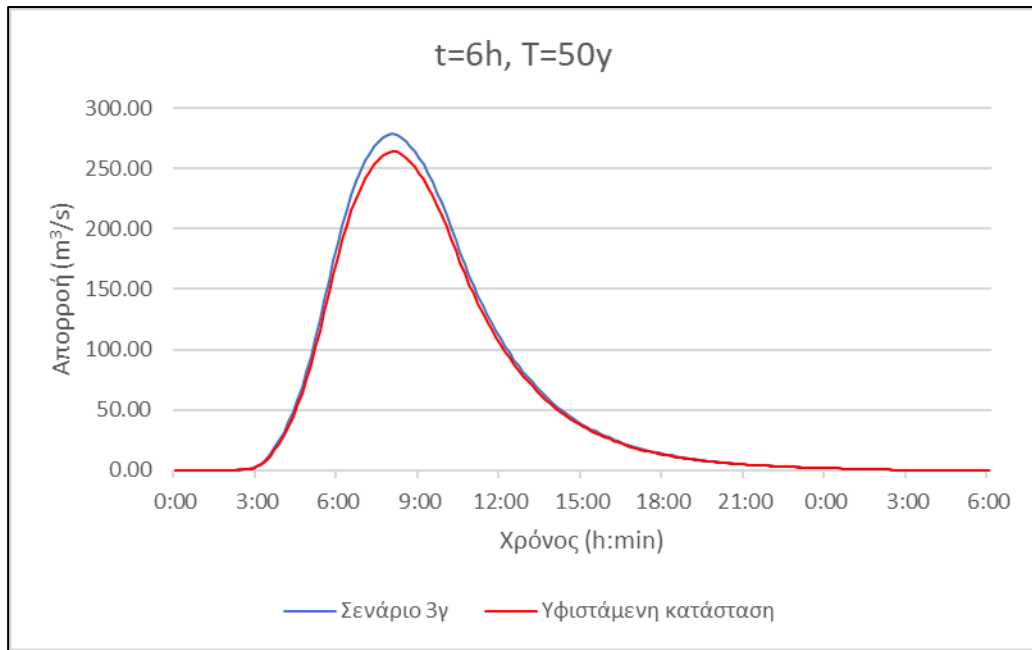
*Εικόνα 81: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

Στην Εικόνα 82 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T=25$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t=6$  ώρες για το Σενάριο 3γ και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $232.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη περίπου 6% σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $5.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 6%.



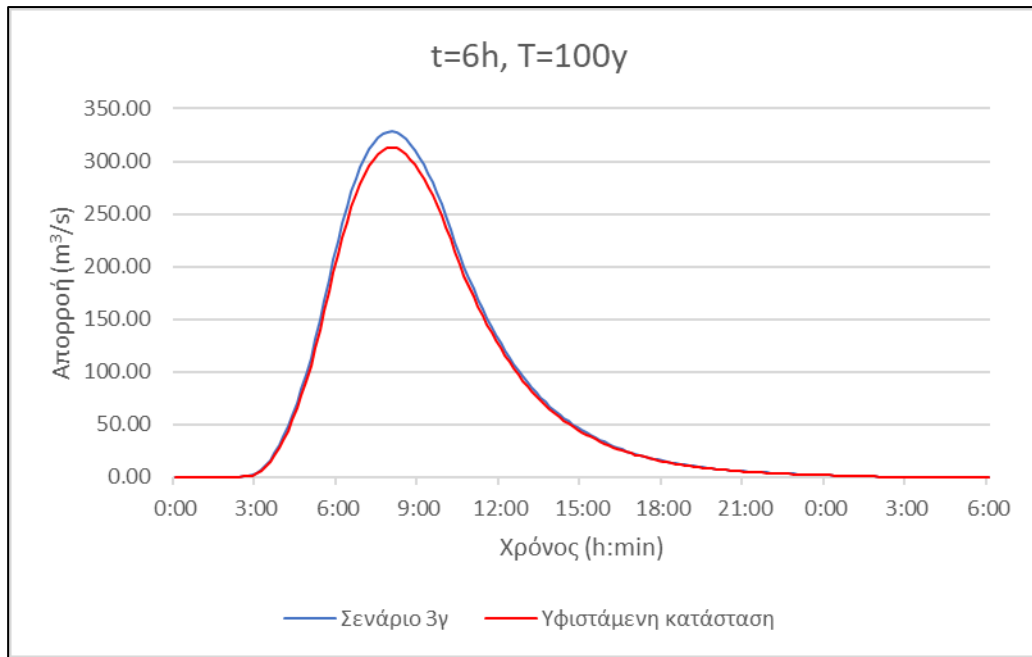
*Εικόνα 82: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

Στην Εικόνα 83 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς T= 50 έτη και διάρκειας βροχόπτωσης t= 6 ώρες για το Σενάριο 3γ και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με 279.0 m<sup>3</sup>/s, δηλαδή είναι αυξημένη κατά 5.5% από την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι 6.6 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, αυξημένος περίπου 5%.



*Εικόνα 83: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

Στην Εικόνα 84 φαίνεται το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς  $T= 100$  έτη και διάρκειας βροχόπτωσης  $t= 6$  ώρες για το Σενάριο 3γ και την υφιστάμενη κατάσταση. Η παροχή αιχμής είναι ίση με  $328.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , δηλαδή είναι αυξημένη κατά 5% περίπου σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Ο πλημμυρικός όγκος είναι  $7.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , αυξημένος περίπου 5%.



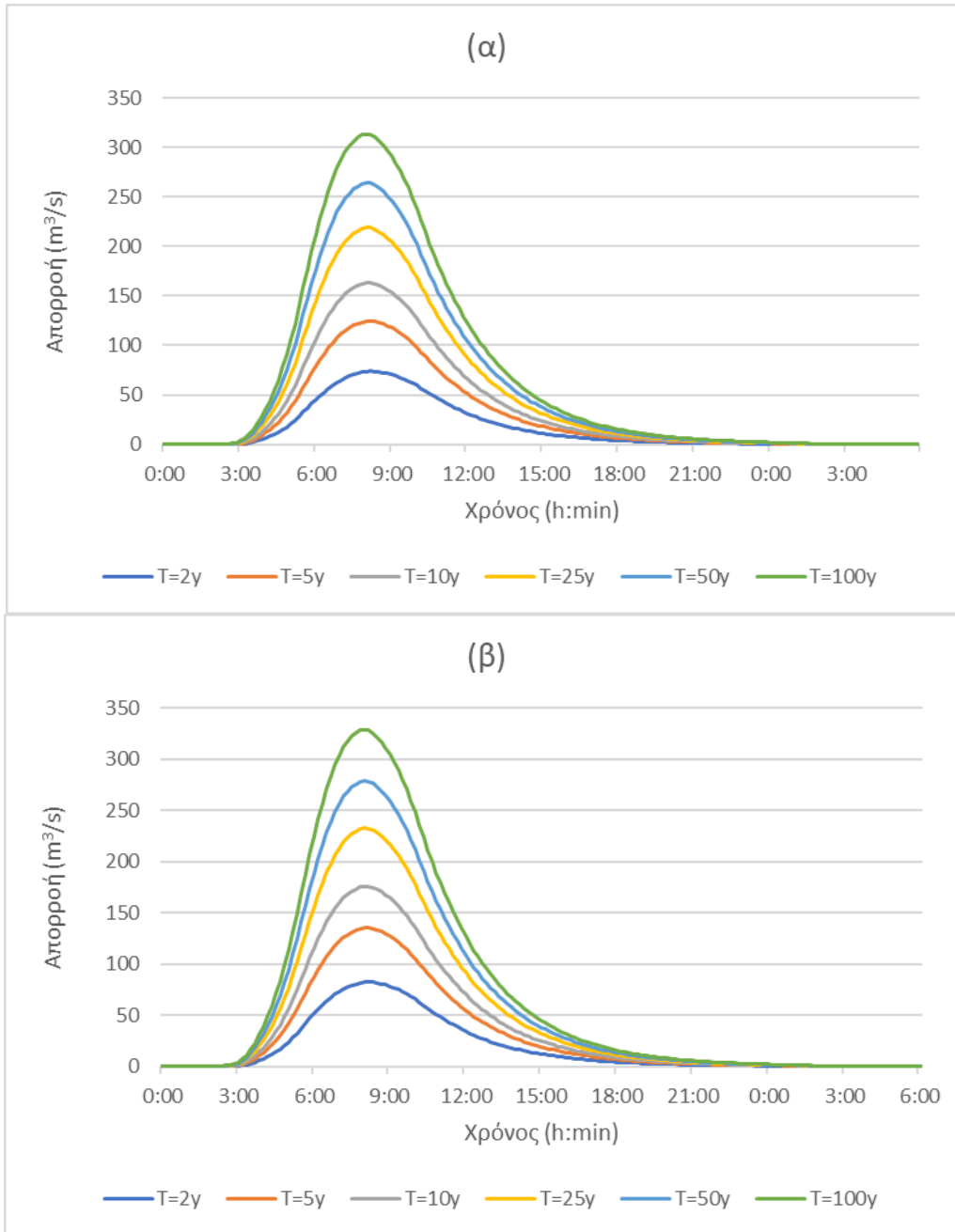
*Εικόνα 84: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ και της υφιστάμενης κατάστασης*

Στο Παράρτημα που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται και τα πλημμυρογραφήματα (Εικ. Π85 έως Π102) για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T =2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3γ. Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα αποτελέσματα:

Πίνακας 19: Αποτελέσματα για διάρκειες βροχόπτωσης  $t= 6, 12, 24$  ώρες για περιόδους επαναφοράς  $T=2, 5, 10, 25, 50, 100$  έτη για το Σενάριο 3γ.

Διάρκεια βροχόπτωσης (ώρες)	Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Παροχή Αιχμής ( $m^3/s$ )	Συνολική Βροχόπτωση (mm)	Απώλειες (mm)	Πλημμυρικός όγκος ( $\times 10^6 m^3$ )	Εικόνα Παραρτήματος
6	2	82.4	13.9	7.6	2.0	Εικόνα Π85
6	5	135.2	18.6	7.8	3.2	Εικόνα Π86
6	10	175.6	22.0	7.6	4.2	Εικόνα Π87
6	25	232.6	26.6	7.8	5.5	Εικόνα Π88
6	50	279.0	30.3	7.7	6.6	Εικόνα Π89
6	100	328.8	34.1	7.4	7.8	Εικόνα Π90
12	2	100.1	13.9	6.3	2.7	Εικόνα Π91
12	5	160.3	18.6	6.3	4.3	Εικόνα Π92
12	10	205.5	22.0	6.3	5.5	Εικόνα Π93
12	25	268.8	26.6	6.1	7.2	Εικόνα Π94
12	50	320.0	30.3	5.9	8.6	Εικόνα Π95
12	100	374.5	34.1	5.7	10.3	Εικόνα Π96
24	2	117.1	13.9	5.2	3.6	Εικόνα Π97
24	5	182.8	18.6	5.1	5.6	Εικόνα Π98
24	10	231.4	22.0	4.9	7.1	Εικόνα Π99
24	25	398.4	26.6	4.7	9.2	Εικόνα Π100
24	50	352.2	30.3	4.5	10.9	Εικόνα Π101
24	100	409.3	34.1	4.3	12.7	Εικόνα Π102

Στην Εικόνα 85 παρουσιάζονται σε ενιαίο γράφημα τα πλημμυρικά υδρογραφήματα για τις χρήσεις γης της υπάρχουσας κατάστασης (α) και για το Σενάριο 3γ (β) για κάθε περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  h. Παρατηρείται ότι την ελάχιστη παροχή αιχμής έχει η περίοδος επαναφοράς 2 ετών και για τις δύο περιπτώσεις ( $A=73.9 m^3/s$  και  $B=82.4 m^3/s$ ) και τη μέγιστη η περίοδος επαναφοράς 100 ετών ( $A=313.4 m^3/s$  και  $B=328.8 m^3/s$ ).



Εικόνα 85: Συγκεντρωτικά πλημμυρικά υδρογραφήματα για  $T= 2, 5, 10, 25, 50, 100$  ετών και  $t=6h$  για την υπάρχουσα κατάσταση (Α) και για το Σενάριο 3γ (Β)

## 4. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

### 4.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έλαβε χώρα η υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής του ποταμού Τσικινιά που βρίσκεται στην νήσο Λέσβο. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό HEC- HMS με τη χρήση της εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS σε περιβάλλον GIS. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Τσικινιά για 6 υετογράμματα σχεδιασμού, τα οποία υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων τμηματικών υψών από τις όμβριες καμπύλες της περιοχής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ήταν τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού της λεκάνης, όπως παρουσιάζονται στο προηγούμενο κεφάλαιο και το παράρτημα, από τα οποία προέκυψαν οι αντίστοιχες παροχές αιχμής.

Αφού ολοκληρώθηκε η εξέταση διάφορων σεναρίων αλλαγής χρήσεων γης προκειμένου να αξιολογηθεί η λεκάνη μελέτης σε επίπεδο απορροών, συμπεραίνεται ότι οι μεταβολές στις απορροές κυμαίνονται ενδεικτικά από 7% έως 22% για περίοδο επαναφοράς  $T = 2$  έτη και διάρκεια βροχόπτωσης  $t = 6$  ώρες και όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς τα ποσοστά μεταβολής μειώνονται. Επιπλέον αυτό που παρατηρείται είναι πως η μεγαλύτερη αλλαγή στην απορροή υπάρχει στην περίπτωση πυρκαγιάς του Σεναρίου 3α, όπου κάηκε μεγάλο τμήμα του βόρειου μέρους της λεκάνης μελέτης.

Επιπρόσθετα, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Η απορροή της λεκάνης είναι σχετικά μικρή, κάτι αναμενόμενο λόγω της έκτασης της.
- Στα σενάρια πυρκαγιάς, ακόμα και στη περίπτωση που ήταν σε σχετικά μεγάλη έκταση της λεκάνης (Σενάριο 3α), είχε σχετικά μικρή επίπτωση στις απορροές, πράγμα που δικαιολογείται από την μικρή μεταβολή των τιμών CN.
- Ακόμα μικρότερη ήταν η μεταβολή των CN στα υπόλοιπα σενάρια και άρα και των απορροών.

### 4.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Μια πρόταση για περαιτέρω μελέτη είναι η διερεύνηση και η εφαρμογή όλων των μεθόδων που περιέχονται στο λογισμικό HEC-HMS και να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Επίσης, ενδιαφέρον θα είχε η εφαρμογή της ίδιας μεθοδολογίας και σε παρόμοιες λεκάνες απορροής ή μεγαλύτερης έκτασης προκειμένου να διερευνηθούν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Προτείνεται επίσης η ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε σημαντικά επεισόδια βροχής-απορροής, τα οποία θα σημειωθούν μελλοντικά σε περιοχές που έχουν καεί, 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 η πυρκαγιά, αλλά και το πότε θα επανέλθει η υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης στα επίπεδα που βρισκόταν πριν την πυρκαγιά.

Οι πλημμύρες αποτελούν την δεύτερη πιο συχνή καταστροφή μετά τις πυρκαγιές, καθώς προκαλούν φυσικές καταστροφές, κοινωνικές και οικονομικές ζημιές και απώλειες ανθρώπινης ζωής. Σαν επόμενη πρόταση έρευνας είναι η σύγκριση των συνεπειών μιας πλημμύρας πριν και μετά από μία πυρκαγιά με σκοπό να εξαχθούν σχέδια για την πρόβλεψη και την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων.

## 5. Βιβλιογραφία

### 5.1. Ελληνική Βιβλιογραφία

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.

Βεζυράκης Γ. (2017) Σχεδιασμός και ανάπτυξη βάσης δεδομένων για την πρόβλεψη πλημμυρών. Η περίπτωση μελέτης του ποταμού Τσικνιά στη Λέσβο. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας.

Γιάννιου Π. (2015) Ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου στην πόλη του Ρεθύμνου Κρήτης. Μεταπτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό–Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών “Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων”.

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.

Ζυμαράκη Ε. (2023) Προσομοίωση υδρολογικής απόκρισης πριν και μετά από πυρκαγιά σε τμήμα της λεκάνης απορροής του Κηφισού στην περιοχή της Βαρυμπόμπης Αττικής. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Και Τοπογράφων Μηχανικών- Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων Και Διαχείρισης 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».

Θωμαΐδου Ε. (2009) Η γεωλογική δομή της νήσου Λέσβου. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.

Καββαδά Ο. (2012) Ανάπτυξη μοντέλου βροχής – απορροής σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών “Περιβάλλον Και Ανάπτυξη”.

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

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.

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.

Κραλής Φ. (2006) Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη χαρτογράφηση αντιτυρικών υποδομών με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης υψηλής διακριτικής ικανότητας: η περίπτωση της Χερσονήσου Αμαλίας – Μυτιλήνης. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας.

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.

Μιμίκου Μ. και Μπαλάς Ε. (2006) Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μιμίκου Μ. (2013) Σημειώσεις μαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά έργα. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.

Μισθού Μ. (2006) Ανάλυση Μορφομετρικών Παραμέτρων Υδρολογικής Λεκάνης με χρήση GIS, Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

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".

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.

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».

Σιάργκα Μ. (2005) Χαρτογράφηση αναβαθμιδομένων εκτάσεων της Λέσβου και συσχέτιση της εγκατάλειψης και του τύπου των αναβαθμίδων με φυσικογεωγραφικές παραμέτρους. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Κοινωνικών Επιστημών, Τμήμα Γεωγραφίας.

Σεφεριάδη Ε. (2019) Εδαφολογικές και υδρολογικές επιπτώσεις πυρκαγιών- Η περίπτωση του νομού Ηλείας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής, Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική».

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

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».

Τάντος Β. (2006) Περιβαλλοντική υδρογεωλογική έρευνα του προσχωματικού υδροφόρου της περιοχής Κιάτου- Κορίνθου. Κατασκευή μοντέλου προσομοίωσης της υπόγειας ροής. Μεταπτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες.

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.

Τσακίρης, Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις: Συμμετρία, Αθήνα.

Τσιχριντζής 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) Εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (EL14).

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.

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, Αθήνα.

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

## 5.2. Ξένη 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. *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. *Hydrological Sciences Journal*, 50:2, -206, DOI: 10.1623/hysj.50.2.193.6175

Charffenberg W., Fleming J.M., Hydrologic Modeling System HEC-HMS: PhysicallyBased Simulation Components, Research Hydrologic Engineers, U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Institute for Water Resources, 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, 2010.

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

Fleming M. and Doan J. (2010) HEC-GeoHMS, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual, US Army Corps Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, version 5.0.

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.

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.

Katsikatsos G., Migiros G., Triantaphyllis M. and Mettos A. (1986) Geological structure of the internal Hellenides (E. Thessaly - SW. Macedonia, Euboea - Attica - Northern Cyclades Islands and Lesvos). I.G.M.E. Geological and Geophysical Research, Sp.Issue, pp.191-212.

Mavroulis S., Andreadakis E., Spyrou N., Antoniou V., Skourtsos E., Papadimitriou P., Kassaras I., Kaviris G., Tselentis G., Voulgaris N., Garydis P. and Lekkas E. (2017) UAV and GIS based rapid earthquake-induced building damage assessment and methodology for EMS-98 isoseismal map drawing: The June 12, 2017 Mw 6.3 Lesvos (Northeastern Aegean, Greece) earthquake.

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

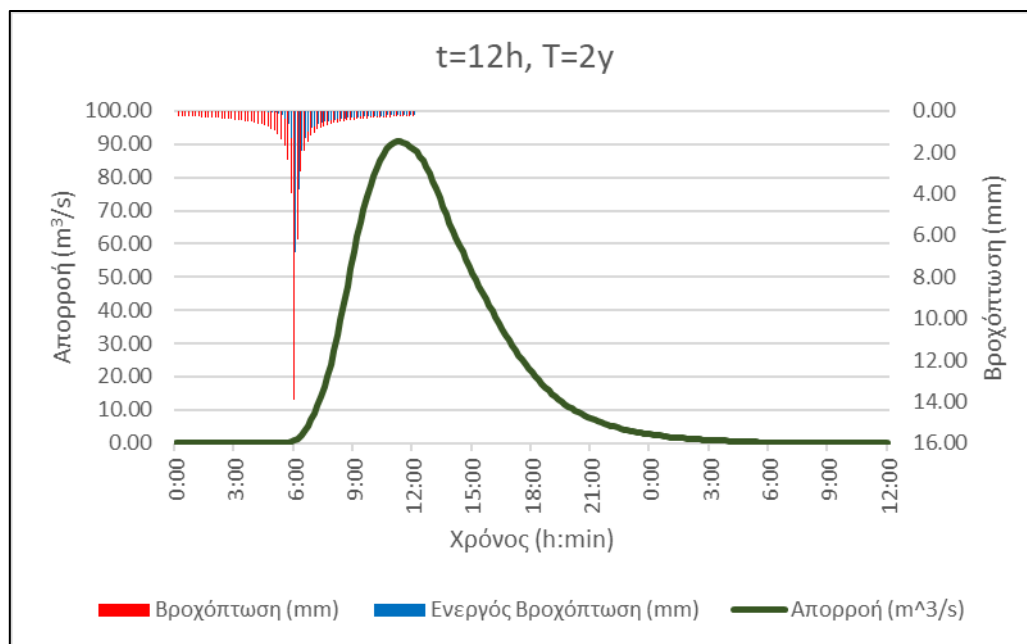
Nalbantis I. & Lymperopoulos S. (2012). Assessment of flood frequency after forest fires in small ungauged basins based on uncertain measurements. Hydrological Sciences Journal, 57:1, 52-72, DOI 10.1080/02626667.2011.637041

### 5.3. Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο

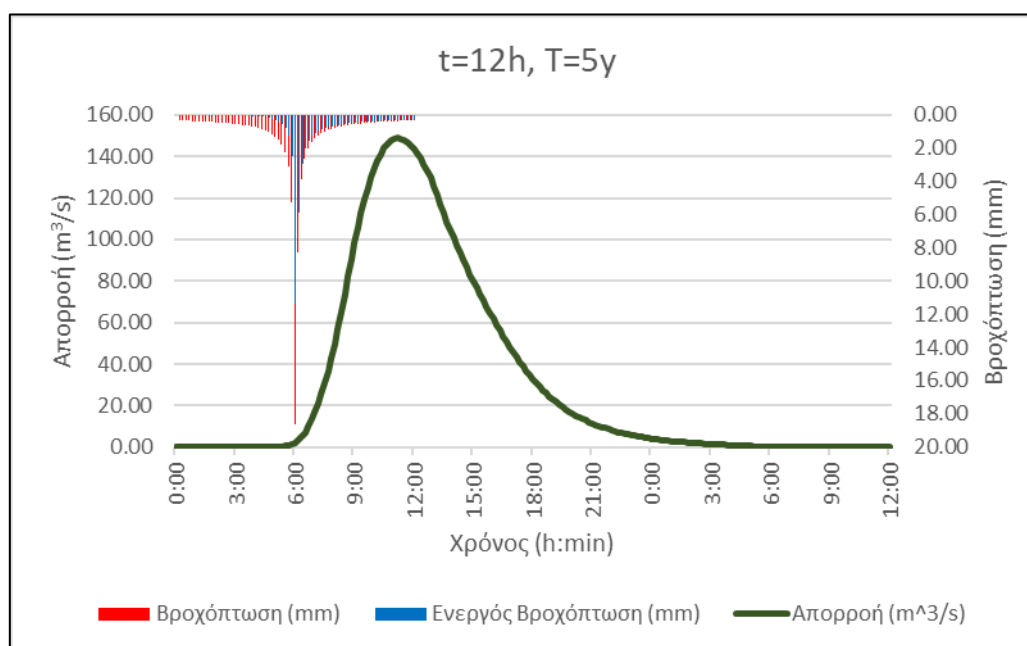
- <http://www.hydroscope.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Δεκέμβριος 2022)
- <http://ermis-f.eu/sep-lesvos/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Φεβρουάριος 2023)
- <https://www.hec.usace.army.mil/> (US Army Corps of engineers-USACE) (Ημερομηνία πρόσβασης: Μάρτιος 2023)
- Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΔ 696/74)  
[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](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: Μάρτιος 2023)
- Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας <https://www.pkm.gov.gr/> (Ημερομηνία πρόσβασης: Ιούλιος 2023)
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) (Ημερομηνία πρόσβασης: Αύγουστος 2023)
- [https://www.meteo.gr/article\\_view.cfm?entryID=1856](https://www.meteo.gr/article_view.cfm?entryID=1856) (Ημερομηνία πρόσβασης: Αύγουστος 2023)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

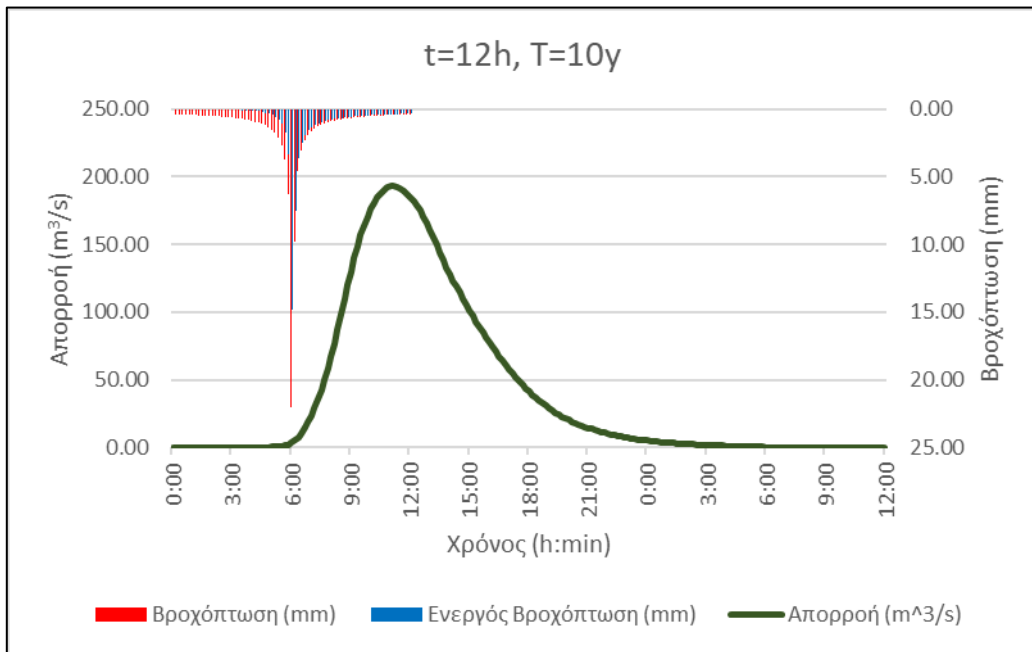
Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για την υφιστάμενη κατάσταση.



