



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΣΤΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΓΙΑΛΙΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC - HMS**

ΦΥΤΑΝΟΓΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Τριμελής επιτροπή

Τσάνης Ιωάννης (επιβλέπων)

Καρατζάς Γεώργιος

Παρανυχιανάκης Νικόλαος

ΧΑΝΙΑ, ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο Καθηγητή, Ιωάννη Τσάνη που ανέθεσε το συγκεκριμένο θέμα, δίνοντας μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα που επιθυμούσα.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το ερευνητικό προσωπικό του εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής για τη βοήθεια και τη συνεργασία που είχα μαζί τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Υποψήφιο Διδάκτορα Γρυλλάκη Μανώλη, για τις καίριες παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια ενασχόλησης μου με το θέμα.

Τέλος, τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στους γονείς μου, που βρίσκονται δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και μου δίνουν ώθηση να συνεχίζω...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με την υδρολογική προσομοίωση της βροχόπτωσης – απορροής, καθώς και την υδραυλική προσομοίωση της απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη της Κύπρου. Συγκεκριμένα, μελετάται μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Γιαλιά που είναι η δεύτερη μεγαλύτερη λεκάνη απορροής της Κύπρου. Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στην υπολεκάνη της Ποταμιάς.

Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε μέσω του υδρολογικού μοντέλου HEC - HMS και της αντίστοιχης επέκτασης στο HEC - GeoHMS. Το μοντέλο βαθμονομήθηκε με τρία γεγονότα βροχής - απορροής μικρής και μεσαίας έντασης, ενώ, επαληθεύτηκε με δύο επιπλέον γεγονότα μεσαίας και μεγάλης έντασης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ικανοποιητικά με μικρό σφάλμα βαθμονόμησης σε όρους συντελεστή Nash-Sutcliffe και ποσοστιαίου σφάλματος στην παροχή αιχμής. Για την ορθολογική επιλογή των παραμέτρων εισαγωγής στο μοντέλο πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας. Η υδραυλική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό HEC - RAS. Για το υδραυλικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η καλύτερη διαθέσιμη χωρική πληροφορία η οποία περιοριζόταν σε χαμηλής ανάλυσης ψηφιακό μοντέλο εδάφους και αεροφωτογραφίες, όμως προσεγγίζει την μέση μορφολογία του ποταμού. Το μοντέλο δίνει, έτσι, μία εικόνα της συμπεριφοράς της στάθμης του ποταμού στα διάφορα γεγονότα που προσομοιώθηκαν.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα των δύο λογισμικών δίνουν μία καλή εικόνα της απόκρισης του ποταμού σε διάφορα γεγονότα βροχόπτωσης. Μελλοντικά, με περισσότερα διαθέσιμα υδρολογικά και μορφολογικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης μπορούν να εξαχθούν λεπτομερέστερες πληροφορίες τόσο για την διαδικασία βροχόπτωσης – απορροής, όσο και για την υδραυλική συμπεριφορά του ποταμού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	viii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	2
2.1. ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	2
2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ	2
2.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	2
2.1.3. ΑΙΤΙΑ	3
2.1.4. ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ.....	4
2.2. ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	5
2.3. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	7
2.3.1. ΥΔΑΤΟΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ	7
2.3.2. ΑΠΟΡΡΟΗ ΠΟΤΑΜΩΝ.....	8
2.3.3. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	8
2.4. ΞΑΦΝΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	8
2.4.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΑΦΝΙΚΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	9
2.4.2. ΑΙΤΙΕΣ	10
2.4.3. ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ.....	12
2.5. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	13
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	15
3.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	15
3.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HEC	16
3.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ HEC – GeoHMS.....	17
3.2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ HEC – HMS	17
3.2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ HEC - HMS	18
3.2.4. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	19
3.2.5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ HEC –HMS.....	20
3.2.6. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ	24
3.2.7. HEC - RAS	25
3.2.8. ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ HEC – RAS	27
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	29

4.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	29
4.2.	ΚΛΙΜΑ	29
4.3.	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ.....	30
4.4.	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΙΑΛΙΑ	30
4.5.	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	32
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΗΕC - HMS ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
5.1.	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	35
5.1.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	35
5.1.2.	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	37
5.1.3.	ΑΡΧΕΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ.....	38
5.1.4.	ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	38
5.2.	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ.....	40
5.3.	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ (VALIDATION).....	50
5.4.	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	56
5.5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	58
6.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΗΕC - RAS ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	68
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	68
6.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	69
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
7.1.	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	79
7.2.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	80
7.3.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	80
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	84
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	94
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Σχηματισμός καταιγίδας και ξαφνικής πλημμύρας [Πηγή: Shrestha et. al, 2008]..	11
Εικόνα 2. Σχηματισμός φυσικού φράγματος [Πηγή: Shrestha et. al, 2008].....	12
Εικόνα 3. Απεικόνιση υδρολογικού ισοζυγίου [Πηγή: Ministry of Natural Resources, Ontario]	
.....	16
Εικόνα 4. Αναπαράσταση εξίσωσης ενέργειας.....	26
Εικόνα 5. Λεκάνη απορροής Γιαλιά.....	31
Εικόνα 6. Λεκάνη απορροής και σταθμοί μετρήσεων	32
Εικόνα 7. Αναπαράσταση της περιοχής στο HEC -HMS	35
Εικόνα 8. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 1983	41
Εικόνα 9. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1983 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη.....	42
Εικόνα 10. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1983 στην υπολεκάνη Νήσου	42
Εικόνα 11. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 1992	44
Εικόνα 12. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1992 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη.....	45
Εικόνα 13. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1992 στην υπολεκάνη Νήσου	45
Εικόνα 14. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2000	47
Εικόνα 15. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη.....	48
Εικόνα 16. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Νήσου	48
Εικόνα 17. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Ποταμιάς.....	49
Εικόνα 18. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2001	51
Εικόνα 19. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2001 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη.....	52
Εικόνα 20. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2001 στην υπολεκάνη Νήσου	52
Εικόνα 21. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2003	54
Εικόνα 22. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη.....	55
Εικόνα 23. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Νήσου	55
Εικόνα 24. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Ποταμιάς.....	56
Εικόνα 25. Διαγράμματα μεταβολής μέγιστης παροχής, 2003	62
Εικόνα 26. Διαγράμματα μεταβολής όγκου, 2003	63
Εικόνα 27. Διαγράμματα μεταβολής μέγιστης παροχής, 1992	66
Εικόνα 28. Διαγράμματα μεταβολής όγκου, 1992	67
Εικόνα 29. Διατομή στο HEC - RAS	68
Εικόνα 30. Μηκοτομή για το γεγονός 1983	69
Εικόνα 31. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 1983	70
Εικόνα 32. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 1983.....	70

Εικόνα 33. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 1983	71
Εικόνα 34. Μηκοτομή για το γεγονός 1992	71
Εικόνα 35. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 1992	72
Εικόνα 36. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 1992	72
Εικόνα 37. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 1992	73
Εικόνα 38. Μηκοτομή για το γεγονός 2000	73
Εικόνα 39. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2000	74
Εικόνα 40. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2000	74
Εικόνα 41. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 2000	74
Εικόνα 42. Μηκοτομή για το γεγονός 2001	75
Εικόνα 43. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2001	75
Εικόνα 44. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2001	76
Εικόνα 45. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2001	76
Εικόνα 46. Μηκοτομή για το γεγονός 2003	77
Εικόνα 47. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2003	77
Εικόνα 48. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2003	78
Εικόνα 49. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 2003	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Γιαλιά.....	30
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά λεκάνης.....	31
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά υπολεκανών.....	32
Πίνακας 4. Εμβαδόν υπολεκανών περιοχής.....	35
Πίνακας 5. Αρχικές συνθήκες Initial Loss	36
Πίνακας 6. Τιμές αρχικής απορροής	37
Πίνακας 7. Ημερομηνίες προσομοιώσεων	38
Πίνακας 8. Διαθέσιμες μετρήσεις βροχόπτωσης.....	38
Πίνακας 9. Συνολική βροχόπτωση ανά γεγονός και σταθμό	39
Πίνακας 10. Διαθέσιμες μετρήσεις παροχής	39
Πίνακας 11. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 1983.....	40
Πίνακας 12. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 1992.....	43
Πίνακας 13. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 2000.....	46
Πίνακας 14. Αποτελέσματα επαλήθευσης 2001	50
Πίνακας 15. Αποτελέσματα επαλήθευσης 2003	53
Πίνακας 16. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Κοτσιάτη	56
Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Νήσου	57
Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Ποταμιάς	57
Πίνακας 19. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Κοτσιάτη, 2003	59
Πίνακας 20. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Νήσου, 2003.....	60
Πίνακας 21. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Ποταμιάς, 2003	61
Πίνακας 22. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Κοτσιάτη, 1992	64
Πίνακας 23. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Νήσου, 1992.....	65

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Crit Max WS	Κρίσιμο βάθος
DEM	Digital Elevation Model (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους)
E	Εξατμισοδιαπνοή
EG	Γραμμή ενέργειας
GIS	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
HEC	Υδρολογικό Κέντρο Μηχανικής
HEC - GeoHMS	Επέκταση στο ArcGis
HEC - HMS	Hydrologic Modeling System
HEC - RAS	River Analysis System
I	Κατείσδυση
NSE	Δείκτης Nash - Sutcliffe
P	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
Peak Flow Error	Σφάλμα παροχής αιχμής
Qm	Προσομοιωμένη παροχή
Qo	Καταγεγραμμένη παροχή
R	Επιφανειακή απορροή
WS	Μέγιστη στάθμη νερού
ΔS	Διαφορά αποθήκευσης νερού στον όγκο αναφοράς

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε χρόνο καταγράφεται ένας μεγάλος αριθμός ακραίων καιρικών φαινομένων σε παγκόσμιο επίπεδο. Αποτέλεσμα των φαινομένων αυτών είναι η εκδήλωση φυσικών καταστροφών με άμεση συνέπεια ζημιές σε υποδομές και κίνδυνο ανθρώπινων ζωών. Η πρόβλεψη τους είναι δυνατή και συνεχώς εξελισσόμενη. Ωστόσο, τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των φαινομένων είναι δαπανηρά.

Ακραία καιρικά φαινόμενα είναι τα φαινόμενα που συνοδεύονται από φυσικές καταστροφές, υλικές απώλειες ή ανθρώπινα θύματα. Τέτοια ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν οι κυκλώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, οι καταιγίδες και οι καύσωνες έχοντας σαν αποτέλεσμα θυελλώδεις ανέμους, κατολισθήσεις, πυρκαγιές και πλημμύρες.

Ένα καιρικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται ακραίο είτε από την ένταση του, είτε από τη διάρκεια του είτε από τη συχνότητα επανεμφάνισής του. Ακραία καιρικά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας δεν παρατηρούνται συχνά, σε αντίθεση με τα φαινόμενα μικρότερης κλίμακας, που εμφανίζονται συχνά προκαλώντας εκτεταμένες καταστροφές.

Τα τελευταία χρόνια έχει αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης κατά πόσο η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει την εμφάνιση ακραίων φαινομένων. Είναι πιθανόν η κλιματική αλλαγή που έχει προκληθεί λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου να μεταβάλλει τη συχνότητα, το εύρος και το χαρακτήρα των ακραίων καιρικών φαινομένων και των κλιματικών καταστροφών. Υποστηρίζεται ότι στο μέλλον η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει ακόμα περισσότερο τη συχνότητα, το εύρος και την τοποθεσία εκδήλωσης των ακραίων καιρικών φαινομένων (Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης).