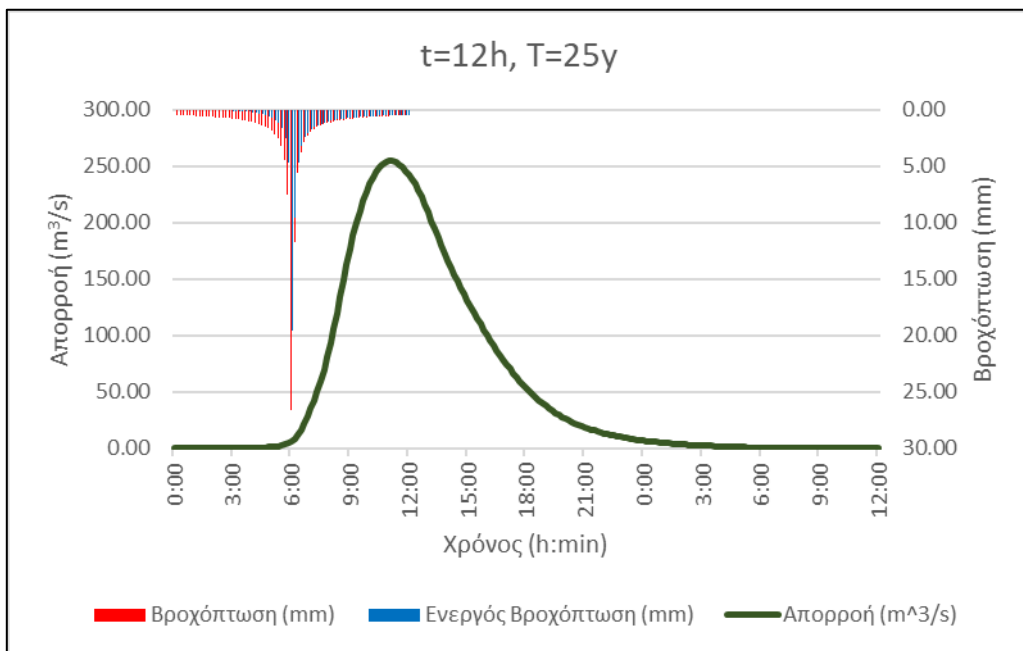
Εικόνα Π1: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h



Εικόνα Π2: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h

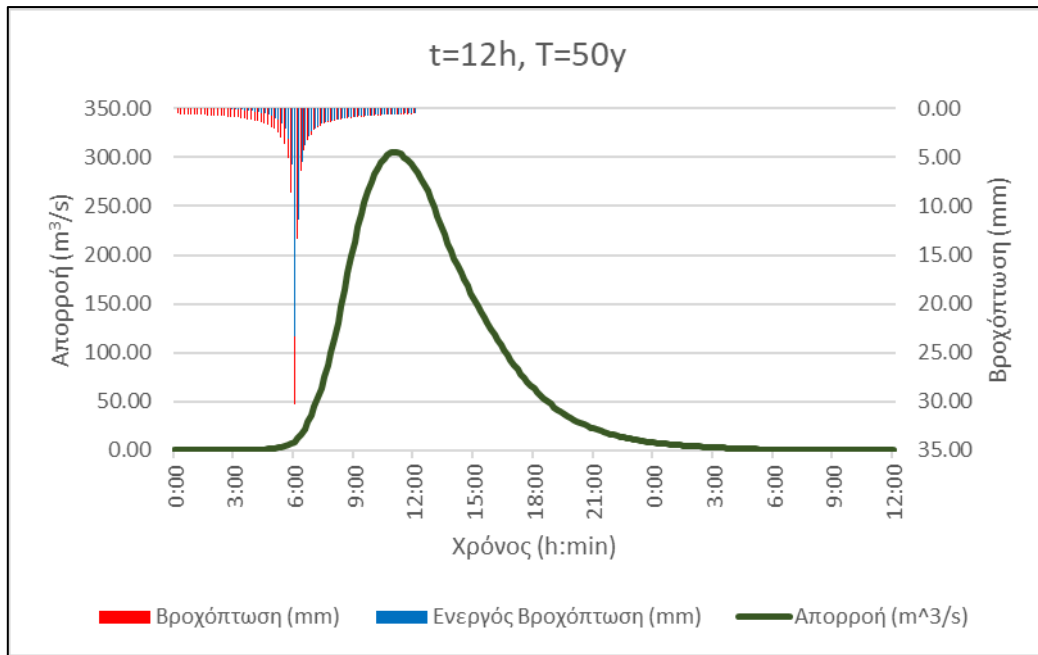


Εικόνα Π3: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h

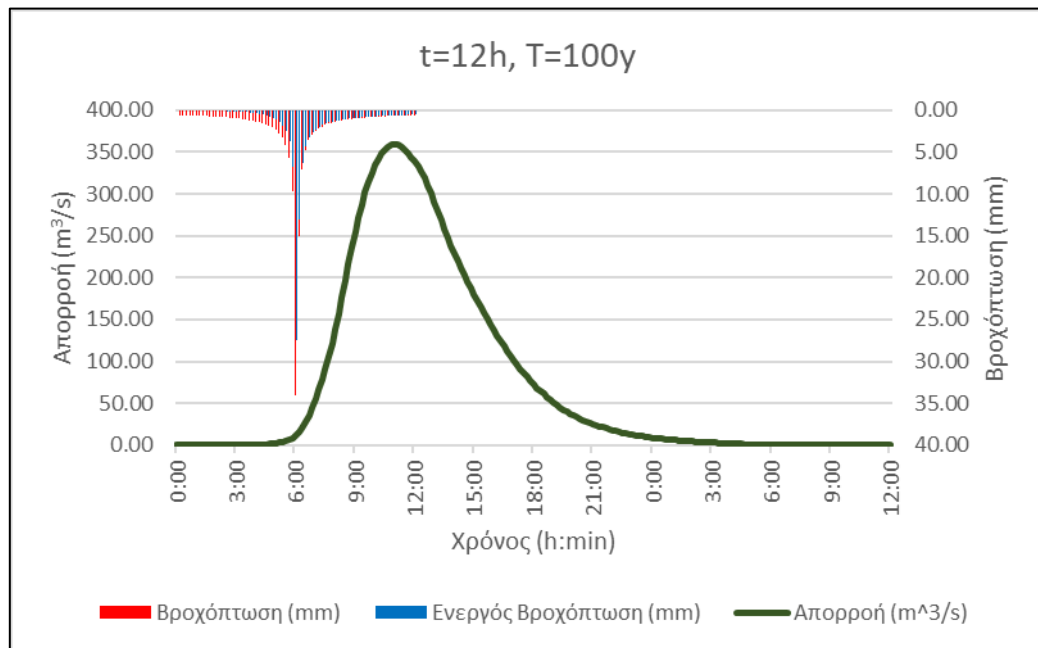


Εικόνα Π4: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h



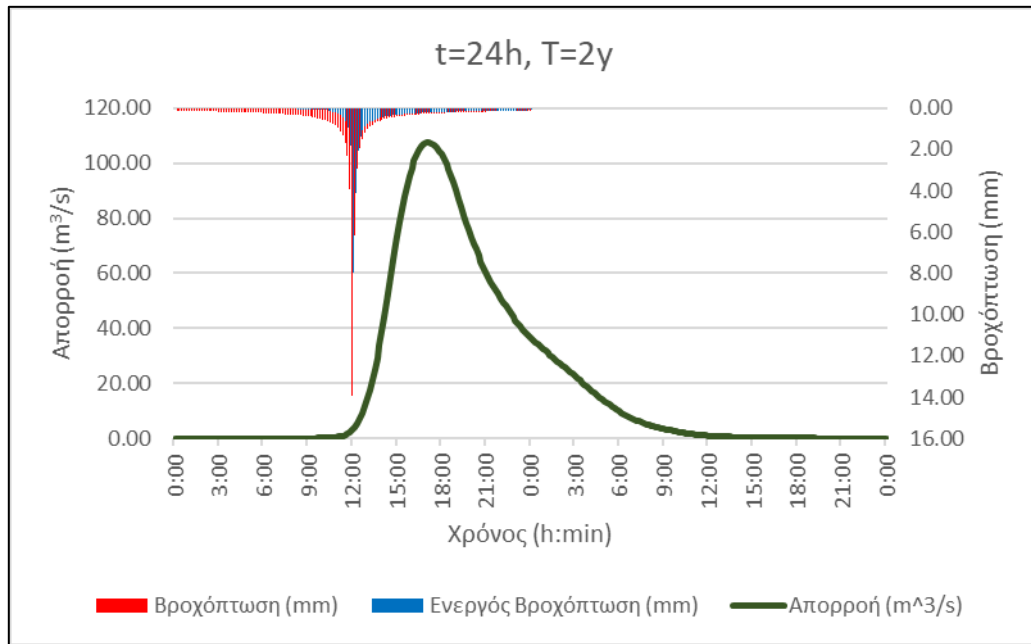


Εικόνα Π5: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h

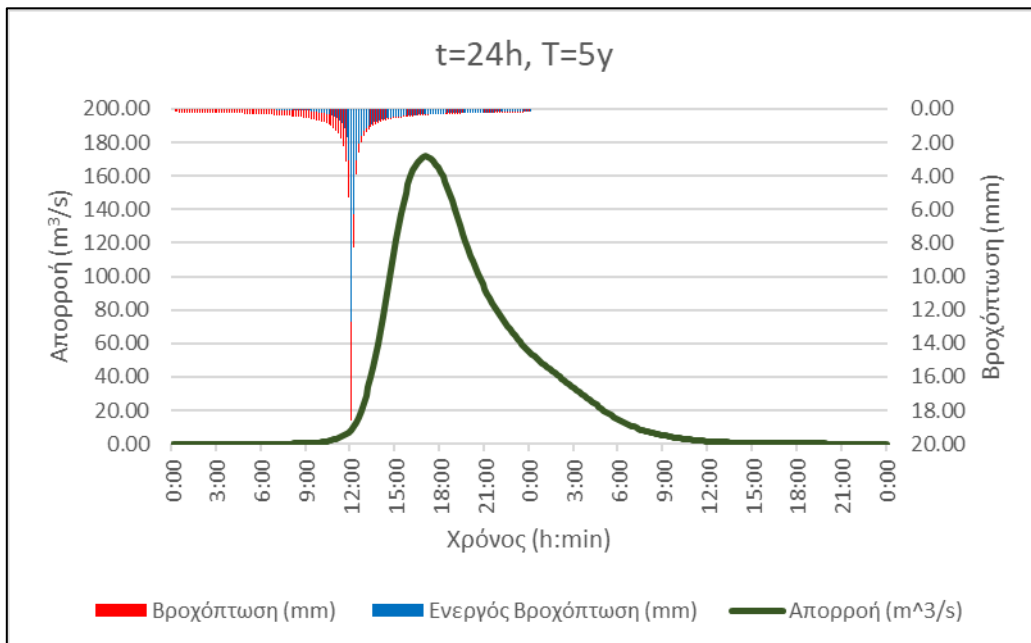


Εικόνα Π6: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h

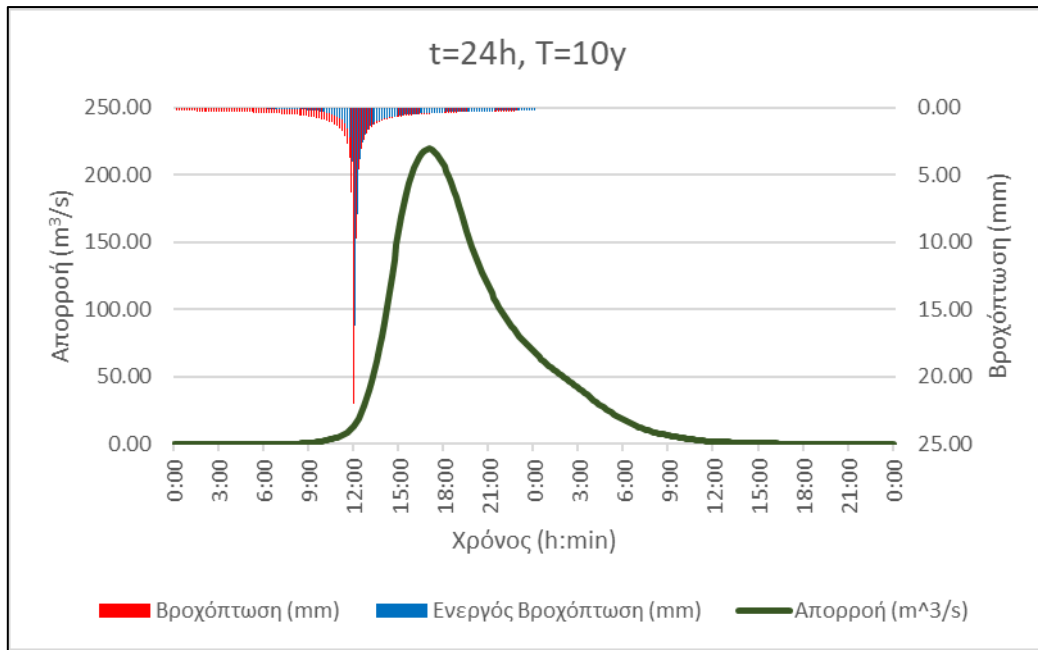
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για την υφιστάμενη κατάσταση.



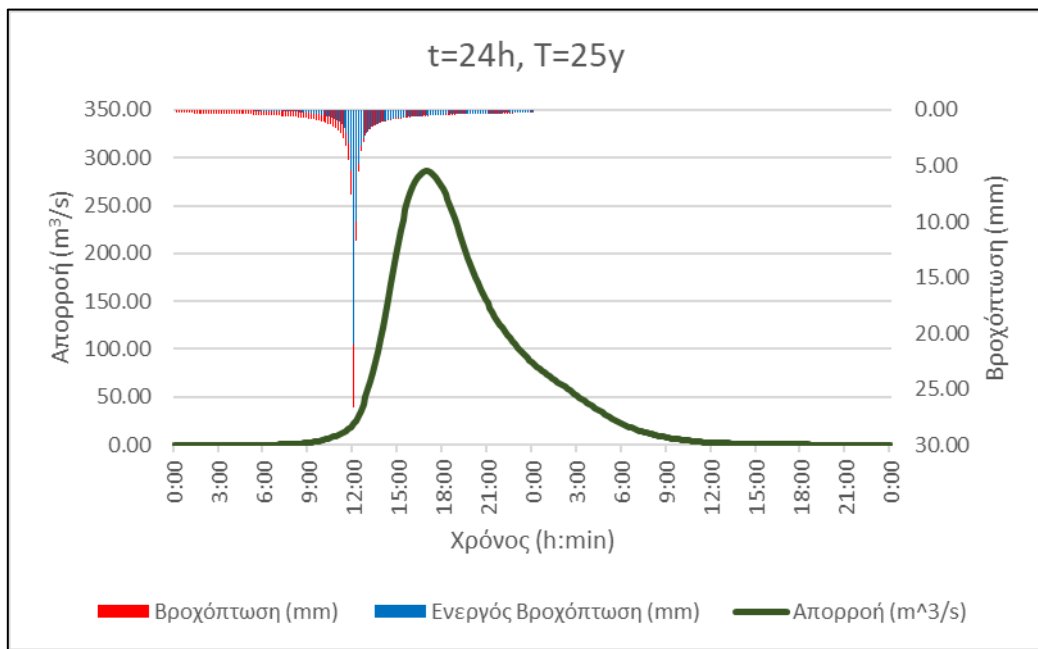
Εικόνα Π7: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h



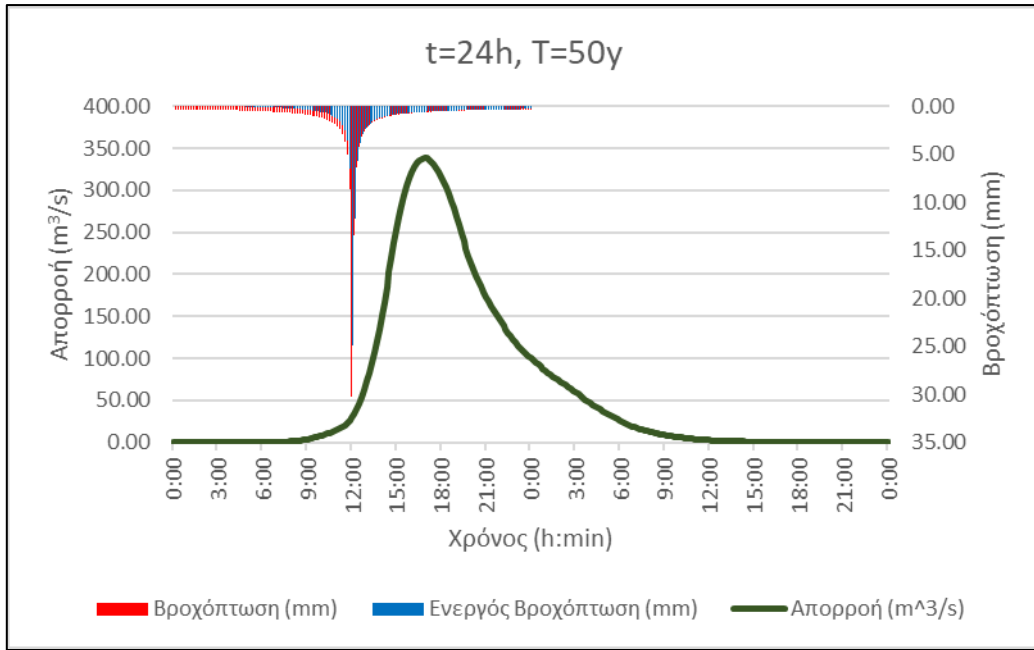
Εικόνα Π8: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h



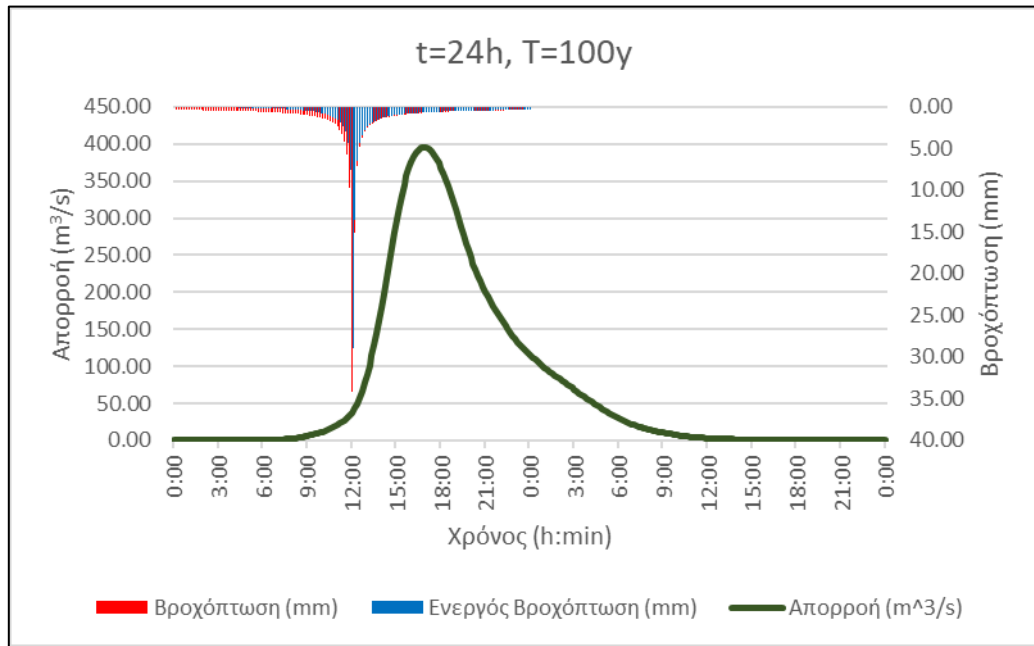
Εικόνα Π9: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h



Εικόνα Π10: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h

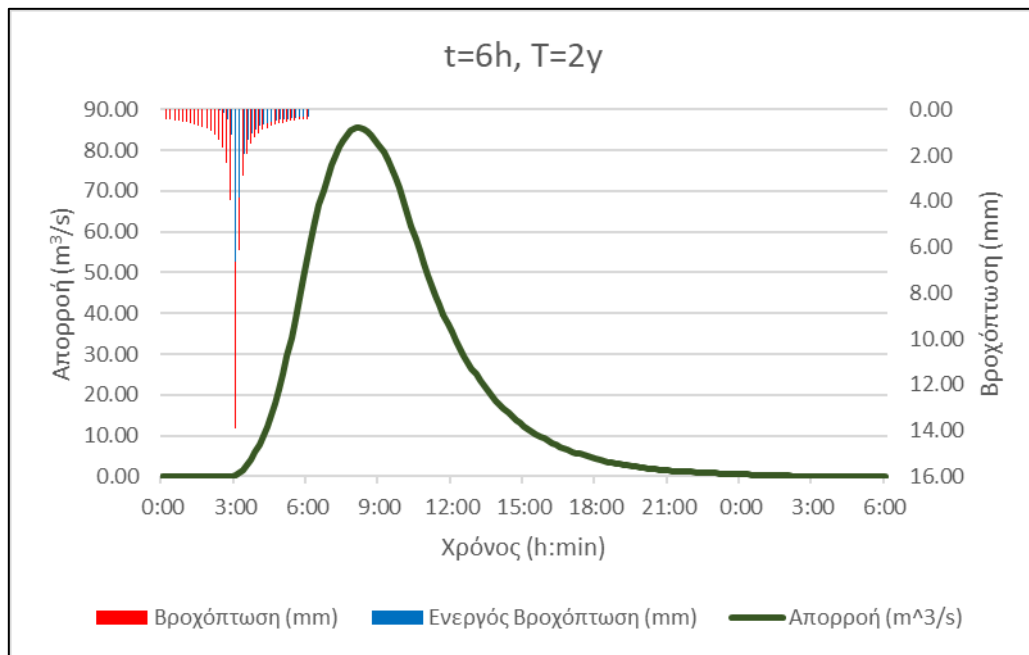


Εικόνα Π11: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h

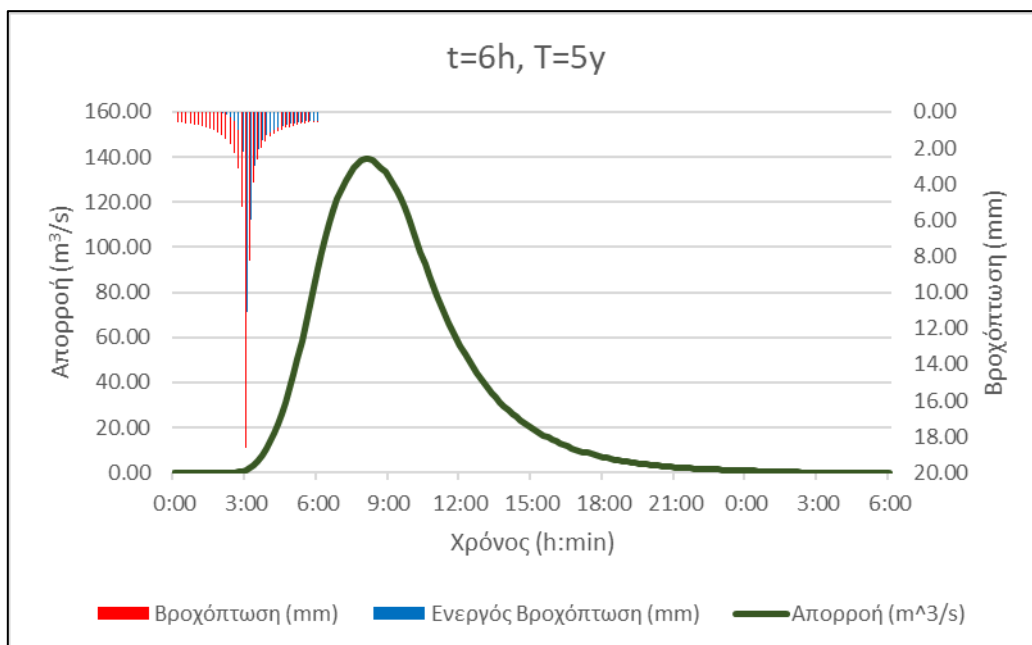


Εικόνα Π12: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h

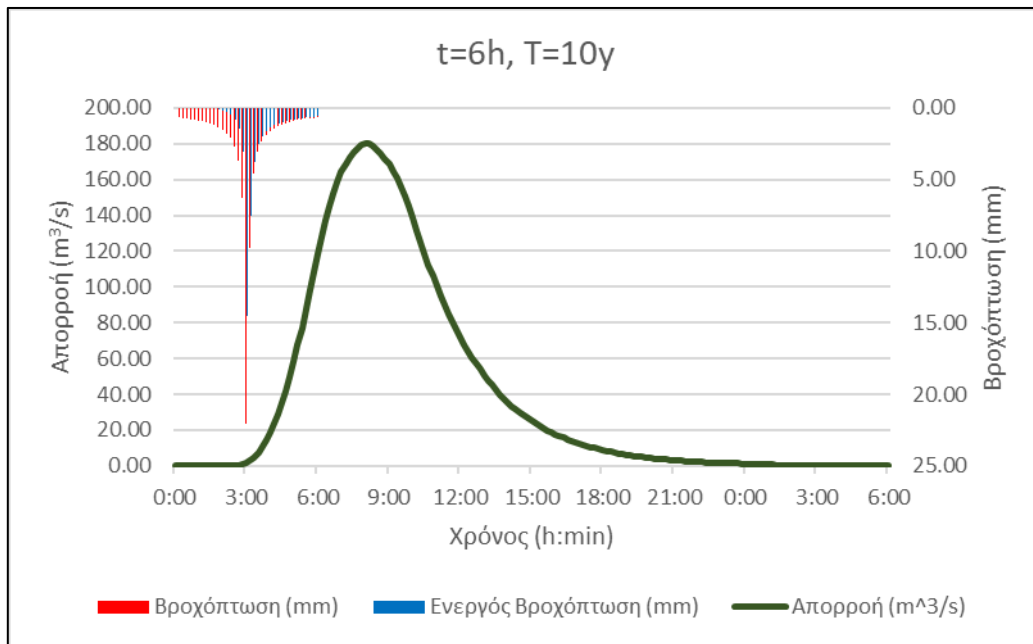
Για  $t=6$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 1.



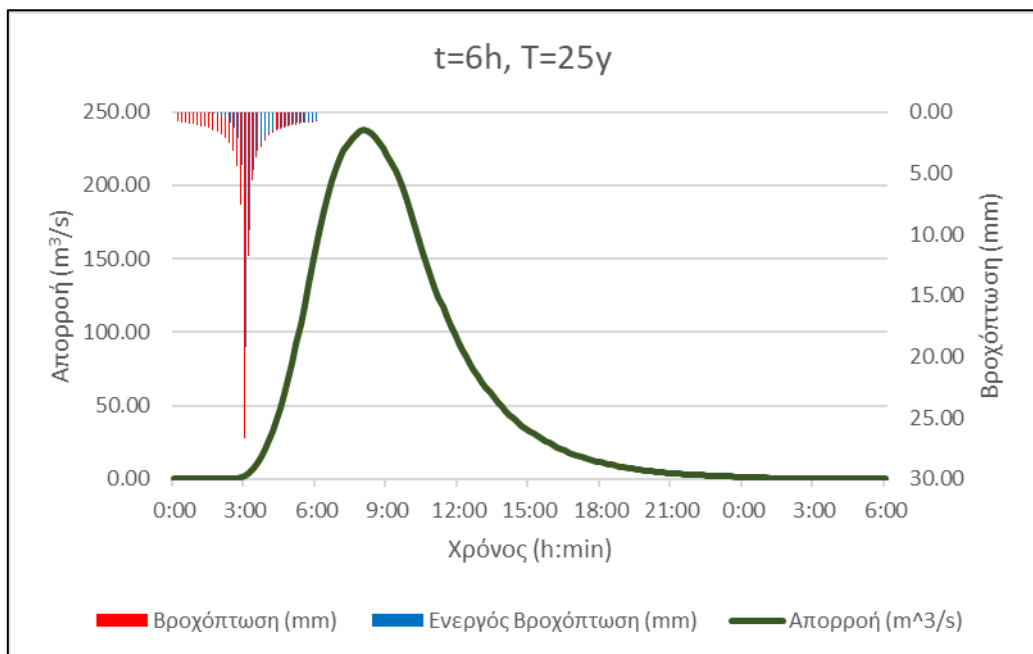
Εικόνα Π13: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1



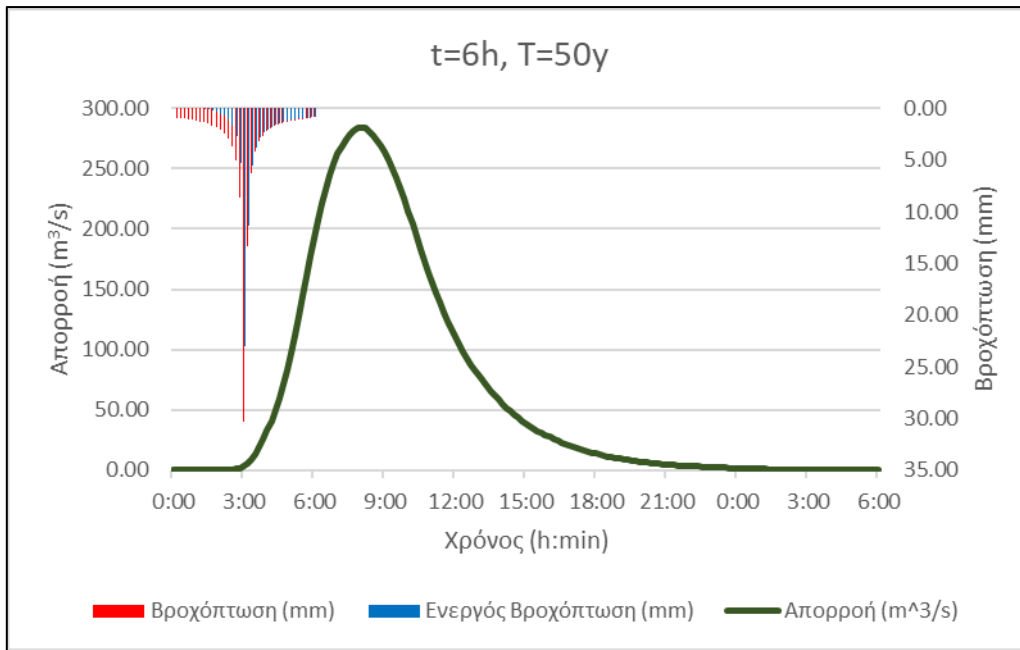
Εικόνα Π14: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1



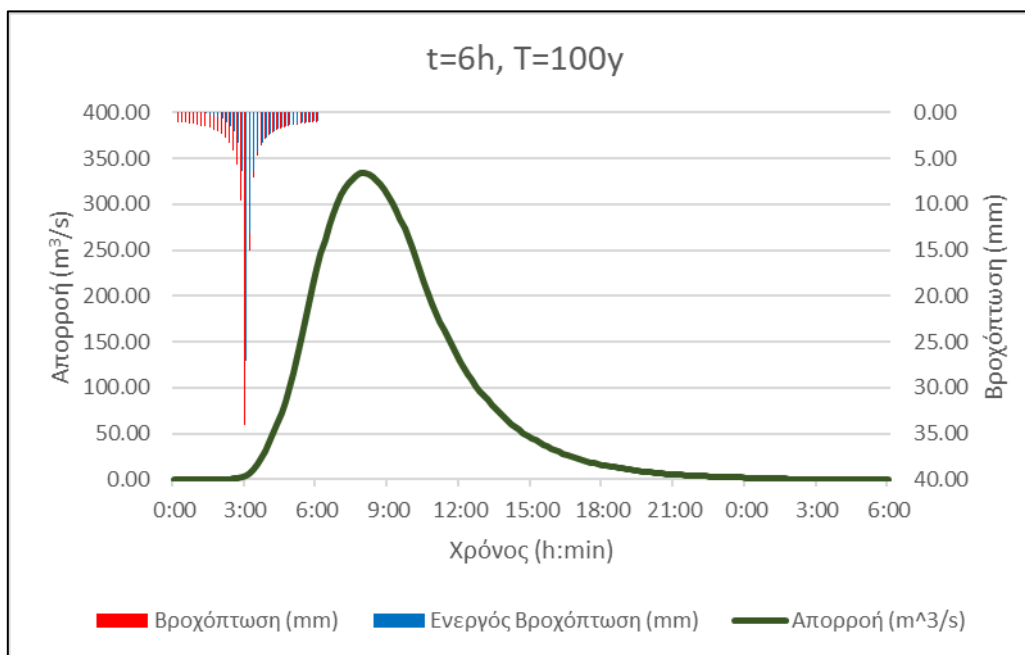
Εικόνα Π15: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1



Εικόνα Π16: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1

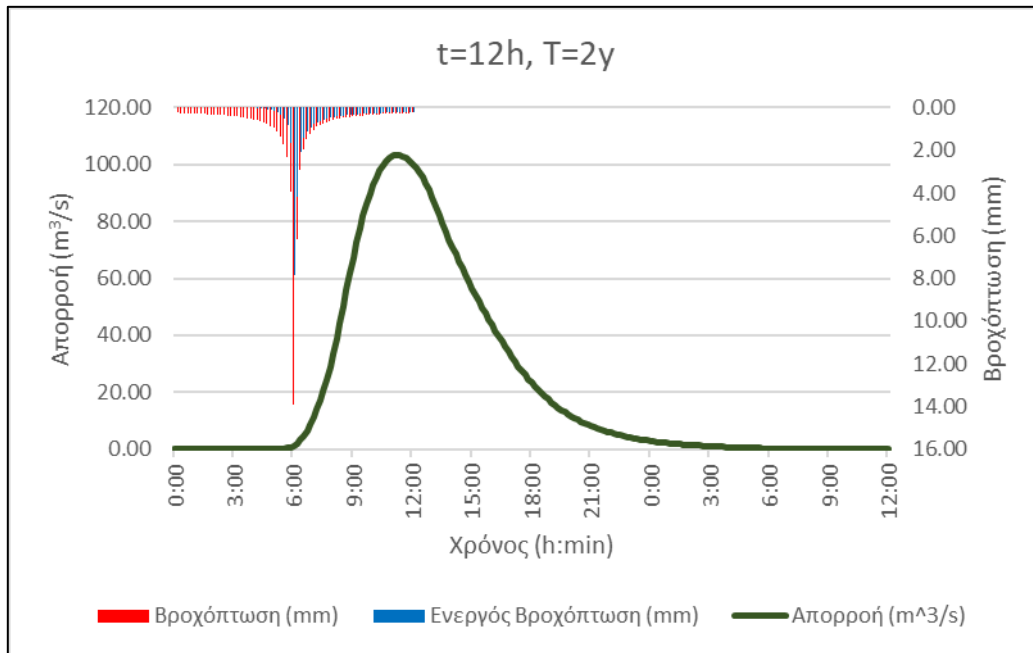


Εικόνα Π17: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1

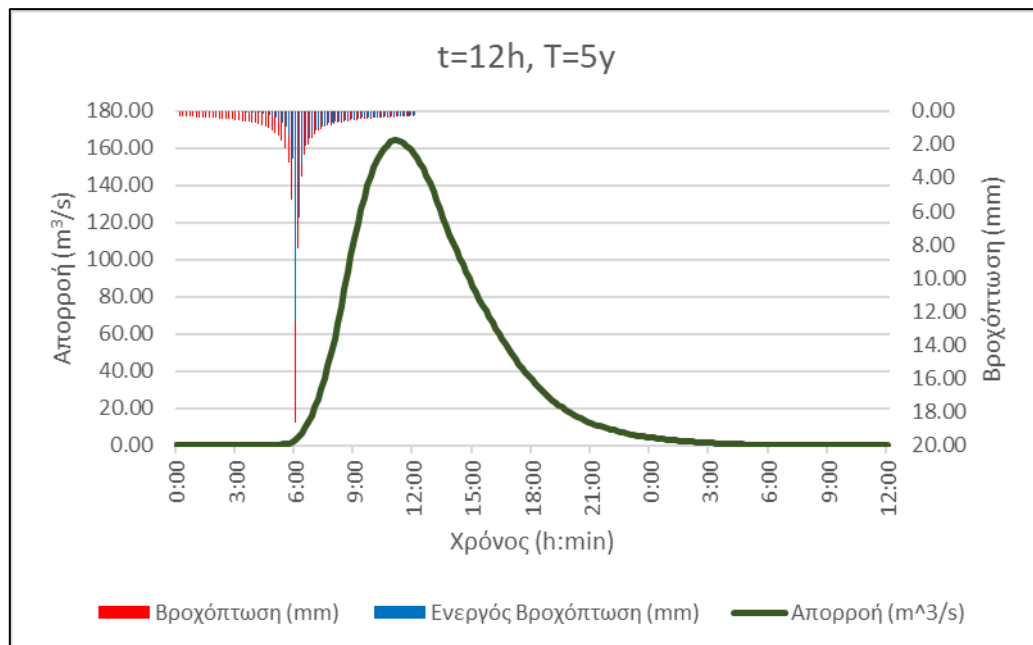


Εικόνα Π18: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 1

Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 1.