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1. ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα παγκόσμιο φαινόμενο που πλήττει πολλές χώρες όπως τις Η.Π.Α., τη Γερμανία, τη Γαλλία, την Τσεχία, την Πολωνία, την Κίνα, την Ινδία, το Πακιστάν. Πρόκειται για την κατάσταση όπου περιοχές που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Είναι φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Πλημμύρες δεν παρατηρούνται μόνο σε περιοχές με υψηλές τιμές ετήσιων κατακρημνισμάτων αλλά και σε ξηρές περιοχές (Στάθης Δ., 2004).

Ο κίνδυνος πλημμύρας αξιολογείται βάσει τριών παραγόντων:

- Επικινδυνότητα
- Έκθεση
- Ευπάθεια

Αν κάποιος από αυτούς τους παράγοντες αυξηθεί, αυξάνεται και ο κίνδυνος για πλημμύρα. Κάτω από αυτό το πλαίσιο, η επικινδυνότητα ορίζεται ως η εμφάνιση ενός πλημμυρικού γεγονότος με δεδομένη πιθανότητα και μπορεί να αυξηθεί έπειτα από εναλλαγές στο περιβαλλοντικό σύστημα (κλιματική αλλαγή, αλλαγή στον υδρολογικό κύκλο). Η έκθεση συγκαταλέγεται στους ανθρωπογενείς παράγοντες που συμβάλλουν στον κίνδυνο πλημμύρας και αντιπροσωπεύει, συνήθως, τον πληθυσμό και τα περιουσιακά στοιχεία που βρίσκονται σε επικίνδυνες ζώνες. Ως ευπάθεια ορίζεται η ευαισθησία των εκτιθέμενων υποδομών όταν έρθουν σε επαφή με το νερό (Barredo & Engelen, 2010).

2.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Λόγω πολύπλοκων και αλληλένδετων διαδικασιών που προκαλούν πλημμύρες, η κατάταξη τους σε κατηγορίες δεν είναι κάτι απλό. Οι κυριότερες κατηγορίες πλημμύρων που οφείλονται σε φυσικά αίτια είναι:

- Παράκτιες πλημμύρες
- Παραποτάμιες πλημμύρες
- Ξαφνικές πλημμύρες

Υπάρχουν και κατηγορίες πλημμυρών που οφείλονται σε ανθρώπινους χειρισμούς όπως πλημμύρες λόγω αστοχίας φραγμάτων.

Παράκτιες πλημμύρες συμβαίνουν σε περιοχές κοντά στη θάλασσα ή σε μεγάλες λίμνες. Ανεμοθύελλες (κυκλώνες ή τυφόνες) και χαμηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις μπορούν να προκαλέσουν άνοδο της στάθμης των υδάτων και ώθηση της προς την ξηρά, ειδικά αν συνδυαστούν με παλίρροια. Πρόκειται για ένα σπάνιο φαινόμενο που αποτρέπεται με τα κατάλληλα παράκτια έργα.

Το φαινόμενο της παραποτάμιας πλημμύρας μπορεί να προκληθεί από υψηλά επίπεδα βροχοπτώσεων ή λιώσιμο χιονιού. Μπορεί να συνοδεύεται από κατάρρευση αναχωμάτων ή φραγμάτων που βρίσκονται κοντά στο ποτάμι.

Ξαφνικές πλημμύρες παρατηρούνται έπειτα από έντονη τοπική βροχόπτωση, που οδηγεί σε γρήγορη αύξηση της στάθμης των υδάτων, απειλώντας ακόμα και ανθρώπινες ζωές. Συμβαίνει κυρίως σε ορεινές περιοχές και ο χρόνος για την πρόβλεψή τους είναι περιορισμένος. Εκτενέστερη ανάλυση του φαινομένου θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο (Jonkman, 2005).

2.1.3. ΑΙΤΙΑ

Πλημμύρες μπορούν να προκληθούν έπειτα από ραγδαίες βροχοπτώσεις, ισχυρές καταιγίδες, άνοδο της στάθμης των ποταμών, εισροή της θάλασσας στην ακτή, λιώσιμο των πάγων αλλά και λόγω υποχώρησης φραγμάτων έχοντας σοβαρές συνέπειες. Προέρχονται από την αλληλεπίδραση:

- φυσικών φαινομένων
- των συνθηκών της λεκάνης απορροής
- τη χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης.

Ο τρόπος και η διαδικασία συγκέντρωσης και κίνησης του νερού σε μία υδρολογική λεκάνη καθορίζεται από τους εξής φυσικούς παράγοντες πλημμυρογέννεσης:

- Την τοπογραφία
- Τη γεωλογική συγκρότηση
- Το κλίμα
- Τη βλάστηση

Η γεωλογία και η τοπογραφία σχετίζονται με την υδρολογική συμπεριφορά και έχουν άμεση σχέση με την απορροή και την παραγωγή φερτών υλικών. Το κλίμα καθορίζει τη συχνότητα, τη διάρκεια και την ένταση της βροχόπτωσης ενώ η βλάστηση έχει σημαντική επίδραση στη διάβρωση και την απορροή.

Ανεξάρτητα από τους φυσικούς παράγοντες πλημμυρογένεσης υπάρχουν και οι ανθρωπογενείς κοινωνικοοικονομικοί όπως η αποψίλωση των δασών λόγω πυρκαγιών ή έντονης αστικοποίησης. Άμεση συνέπεια είναι η διάβρωση του εδάφους και η αύξηση της απορροής. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι χρήσεις γης μιας περιοχής, οι τάσεις του πληθυσμού και η ανάπτυξη περιοχών επιρρεπών σε πλημμύρες. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι οι διακοπές στην ελεύθερη ροή του νερού λόγω κατασκευών (π.χ. γέφυρες) ή η ρίψη υλικών στις κοίτες των ρευμάτων. Επιπλέον, αιτία πλημμυρογένεσης αποτελεί η αστοχία κατασκευαστικών έργων που χρησιμοποιούνταν σαν μέτρο προστασίας, ενώ, εξίσου σημαντικό παράγοντα αποτελεί η έλλειψη μέτρων για μείωση των επιπτώσεων από πλημμύρες (Στάθης Δ., 2004).

2.1.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν ζημιές στο περιβάλλον, τις υποδομές και τα κτίσματα, να προκαλέσουν ασθένειες και να οδηγήσουν μέχρι και στο θάνατο. Πολλές φορές, ωστόσο, έχουν και θετική επίδραση σε οικοσυστήματα ποταμών, στην ανατροφοδότηση υπόγειων υδάτων και στη γονιμότητα του εδάφους. Διακρίνονται, έτσι, δύο κατηγορίες πλημμυρών: οι ετήσιες φυσιολογικές με ελάχιστες ζημιές ή θετικό αντίκτυπο και τα ακραία φαινόμενα που οδηγούν σε σοβαρά προβλήματα (Μαμάσης, 2009).

Οι ζημιές που προκαλούν οι πλημμύρες εξαρτώνται από τους εξής παράγοντες:

- Ύπαρξη αντιπλημμυρικών έργων

- Αλλοίωση φυσικού περιβάλλοντος
- Ένταση ανθρώπινης δραστηριότητας (Barredo & Engelen, 2010).

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να δημιουργήσουν οι πλημμύρες είναι η απόφραξη σταθμών επεξεργασίας υδάτων με ταυτόχρονη αποδέσμευση ποσοτήτων ρυπαντών, η καταστροφή της βλάστησης και η κινητοποίηση ρυπαντών του εδάφους. Η διάρρηξη υπόγειων σωλήνων, η παρεκτόπιση δεξαμενών αποθήκευσης, το ξέπλυμα περιοχών με τοξικά απόβλητα και η αποδέσμευση χημικών ουσιών που βρίσκονται αποθηκευμένες στο έδαφος μπορούν να ρυπάνουν ποταμούς και τον υδροφορέα. Οι ξαφνικές πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες περιβαλλοντικές καταστροφές όπως διάβρωση του εδάφους. Επίσης, σημαντικός είναι ο κίνδυνος από τις κατολισθήσεις (European Environment Agency, 2007). Όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία, σε αρκετές περιπτώσεις τα πλημμυρικά νερά παρασύρουν ρύπους, αναμειγνύονται με μολυσμένα νερά από αποστραγγίσεις και γεωργικές γαίες έχοντας σοβαρές υγειονομικές συνέπειες (Μαμάσης, 2009).

Ο κίνδυνος θανάτων από ξαφνικές πλημμύρες είναι ιδιαίτερα υψηλός καθώς δεν υπάρχει έγκαιρη προειδοποίηση. Αντίθετα, σε περιπτώσεις πλημμυρών από υπερχειλίση ποταμών ή θυελλών το ποσοστό θανάτων είναι χαμηλό μιας και τα φαινόμενα αυτά μπορούν να προβλεφθούν (Μαμάσης, 2009).

2.2. ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Μία συνολική αντιπλημμυρική προστασία αποτελείται από ορισμένα βήματα. Αρχικά, πρέπει να γίνει καταγραφή της ευρύτερης περιοχής, των ρεμάτων και του δικτύου ομβρίων μέσω προγραμμάτων όπως το GIS. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητη η υδρολογική μελέτη για τη λεκάνη απορροής με τα αντίστοιχα ρέματα, χρησιμοποιώντας παροχές αιχμής και πλημμυρικό όγκο για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Έτσι, θα εντοπιστούν οι ζώνες επικινδυνότητας και οι κρίσιμες περιοχές σύμφωνα με την υδραυλική μελέτη στάθμης. Τα επόμενα βήματα της μελέτης στοχεύουν στην εκτίμηση της επάρκειας των υφιστάμενων έργων, τροποποιήσεις που μπορούν να εφαρμοστούν, προτάσεις για μέτρα αντιπλημμυρικής θωράκισης και θέσπιση προγράμματος ιεράρχησης έργων και μέτρων ανάσχεσης πλημμύρας (Μιμίκου, 2005).

Αντιπλημμυρική προστασία μπορεί να επιτευχθεί είτε με κατασκευαστικά είτε με μη κατασκευαστικά έργα. Για τα προστατευτικά μέτρα λαμβάνεται υπόψη το κόστος, οι επιθυμίες της κοινωνίας, οι εν δυνάμει ζημιές και οι τυχόν επιδράσεις στο περιβάλλον. Η αντιπλημμυρική προστασία πρέπει να εφαρμόζεται καθολικά για όλη τη λεκάνη απορροής του ποταμού, καθώς τοπικά μέτρα ενδέχεται να έχουν επιπτώσεις στις ανάντη και κατάντη περιοχές (Μαμάσης, 2009).

Όσον αφορά τα κατασκευαστικά έργα, στοχεύουν σε αποθήκευση του νερού και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς του. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η μελέτη εκτίμησης των πλημμύρων και της συχνότητας εμφάνισης τους στα κρίσιμα σημεία. Αντιπλημμυρικά κατασκευαστικά έργα αποτελούν:

- τα αναχώματα
- τα δίκτυα ομβρίων
- οι εκτροπές ποταμών
- η εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι
- η παράκτια προστασία
- οι αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες ανάντη της λεκάνης
- οι λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι.

Τα μη κατασκευαστικά έργα αντιπλημμυρικής προστασίας περιλαμβάνουν:

- Μέτρα πρόγνωσης ισχυρών καταιγίδων και πλημμυρών, έγκαιρης προειδοποίησης και σχεδιασμού συστήματος έκτακτης ανάγκης
- Δίκτυα παρακολούθησης βροχής και απορροής σε κρίσιμες θέσεις
- Συστήματα πρόγνωσης και παρακολούθησης ισχυρών καταιγίδων και πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο μέσω ραντάρ
- Οργάνωση τοπικής αυτοδιοίκησης και λοιπών φορέων για την πρόληψη και την αντιμετώπιση πλημμυρικών καταστροφών
- Διατήρηση των δασών και υγρότοπων από ανθρώπινες επεμβάσεις
- Έλεγχος αποχετευτικών συστημάτων στις αστικές περιοχές
- Συνεχής ενημέρωση του κοινού (Μιμίκου 2005).

2.3. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Τα τελευταία χρόνια η Ευρώπη υποφέρει από πλημμύρες. Κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα υπήρξε αύξηση τόσο των πλημμυρών όσο και της ξηρασίας. Οι επιπτώσεις αφορούν ζημιές σε περιουσίες, υποδομές, αγροτικές περιοχές και στα οικοσυστήματα.

Τα επόμενα χρόνια αναμένεται αυξημένος πλημμυρικός κίνδυνος στην Ευρώπη λόγω της κλιματικής αλλαγής. Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν σε γενικές γραμμές αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων ακόμα και τους καλοκαιρινούς μήνες. Πολλές παράκτιες περιοχές μπορούν να απειληθούν λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το ένα τρίτο του ευρωπαϊκού πληθυσμού κατοικεί μέσα σε μία ζώνη 50 χιλιομέτρων από τις ακτές. Άνοδος της στάθμης της θάλασσας και αύξηση της συχνότητας και έντασης ακραίων καιρικών φαινομένων αυξάνει τον πλημμυρικό κίνδυνο.

Ωστόσο, οι σοβαρές αυτές πλημμύρες δε μπορούν να αποδοθούν μόνο στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή καθώς μεγάλο ποσοστό ευθύνης φέρουν και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (European Environment Agency, 2007).

Η συχνότητα και η ένταση των πλημμυρών σχετίζονται με τις μεταβολές της κατανομής των υδατοκρημνίσεων, των απορροών των ποταμών και με άλλες μακροπρόθεσμες μεταβολές του κλίματος. Η αβεβαιότητα είναι μεγάλη σχετικά με τις προβλέψεις, ωστόσο, στο μέλλον οι συνθήκες θα προβλέπονται βάσει μοντέλων για το κλίμα.

2.3.1. ΥΔΑΤΟΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

Τα ετήσια υδατοκρημνίσματα αυξήθηκαν στη Βόρεια Ευρώπη κατά 10 – 40 % τον 20^ο αιώνα, ενώ μειώθηκαν στη Νότια Ευρώπη κατά 20%. Εντονότερες τάσεις παρατηρούνται στις εποχιακές κατανομές. Τη χειμερινή περίοδο η Νότια και Ανατολική Ευρώπη εμφάνισαν μεγαλύτερη ξηρασία, ενώ, τμήματα της Νοτιοδυτικής Ευρώπης παρουσίασαν μεγαλύτερη υγρασία.

Συμπερασματικά, στο μέλλον προβλέπονται αυξανόμενες ετήσιες υδατοκρημνίσεις στη Βόρεια Ευρώπη και πιο υγρά καλοκαίρια σε όλη την Ευρώπη (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2005).

2.3.2. ΑΠΟΡΡΟΗ ΠΟΤΑΜΩΝ

Σε πολλές λεκάνες της Νότιας Ευρώπης κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η απορροή των ποταμών μειώθηκε σημαντικά. Σε περιοχές της Ανατολικής Ευρώπης, αντίθετα, σημειώθηκε αύξηση. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται κυρίως στις μεταβολές των υδατοκρημνίσεων αν και η απορροή επηρεάζεται και από παράγοντες όπως η αλλαγή χρήσης γης ή η ευθυγράμμιση των ποταμών. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και των υδατοκρημνίσεων θα καθορίσουν στο μέλλον τις μεταβολές της απορροής των ποταμών. Μέχρι το 2070 υπολογίζεται αύξηση 50% στην απορροή των ποταμών σε Νότια και Νοτιοανατολική Ευρώπη και περισσότερο στη Βόρεια και Βορειοανατολική Ευρώπη (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2005).

2.3.3. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Στο μέλλον θα αυξηθεί η συχνότητα και η ένταση των ακραίων πλημμυρών σε ολόκληρη την Ευρώπη και κυρίως στην Κεντρική, Βόρεια και Βορειοανατολική. Είναι, λοιπόν, αναγκαίο η κάθε χώρα να λάβει σημαντικά μέτρα για την πρόληψη των πλημμυρών και τη μείωση των επιπτώσεων τους όπως ορίζει και η αντίστοιχη Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Λόγω του διασυνοριακού χαρακτήρα των πλημμυρών είναι απαραίτητη η συντονισμένη δράση για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμυρών (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2005).

2.4. ΞΑΦΝΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Οι ξαφνικές πλημμύρες αντιπροσωπεύουν μία από τις πιο σοβαρές καταστροφές. Περίπου το 40% των απωλειών που συνδέονται με πλημμύρες στην Ευρώπη την περίοδο 1950 - 2006 οφείλονται σε ξαφνικές πλημμύρες. Πρόκειται για ένα σπάνιο στιγμιαίο φαινόμενο που επηρεάζει μικρές και μεσαίες λεκάνες απορροής, με έκταση

συνήθως μικρότερη από 1000 km². Προέρχονται από το συνδυασμό μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών και είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών, συνοδευόμενα από ραγδαίες βροχοπτώσεις.

Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η μεγάλη ποσότητα βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα, λίγων ωρών ή και λιγότερο. Αυτή η μικρή χωρική και χρονική κλίμακα καθιστά τα γεγονότα ξαφνικής πλημύρας δύσκολο να παρατηρηθούν και να προβλεφθούν. Κατά τη διάρκεια μιας ξαφνικής πλημύρας παρατηρείται γρήγορη ανύψωση του νερού που, στο πέρασμά του, προκαλεί μεγάλες καταστροφές όπως κατολισθήσεις, λασποροές, καταστροφές σε υποδομές ακόμα και το θάνατο.

Η τοπογραφία και γεωλογία μίας περιοχής είναι οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε ξαφνικές πλημμύρες. Απότομες πλαγιές ή φτωχές λεκάνες απορροής παράγουν πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής. Οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες ευθύνονται, επίσης, για τις ξαφνικές πλημμύρες. Υπερεκμετάλλευση σε φυσικές πηγές λόγω ανάπτυξης του πληθυσμού οδηγεί σε υποβάθμιση των λεκανών απορροής.

Η ανάλυση των διαδικασιών των ξαφνικών πλημμύρων είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο από επιστημονική όσο και κοινωνική σκοπιά. Η πιθανότητα για ξαφνικές πλημμύρες και αντίστοιχες απώλειες αυξάνεται συνεχώς λόγω κοινωνικοοικονομικών πιέσεων στις χρήσεις γης. Επιπλέον, με την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας και με τις διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου να εντείνονται υπάρχει πιθανότητα για αύξηση των γεγονότων. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση των διαδικασιών είναι σημαντική καθώς τα γεγονότα αυτά αποκαλύπτουν πτυχές της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης.

2.4.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΑΦΝΙΚΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Κύρια χαρακτηριστικά ενός γεγονότος ξαφνικής πλημύρας είναι τα παρακάτω:

1. Συμβαίνουν ξαφνικά, με πολύ μικρό χρονικό διάστημα για προειδοποίηση.
2. Κινούνται γρήγορα και είναι βίαια φαινόμενα που καταστρέφουν στο πέρασμά τους υποδομές.
3. Είναι μικρές χωρικά σε σχέση με την περιοχή που επηρεάζουν.
4. Συνδέονται με άλλα γεγονότα όπως παραποτάμιες πλημμύρες και λασποροές.

5. Είναι σπάνιο φαινόμενο (Gruntfest and Handmer, 2001).

2.4.2. ΑΙΤΙΕΣ

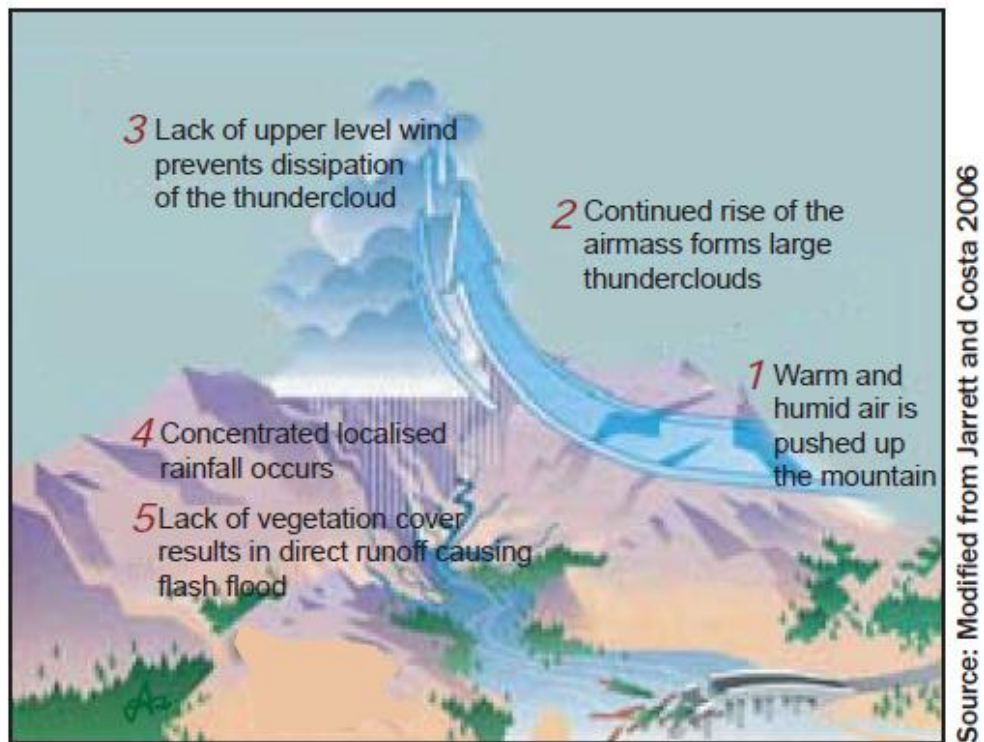
Οι ξαφνικές πλημμύρες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι πιο κοινοί είναι: έντονες βροχοπτώσεις ή υποχώρηση φυσικού φράγματος. Μπορούν, ακόμα, να προκληθούν από τεχνητά φράγματα ή αστοχία αυτών, κακή διαχείριση υδραυλικών κατασκευών, γρήγορο λιώσιμο πάγων ή χιονιού ή απότομη απελευθέρωση νερού που ήταν αποθηκευμένο σε παγετώνες.

➤ Έντονες βροχοπτώσεις

Είναι η πιο κοινή αιτία για τη δημιουργία ξαφνικών πλημμυρών. Οφείλονται σε έντονες ατμοσφαιρικές διαταραχές που οδηγούν σε ραγδαίες βροχοπτώσεις. Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να διαρκέσουν από μία έως και περισσότερες ημέρες. Προκαλούνται από καταιγίδες που κινούνται πάνω από την ίδια περιοχή. Σε τροπικές ζώνες προκαλούνται από τυφώνες ή τροπικούς κυκλώνες. Οι παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε μία ξαφνική πλημμύρα είναι ποικίλοι:

- Η ένταση της βροχής
- Η διάρκεια της βροχής
- Η τοπογραφία και οι συνθήκες του εδάφους
- Η φυτοκάλυψη
- Η καταστροφή των δασών
- Η αστικοποίηση (Shrestha et. al, 2008)

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η διαδικασία σχηματισμού καταιγίδας που οδηγεί εν συνεχεία σε ξαφνική πλημμύρα.