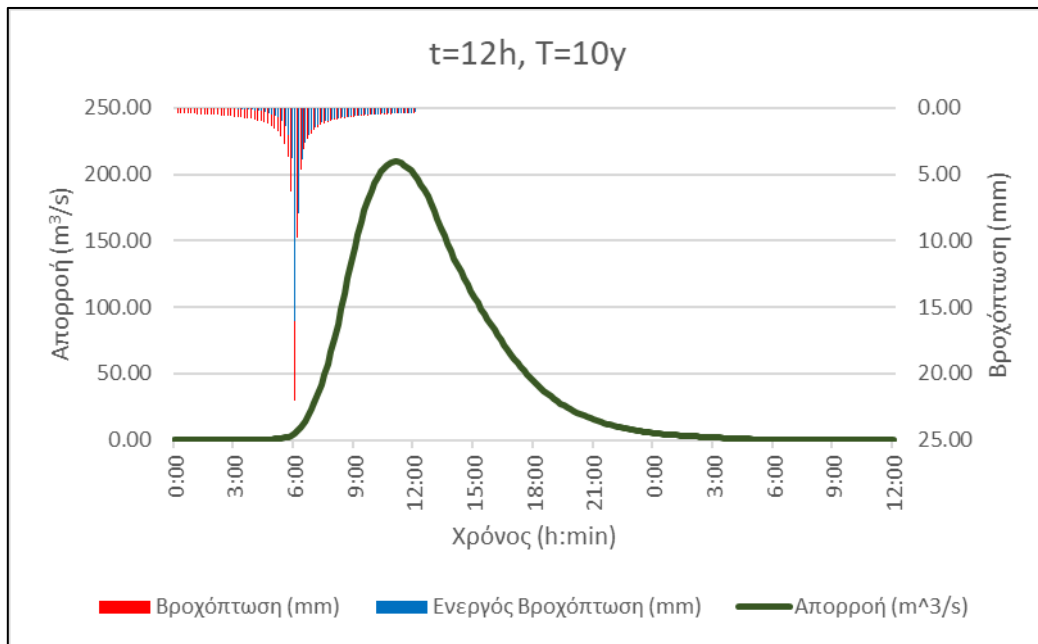


Εικόνα Π19: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1

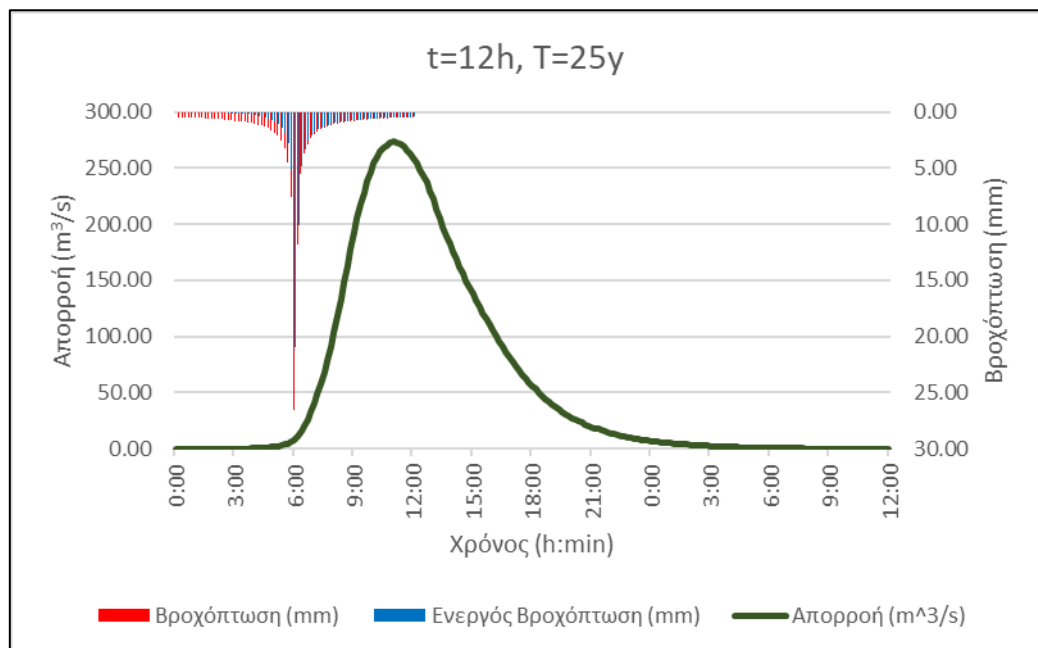


Εικόνα Π20: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1

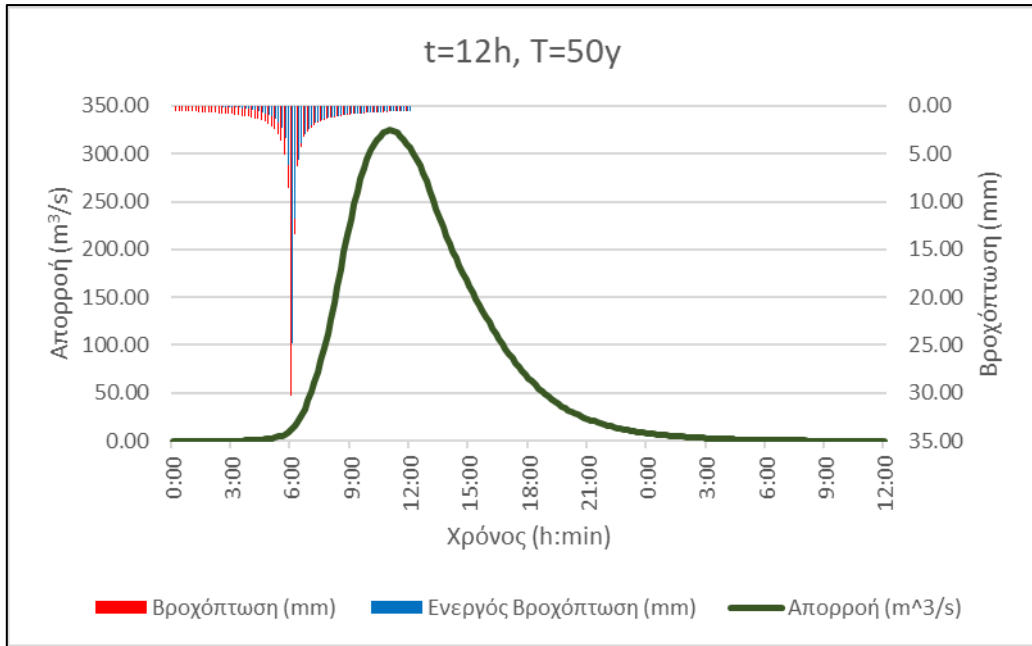




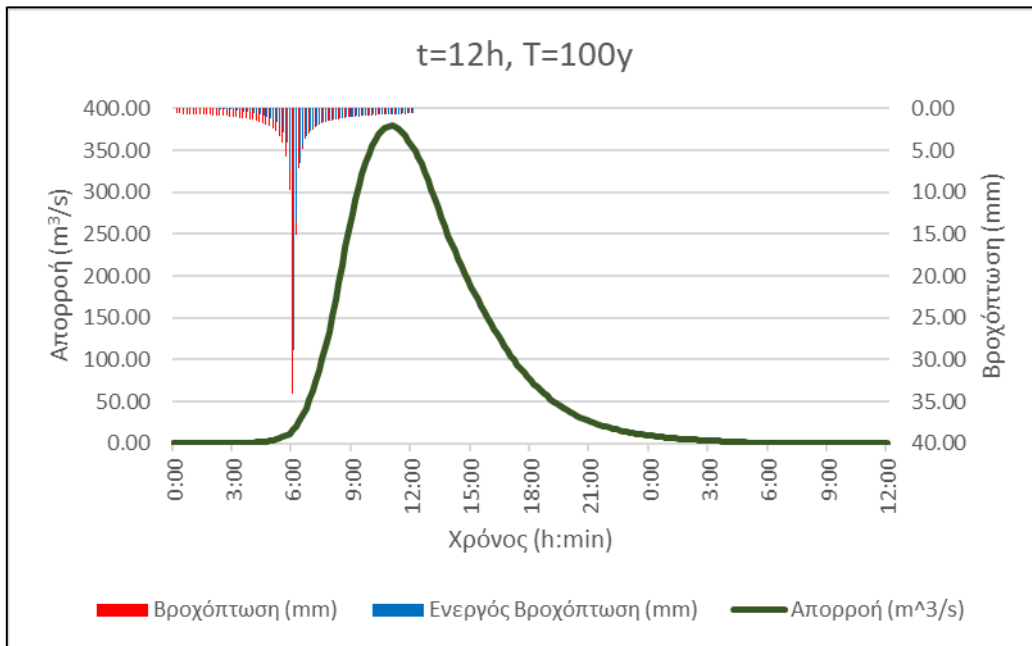
Εικόνα Π21: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1



Εικόνα Π22: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1

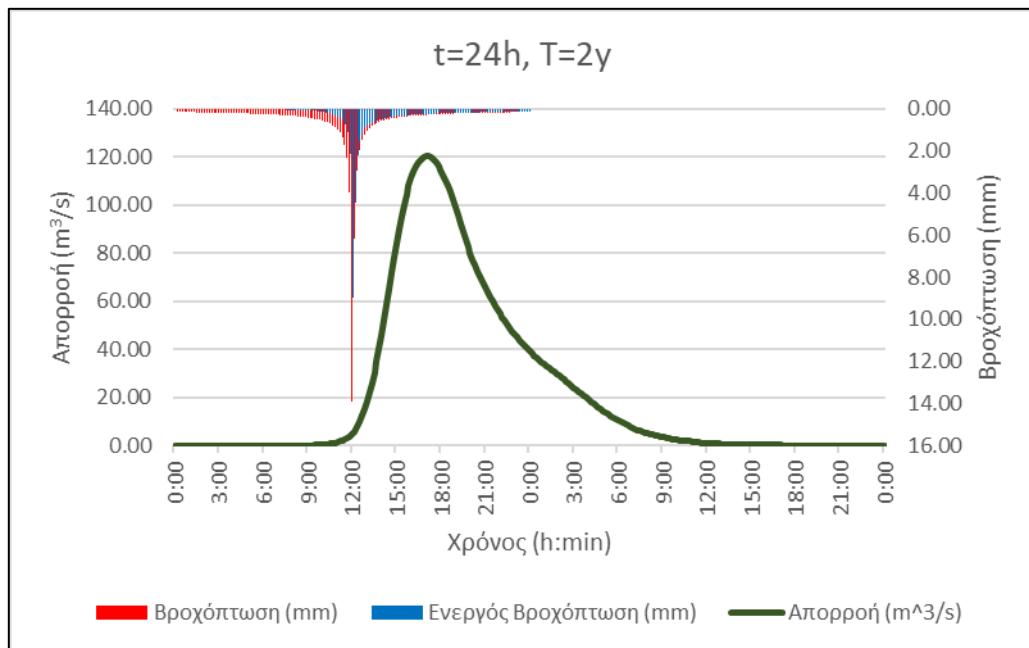


Εικόνα Π23: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1

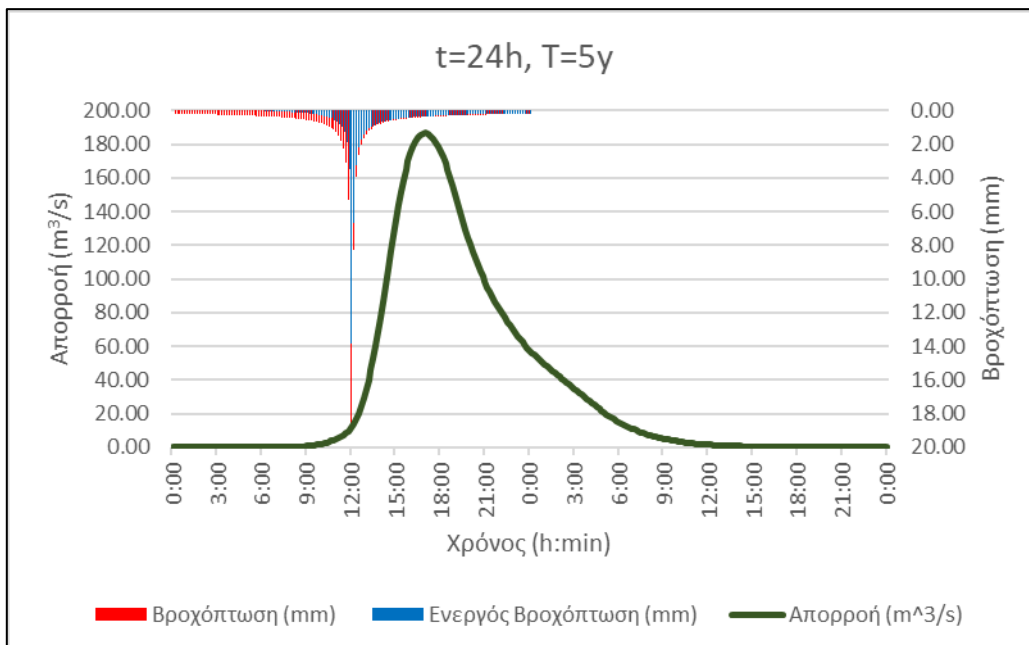


Εικόνα Π24: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 1

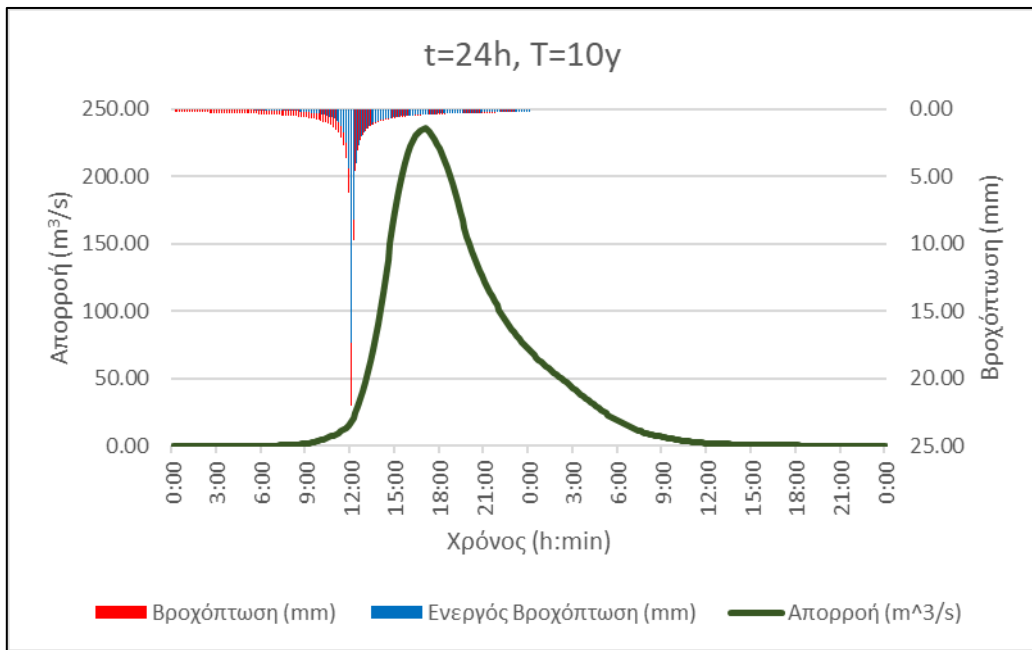
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 1.



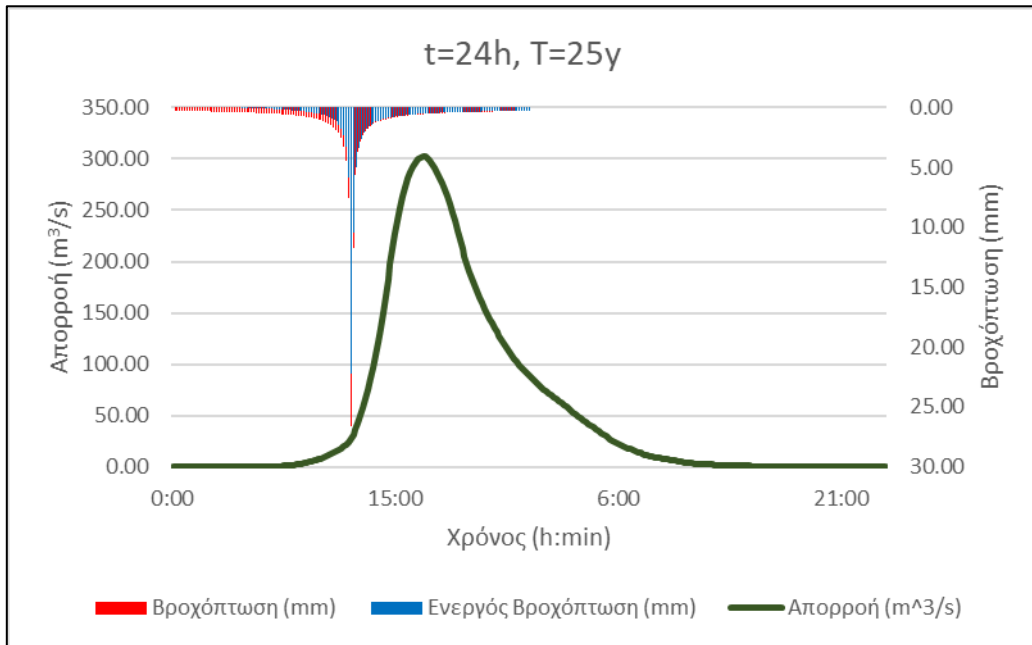
Εικόνα Π25: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1



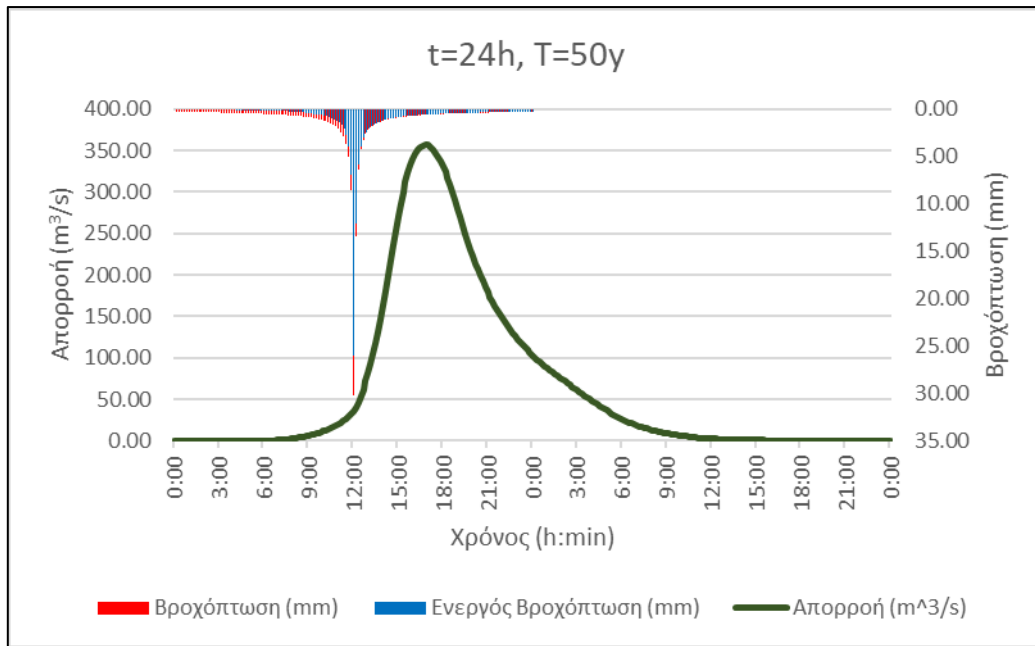
Εικόνα Π26: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1



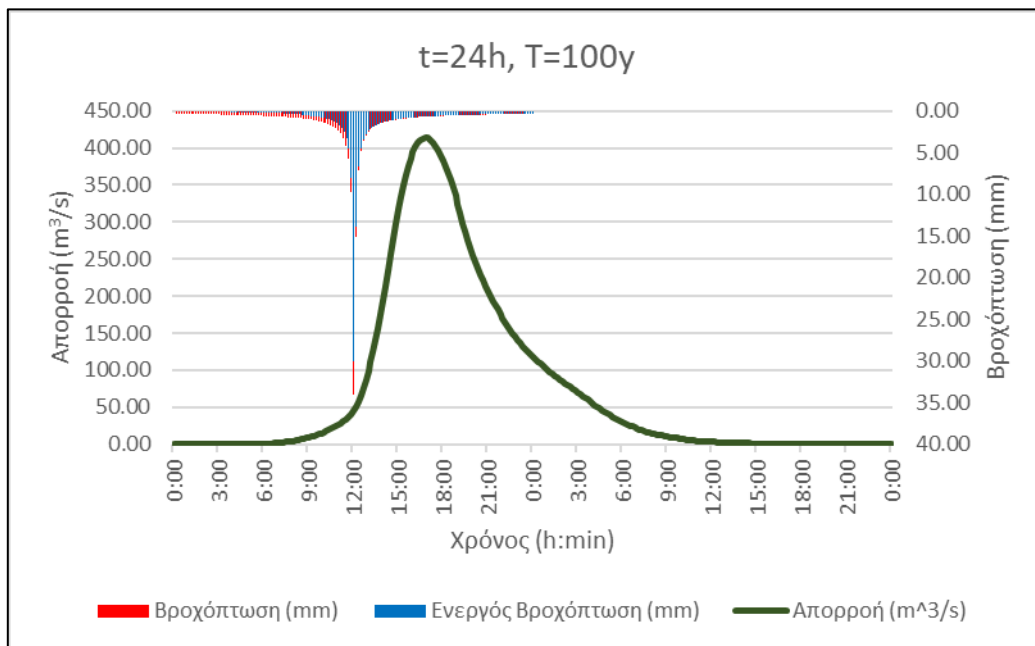
Εικόνα Π 27: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1



Εικόνα Π28: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1

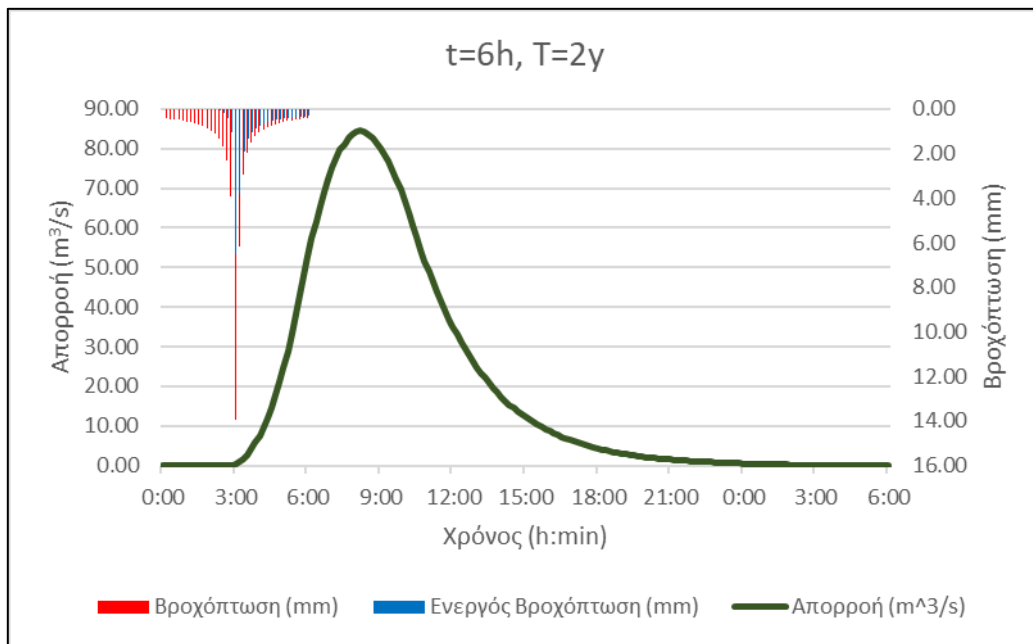


Εικόνα Π29: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1

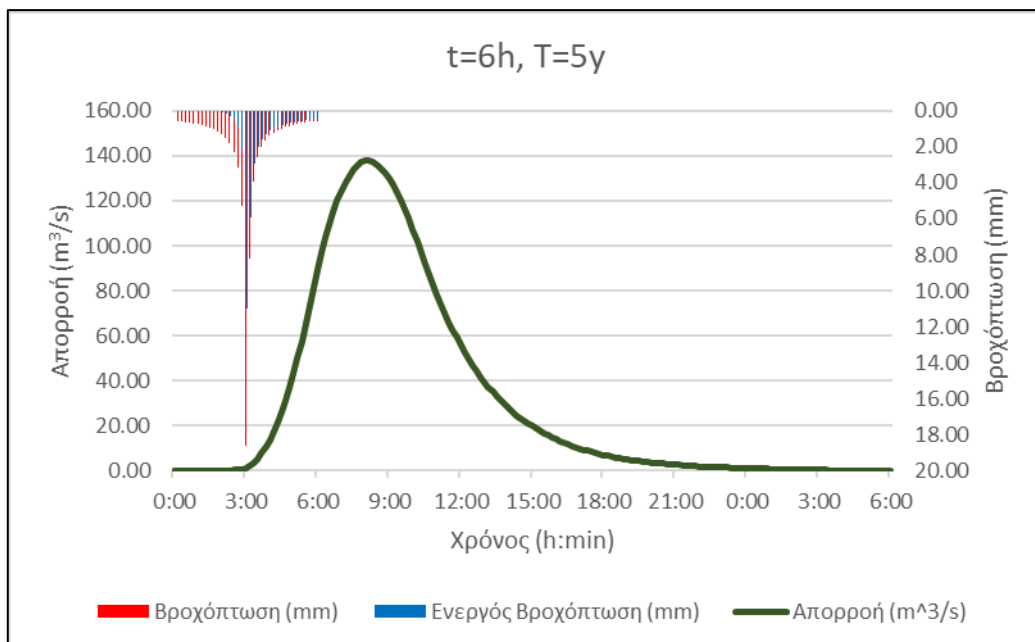


Εικόνα Π30: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 1

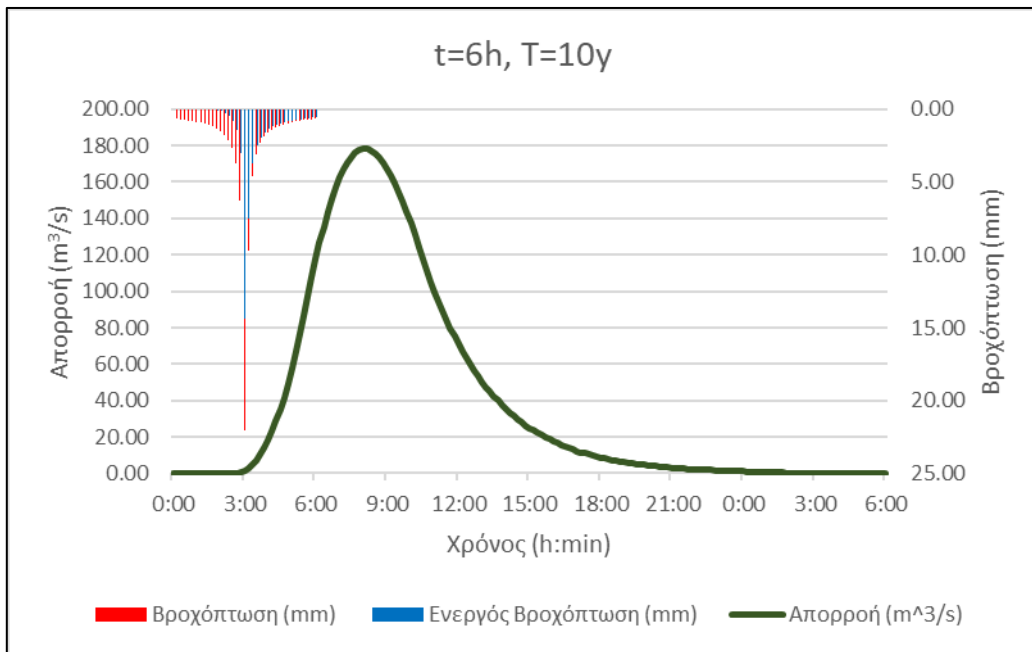
Για  $t=6$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 2.