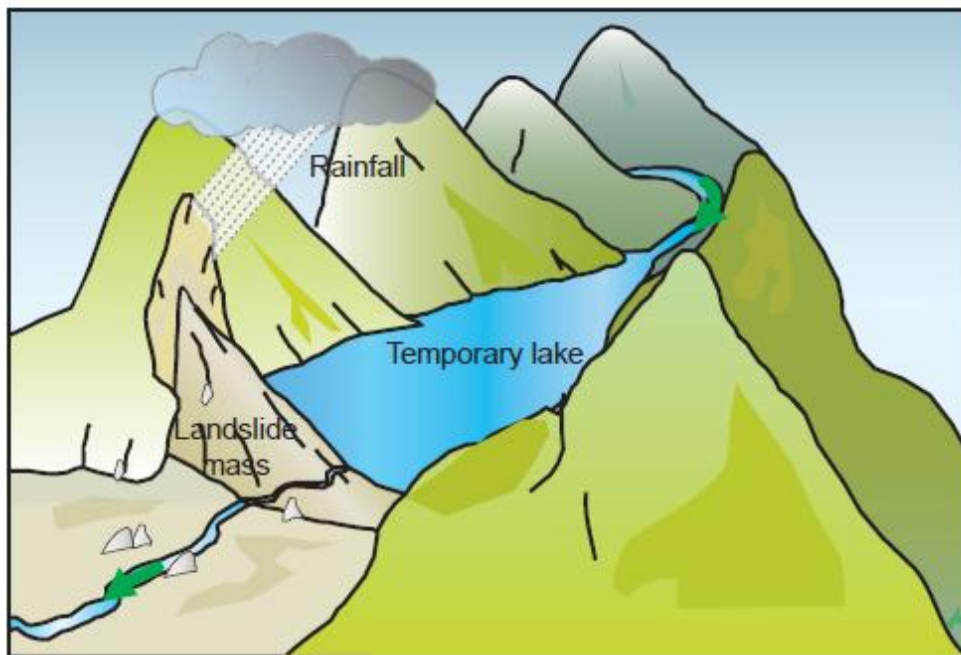


Εικόνα 1. Σχηματισμός καταγίδας και ξαφνικής πλημμύρας [Πηγή: Shrestha et. al, 2008]

➤ Υποχώρηση φυσικού φράγματος

Έντονες βροχοπτώσεις σε μία γυμνή πλαγιά προκαλούν άμεση απορροή και διάβρωση του εδάφους. Η διάβρωση αυτή εντείνεται στις παρυφές της πλαγιάς προκαλώντας κατολισθήσεις. Τα συντρίμια των κατολισθήσεων μπορούν να δημιουργήσουν ένα φυσικό φράγμα στο ποτάμι. Όταν τα επίπεδα του νερού ξεπεράσουν το φράγμα ή το βάρος του νερού υπερβεί την ικανότητα αντοχής του φράγματος, αυτό θα καταρρεύσει προκαλώντας ξαφνική πλημμύρα (Εικόνα 2).

Αυτού του είδους τα φράγματα συνήθως σχηματίζονται σε απότομες και στενές κοιλάδες όπου δεν υπάρχει αρκετός χώρος να απλωθεί η μάζα κατολίσθησης. Ο σχηματισμός ενός τέτοιου φράγματος είναι ένα περίπλοκο φαινόμενο που ξεκινά από την ολίσθηση μίας αρχικής μάζας χώματος. Πέρα από έντονες βροχοπτώσεις, διάβρωση του εδάφους μπορεί να προκληθεί από σεισμούς και ηφαιστειακές εκρήξεις (Shrestha et. al, 2008).



Εικόνα 2. Σχηματισμός φυσικού φράγματος [Πηγή: Shrestha et. al, 2008]

2.4.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι ξαφνικές πλημμύρες περιλαμβάνουν νερό που ρέει σε μεγάλες ταχύτητες και συμπαρασύρουν μεγάλες ποσότητες συντριμμίων. Μπορούν να είναι ιδιαίτερα καταστροφικές και να παρασύρουν υποδομές ζωτικής σημασίας. Τα μεγάλα φορτία συντριμμίων αυξάνουν τις καταστροφές, ενώ συχνά φυσικά φράγματα μπορεί να δημιουργηθούν σε περιορισμένες περιοχές όπως τα φαράγγια.

Οι κύριες επιπτώσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις κοινωνικοοικονομικές και τις περιβαλλοντικές.

- **Κοινωνικοοικονομικές**

Κατολισθήσεις και ροές από συντρίμια που συνδέονται με ξαφνικές πλημμύρες έχουν σημαντικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στους ανθρώπους, τα σπίτια και τις ιδιοκτησίες τους, σε βιομηχανικές κατασκευές και δίκτυα μεταφοράς όπως οδικά δίκτυα, σιδηροδρομικά δίκτυα και δίκτυα επικοινωνίας.

Οι έμμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν μειωμένη αξία ακινήτων σε περιοχές που απειλούνται με κατολισθήσεις. Όπως και οι υπόλοιπες φυσικές καταστροφές, οι ξαφνικές πλημμύρες μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στη βιομηχανική, αγροτική και δασική παραγωγή αλλά και στον τουρισμό καθώς καταστρέφουν εγκαταστάσεις και δίκτυα μεταφοράς.

- **Περιβαλλοντικές**

Οι ξαφνικές πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις και στο φυσικό περιβάλλον. Οι ροές λάσπης καλύπτουν μεγάλες περιοχές με συντρίμια, καταστρέφουν τις καλλιέργειες και καθιστούν τις αγροτικές περιοχές μη καλλιεργήσιμες έως ότου γίνουν προσπάθειες για τη βελτίωση τους.

Οι όχθες των ποταμών υπόκεινται σε διάβρωση και απώλεια εδάφους που παρασύρεται και εναποτίθεται σε άλλες περιοχές (Shrestha et. al, 2008).

2.5. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/EK γνωστή και ως Οδηγία - Πλαίσιο για τα Νερά αποτελεί το σημαντικότερο κείμενο νομοθεσίας για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Επαναπροσδιορίζει την έννοια της λεκάνης απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα (λίμνες, ποτάμια), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά ύδατα (δέλτα ποταμών, εκβολές) και τα παράκτια οικοσυστήματα. Σύμφωνα με την οδηγία, αντιμετωπίζονται συνολικά όλες οι χρήσεις και υπηρεσίες νερού, συνυπολογίζοντας την αξία του νερού για το περιβάλλον, την υγεία, την ανθρώπινη κατανάλωση και την κατανάλωση σε παραγωγικούς τομείς. Παράλληλα, επιβάλλει την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης για τις λεκάνες απορροής ποταμών προκειμένου να επιτευχθεί καλή οικολογική και χημική κατάσταση συμβάλλοντας ταυτόχρονα στο μετριασμό των επιπτώσεων λόγω πλημμύρων. Θεσπίζει ουσιαστικά την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Ωστόσο, η μείωση του κινδύνου πλημμύρας δεν είναι ένας από τους κύριους στόχους της εν λόγω οδηγίας, ούτε λαμβάνονται υπόψη μελλοντικές αλλαγές στους κινδύνους πλημμύρας, ως αποτέλεσμα της αλλαγής του κλίματος.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 εξέδωσαν τη νέα Κοινοτική Οδηγία για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας (Οδηγία 2007/60/EK). Στόχος της παρούσας οδηγίας είναι η μείωση των αρνητικών συνεπειών που συνδέονται με τις πλημμύρες, στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες και ισχύει για όλη την επικράτεια της Κοινότητας. Ως πλημμύρες νοούνται οι πλημμύρες

ποταμών, οι αστραπιαίες πλημμύρες, οι πλημμύρες στα αστικά κέντρα και οι πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές.

Για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού τα κράτη μέλη πρέπει να διεξάγουν προκαταρκτική εκτίμηση κινδύνων πλημμύρας μέχρι το τέλος του 2011 (22 Δεκεμβρίου 2011). Η αξιολόγηση περιλαμβάνει χάρτες της περιοχής της λεκάνης απορροής ποταμού με τα όρια της περιοχής, τοπογραφικά χαρακτηριστικά και χρήσεις γης και περιγραφή παρελθοντικών γεγονότων με σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε ανθρώπινες ζωές, οικονομικές δραστηριότητες και το περιβάλλον. Το κάθε κράτος προσδιορίζει, έτσι, περιοχές με σοβαρή πιθανότητα πλημμύρας.

Μέχρι το τέλος του 2013, για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού τα κράτη μέλη υποχρεούνται να καταρτίσουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας που θα καλύπτουν τις γεωγραφικές περιοχές που ενδέχεται να πληγούν από πλημμύρες. Διαμορφώνονται, έτσι, σενάρια για

- α) πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων
- β) πλημμύρες μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναληπτικότητας περισσότερο από 100 χρόνια)
- γ) πλημμύρες υψηλής πιθανότητας.

Στους χάρτες επικινδυνότητας θα περιγράφεται ένας ενδεικτικός αριθμός κατοίκων, οικονομικής δραστηριότητας και προστατευόμενων περιοχών που πιθανώς να πληγούν, καθώς και εγκαταστάσεις που ενδέχεται να προκαλέσουν τυχαία ρύπανση.

Καταρτίζονται, έτσι, από τα κράτη μέλη σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και θέτουν στόχους για τη μείωση των αρνητικών συνεπειών που μπορεί να προκαλέσουν. Στα σχέδια δράσης συνυπολογίζεται το κόστος και τα οφέλη, η έκταση της πλημμύρας και οι περιοχές αποστράγγισης των πλημμύρων, η διαχείριση του εδάφους και των υδάτων, ο χωροταξικός σχεδιασμός, οι χρήσεις γης, η διαφύλαξη της φύσης, η ναυσιπλοΐα και οι λιμενικές υποδομές. Τα σχέδια καλύπτουν όλες τις πτυχές διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας εστιάζοντας στην πρόληψη, προστασία και ετοιμότητα, προβλέποντας, ταυτόχρονα, συστήματα έκτακτης ανάγκης. Η προθεσμία ολοκλήρωσης και δημοσίευσης των σχεδίων διαχείρισης από τα κράτη μέλη είναι η 22^η Δεκεμβρίου 2015.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Ως λεκάνη απορροής ενός ποταμού ορίζεται η περιοχή της επιφάνειας του εδάφους όπου τα επιφανειακά ύδατα αποστραγγίζονται μόνο από το υδρογραφικό δίκτυο του ποταμού αυτού. Στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται όλα τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και εν συνεχεία καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα απομάκρυνσης (Ανδρεαδάκης).

Η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού κύκλου μίας λεκάνης απορροής αποτελεί το υδρολογικό ισοζύγιο. Η εξίσωσή του περιγράφει την αρχή διατήρησης της μάζας. Έτσι, το αλγεβρικό άθροισμα των διακινήσεων και των μεταβολών αποθήκευσης νερού σε ένα όγκο αναφοράς είναι μηδέν σε οποιαδήποτε χρονική διάρκεια. Η γενική του μορφή εκφράζει την ισότητα εισροών και εκροών στη λεκάνη. Η εξίσωση γράφεται:

$$\Delta S = \text{Εισροές} - \text{Εκροές}$$

όπου ΔS η διαφορά της αποθήκευσης νερού στον όγκο αναφοράς τη συγκεκριμένη περίοδο. Εισροή σε μία λεκάνη αποτελεί η βροχόπτωση, ενώ, ως εκροή θεωρείται η εξατμισοδιαπνοή και η επιφανειακή απορροή. Η αποθήκευση νερού πρόκειται για την αποθήκευση στο έδαφος (Ανδρεαδάκης).