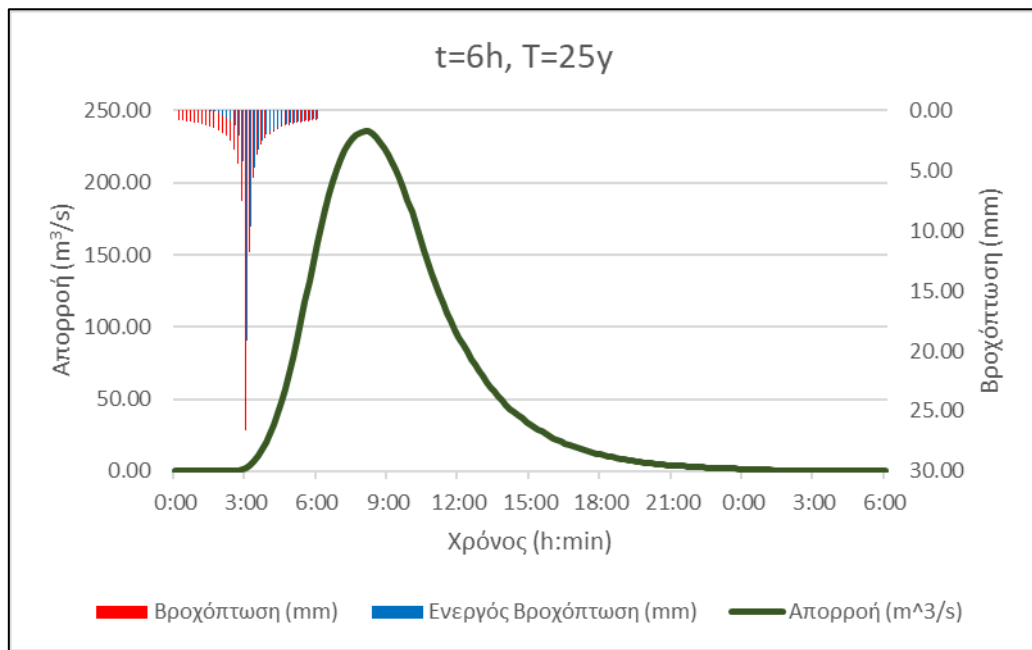
Εικόνα Π31: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



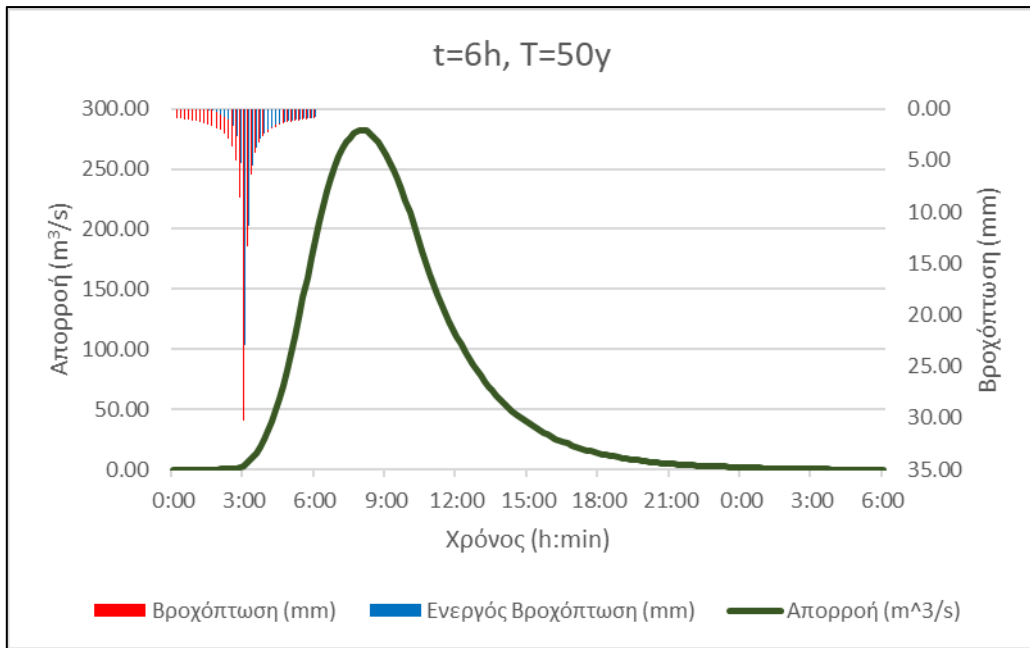
Εικόνα Π32: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



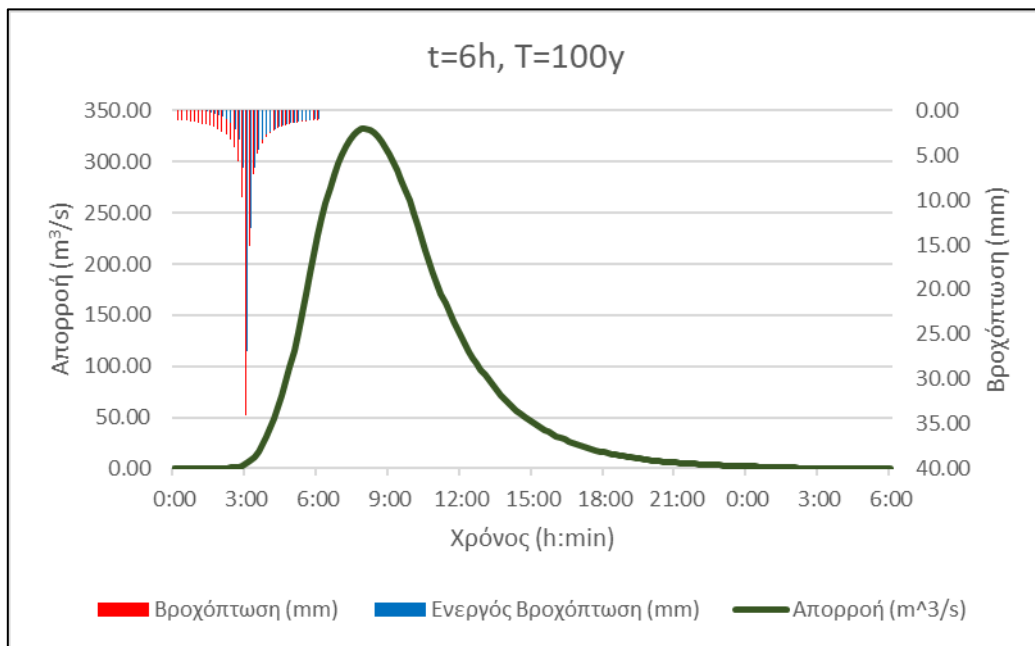
Εικόνα Π33: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



Εικόνα Π34: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



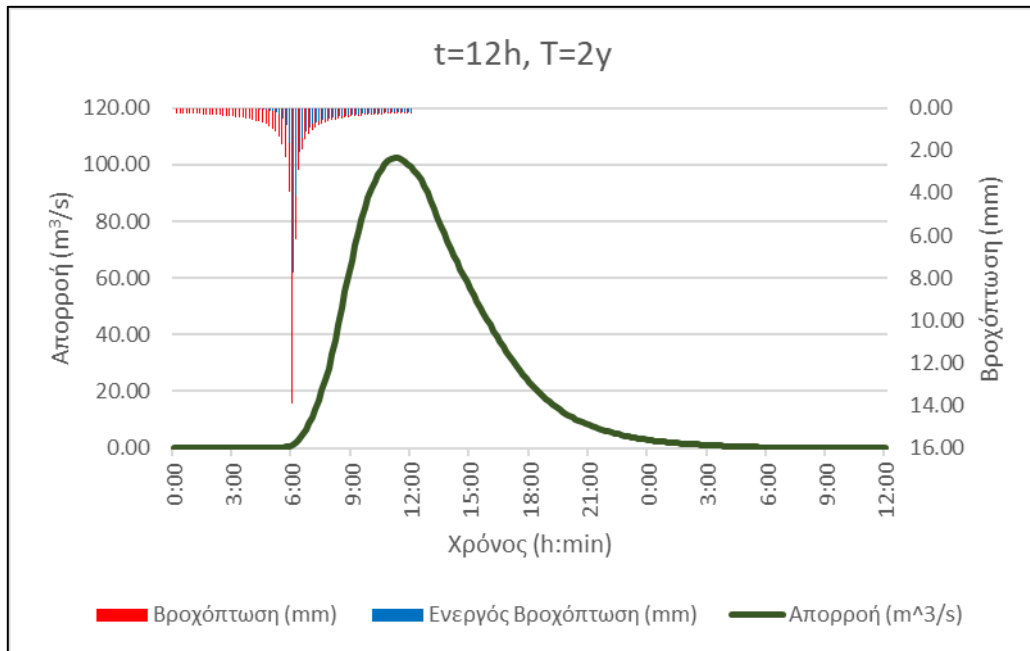
Εικόνα Π35: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



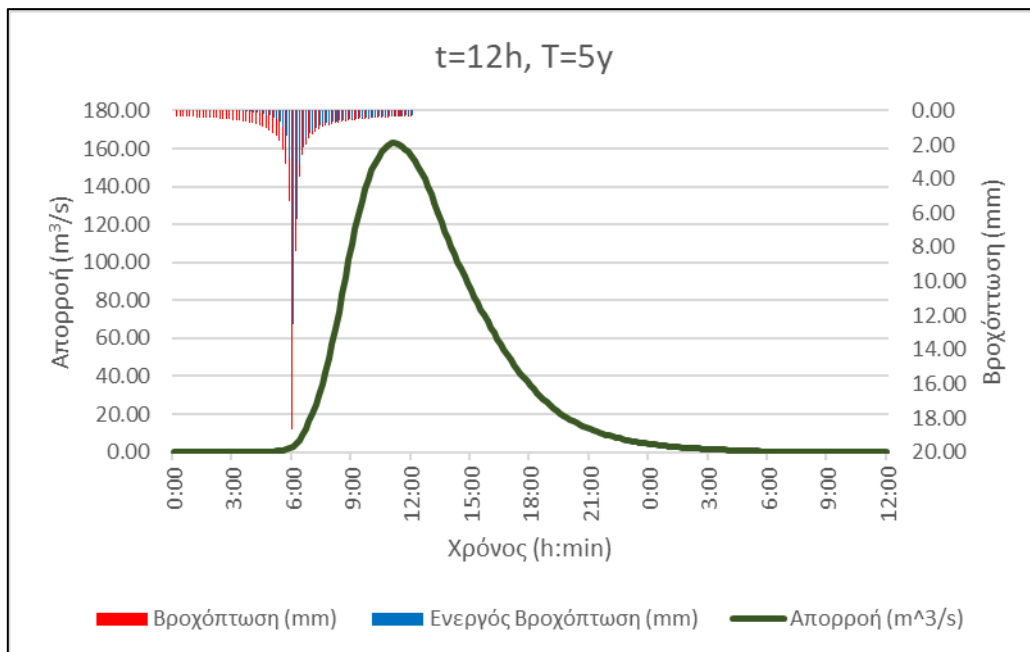
Εικόνα Π36: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2



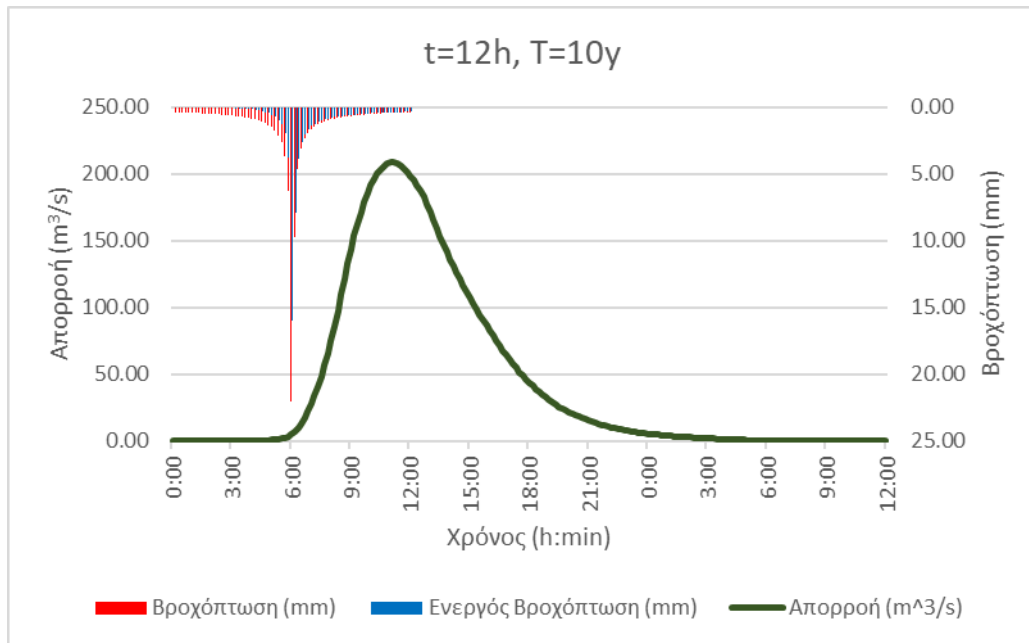
Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 2.



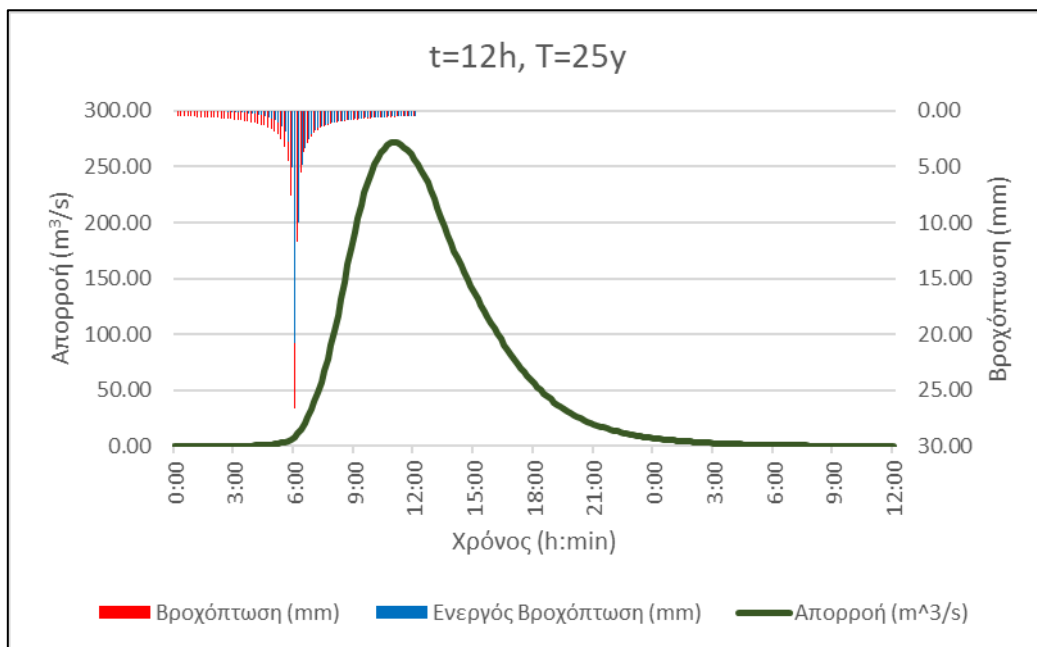
Εικόνα Π37: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2



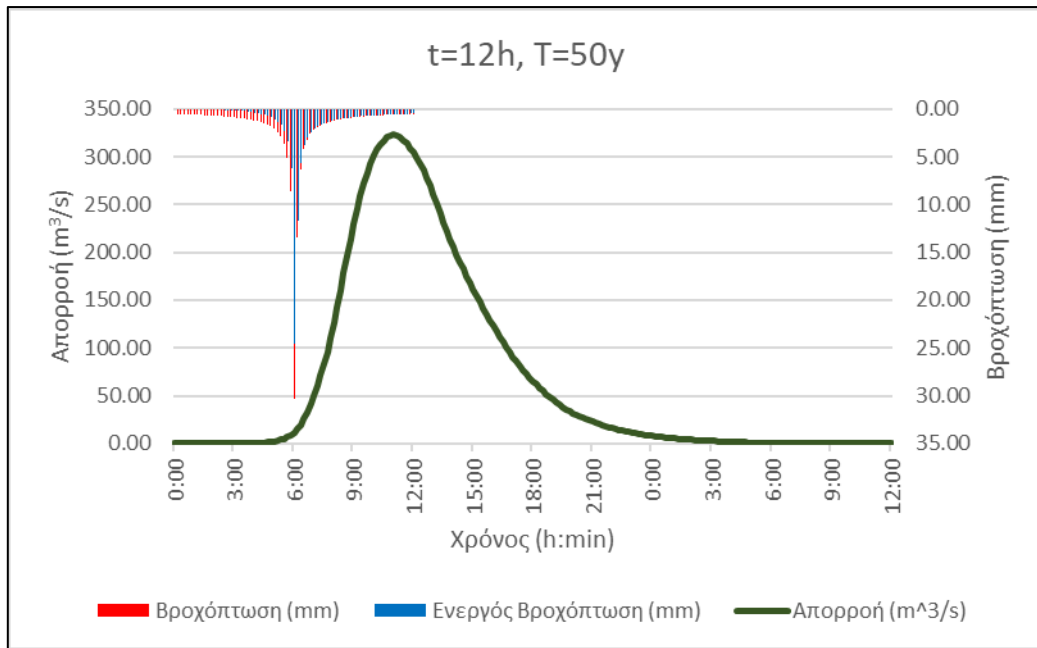
Εικόνα Π38: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2



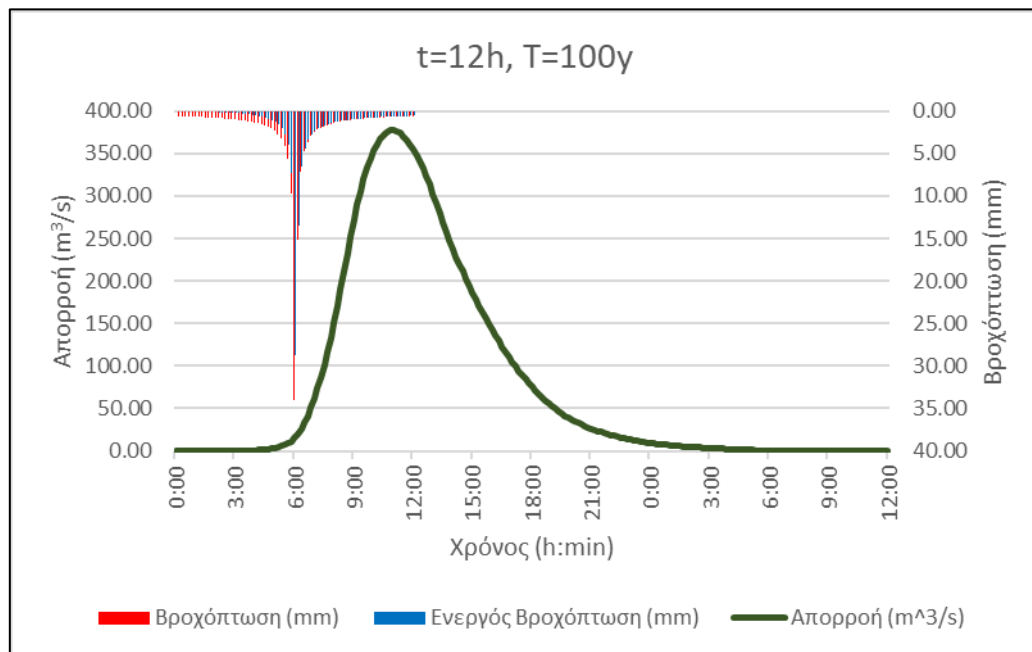
Εικόνα Π39: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2



Εικόνα Π40: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2

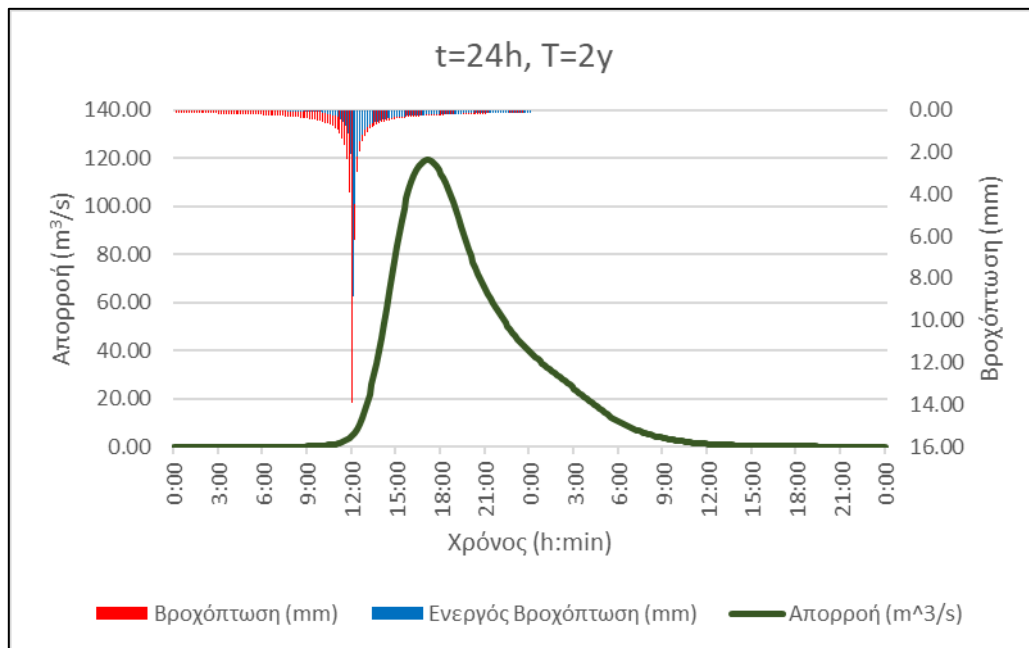


Εικόνα Π41: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2

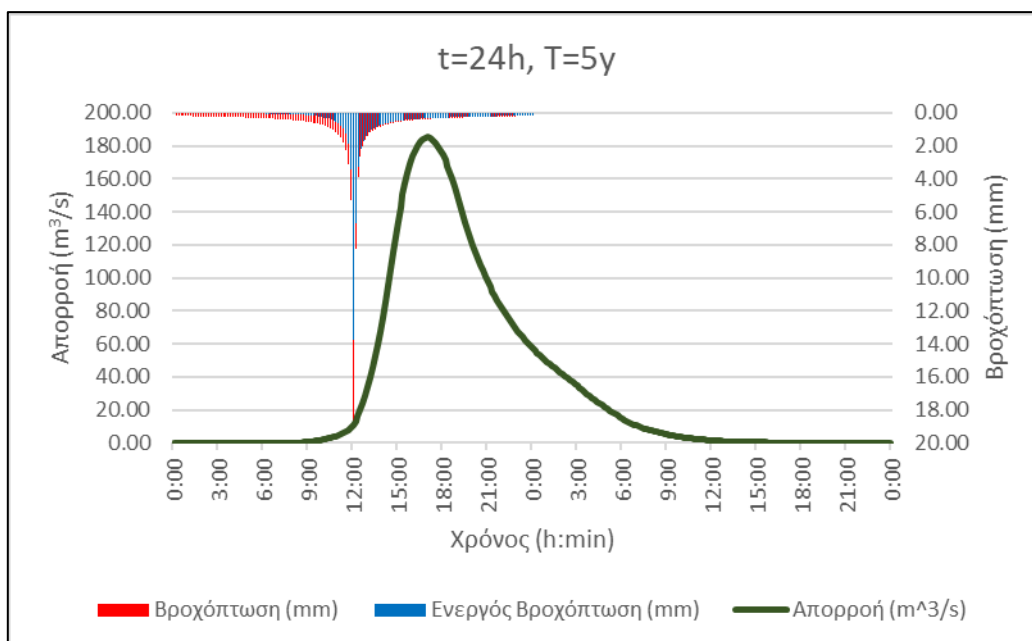


Εικόνα Π42: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 2

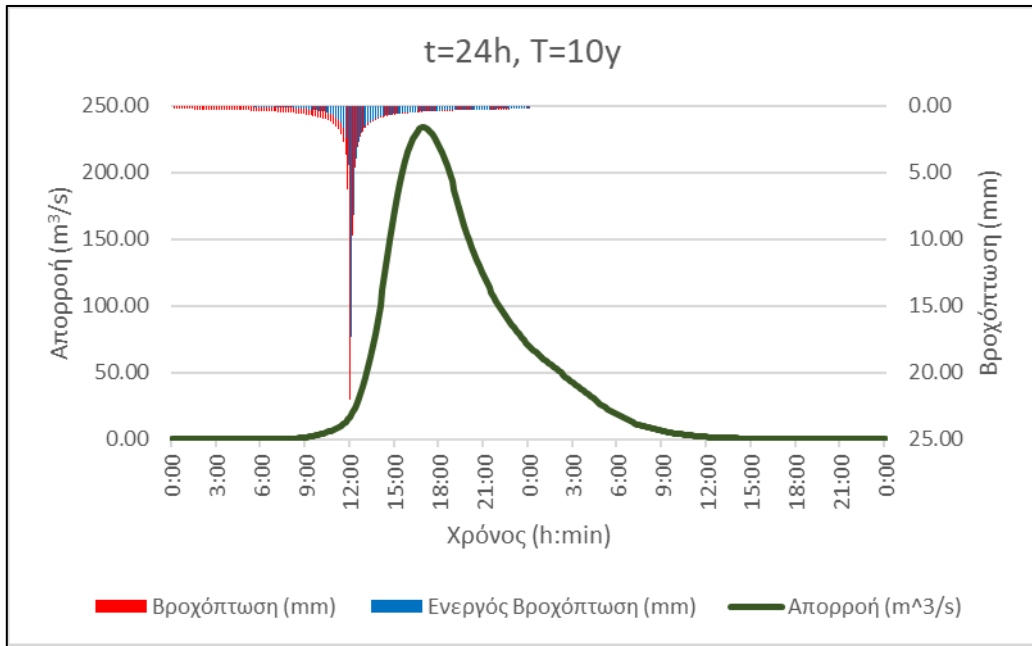
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 2.



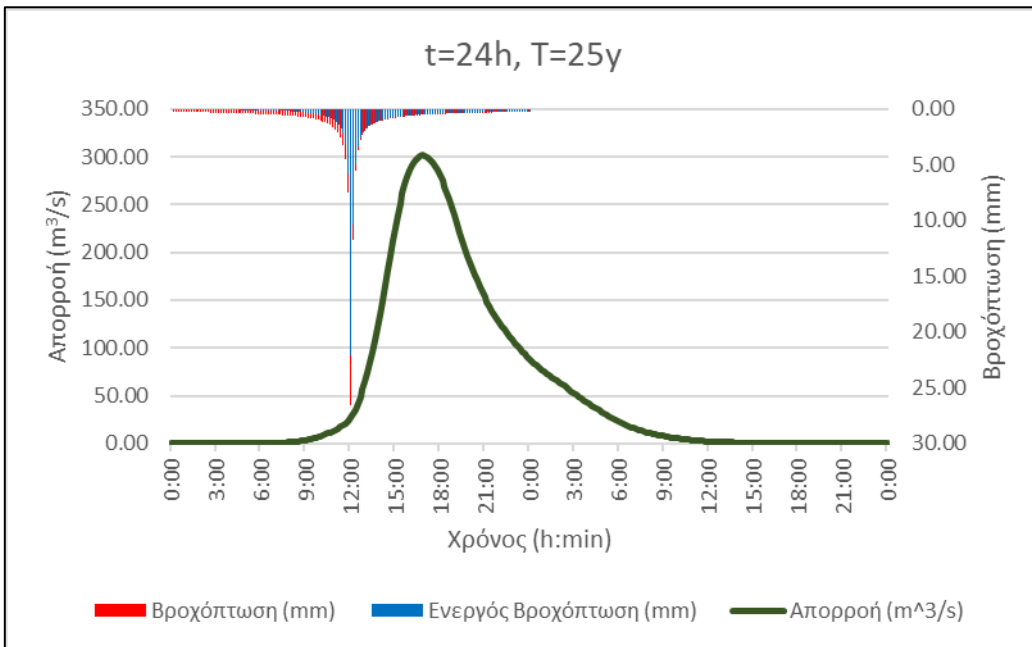
Εικόνα Π43: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2



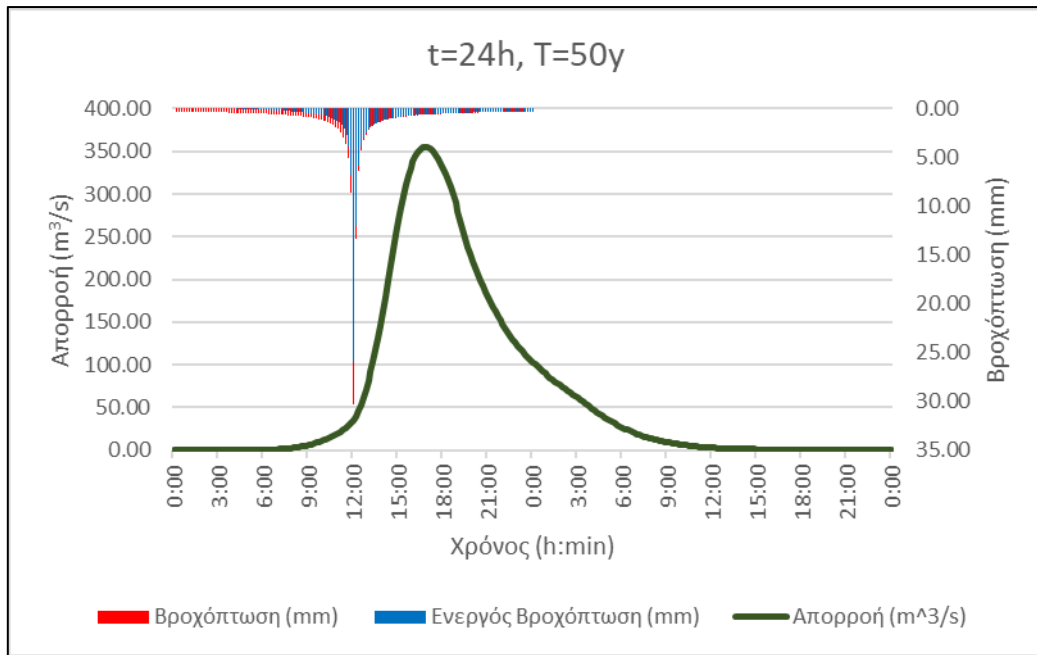
Εικόνα Π44: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2



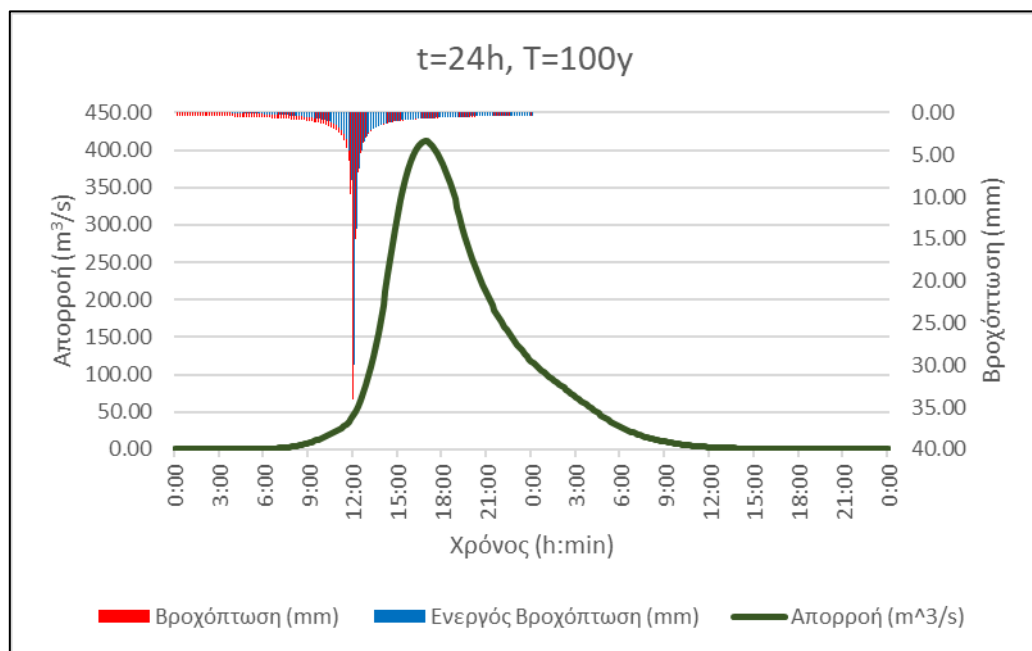
Εικόνα Π45: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2



Εικόνα Π46: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2

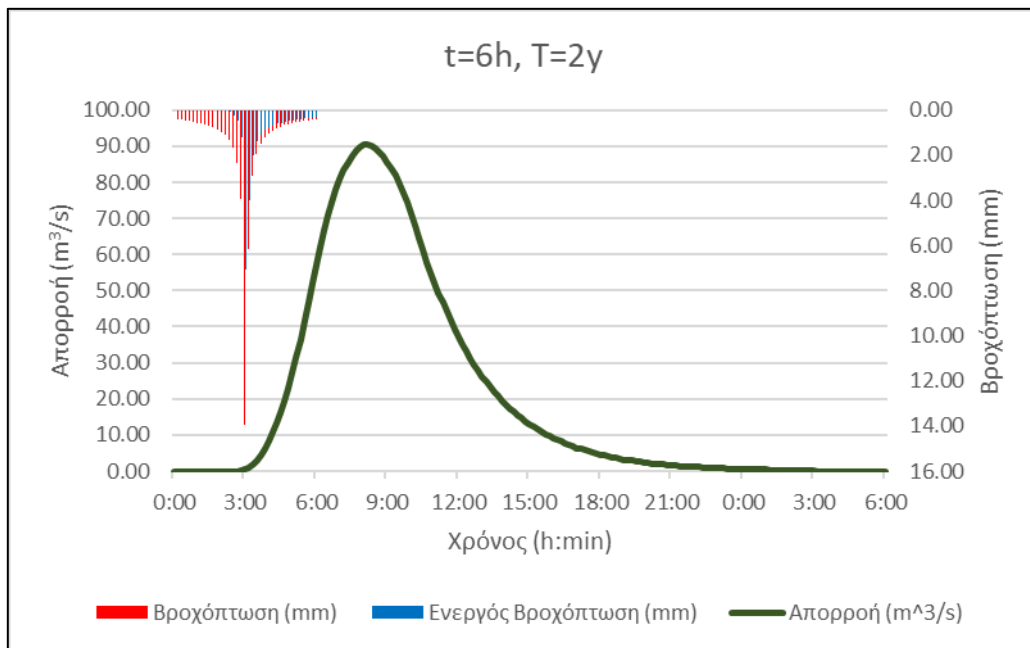


Εικόνα Π47: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2

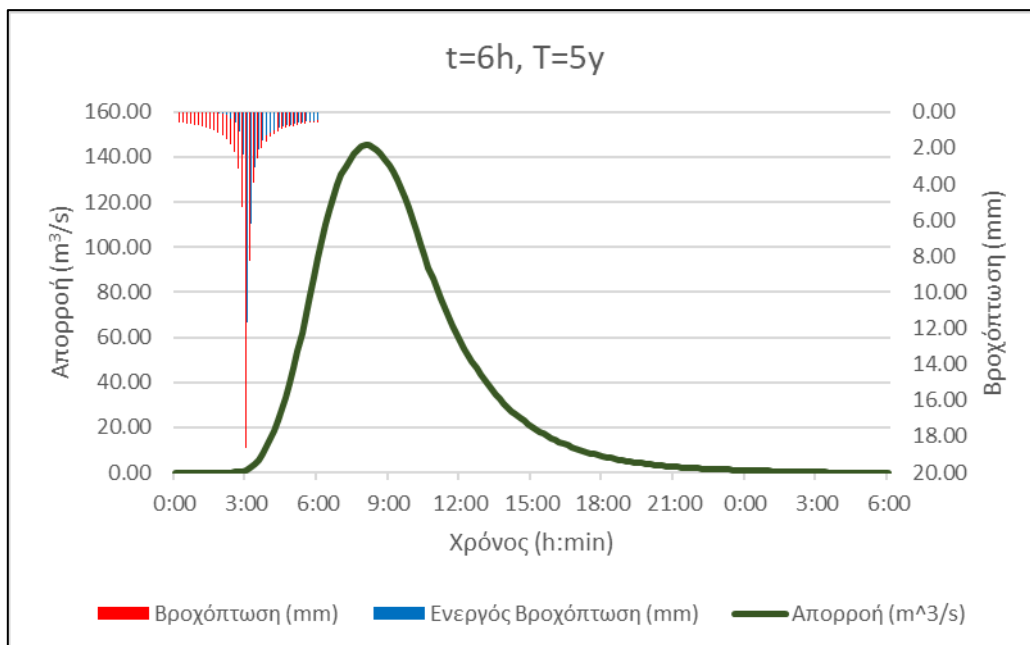


Εικόνα Π48: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 2

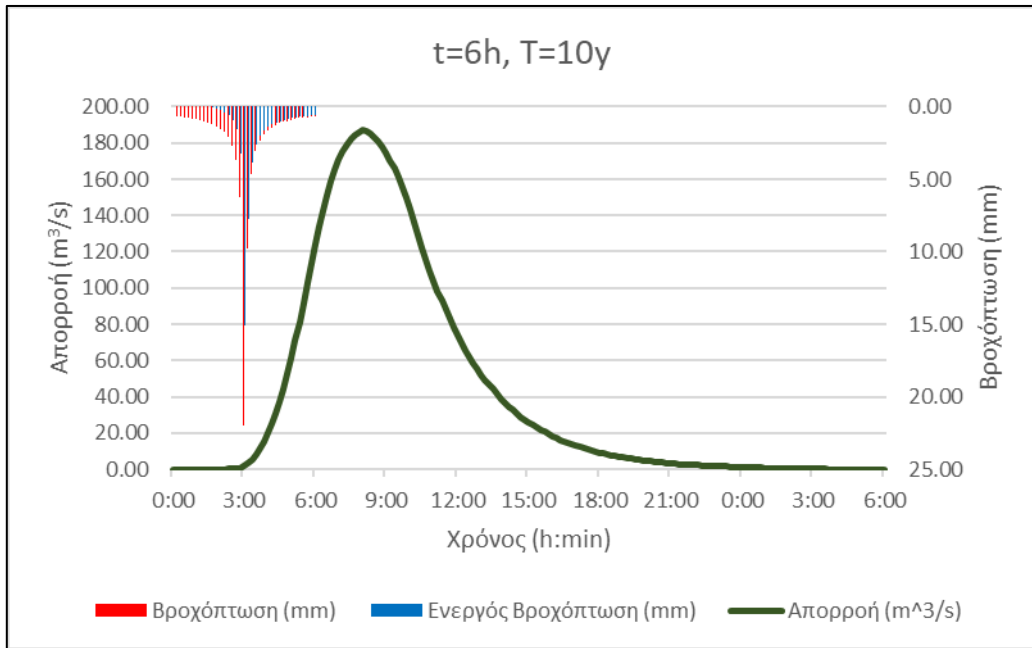
Για  $t=6$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3α.



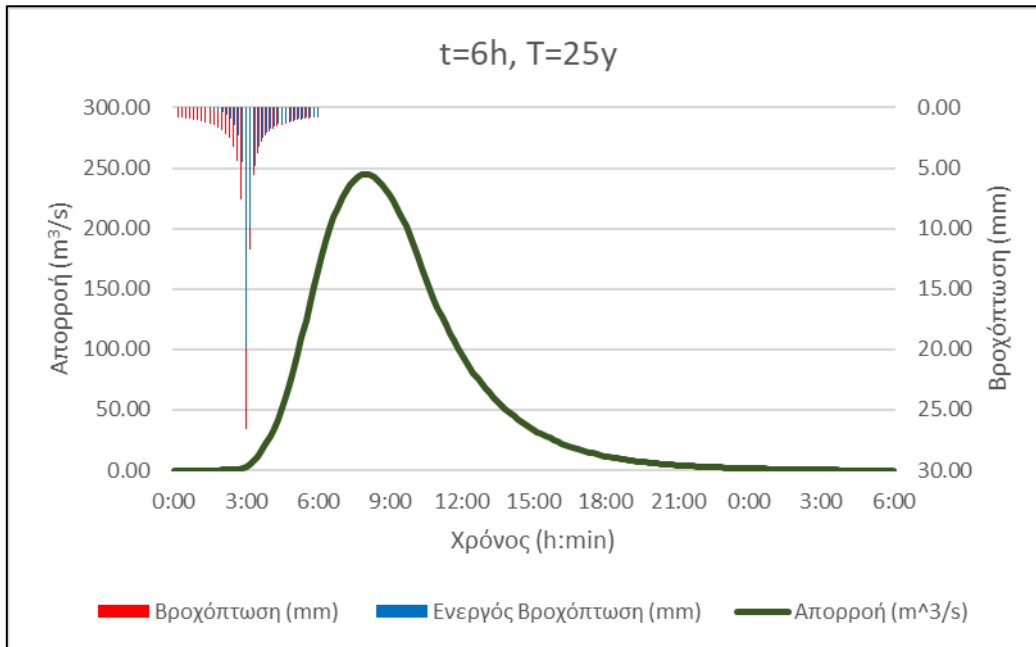
Εικόνα Π49: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α



Εικόνα Π50: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α

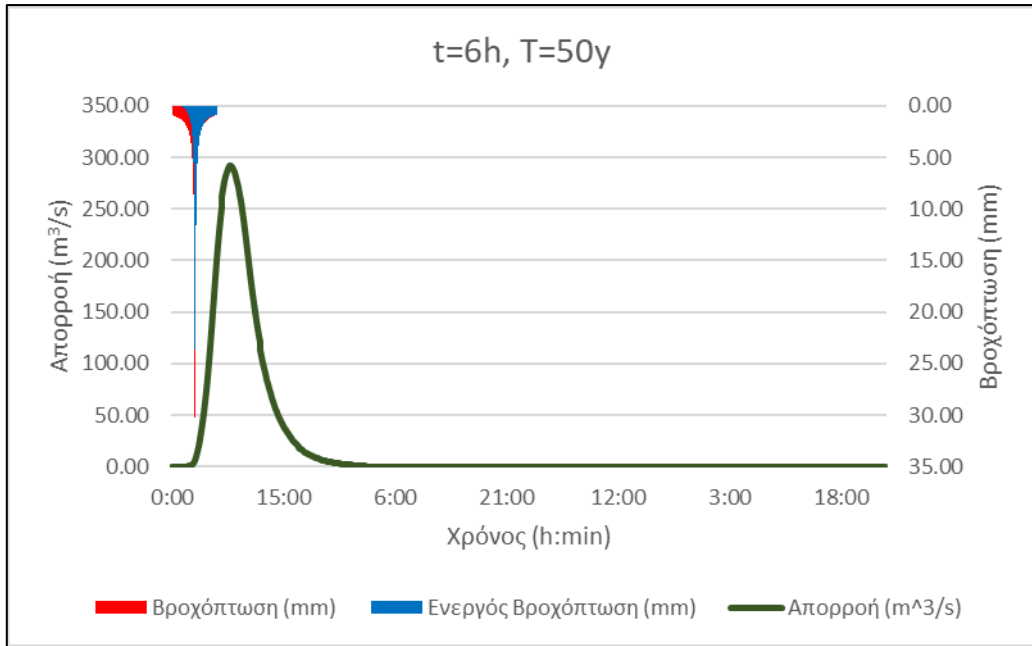


Εικόνα Π51: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α

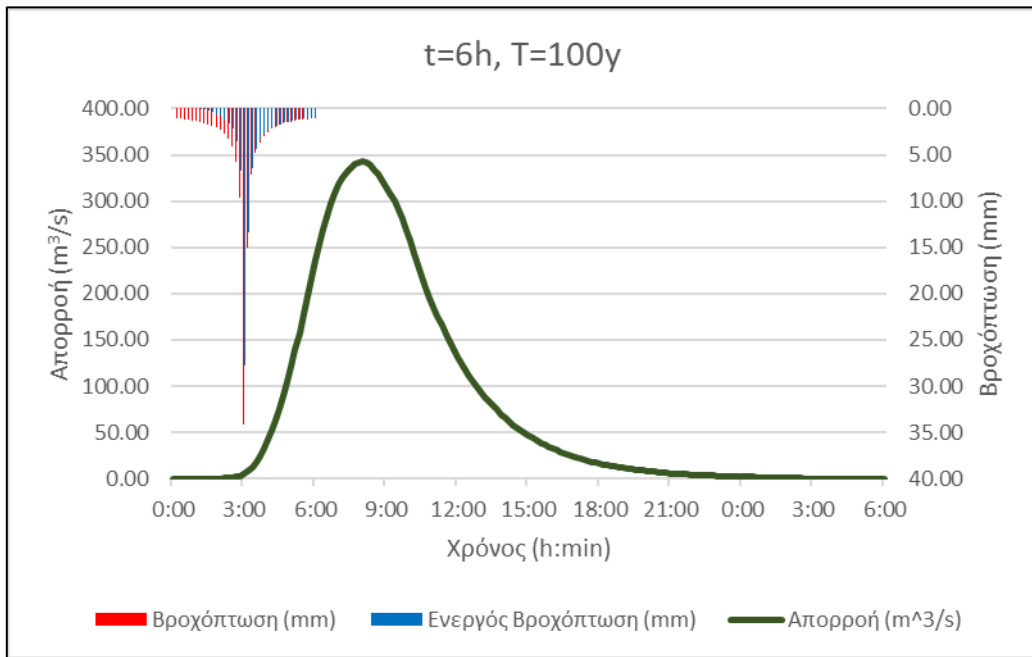


Εικόνα Π52: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α



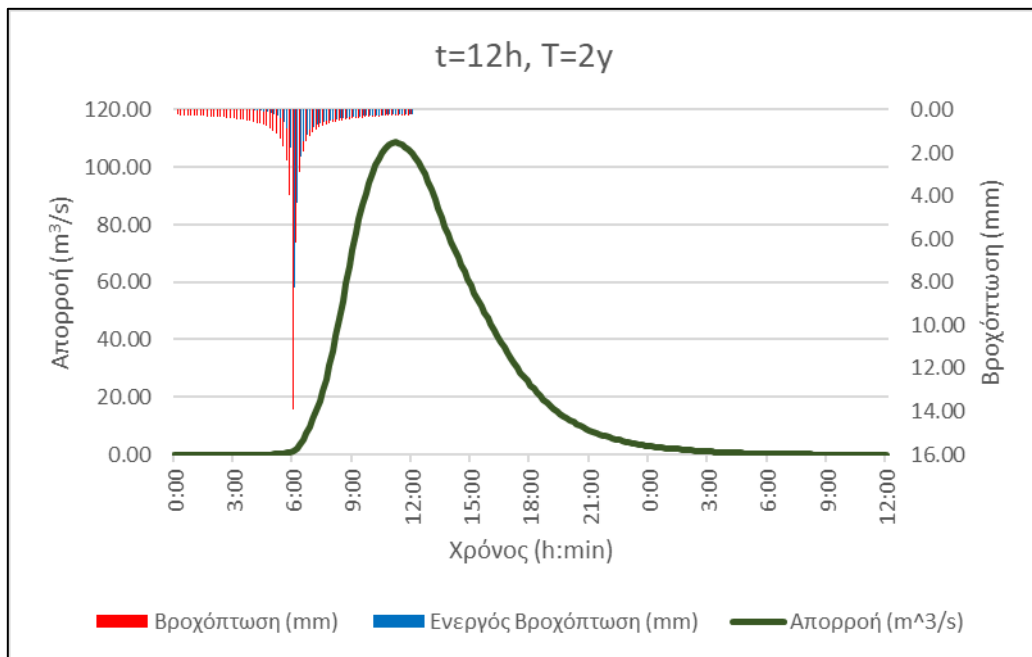


Εικόνα Π53: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α

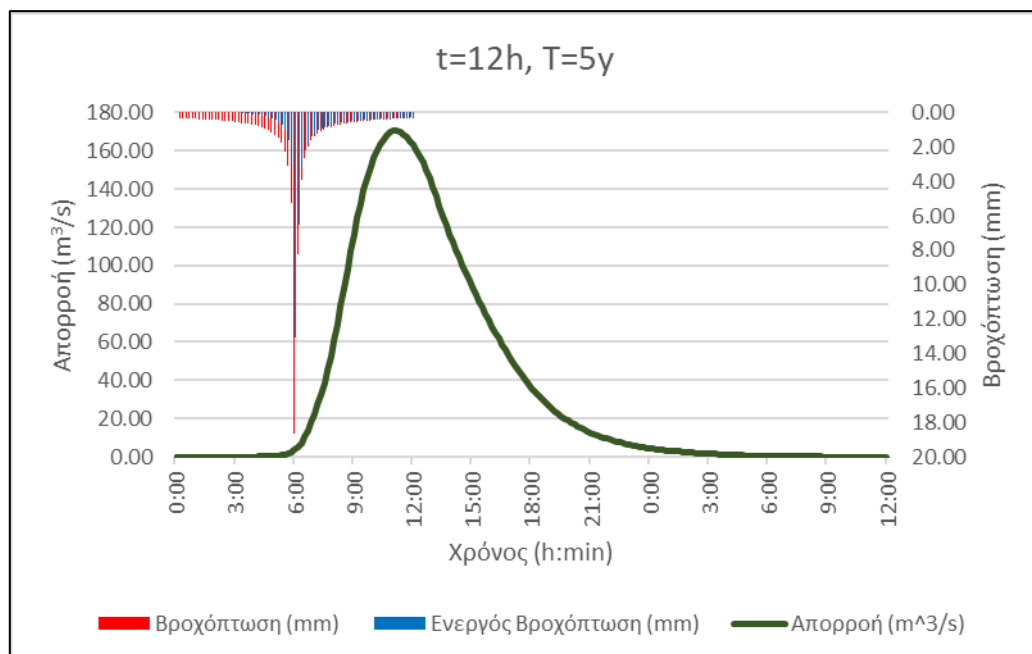


Εικόνα Π54: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3α

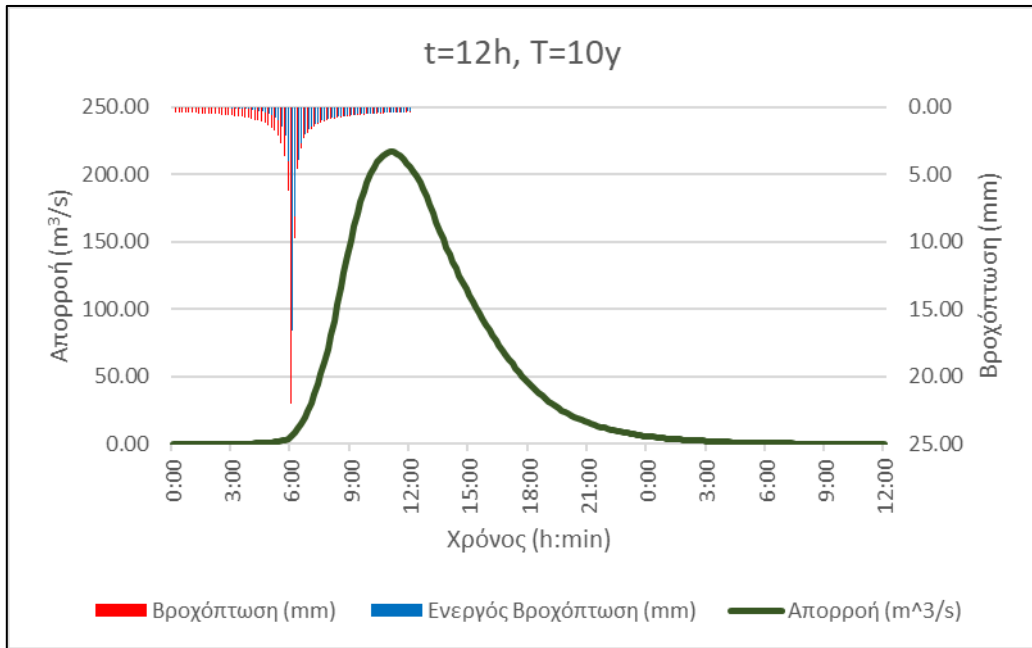
Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3α.



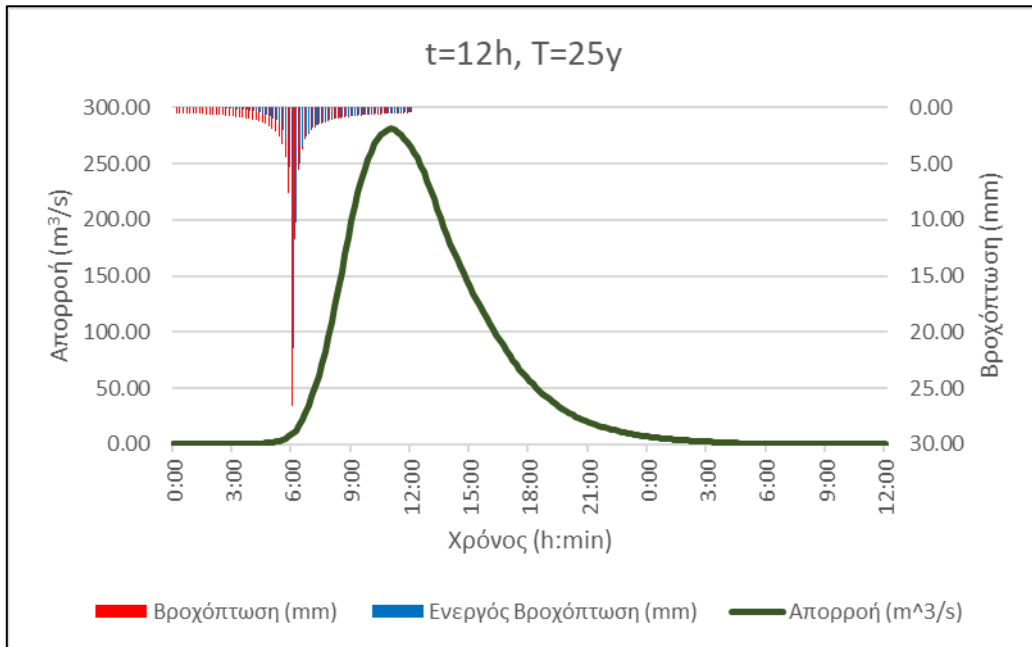
Εικόνα Π55: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α



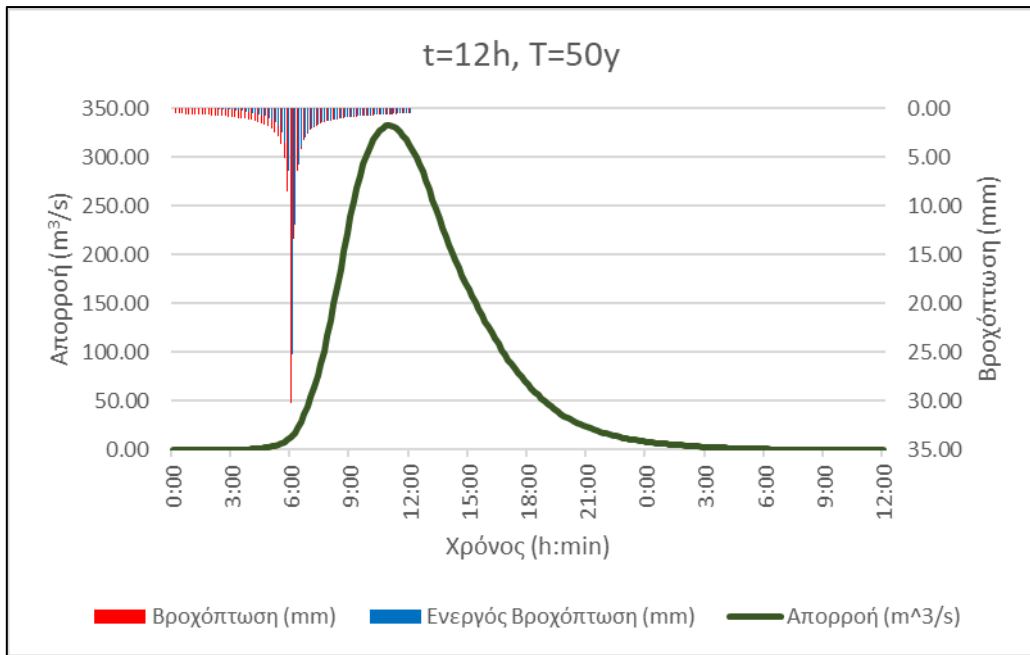
Εικόνα Π56: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α



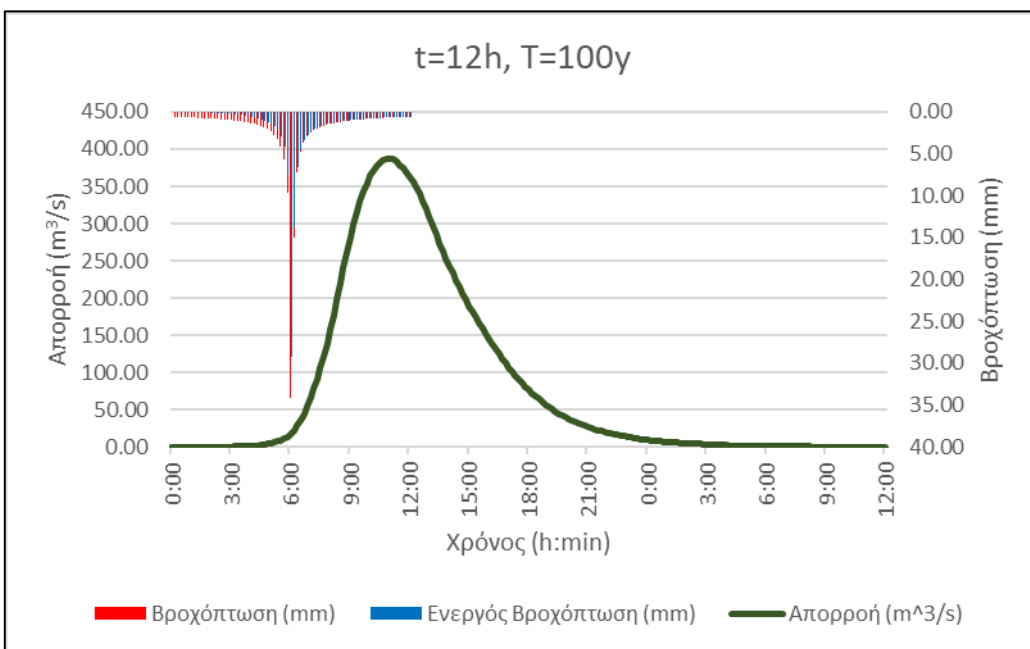
Εικόνα Π57: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α