Αναλυτικότερα, η εξίσωση του ισοζυγίου μπορεί να γραφεί:

$$P = E + R + I$$

Όπου, P τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα όπως βροχή, χιόνι, πάχνη

E η εξατμισοδιαπνοή

R η επιφανειακή απορροή

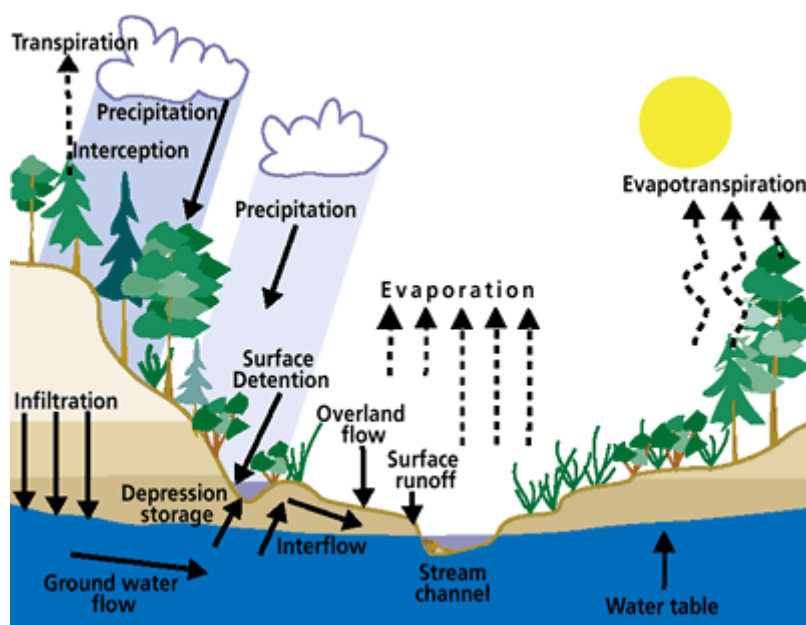
I η κατείσδυση

Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται το σύνολο των πραγματικών απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή των φυτών. Διαπνοή είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς στους πόρους των φυτών. Επιφανειακή απορροή δημιουργούν τα κατακρημνίσματα που πέφτουν στην επιφάνεια του υδρογραφικού δικτύου και οδηγούνται σε λίμνες ή στη θάλασσα μέσω των

υδατορευμάτων. Κατείδυση ή διήθηση είναι η φυσική διεργασία της εισχώρησης νερού στο έδαφος, που προέρχεται από βροχόπτωση, τήξη χιονιού ή άρδευση (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Στοιχεία της λεκάνης απορροής που μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του υδρολογικού ισοζυγίου είναι το κλίμα της περιοχής, η φύση των πετρωμάτων που καλύπτουν τη λεκάνη, η μορφολογία της λεκάνης και το είδος του υδρογραφικού δικτύου.

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται το υδρολογικό ισοζύγιο με όλες τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα.



Εικόνα 3. Απεικόνιση υδρολογικού ισοζυγίου [Πηγή: Ministry of Natural Resources, Ontario]

3.2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HEC

Το Υδρολογικό Κέντρο Μηχανικής HEC (Hydrologic Engineering Center), είναι ένας τομέας του Ινστιτούτου Υδάτινων Πόρων του Ειδικού Σώματος Μηχανικών των Η.Π.Α.. Εξειδικεύεται σε τομείς της υδρολογίας σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, υδραυλική των ποταμών και μεταφορά ιζημάτων, υδρολογική στατιστική και ανάλυση επικινδυνότητας, ανάλυση συστημάτων ταμιευτήρων, διαχείριση ελέγχου υδάτων σε πραγματικό χρόνο και ανάλογα τεχνικά θέματα. Το HEC παρέχει τεχνικές

μεθόδους και κατευθυντήριες γραμμές, υδρολογικά λογισμικά, πραγματοποιεί έρευνα και εκπονεί ειδικά ερευνητικά προγράμματα (US Army Corps of Engineers, 2010b).

3.2.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ HEC – GeoHMS

Το GeoHMS έχει αναπτυχθεί ως ένα γεωχωρικό υδρολογικό εργαλείο για μηχανικούς και αποτελεί επέκταση που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα ArcGIS. Αξιοποιεί τοπογραφικά δεδομένα και γεωμετρικούς αλγόριθμους για το σχηματισμό της λεκάνης απορροής. Χρησιμοποιεί το ArcView και Spatial Analyst για τον καθορισμό μίας σειράς υδρολογικών παραμέτρων που θα εισαχθούν στο HEC – HMS. Το πρόγραμμα επιτρέπει στο χρήστη την οπτικοποίηση της χωρικής πληροφορίας, την καταγραφή χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, την οριοθέτηση υπολεκανών απορροής και ρεμάτων και την παραγωγή αρχείων εισόδου απευθείας σε λογισμικά υδρολογικών μοντέλων.

Το HEC - GeoHMS χρησιμοποιεί ψηφιακά μοντέλα εδάφους, ψηφιακούς χάρτες με χρήσεις γης και τύπους εδαφών ή και βοηθητικά αρχεία χωρικών δεδομένων. Το πρόγραμμα δημιουργεί ένα αρχείο χάρτη και το αρχείο του μοντέλου της λεκάνης απορροής (US Army Corps of Engineers, 2009).

3.2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ HEC – HMS

Το HEC - HMS (Hydrologic Modeling System) σχεδιάστηκε για την προσομοίωση της διαδικασίας βροχόπτωσης-απορροής σε δενδροειδείς λεκάνες απορροής. Σχεδιάστηκε ούτως ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα γεωγραφικών περιοχών για την επίλυση οποιονδήποτε πιθανών προβλημάτων. Σε αυτά περιλαμβάνονται μεγάλες λεκάνες απορροής ποταμών, υδρολογία πλημμυρών και μικρές αστικές ή φυσικές απορροές της λεκάνης. Τα υδρογραφήματα που παράγονται από το πρόγραμμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια ή ως είσοδος σε άλλα λογισμικά για την μελέτη διαθεσιμότητας υδάτων, αστικών απορροών, πρόβλεψη απορροών, μελλοντικές επιπτώσεις λόγω της αστικοποίησης, σχεδιασμό αγωγών υπερχείλισης ταμιευτήρων, μελέτη μείωσης επιπτώσεων από πλημμύρες.

Το πρόγραμμα είναι ένα γενικευμένο μοντέλο ικανό να αναπαριστά πολλές διαφορετικές λεκάνες απορροής. Το μοντέλο χωρίζει τον υδρολογικό κύκλο σε

μικρότερα μέρη για πιο εύκολη διαχείριση και δημιουργεί οριακές συνθήκες στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οποιαδήποτε ροή μάζας ή ενέργειας του υδρολογικού κύκλου μπορεί να αντιπροσωπευθεί από ένα μαθηματικό μοντέλο. Στην πληθώρα των περιπτώσεων, πολλαπλά μαθηματικά μοντέλα είναι διαθέσιμα για την προσομοίωση κάθε ροής. Κάθε μοντέλο που περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα είναι κατάλληλο για διαφορετικά περιβάλλοντα και διαφορετικές συνθήκες. Η ορθολογική επιλογή του μοντέλου προϋποθέτει γνώση της λεκάνης απορροής καθώς και των στόχων της υδρολογικής μελέτης.

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μία βάση δεδομένων, βοηθήματα εισαγωγής δεδομένων, μηχανισμό υπολογισμών και εργαλεία για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Το γραφικό περιβάλλον επιτρέπει την εύκολη περιήγηση μεταξύ των τμημάτων του προγράμματος (US Army Corps of Engineers, 2010b).

3.2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ HEC - HMS

Τα βασικά βήματα τα οποία ακολουθούνται κατά τη μοντελοποίηση ενός γεγονότος με τη χρήση του HEC-HMS, είναι τα παρακάτω:

1. **Επεξεργασία Δεδομένων Εισόδου** (χαρτών, κλιματικών χρονοσειρών κλπ.).
2. **Οριοθέτηση Λεκάνης Απορροής (watershed delineation)** στο HEC-GeoHMS.
3. **Συμπλήρωση Παραμέτρων Αρχείων Προγράμματος (parameterization)** στο HEC-HMS.
4. **Εκτέλεση (run).**
5. **Ρύθμιση (calibration).** Μεταβολή παραμέτρων του μοντέλου με σκοπό τη σύγκλιση προσομοιωμένων και παρατηρημένων πλημμυρογραφημάτων.
6. **Επαλήθευση (validation).** Σύγκριση ενός ανεξάρτητου σετ πλημμυρογραφημάτων με τα αντίστοιχα του μοντέλου χωρίς περαιτέρω μεταβολή των παραμέτρων.
7. **Αξιολόγηση (verification).** Διερεύνηση της τεχνικής που ακολουθείται ώστε να αποφευχθούν λανθασμένες προσαρμογές του μοντέλου (Τσιτσιλώνης, 2008).

3.2.4. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Έπειτα από την εισαγωγή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) στο GIS, ακολουθείται μία σειρά εντολών της εργαλειοθήκης ArcHydro για την επεξεργασία γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών του μοντέλου εδάφους. Οι εντολές που γίνονται από το μενού Terrain Pre-Processing αναλύονται στη συνέχεια.

1. Η εντολή **Fill Sinks** χρησιμοποιείται προκειμένου να διορθωθούν στο αρχείο DEM τυχόν κοιλότητες που παρουσιάζει το ανάγλυφο και να μην υπάρχουν τμήματα όπου το νερό θα συγκρατείται εντός της λεκάνης.
2. Η εντολή **Flow direction** καθορίζει τη διεύθυνση των απορροών μέσα στην περιοχή.
3. Η εντολή **Flow Accumulation** καθορίζει τον αριθμό των ανάντη κελιών που αποστραγγίζονται σε ένα συγκεκριμένο κελί.
4. Η εντολή **Stream definition** επιλέγει όλα τα κελιά με συσσώρευση ροής μεγαλύτερη από μία τιμή που έχει οριστεί. Τα κελιά αυτά αποτελούν το δίκτυο ροής. Η τιμή μπορεί να οριστεί σαν μία μονάδα επιφάνειας (τετραγωνικά χιλιόμετρα) ή σαν αριθμός κελιών. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι το 1% της μέγιστης περιοχής αποστράγγισης σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Όσο μικρότερη τιμή κατωφλίου επιλέγεται τόσο μεγαλύτερος αριθμός υπολεκανών οριοθετείται σε μετέπειτα βήμα.
5. Η εντολή **Stream Segmentation** διαιρεί το υδατόρεμα σε μικρότερα τμήματα.
6. Η εντολή **Catchment Grid Delineation** οριοθετεί μία υπολεκάνη για κάθε τμήμα του ποταμού.
7. Η εντολή **Catchment Polygon Processing** δημιουργεί σε διανυσματική μορφή ένα επίπεδο με υπολεκάνες χρησιμοποιώντας το δίκτυο του προηγούμενου βήματος.
8. Η εντολή **Drainage Line Processing** δημιουργεί σε διανυσματική μορφή ένα επίπεδο με το υδρογραφικό δίκτυο.
9. Η εντολή **Adjoint Catchment Processing** αθροίζει τις ανάντη υπολεκάνες σε κάθε σημείο συμβολής του ποταμού. Είναι ένα απαραίτητο βήμα για τη βελτίωση της υπολογιστικής απόδοσης της οριοθέτησης των λεκανών και για την ενίσχυση της εξαγωγής δεδομένων κατά τον ορισμό ενός αρχείου Hec - GeoHMS. Το βήμα αυτό δεν έχει καμία υδρολογική σημασία.

Στη συνέχεια καθορίζεται η περιοχή μελέτης και το αρχείο μπορεί να εξαχθεί στο HEC - HMS (US Army Corps of Engineers, 2009).

3.2.5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ HEC –HMS

ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία του μοντέλου είναι η εισαγωγή του μοντέλου λεκάνης που είχε δημιουργηθεί στο HEC – GeoHMS με τις εντολές που περιγράφηκαν παραπάνω. Η φυσική περιγραφή της λεκάνης περιέχεται στο μοντέλο αυτό. Υδρολογικά στοιχεία μπορούν να προστεθούν στο μοντέλο και να συνδεθούν μεταξύ τους προκειμένου να γίνει αναπαράσταση της πραγματικής ροής της λεκάνης. Επιπλέον, προστίθενται οι χάρτες της λεκάνης που εξετάζεται καθώς και του δικτύου αποστράγγισης, που δημιουργήθηκαν επίσης μέσω του HEC – GeoHMS, ούτως ώστε να υπάρχει καλύτερη εποπτική εικόνα (US Army Corps of Engineers, 2010b).