Εικόνα Π58: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α

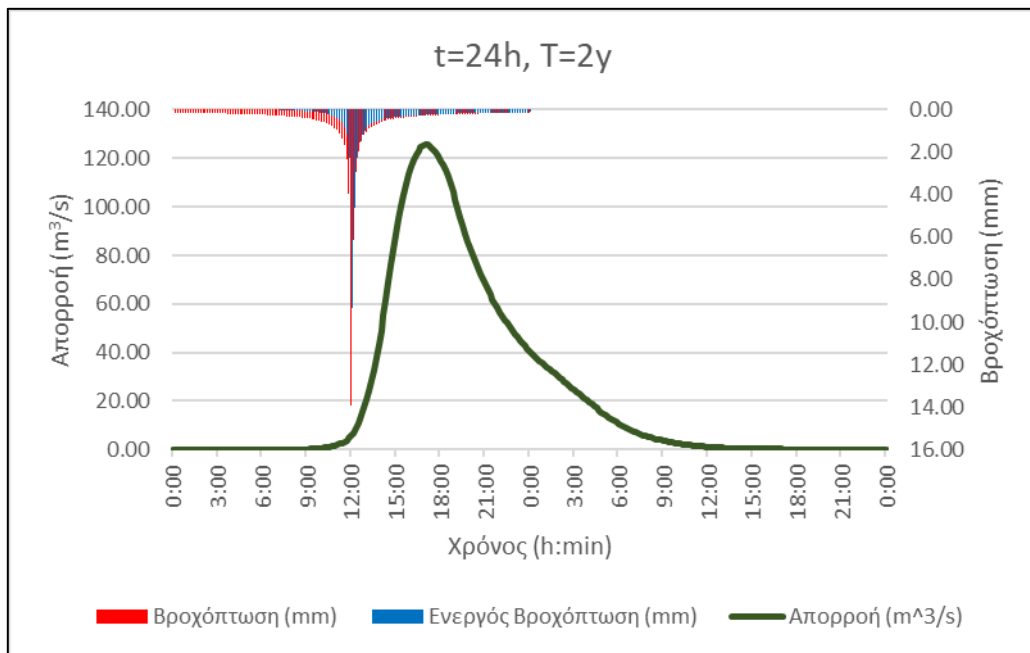


Εικόνα Π59: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α

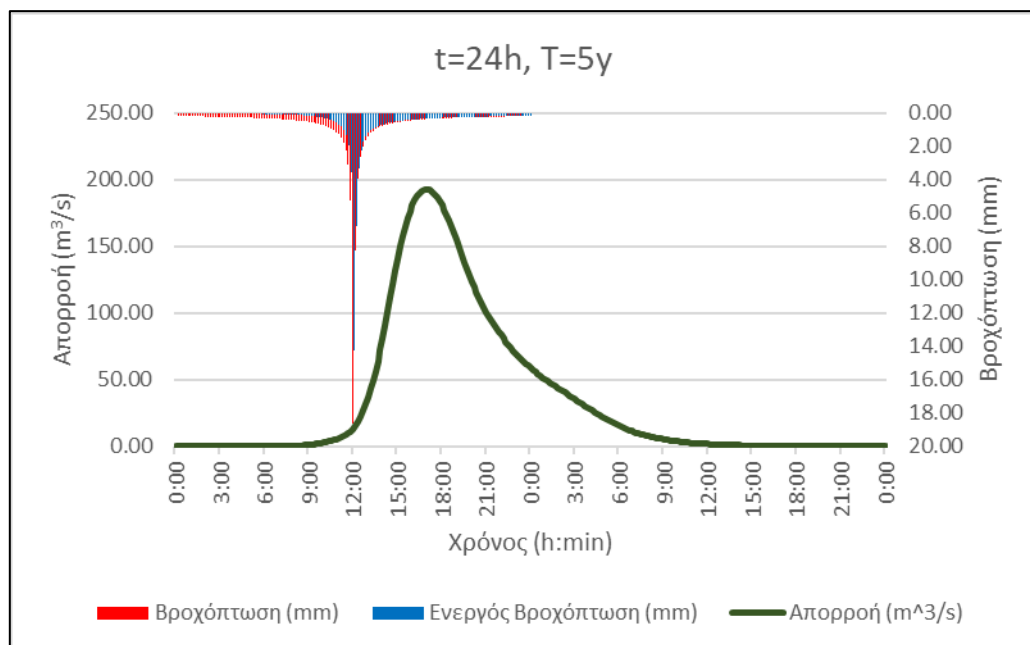


Εικόνα Π60: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3α

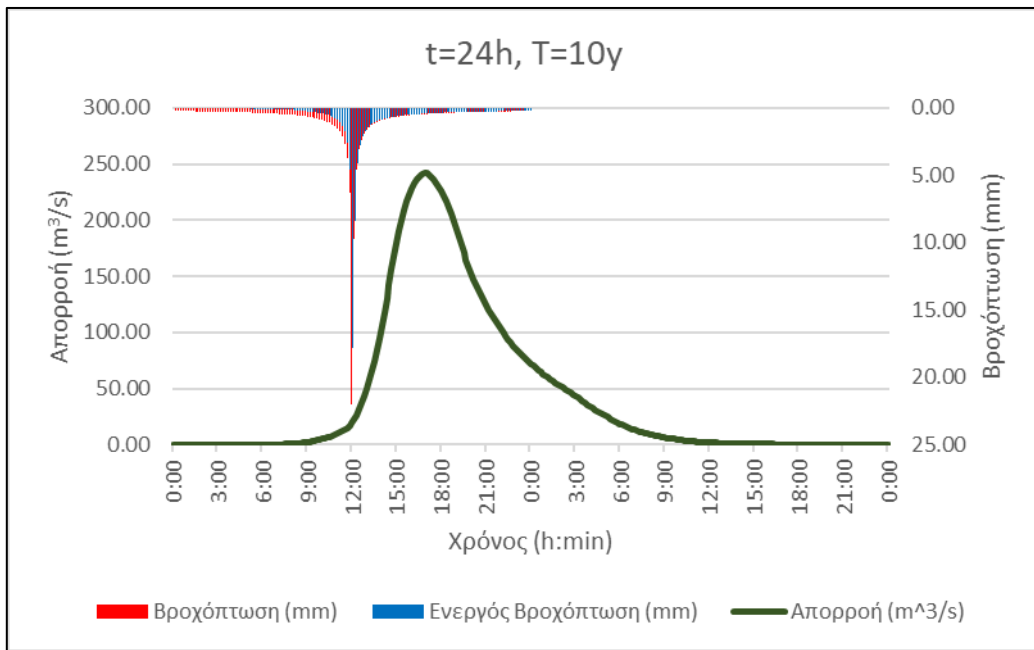
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3α.



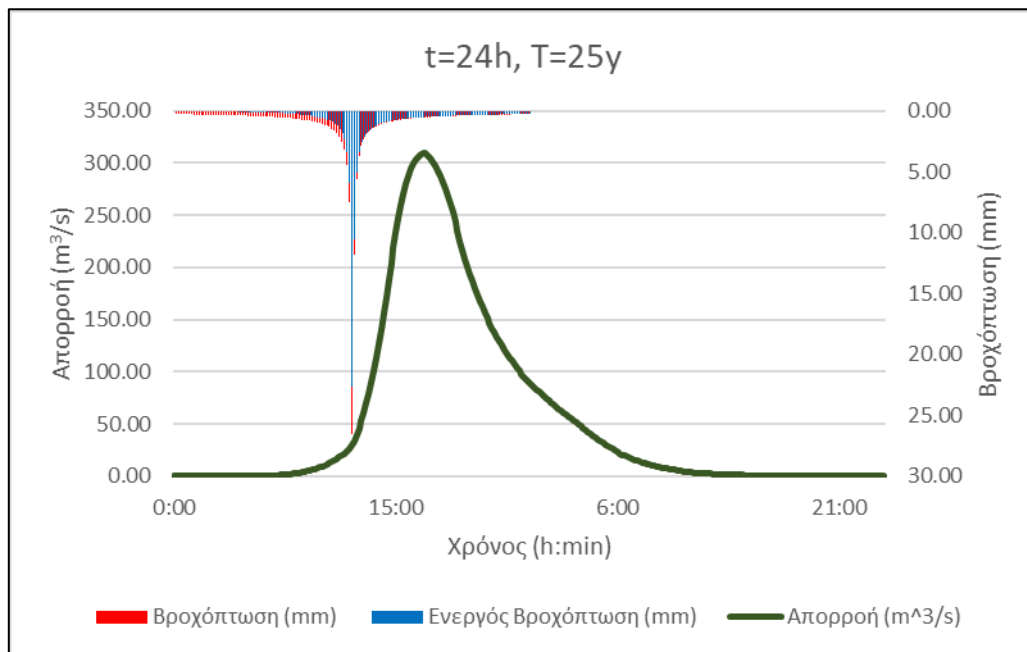
Εικόνα Π61: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α



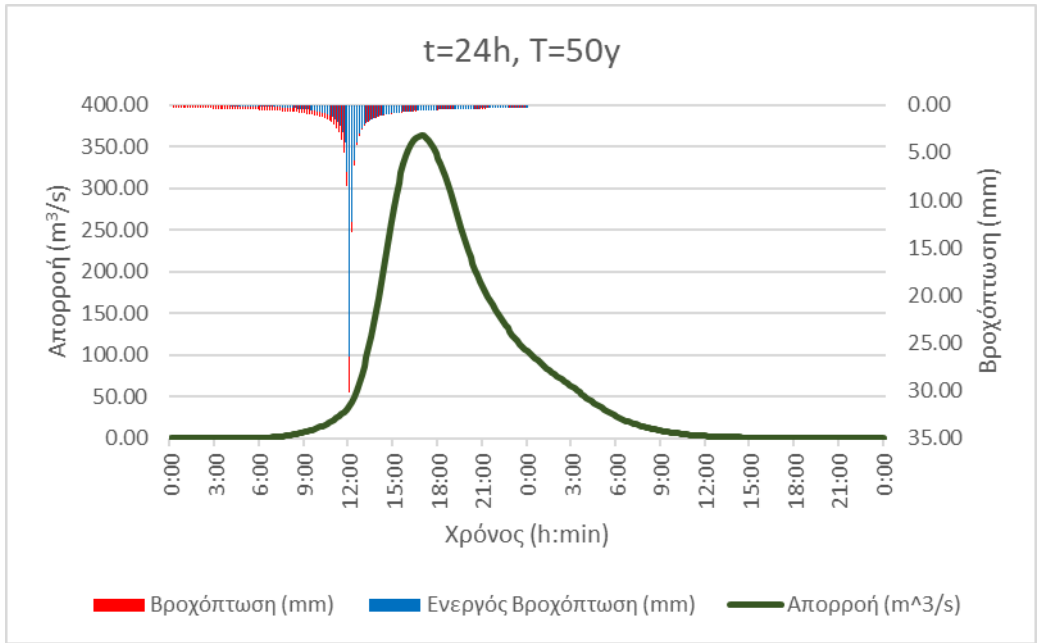
Εικόνα Π62: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α



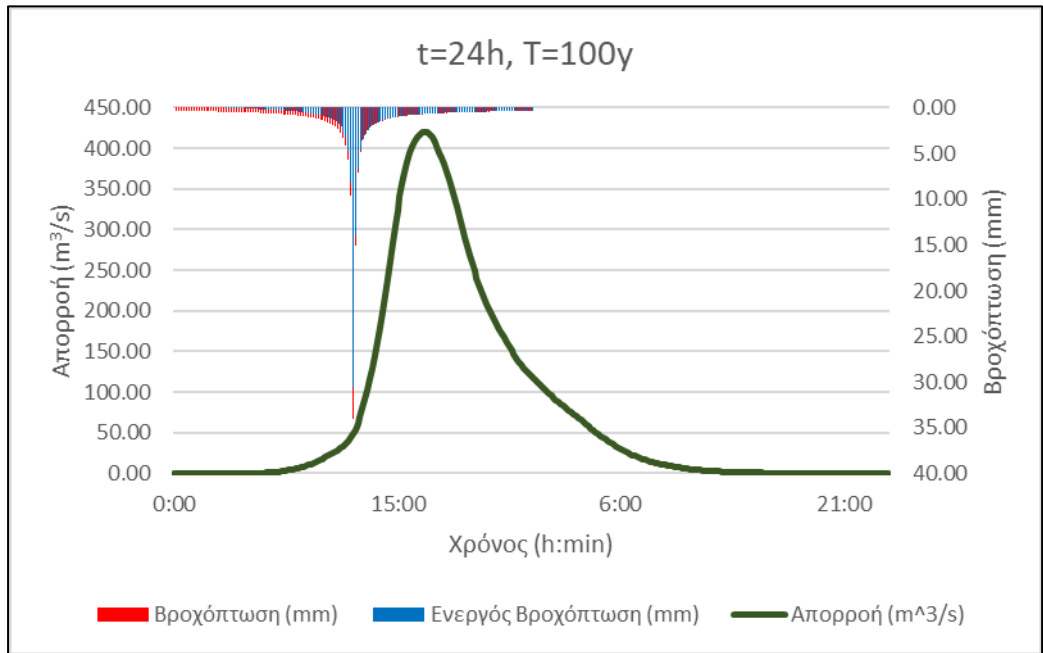
Εικόνα Π63: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α



Εικόνα Π64: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α

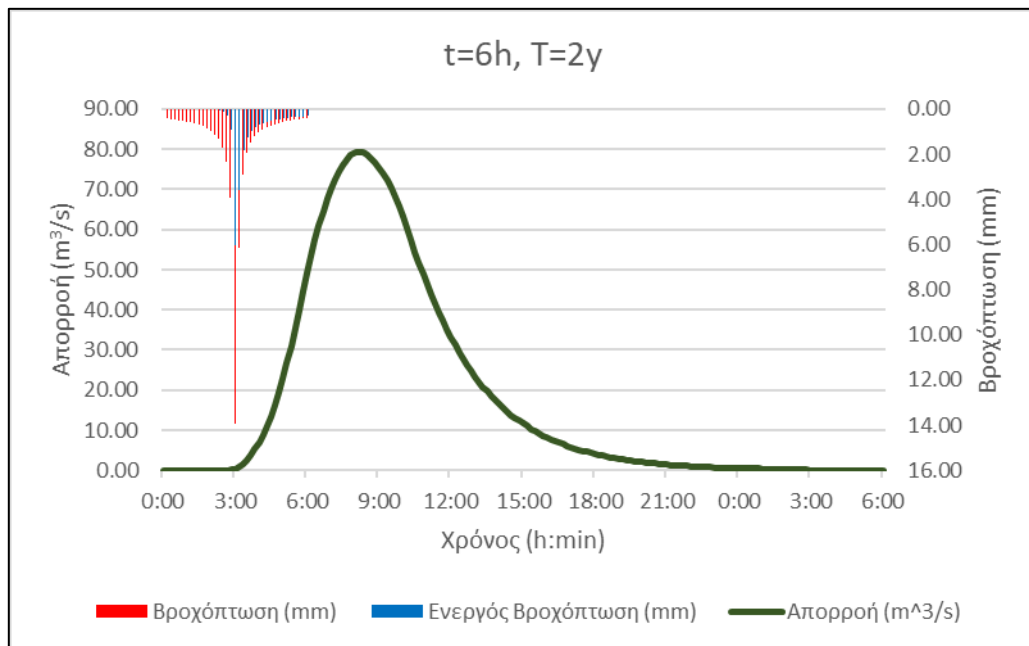


Εικόνα Π65: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α

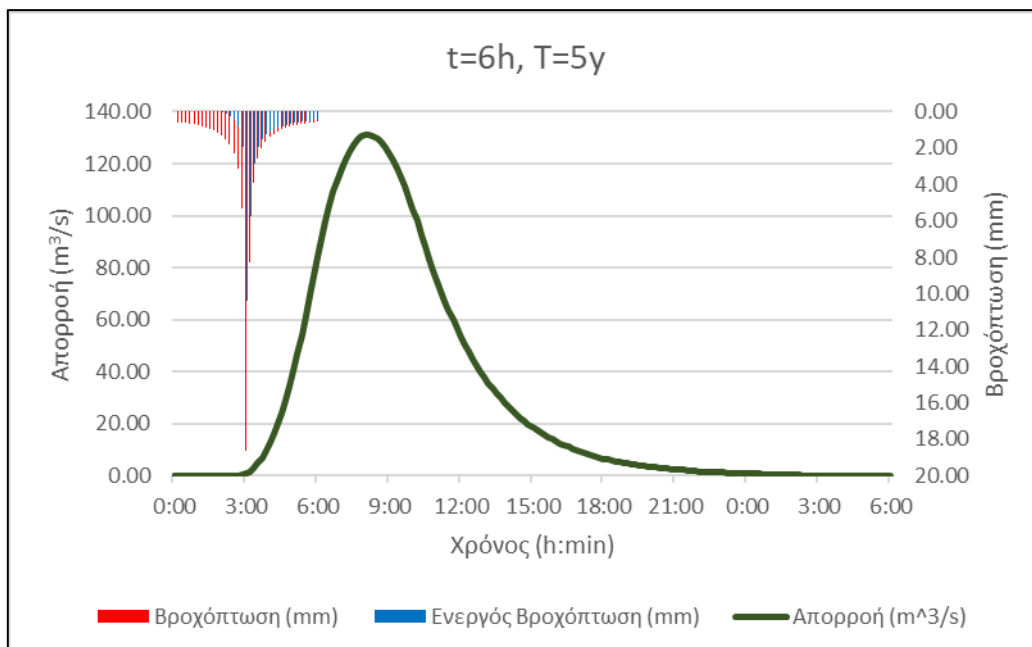


Εικόνα Π66: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3α

Για  $t=6$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3β.

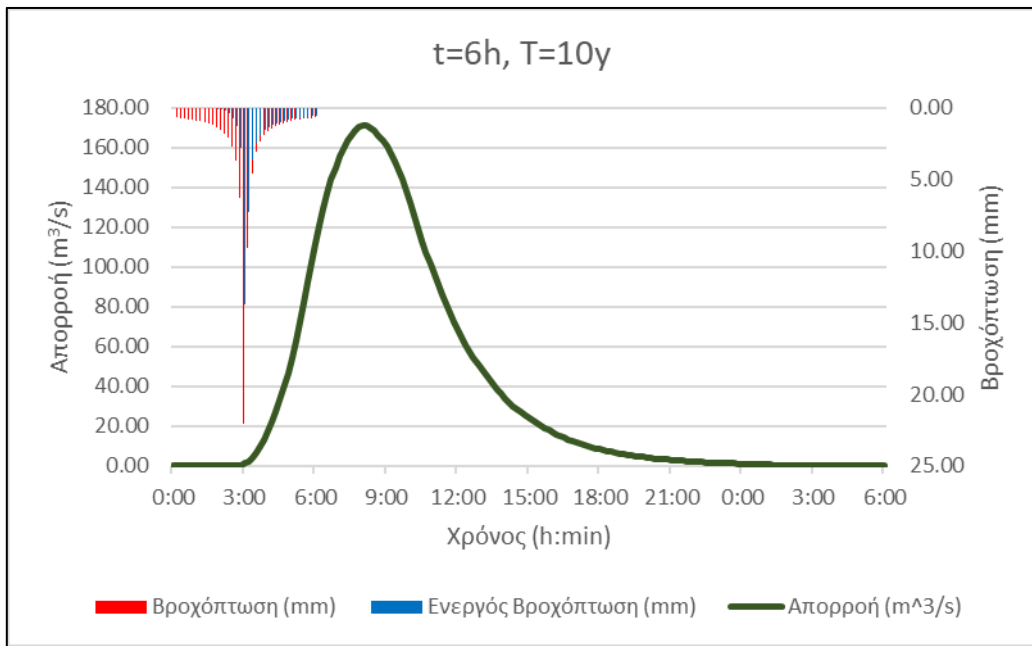


Εικόνα Π67: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β

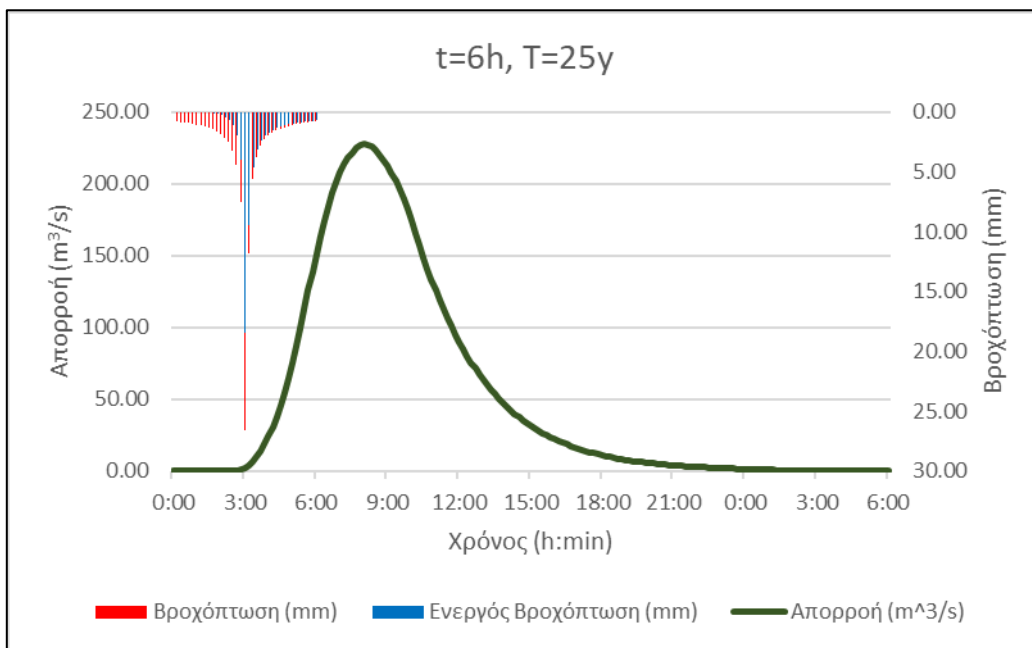


Εικόνα Π68: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β

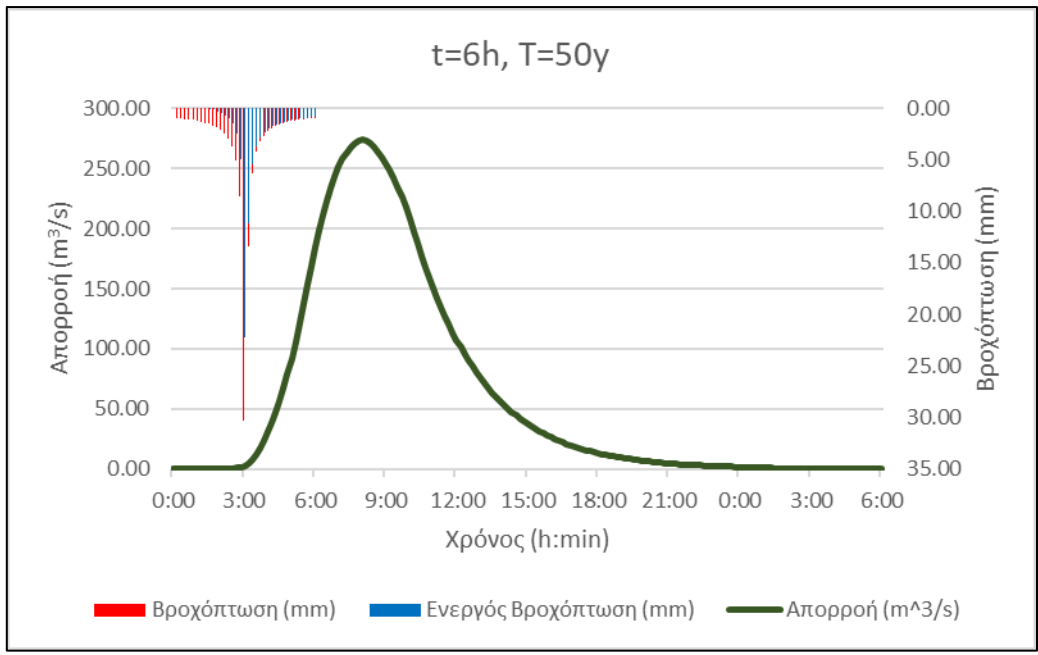




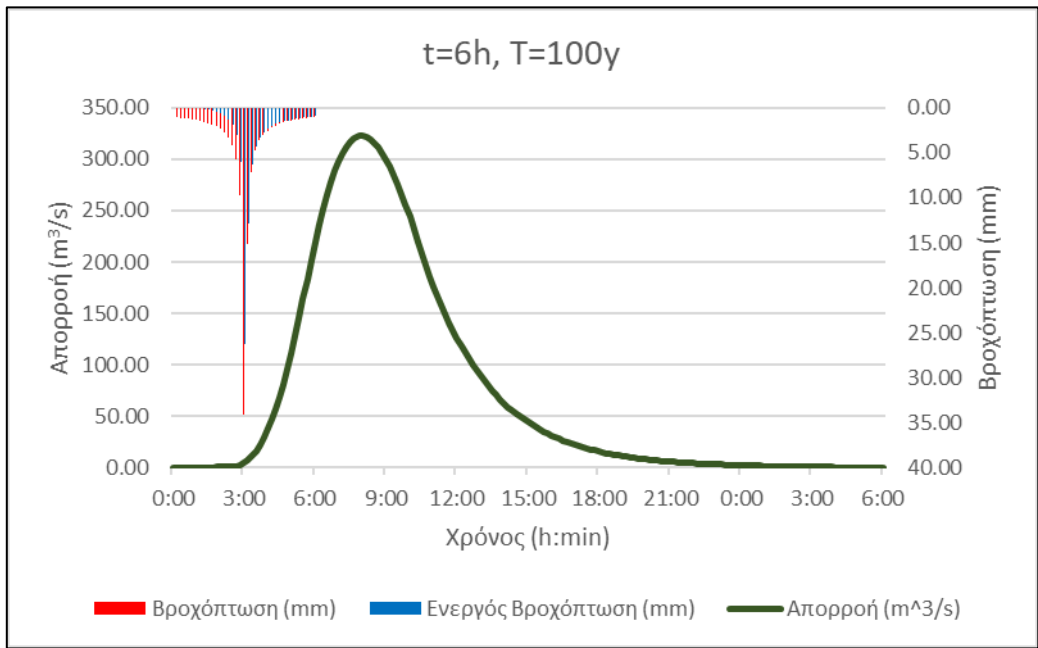
Εικόνα Π69: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β



Εικόνα Π70: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β

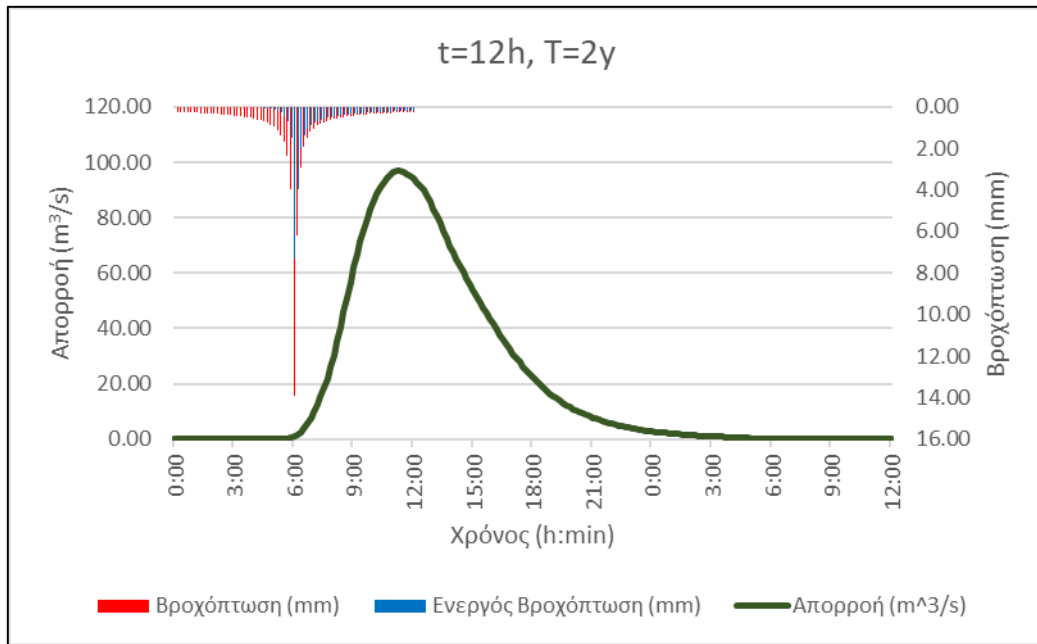


Εικόνα Π71: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3β

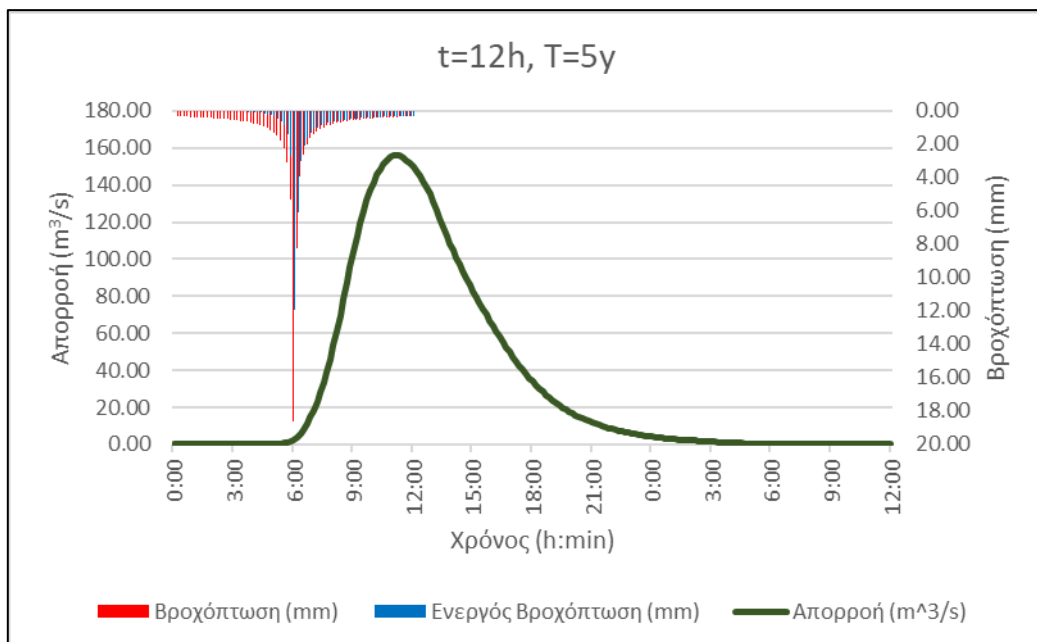


Εικόνα Π72: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 2

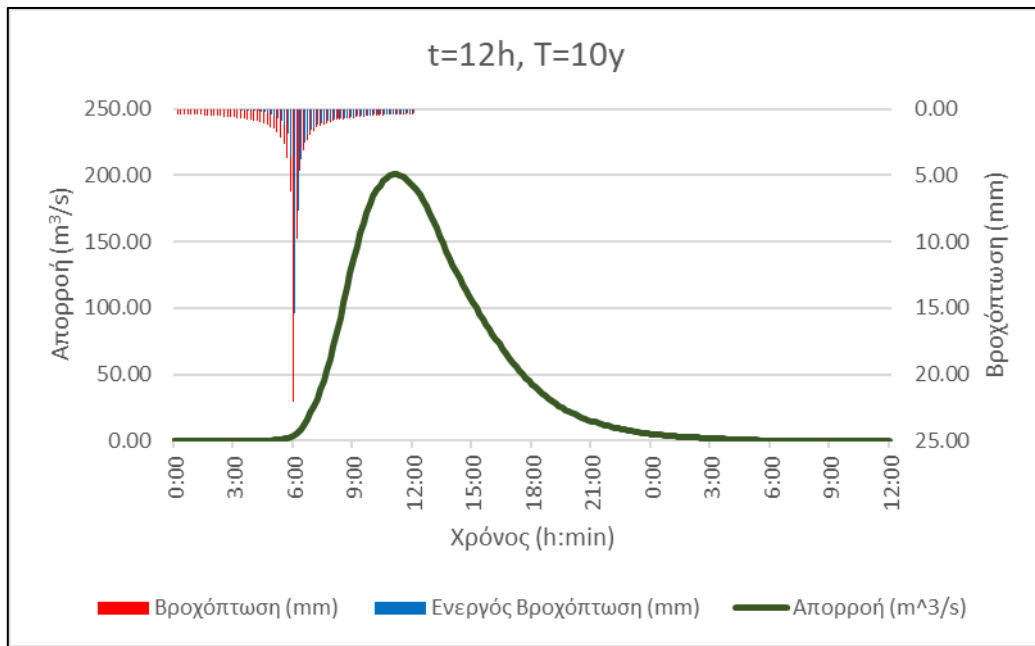
Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3β.