Πάνω στους χάρτες μπορούν να τοποθετηθούν τα υδρολογικά στοιχεία που περιγράφονται παρακάτω:



Υπολεκάνη (Subbasin) – Αναπαράσταση της φυσικής υπολεκάνης



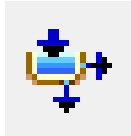
Αγωγός ποταμού (River reach) – Χρησιμοποιείται για να υποδείξει της μεταφορά της ροής στο μοντέλο της λεκάνης



Συμβολή (Junction) – Συνένωση των ανάντη ροών



Δεξαμενή (Reservoir) – Σύνδεση ροών μέσω μιας δεξαμενής



Εκτροπή (Diversion) – Χρησιμοποιείται για μοντελοποίηση της ροής που μετακινείται από το κυρίως ρεύμα



Πηγή (Source) – Χρησιμοποιείται για να δείξει την εισροή νερού από ένα ρεύμα που διασχίζει τα όρια της περιοχής μελέτης



Πηγάδι (Sink) – Χρησιμοποιείται για να δείξει την εκροή νερού σε ένα ρεύμα που διασχίζει τα όρια της περιοχής μελέτης

Η εισαγωγή των υδρολογικών στοιχείων πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της λειτουργίας της λεκάνης. Εφόσον έχουν γίνει οι κατάλληλες συνδέσεις των υδρολογικών στοιχείων και υπάρχει πλήρης εικόνα της περιοχής που θα προσομοιωθεί, στη συνέχεια, πρέπει να δοθούν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά της κάθε υπολεκάνης. Ζητούνται φυσικά χαρακτηριστικά όπως το εμβαδόν όπως και κάποιες μέθοδοι υπολογισμού που θα αναλυθούν παρακάτω.

- Μέθοδος Canopy

Χρησιμοποιείται για τη δήλωση ύπαρξης φυτών στο πεδίο. Τα φυτά κατακρατούν μέρος της βροχόπτωσης μειώνοντας το ποσοστό ύδατος που φτάνει στο έδαφος. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι προαιρετική και προτιμάται κυρίως σε συνεχείς προσομοιώσεις.

- Επιφανειακή μέθοδος (Surface Method)

Αναπαριστά την επιφάνεια του εδάφους όπου μπορεί να συσσωρεύεται το νερό. Όπως η μέθοδος Canopy, έτσι και η Επιφανειακή είναι προαιρετική και προτιμάται για συνεχείς προσομοιώσεις.

- Μέθοδος απωλειών (Loss Method)

Από το λογισμικό παρέχονται δώδεκα διαφορετικές μέθοδοι απωλειών, ορισμένες από τις οποίες προορίζονται για συνεχή προσομοίωση, ενώ, άλλες για μεμονωμένα γεγονότα βροχόπτωσης.

- Μέθοδος μετατροπής (Transform method)

Το ποσοστό κατακρήμνισης που δεν πηγαίνει στο υπέδαφος αποτελεί την περίσσεια κατακρήμνισης. Μια μέθοδος μετατροπής χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την άμεση απορροή από την περίσσεια κατακρήμνισης. Εάν δεν επιλεγεί κάποια μέθοδος, η υπολεκάνη θα μετατρέψει όλη την περίσσεια κατακρήμνισης σε απορροή.

Από το πρόγραμμα παρέχονται επτά διαφορετικές μέθοδοι. Ορισμένες επιλογές, ωστόσο, έχουν περιορισμούς αφού πρέπει να χρησιμοποιούνται με συγκεκριμένη μέθοδο απωλειών.

- Μέθοδος επιστροφής ροής (Baseflow method)

Το νερό που έχει διεισδύσει μέσω του εδάφους σε έναν υδροκρίτη περνά μέσω της ακόρεστης ζώνης και εισάγεται στα υπόγεια νερά. Τα υπόγεια νερά είναι σπάνια στατικά και κινούνται αργά μέσω των εδαφικών πόρων, των ασβεστολιθικών σπηλαίων, ή των ρηγμάτων ανάλογα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υπόγεια νερά είναι η πηγή των ρευμάτων κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων και των ξηρασιών.

Το νερό επιστρέφει στο κανάλι άμεσα από κάτω ή μπορεί να επιστρέψει στην επιφάνεια εδάφους κοντά στο ρεύμα. Τα ρηχά υπόγεια νερά μπορούν να ταξιδέψουν αρκετά γρήγορα και συμβάλουν στη ροή καναλιών κατά τη διάρκεια των γεγονότων βροχόπτωσης. Η ροή υπόγειων νερών που επιστρέφει στο κανάλι ρευμάτων ή στην επιφάνεια εδάφους από υπόγεια νερά καλείται baseflow. Η baseflow δηλαδή εκφράζει ένα αντίστροφο φαινόμενο από αυτό της απώλειας.

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές επιλογές για τη μέθοδο αυτή (US Army Corps of Engineers, 2010b).

ΑΓΩΓΟΙ

Για την προσομοίωση γίνεται η υπόθεση ότι το νερό κινείται διαμέσου κάποιων κύριων αγωγών. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, η κίνηση του νερού είναι πιο περίπλοκη. Ο χρήστης επιλέγει τη μέθοδο με την οποία το νερό θα διοχετευτεί μέσα από τους αγωγούς.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το επόμενο βήμα αφορά τη δημιουργία μετεωρολογικού μοντέλου. Το μετεωρολογικό μοντέλο είναι απαραίτητο για την εισαγωγή των οριακών συνθηκών της λεκάνης κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Εάν το μοντέλο της λεκάνης περιέχει υπολεκάνες τότε πρέπει να δηλωθεί σε ποιες από τις υπολεκάνες αυτές παρατηρείται βροχόπτωση.

Εκτός από τη βροχόπτωση υπάρχει, ακόμα, η δυνατότητα υπολογισμού τήξης χιονιού και εξατμισοδιαπνοής που λαμβάνεται υπόψη κυρίως σε συνεχή προσομοίωση.

Υπάρχουν επτά διαφορετικές μέθοδοι για τη βροχόπτωση καθώς και η επιλογή της μηδενικής βροχόπτωσης (US Army Corps of Engineers, 2010b).

ΑΡΧΕΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Στη συνέχεια πρέπει να οριστεί το αρχείο προσομοιώσεων. Το αρχείο προσομοιώσεων είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του μοντέλου αν και δε παρέχει ιδιαίτερες πληροφορίες. Σκοπός του είναι η δήλωση της έναρξης και της λήξης της προσομοίωσης καθώς και το χρονικό διάστημα των υπολογισμών. Οι ημερομηνίες πρέπει να εισαχθούν με προσοχή ούτως ώστε να αντιστοιχούν σε δεδομένα (US Army Corps of Engineers, 2010b).

ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τελικό βήμα πριν την προσομοίωση των αποτελεσμάτων αποτελεί η εισαγωγή των βροχομετρικών δεδομένων και των χρονοσειρών. Υπάρχει, επίσης, δυνατότητα εισαγωγής θερμοκρασίας, ακτινοβολίας, παροχής κ.ά. (US Army Corps of Engineers, 2010b).

3.2.6. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απόδοση του μοντέλου υπολογίζεται ο συντελεστής Nash–Sutcliffe που περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$$

Όπου:

Q_o^t η παροχή που έχει καταγραφεί από το σταθμό για μία χρονική στιγμή

Q_m^t η παροχή που υπολογίστηκε από το μοντέλο για μία χρονική στιγμή

$\bar{Q}_o$ η μέση τιμή των παροχών που έχουν καταγραφεί.

Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από $-\infty$ έως 1. Η μονάδα αποτελεί τη βέλτιστη τιμή. Τιμές μεταξύ 0.0 και 1.0 θεωρούνται αποδεκτές τιμές απόδοσης του μοντέλου, ενώ, αρνητικές τιμές υποδεικνύουν ότι οι τιμές παρατήρησης αποτελούν καλύτερο δείκτη από τις προσομοιωμένες που αποτελούν μη αποδεκτή απόδοση. Όσο, λοιπόν ο συντελεστής πλησιάζει τη μονάδα τόσο πιο ακριβές είναι το μοντέλο (Moriassi et.al, 2007).

Ένας επιπλέον δείκτης που προσδιορίζει την απόκλιση των προσομοιωμένων τιμών από αυτές που καταγράφηκαν είναι το επί τοις εκατό σφάλμα παροχής αιχμής (Peak Flow Error). Υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Peak Flow Error} = \frac{Q_{o,\max} - Q_{m,\max}}{Q_{o,\max}} 100\%$$

Όπου:

$Q_{o,\max}$ η μέγιστη παροχή που έχει καταγραφεί

$Q_{m,\max}$ η μέγιστη παροχή που υπολογίστηκε από το μοντέλο.

3.2.7. HEC - RAS

Το HEC -RAS (River Analysis System) πρόκειται για ένα λογισμικό που επιτρέπει υπολογισμούς για μονοδιάστατη σταθερή ή μη σταθερή ροή ποταμών και προσομοίωση φυσικών ή τεχνητών υδατορευμάτων σε ένα μεμονωμένο υδρολογικό γεγονός. Περιλαμβάνει πολλές δυνατότητες εισαγωγής δεδομένων, υδραυλική ανάλυση, διαχείριση κ αποθήκευση στοιχείων καθώς και γραφικές απεικονίσεις. Εκτελεί τους κατάλληλους μονοδιάστατους υδραυλικούς υπολογισμούς εξάγοντας τα αποτελέσματα σε γραφήματα. Επιτρέπει, ακόμα, την πρόβλεψη της χωροχρονικής μετατόπισης ενός πλημμυρικού κύματος μέσα στην κοίτη υδατορευμάτων ή και έξω από αυτή και γενικά υπολογίζει την υδατική στάθμη μέσα σε υδατορεύματα και την ικανότητα όδευσης πλημμύρων (US Army Corps of Engineers, 2010a).

Η κύρια υπολογιστική διαδικασία του HEC - RAS για σταθερή ροή βασίζεται στη λύση μονοδιάστατης εξίσωσης ενέργειας. Οι απώλειες ενέργειας αξιολογούνται από την τριβή και τη συστολή/διαστολή (συντελεστής που πολλαπλασιάζεται με τη διαφορά της κινητικής ενέργειας). Η εξίσωση ορμής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου το προφίλ της επιφάνειας του ποταμού μεταβάλλεται ραγδαία. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν υδραυλικό άλμα, γέφυρες, εμπόδια στο υδατόρευμα.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Z_1, Z_2 : Ψύόμετρα του πυθμένα υδατορεύματος σε δύο διαδοχικές διατομές

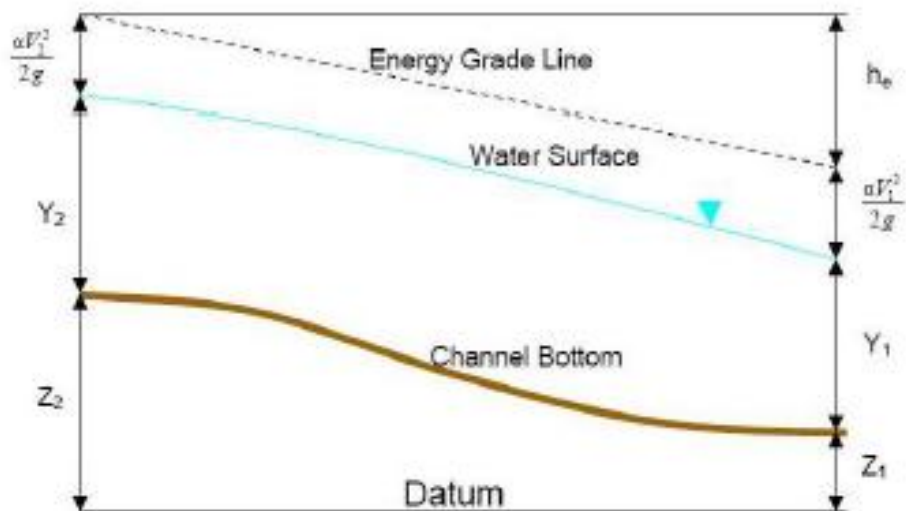
Y_1, Y_2 : Βάθη νερού

a_1, a_2 : Συντελεστές συνόρθωσης κινητικής ενέργειας ταχύτητας

V_1, V_2 : Μέσες ταχύτητες διατομών

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

h_e : Ολικές απώλειες ενέργειας (γραμμικές και τοπικές)



Εικόνα 4. Αναπαράσταση εξίσωσης ενέργειας

Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη μη σταθερή ροή του νερού σε ένα υδατόρευμα είναι:

Η αρχή της διατήρησης της μάζας, η οποία συνεπάγεται ότι η μάζα ενός κλειστού συστήματος (με την έννοια ενός όγκου ελέγχου) θα παραμείνει σταθερή στο χρόνο.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

Η αρχή της διατήρησης της ορμής η οποία αναφέρει ότι η ολική ορμή ενός κλειστού συστήματος (με την έννοια ενός όγκου ελέγχου) θα παραμείνει σταθερή.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Οι μερικές διαφορικές εξισώσεις της συνέχειας και της ορμής είναι γνωστές και σαν εξισώσεις St. Venant.