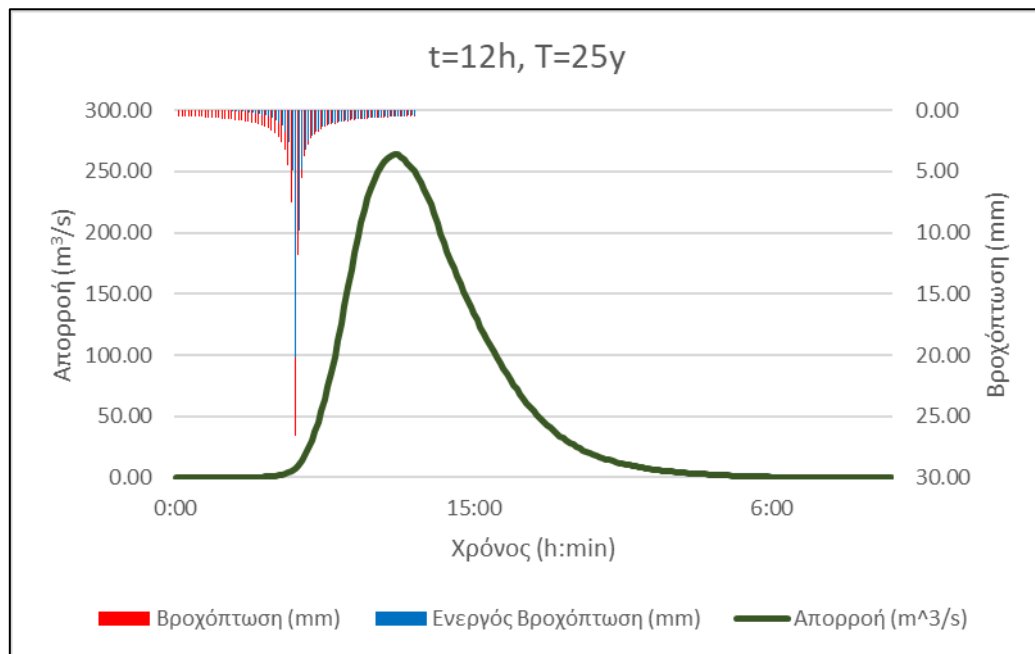
Εικόνα Π73: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3β



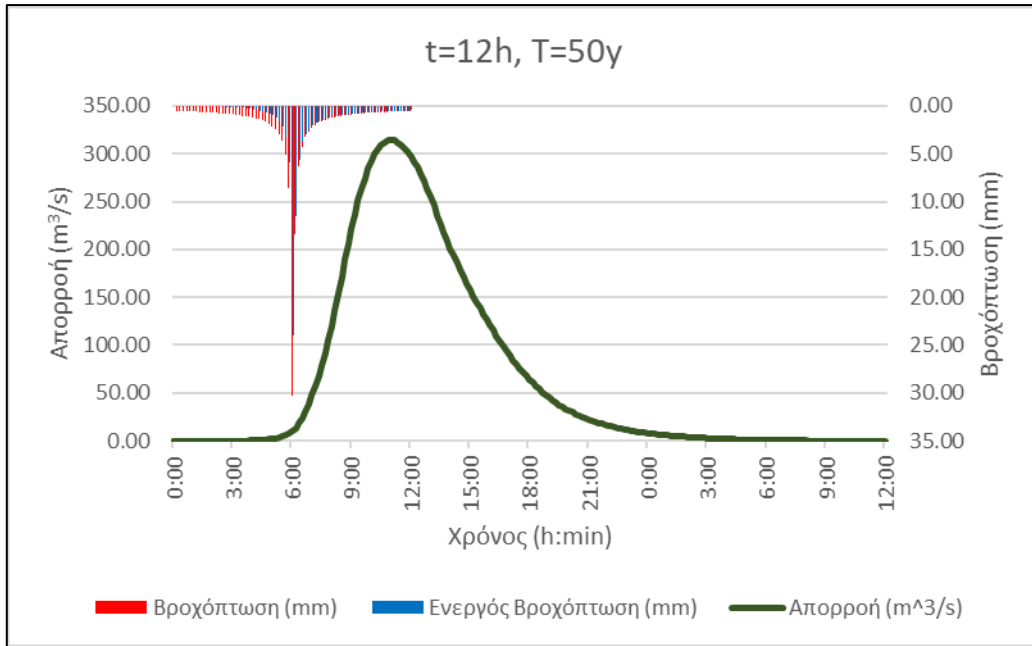
Εικόνα Π74: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3β



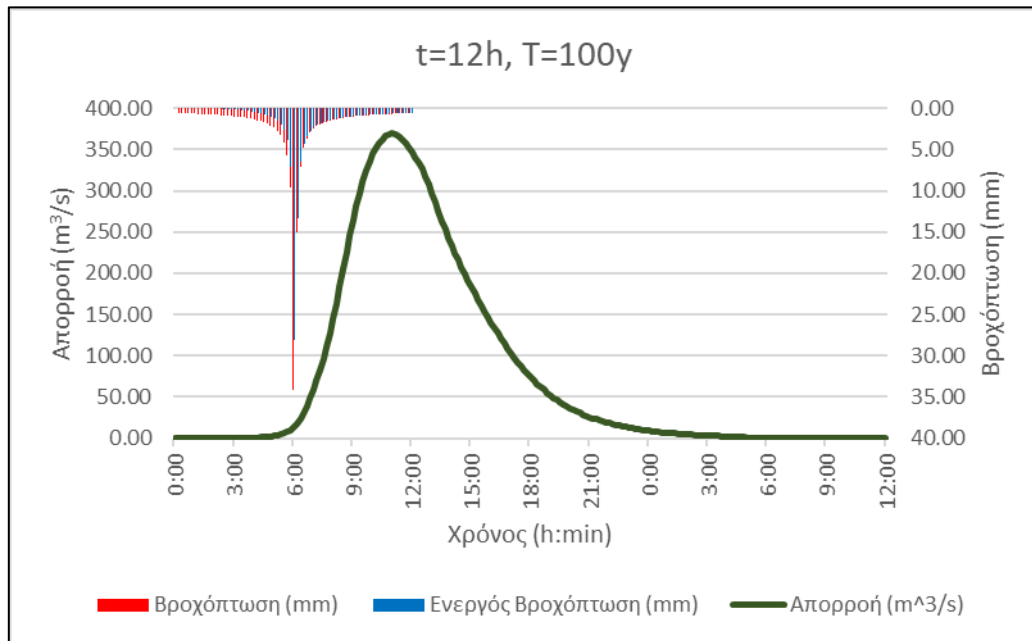
Εικόνα Π75: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3b



Εικόνα Π76: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3b

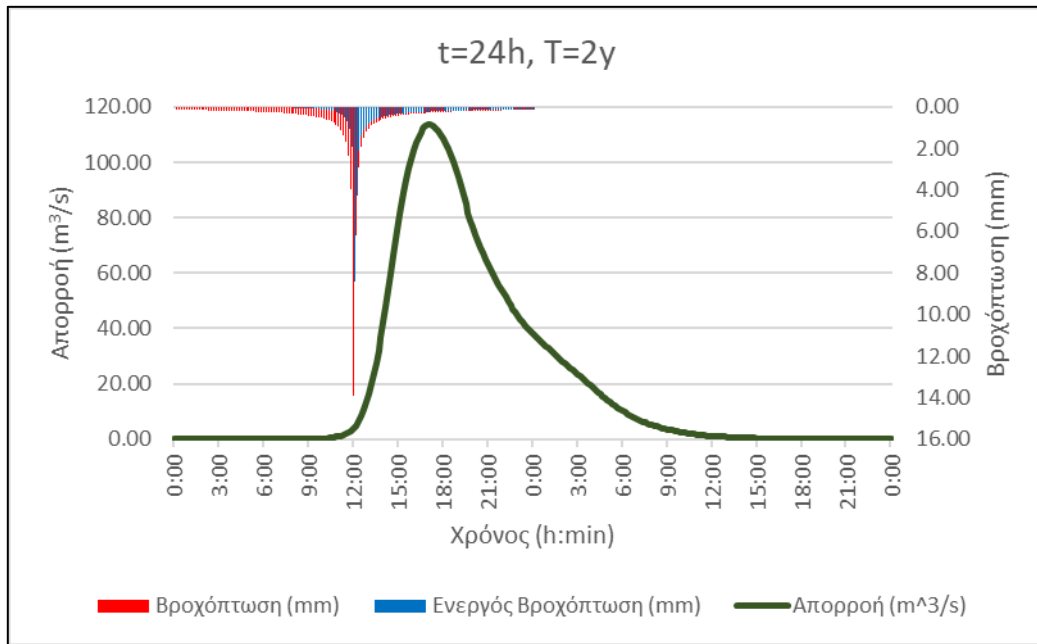


Εικόνα Π77: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3β

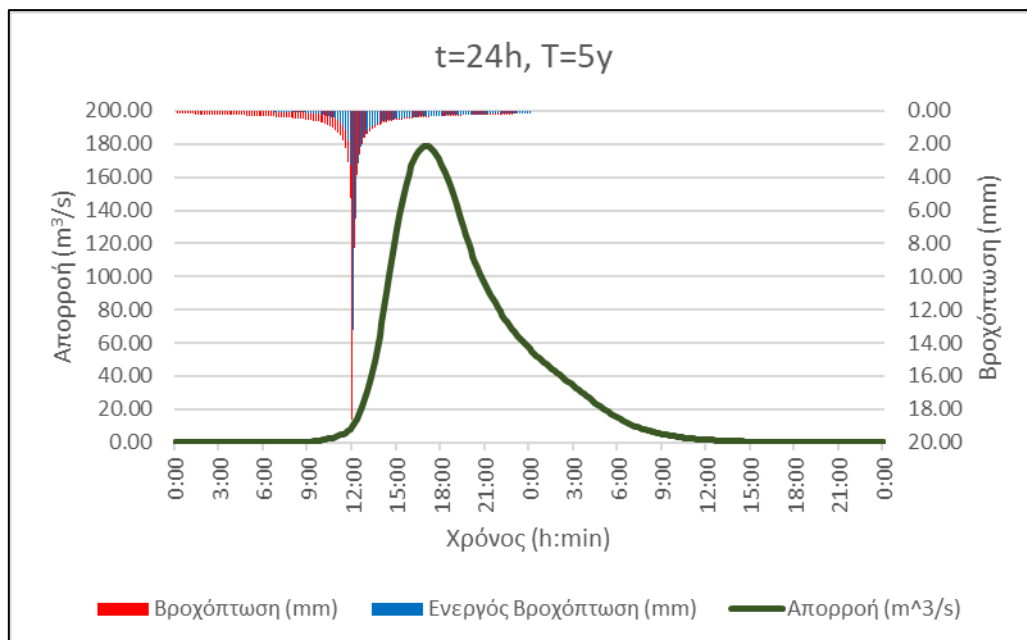


Εικόνα Π78: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3β

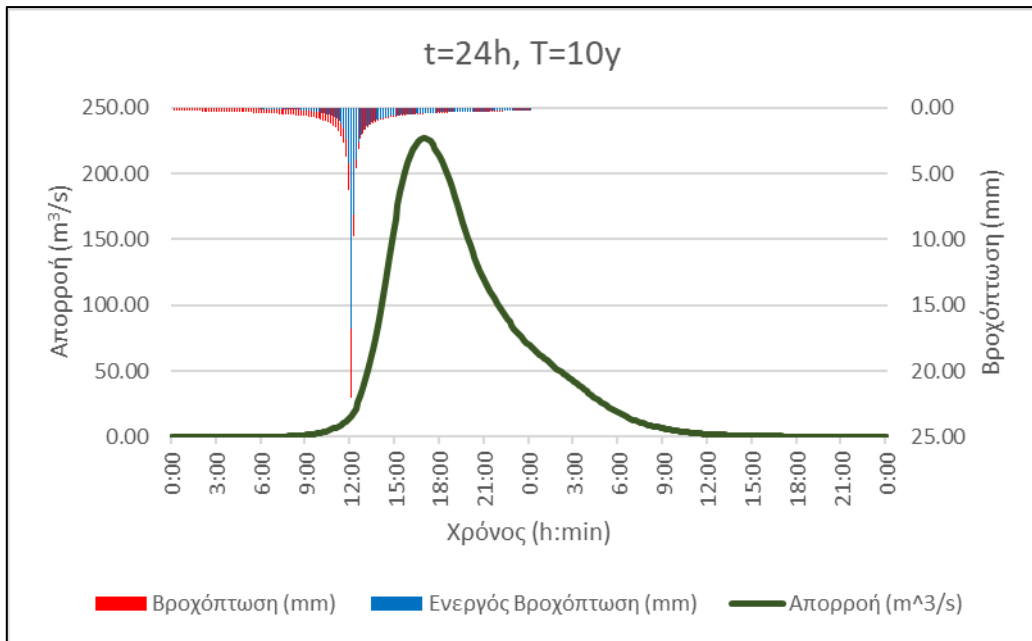
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3β.



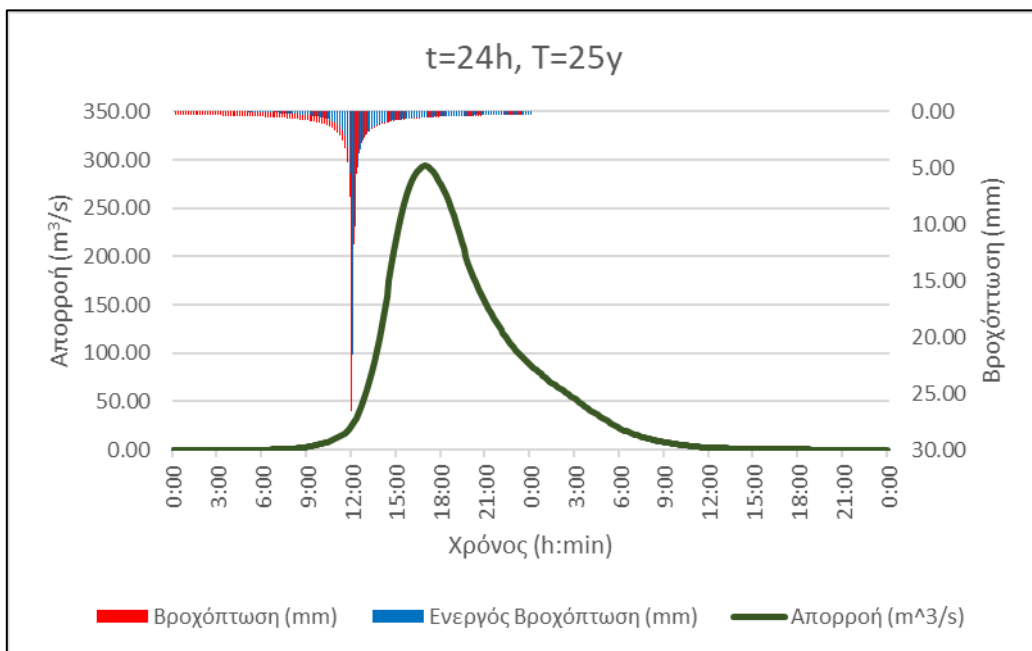
Εικόνα Π79: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3β



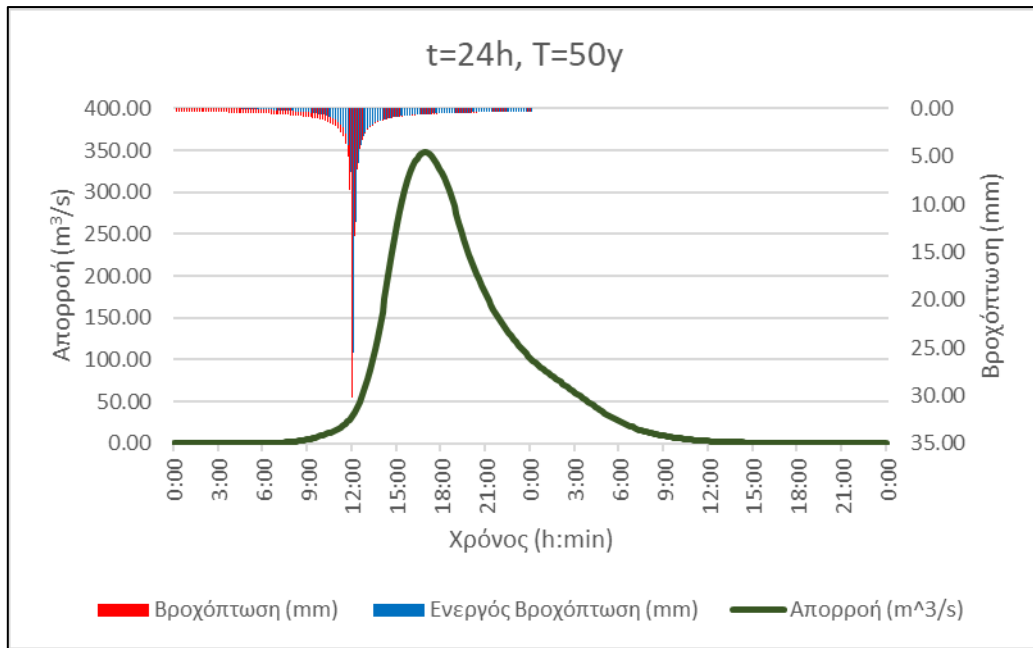
Εικόνα Π80: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3β



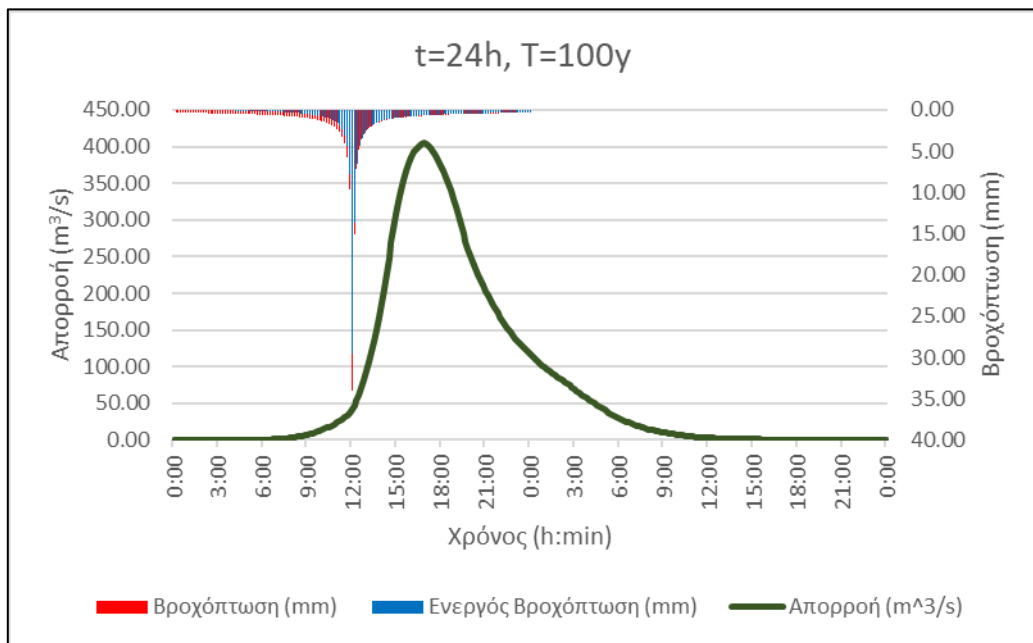
Εικόνα Π81: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3b



Εικόνα Π82: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3b



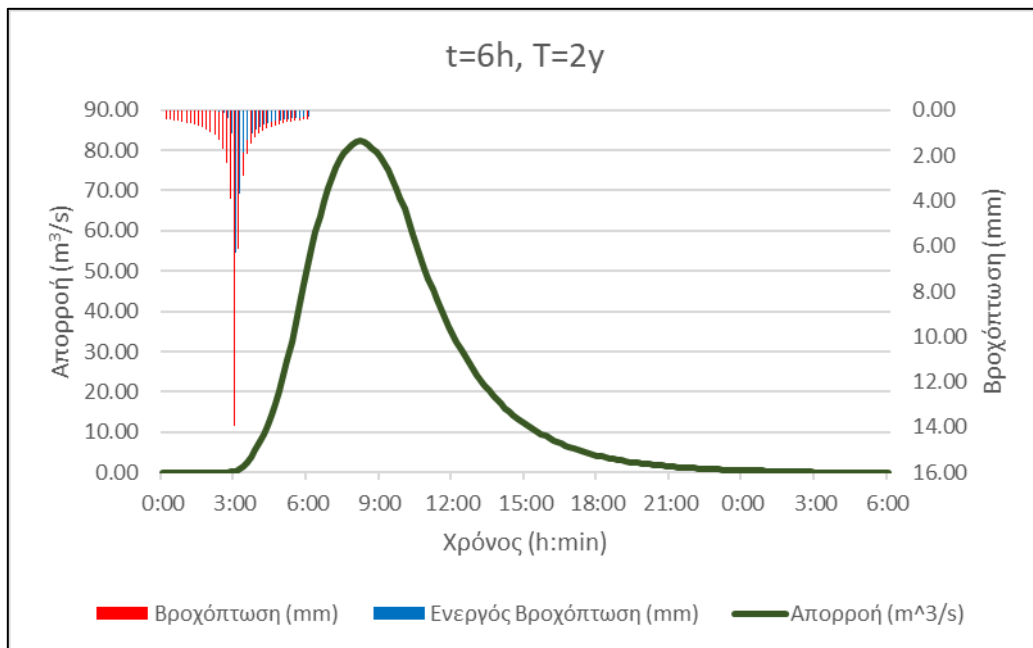
Εικόνα Π83: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3β



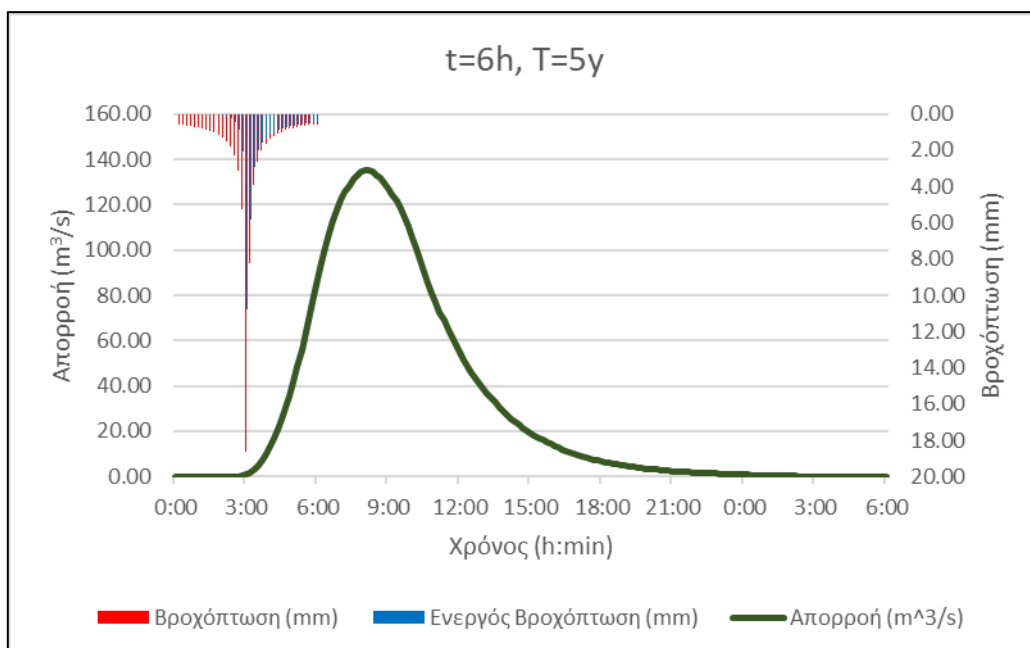
Εικόνα Π84: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3β



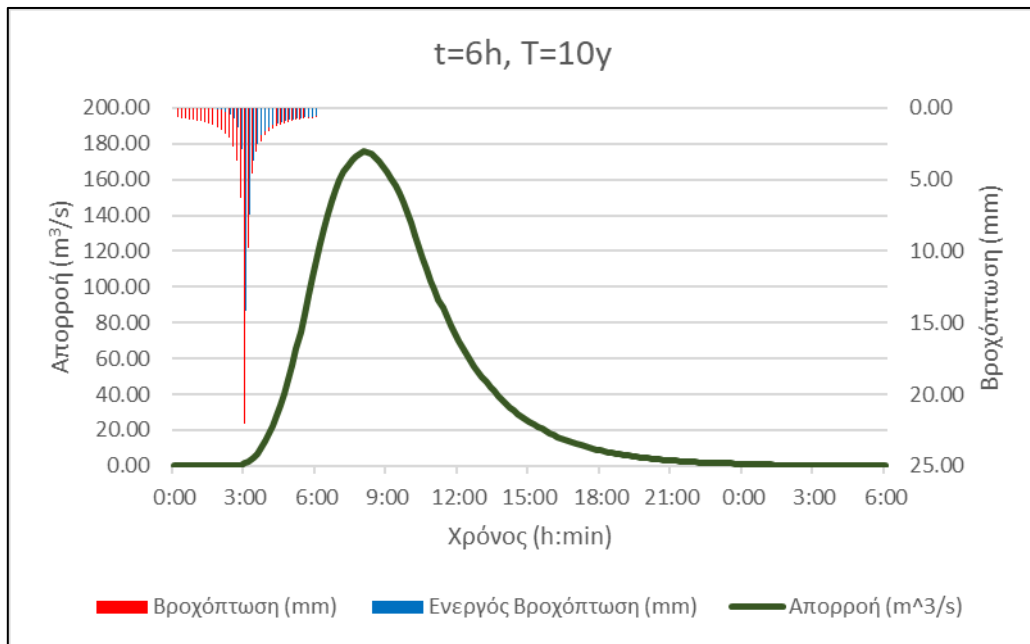
Για  $t=6$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3γ.



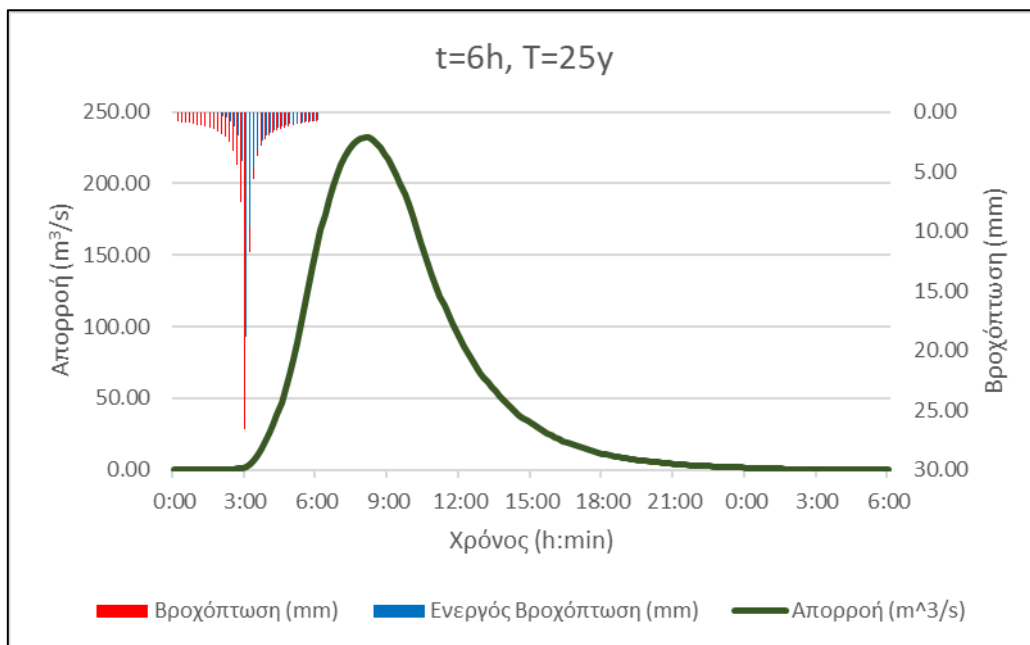
Εικόνα Π85: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ



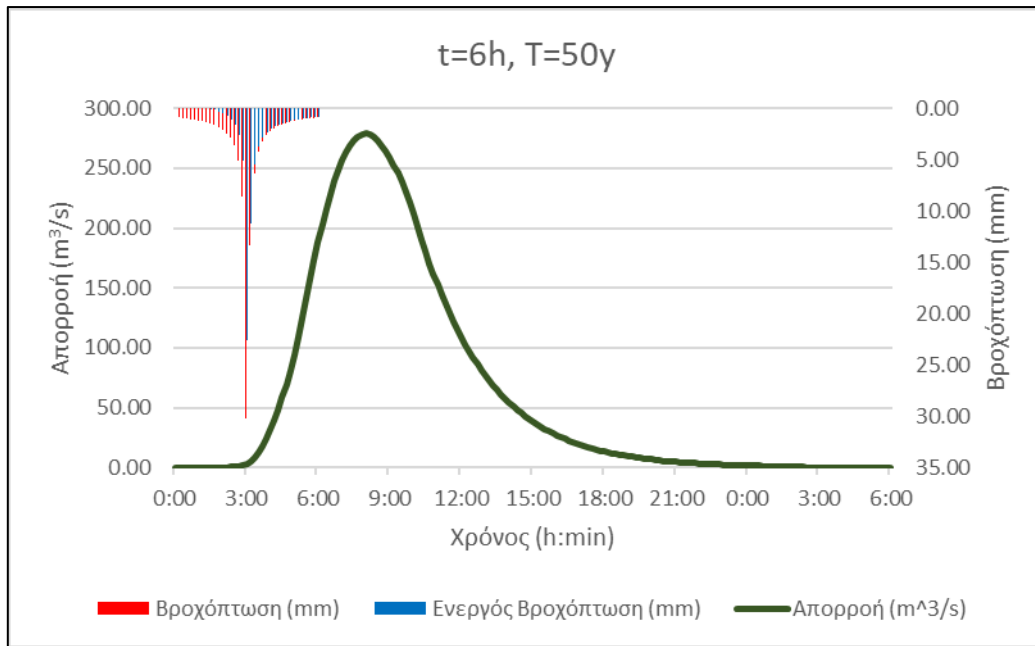
Εικόνα Π86: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ



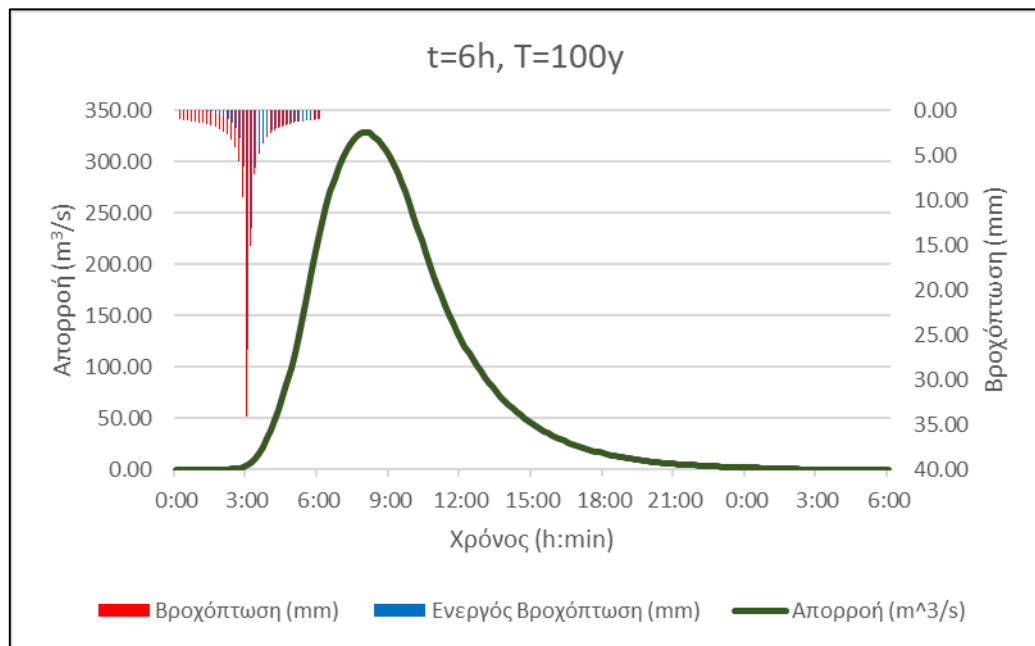
Εικόνα Π87: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ



Εικόνα Π88: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ

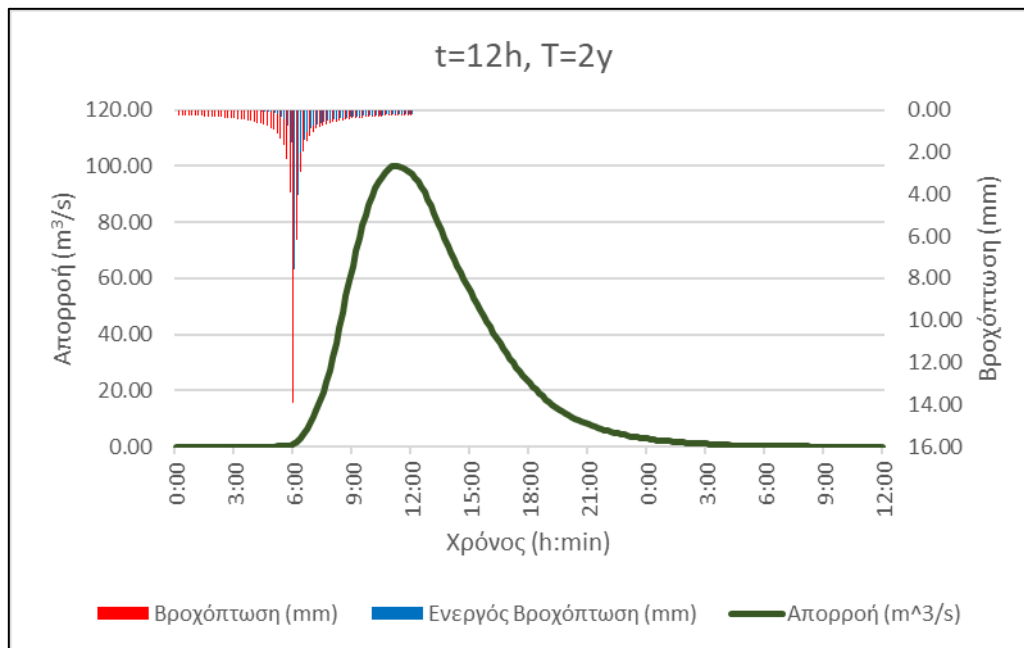


Εικόνα Π89: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ

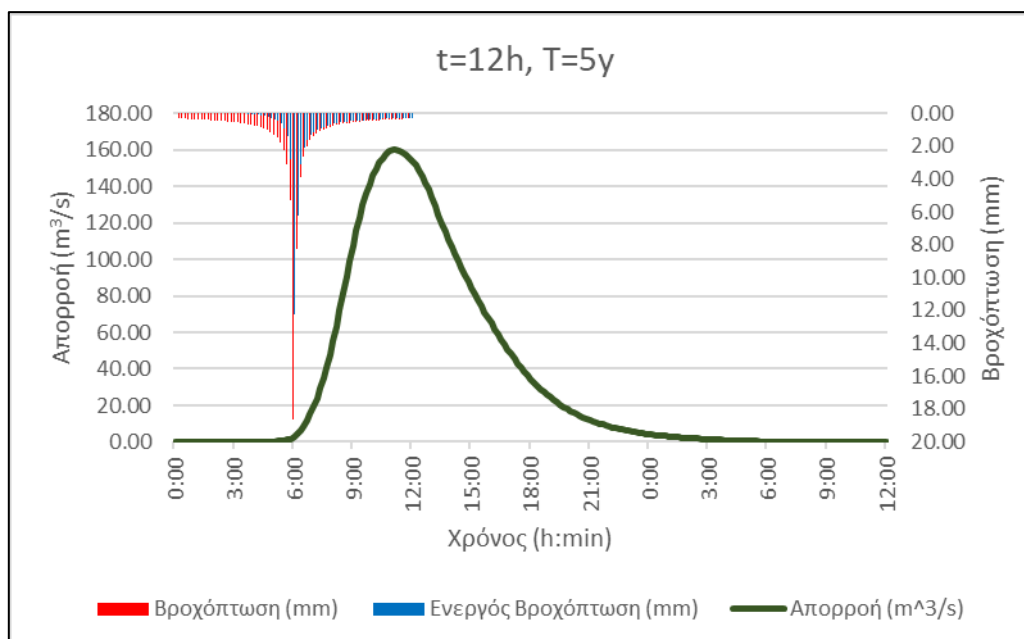


Εικόνα Π90: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100 ετών και διάρκειας βροχόπτωσης 6h για το Σενάριο 3γ

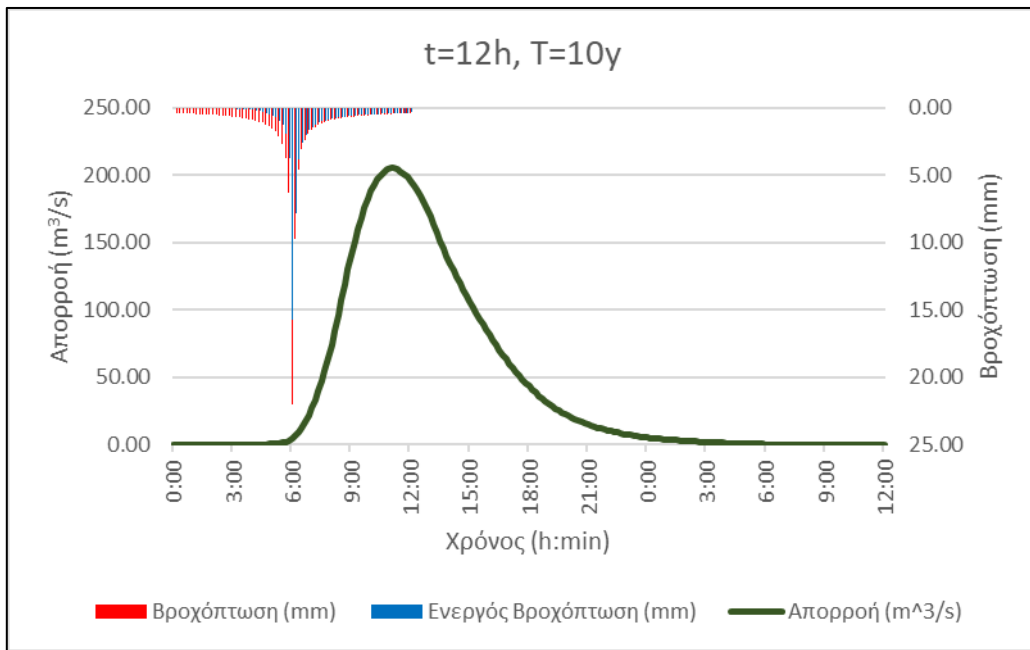
Για  $t=12$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3γ.



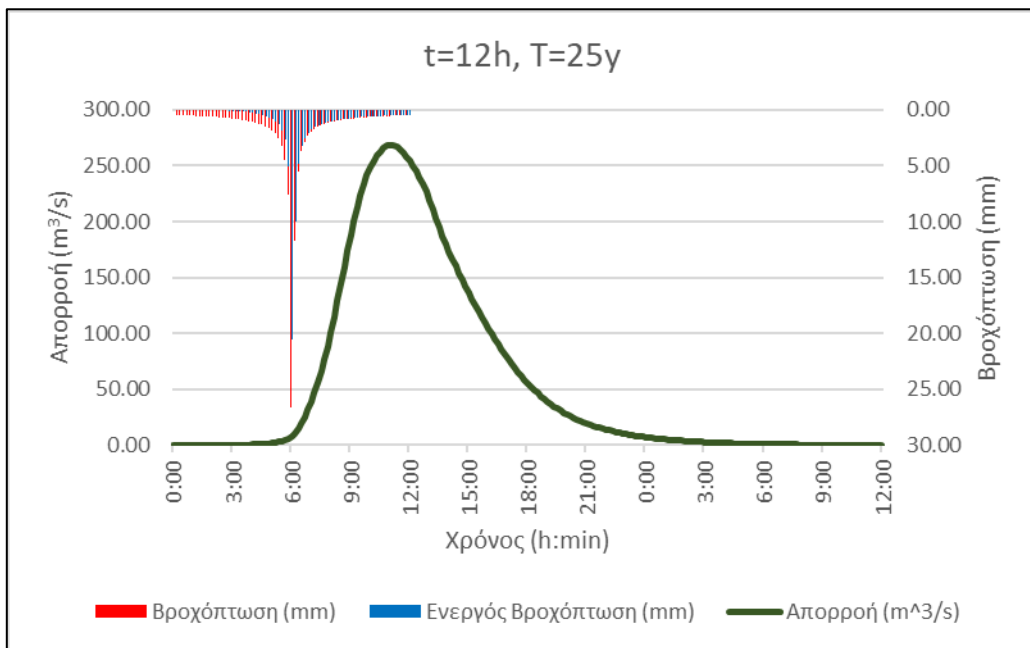
Εικόνα Π91: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ



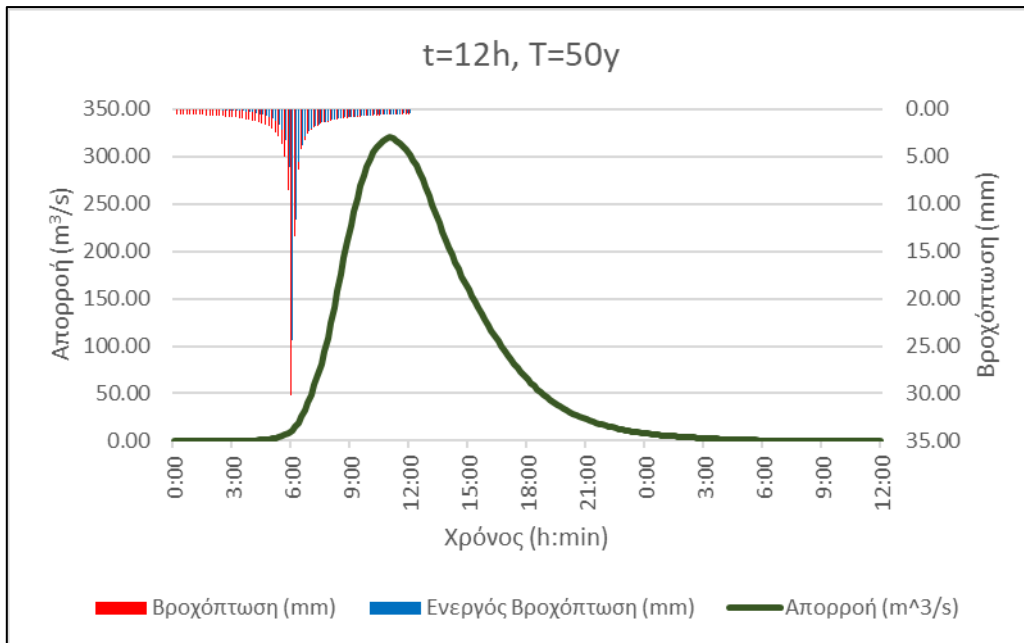
Εικόνα Π92: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ



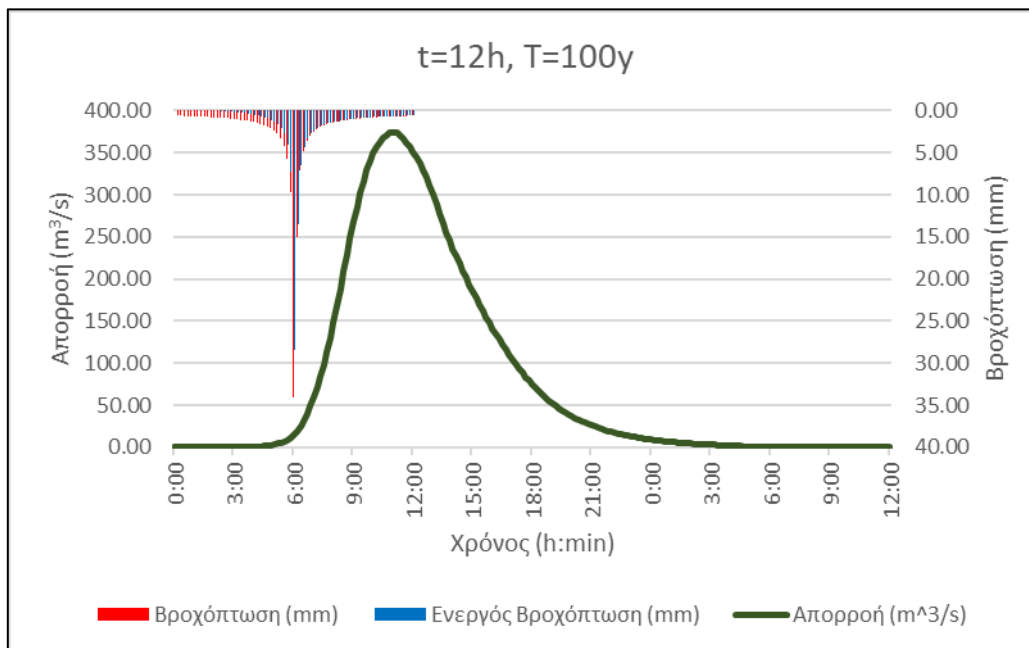
Εικόνα Π93: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ



Εικόνα Π94: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ

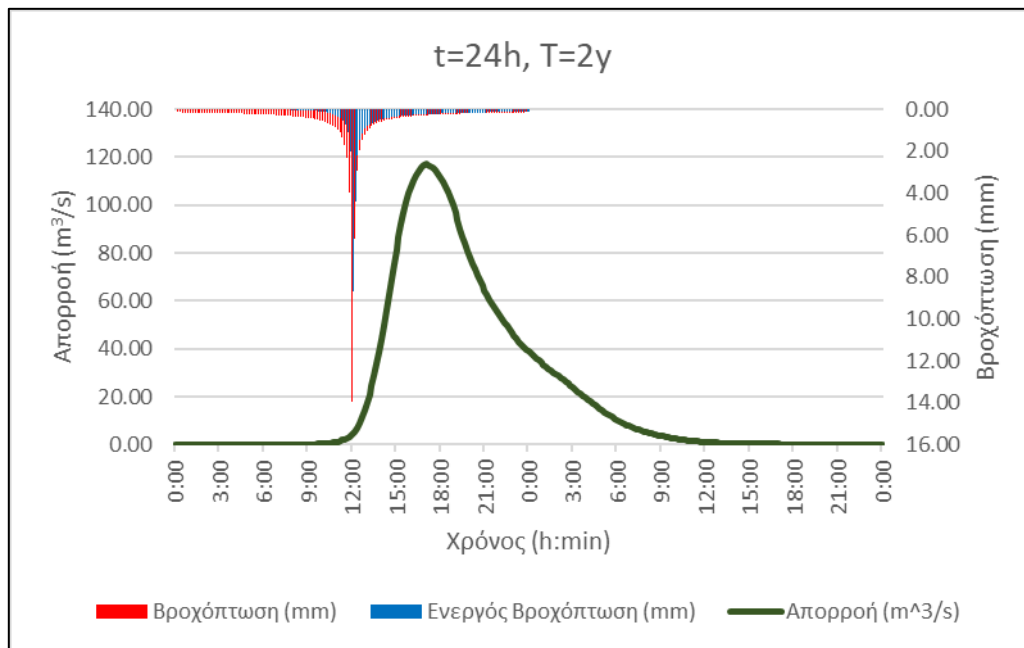


Εικόνα Π95: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ

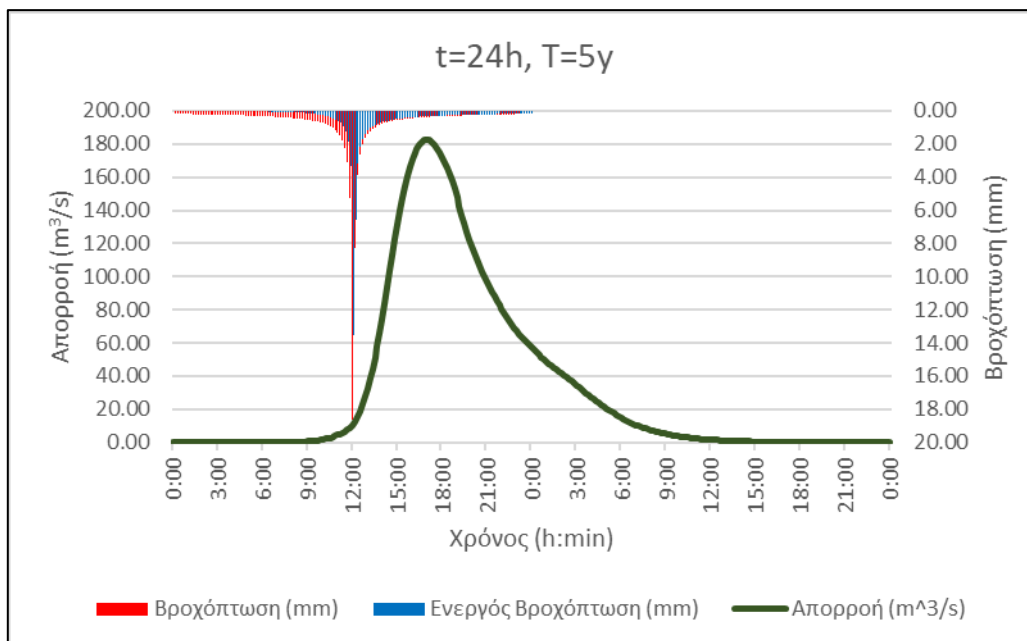


Εικόνα Π96: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 12h για το Σενάριο 3γ

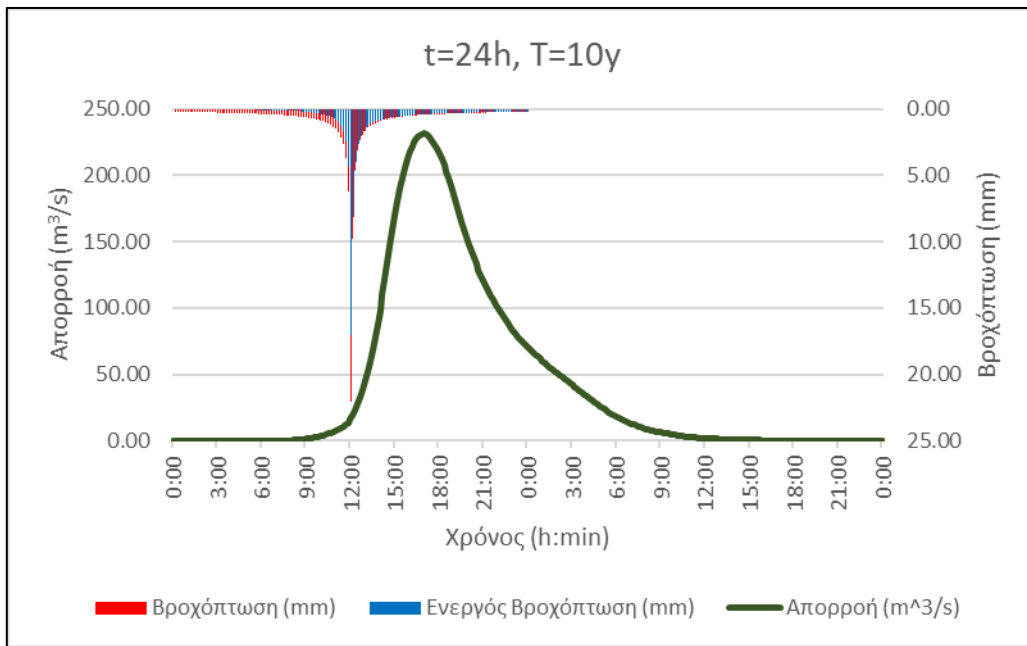
Για  $t=24$  ώρες και  $T= 2,5,10,25,50,100$  έτη για το Σενάριο 3γ.



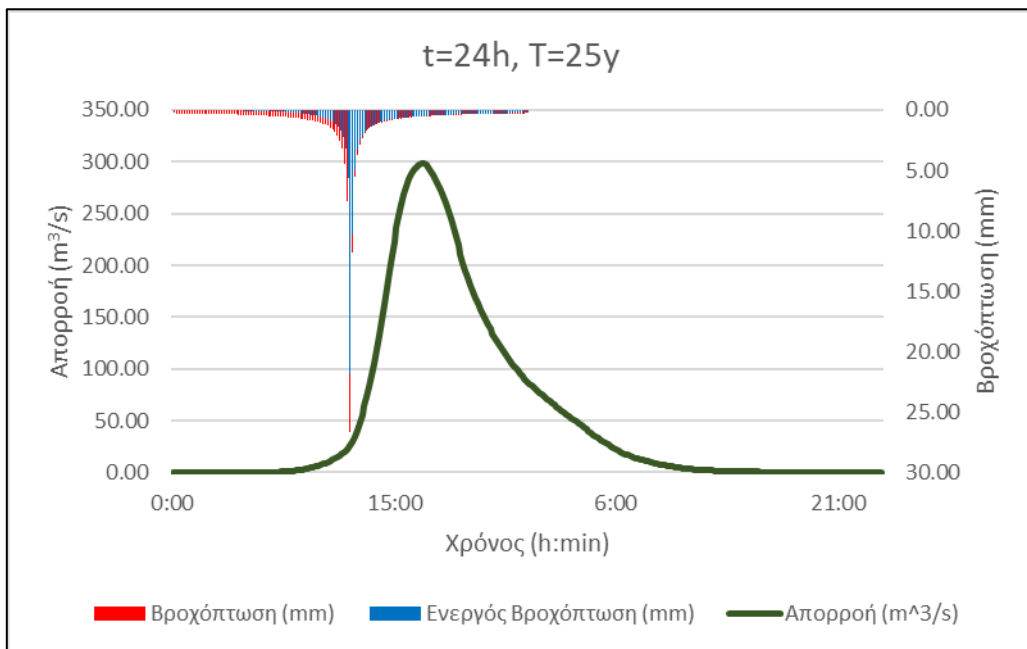
Εικόνα Π97: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 2y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ



Εικόνα Π98: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ

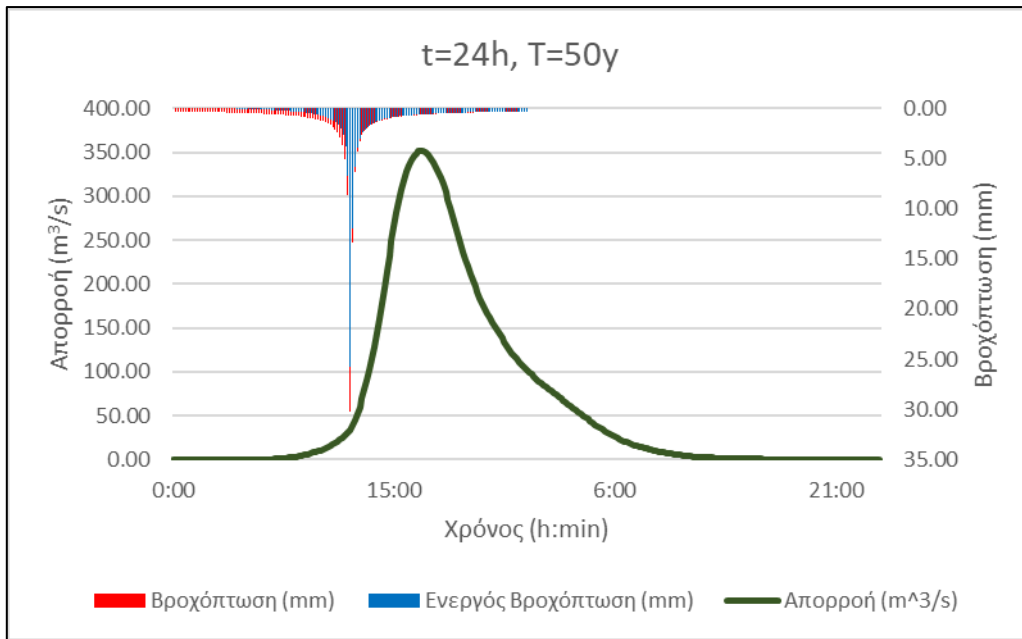


Εικόνα Π99: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 10γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ

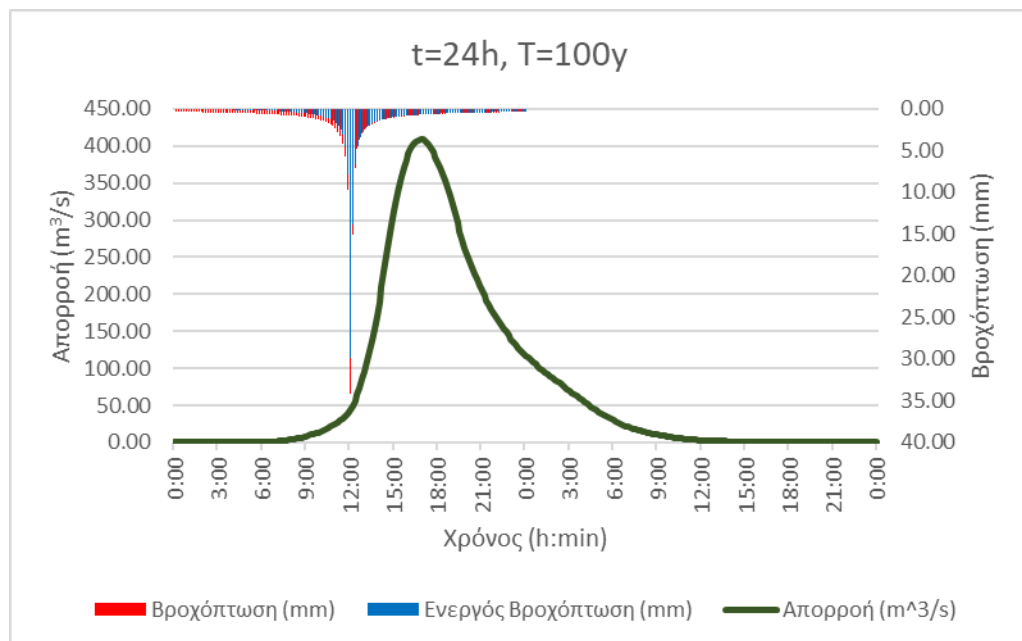


Εικόνα Π100: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 25γ και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ





Εικόνα Π101: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ



Εικόνα Π102: Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος για γεγονός σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 100y και διάρκειας βροχόπτωσης 24h για το Σενάριο 3γ