3.2.8. ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ HEC – RAS

Τα βασικά βήματα για την προσομοίωση ενός γεγονότος μέσω του HEC - RAS είναι:

1. Κατασκευή γεωμετρικού υπόβαθρου
2. Προσδιορισμός συνθηκών ροής
3. Προσομοίωση
4. Αποτελέσματα
5. Έλεγχος αποτελεσμάτων (Τσιτσιλώνης, 2008).

Το HEC - RAS προσδιορίζει τα υψόμετρα της υδατικής στάθμης της επιφανειακής απορροής για όλα τα σημεία κάτω από ορισμένες συνθήκες ροής. Τα στοιχεία που απαιτούνται από το λογισμικό είναι γεωμετρικά δεδομένα για τα σημεία που γίνεται ο έλεγχος και οριακές συνθήκες. Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας μπορεί να γίνει για υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μικτή ροή. Η ανάλυση γίνεται από κατάντη προς ανάντη για υποκρίσιμη ροή και από ανάντη προς κατάντη για υπερκρίσιμη.

Για την εκτέλεση των υδραυλικών υπολογισμών απαιτούνται τα ακόλουθα δεδομένα εισόδου:

- Γεωμετρία δικτύου

Η γεωμετρία του δικτύου δίνεται μέσω των διατομών του υδατορεύματος. Οι θέσεις των διατομών επιλέγονται από το χρήστη ούτως ώστε να περιγράφεται με τον πληρέστερο δυνατό τρόπο η γεωμετρία. Το πλάτος και η μεταξύ τους απόσταση καθορίζονται από την τοπογραφία. Επιπλέον, μπορεί να εισαχθεί το μήκος του υδατορεύματος, συντελεστές απωλειών ενέργειας, συμβολές ποταμών, γέφυρες.

- Στοιχεία ροής

Σε περίπτωση σταθερής ροής απαιτούνται οι αιχμές των πλημμυρογραφημάτων των υπολεκανών που εξετάζονται καθώς και οι οριακές συνθήκες ανάλογα αν η ροή είναι υποκρίσιμη ή υπερκρίσιμη (ανάντη και κατάντη, κρίσιμο βάθος, καμπύλες στάθμης παροχής). Σε περίπτωση μη σταθερής ροής απαιτούνται αρχικές και οριακές

συνθήκες. Απαιτούνται, έτσι, υδρογραφήματα ή σταθμηγραφήματα και καμπύλες στάθμης παροχής.

Ανάλογα με τα δεδομένα (σταθερή ή μη σταθερή ροή) ξεκινάει η αντίστοιχη προσομοίωση με την εξαγωγή πολλαπλών αποτελεσμάτων και γραφημάτων.

Το μοντέλο παρέχει και επιπλέον δυνατότητες όπως:

- Στερεομεταφορά, απόθεση φερτών υλικών
- Τοπική διάβρωση, υποσκαφή σε γέφυρες
- Κανάλια, οχετοί, συστήματα πολλαπλών καναλιών και γεφυρών
- Μοντελοποίηση υπερχειλιστών, θυροφραγμάτων κ.τ.λ.
- Υπολογισμοί κατάκλυσης πλημμύρας
- Συνεκτίμηση ακραίων συνθηκών (παγοκάλυψη) (US Army Corps of Engineers, 2010a).

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η Κύπρος είναι το τρίτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της λεκάνης της Μεσογείου μεταξύ των γεωγραφικών παραλλήλων $34^{\circ} 33' 00''$ και $35^{\circ} 34' 10''$ βόρεια του Ισημερινού και μεταξύ των μεσημβρινών $32^{\circ} 16' 30''$ και $34^{\circ} 37' 00''$ ανατολικά του πρώτου μεσημβρινού του Greenwich. Το συνολικό μήκος των ακτών είναι 772 χιλιόμετρα και καταλαμβάνει συνολικά έκταση $9,251 \text{ km}^2$. Το 47% της έκτασης αυτής είναι καλλιεργήσιμη γη, 19% είναι δάση και 34% είναι ακαλλιεργήγη γη (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου).

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του νησιού καθορίζονται από τις δύο οροσειρές, του Τροόδους που βρίσκεται στα κεντρικά και του Πενταδάκτυλου που βρίσκεται βόρεια με μέγιστα υψόμετρα 1,952 μέτρα και 1,085 μέτρα αντίστοιχα.

4.2. ΚΛΙΜΑ

Η Κύπρος έχει μεσογειακό κλίμα που επηρεάζεται από τη γεωγραφική θέση του νησιού, τη μορφολογία εδάφους και τη από την κυκλοφορία των αέριων μαζών. Γρήγορες αλλαγές στις καιρικές συνθήκες χαρακτηρίζουν φθινόπωρο και άνοιξη, που είναι σύντομα, και χωρίζουν τα ζεστά, ξηρά καλοκαίρια που διαρκούν από τα μέσα Μαΐου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου και τους βροχερούς, άστατους χειμώνες που διαρκούν από το Νοέμβριο έως τα μέσα Μαρτίου. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 500 mm σύμφωνα με στοιχεία για την περίοδο 1901 - 2001 ενώ από το 2000 μέχρι σήμερα έχει μειωθεί στα 463 mm (Τελική Έκθεση 1, Πρωτόκολλο πληροφοριών).

4.3. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΑ

Υδρογραφικά το νησί χωρίζεται σε 9 υδρολογικές περιοχές που αποτελούνται από 70 λεκάνες απορροής και 387 υπολεκάνες. Η εποχιακή κατανομή της επιφανειακής απορροής ακολουθεί την εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων, με ελάχιστες τιμές κατά τους θερινούς μήνες και μέγιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες. Σημαντικές, όμως, είναι οι σύντομες αλλά έντονες καταιγίδες που προκαλούν ξαφνικές πλημμύρες (Galiouna et al., 2011). Το μεγαλύτερο μέρος των ποταμών πηγάζουν από την περιοχή του Τροόδους. Οι περισσότεροι ρέουν 3 με 4 μήνες το χρόνο και είναι ξηροί τον υπόλοιπο. Χαρακτηριστικό των ποταμών, με εξαίρεση αυτά των πεδινών εκτάσεων στις νότιες ακτές του νησιού είναι απότομες κλίσεις. Τα πιο πολλά τμήματα των ποταμών, ωστόσο, βρίσκονται σε ενδιάμεσο υψόμετρο (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου).

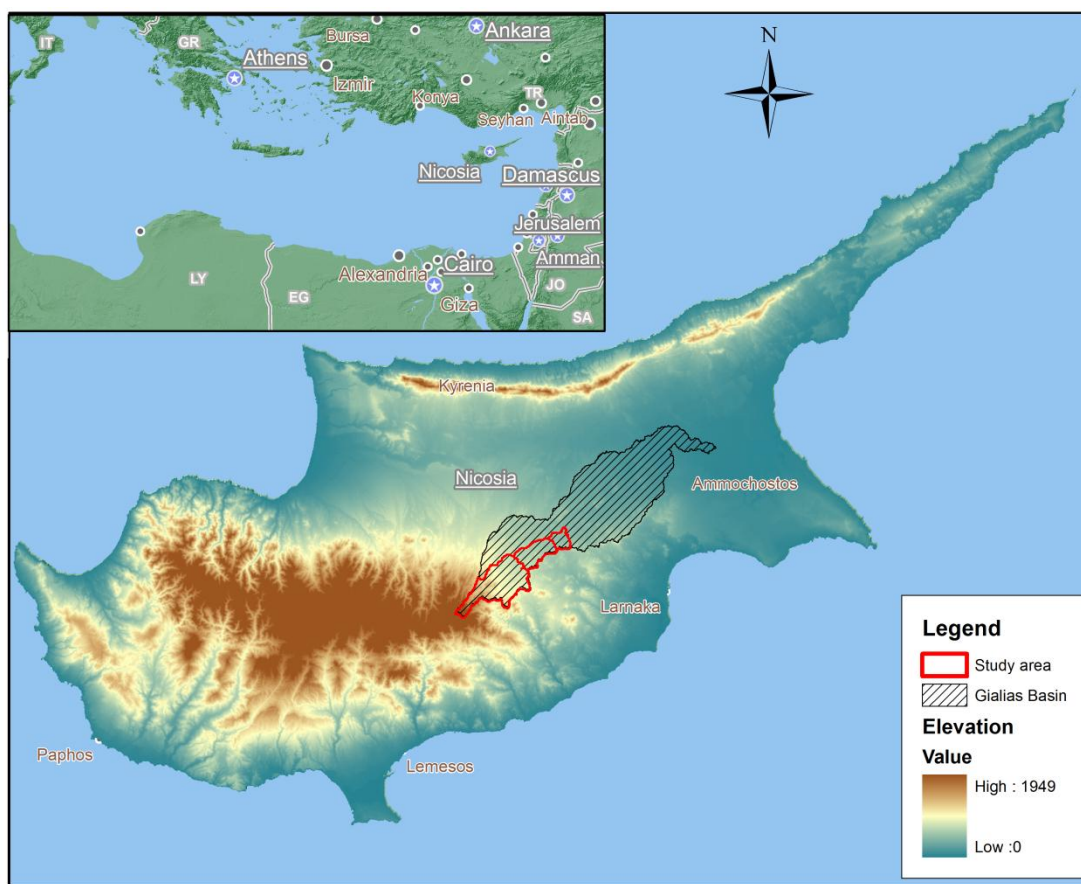
4.4. ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΙΑΛΙΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θα εξεταστεί μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Γιαλιά. Ο Γιαλιάς είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός της Κύπρου με μήκος 88 χιλιομέτρων. Πηγάζει στο όρος Τροόδους και τα βουνά του Μαχαιρά. Διασχίζει την πεδιάδα της Μασσαορίας και καταλήγει στον κόλπο της Αμμόχωστου.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα υδρολογικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη λεκάνη απορροής του Γιαλιά, ενώ, στην Εικόνα 5 φαίνεται σε χάρτη η έκταση της λεκάνης.

Πίνακας 1. Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Γιαλιά

Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Γιαλιά	
Περιοχή (km ²)	598
Μέση ετήσια κατακρήμνιση (mm)	331
Όγκος βροχόπτωσης (m ³ /έτος)	1.98E+08



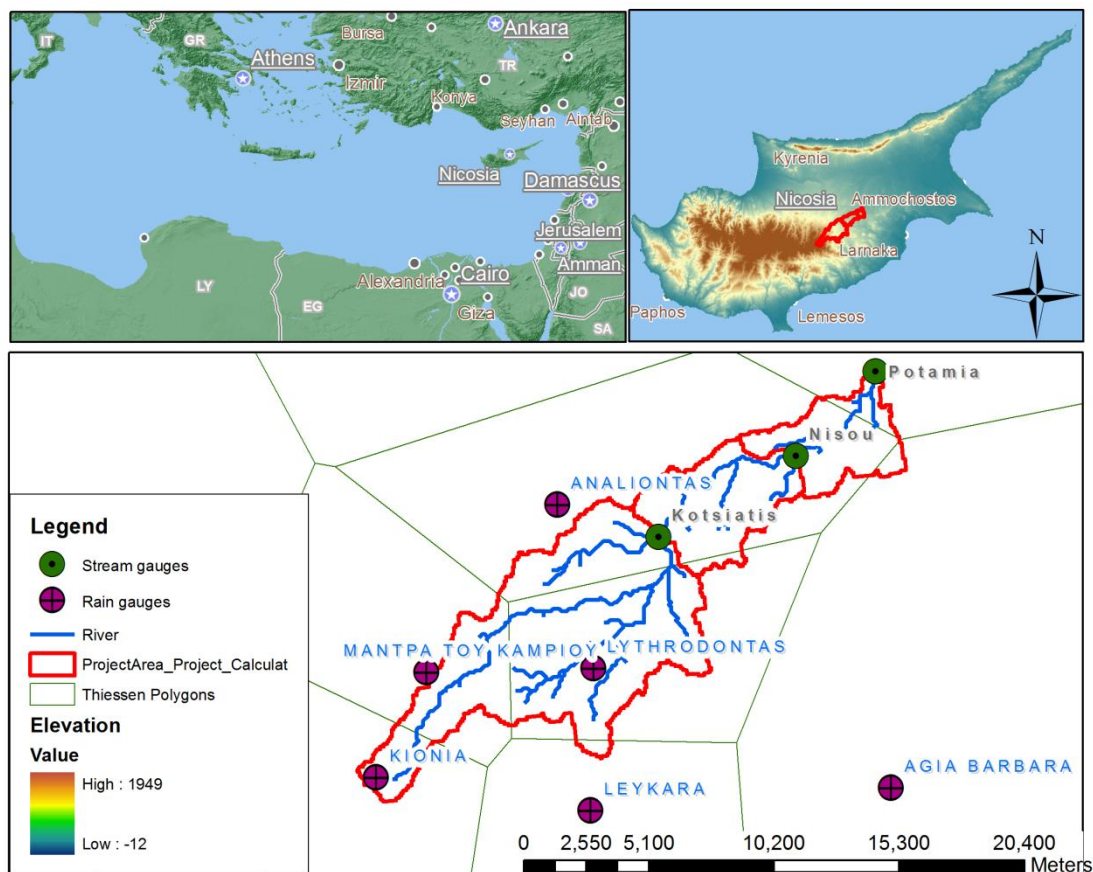
Εικόνα 5. Λεκάνη απορροής Γιαλιά

Συγκεκριμένα θα εξεταστούν τρεις υπολεκάνες της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Γιαλιά, οι υπολεκάνες Κοτσιάτη, Νήσου και Ποταμιάς, με χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 και 3.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά λεκάνης

Χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης	
Συνολικό Μήκος ποταμού (km)	33,42
Υψόμετρο εισόδου (m)	1314,00
Υψόμετρο εξόδου (m)	189,00
Μέσο υψόμετρο (m)	443,97

Στον επόμενο χάρτη φαίνεται η συγκεκριμένη περιοχή που μελετάται με τους αντίστοιχους σταθμούς παροχής και τα βροχόμετρα.



Εικόνα 6. Λεκάνη απορροής και σταθμοί μετρήσεων

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά υπολεκανών

	Χαρακτηριστικά περιοχής	
	Μέσο υψόμετρο (m)	Μήκος Ποταμού (km)
Upper	495.4	18.96
Mid	292.4	8.77
Lower	237.8	5.69

4.5. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Στη μορφολογία της νήσου κυριαρχούν οι παρακάτω μορφολογικές ενότητες:

- Το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους
- Η βόρεια οροσειρά του Πενταδάκτυλου
- Η κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας
- Η λοφώδης περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους
- Οι παράκτιες πεδιάδες

Το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους βρίσκεται στα κεντρικά και δυτικά του νησιού καταλαμβάνοντας συνολική έκταση 3,200 km². Αποτελείται κυρίως από πυριγενή πετρώματα, που αποτελούν το Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους. Αρκετά από τα πετρώματα είναι αδιαπέρατα, ενώ, υψηλές διαπερατότητες παρατηρούνται στις ζώνες των ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή. Λόγω των αδιαπέρατων πετρωμάτων και των μεγάλων κλίσεων, ο κύριος όγκος νερού έπειτα από βροχοπτώσεις καταλήγει στους ποταμούς που πηγάζουν από το ορεινό σύμπλεγμα.

Το πυριγενές σύμπλεγμα του Τροόδους υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες:

- Τη ζώνη των πλουτωνίων πετρωμάτων
- Τη ζώνη των φλεβικών πετρωμάτων
- Τη ζώνη των προσκεφαλοειδών λαβών (pillow lavas)

Ένα μεγάλο μέρος της λεκάνης απορροής του Γιαλιά βρίσκεται στους λόφους γύρω από το πυριγενές σύμπλεγμα του Τροόδους. Η περιφέρεια αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα των γεωλογικών σχηματισμών Πάχνας (εναλλασσόμενες στρώσεις κρητίδων, μαργών και ψαμμιτών) και Λευκάρων (κρητίδες, μάργες και μαργαϊκές κρητίδες) που επικάθονται στη λάβα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από αποστρογγυλωμένους κρητιδούχους λόφους, καρστικά φαινόμενα, ξερές κοιλάδες, μικρά διαμελισμένα οροπέδια και τραπεζοειδείς λόφους. Στο τοπίο κυριαρχεί το άσπρο χρώμα των κρητίδων ή το μπεζ χρώμα των μαργών και των μαργαϊκών κρητίδων.

Η κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας βρίσκεται μεταξύ της οροσειράς του Πενταδάκτυλου και του Τροόδους. Εκτείνεται από τον κόλπο της Μόρφου στα δυτικά μέχρι τον κόλπο της Αμμόχωστου στα ανατολικά. Τα πετρώματά της είναι από τα πιο πρόσφατα της Κύπρου, ιζηματογενούς προέλευσης που μεταφέρθηκαν από τις οροσειρές. Υποδιαιρείται στις παρακάτω περιοχές:

- Δυτική Κεντρική πεδιάδα (πεδιάδα της Μόρφου)
- Ανατολική Κεντρική πεδιάδα (Μεσαορία)
- Περιοχή των Κοκκινοχωριών (Νοτιοανατολική Μεσαορία)

Ένα μεγάλο μέρος της Ανατολικής Κεντρικής πεδιάδας είναι δημιούργημα των αλλουβιακών αποθέσεων των κύριων ποταμών της περιοχής, του Πεδιαίου και του

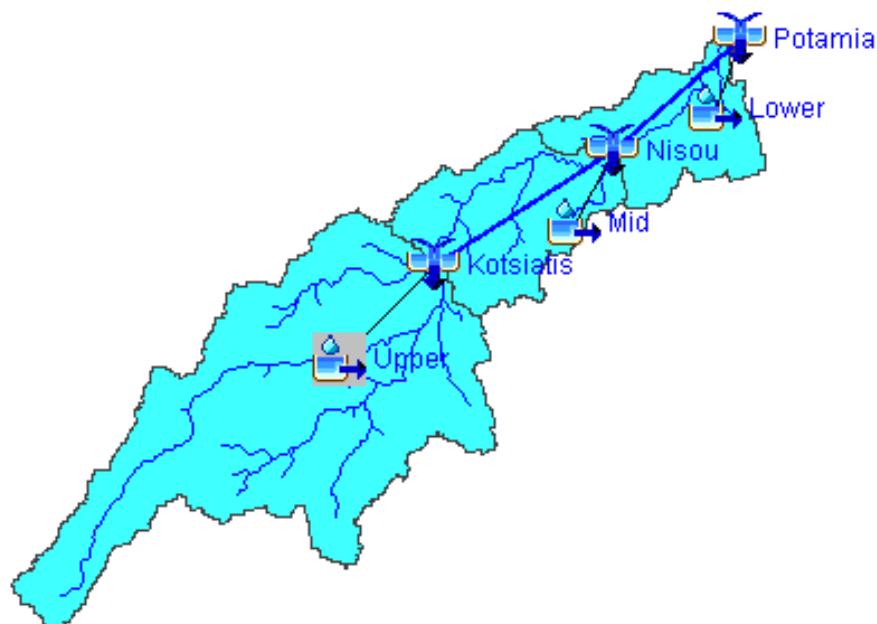
Γιαλιά. Τα πετρώματα περιλαμβάνουν πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις, πετρώματα των σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσας, αποθέσεις θαλάσσιων αναβαθμίδων και αποθέσεις το φλύσχη της Κυθρέας (Τελική Έκθεση 1, Πρωτόκολλο πληροφοριών).

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ HEC - HMS ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

5.1.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Στην περιοχή μελέτης εισάγονται 3 υπολεκάνες (Upper, Mid, Lower), 3 συμβολές στα σημεία Κοτσιάτη, Νήσου και Ποταμιάς καθώς και 2 αγωγοί ποταμών που συνδέουν την κάθε λεκάνη με τις συμβολές. Οι υπολεκάνες έχουν συνδεθεί με τις συμβολές και οι συμβολές συνδέονται μεταξύ τους μέσω των αγωγών ποταμών. Η αναπαράσταση της περιοχής όπως δημιουργήθηκε στο HEC – HMS φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Αναπαράσταση της περιοχής στο HEC -HMS

Το εμβαδόν για κάθε μία υπολεκάνη παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. Εμβαδόν υπολεκανών περιοχής

	Εμβαδόν υπολεκάνης (km ²)	Ποσοστό επί συνόλου
Upper	75.15	66.41 %
Mid	21.71	19.19 %
Lower	16.29	14.40 %

Όσον αφορά τις μεθόδους, ο χρήστης κρίνει ποια είναι καταλληλότερη να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα. Στις υπολεκάνες του Γιαλιά χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μέθοδοι υπολογισμού:

- Μέθοδος απωλειών (Loss Method)

Στις υπολεκάνες του Γιαλιά επιλέχθηκε η μέθοδος Initial and Constant. Πρόκειται για μια απλή μέθοδο που είναι όμως, κατάλληλη για λεκάνες που δε διαθέτουν λεπτομερείς πληροφορίες για το είδος του εδάφους. Επιπλέον, είναι κατάλληλη για μελέτες πλημμύρων. Θεωρείται ότι υπάρχει μία αρχική και μία σταθερή απώλεια. Η αρχική απώλεια καθορίζει το ποσό της βροχόπτωσης που διεισδύει ή αποθηκεύεται στη λεκάνη πριν ξεκινήσει η επιφανειακή απορροή. Η σταθερή απώλεια αναφέρεται στην απώλεια βροχής και αναφέρεται σε όλο το διάστημα βροχόπτωσης. Η αρχική απώλεια επειδή πρόκειται για αρχική συνθήκη διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας στο έδαφος πριν το μελετώμενο φαινόμενο. Στον Πίνακα 5 εμφανίζονται οι τιμές που εισήχθησαν ανά γεγονός.

Πίνακας 5. Αρχικές συνθήκες Initial Loss

Initial Loss (mm)			
	Κοτσιάτης	Νήσου	Ποταμιά
1983	9	15	110
1992	0	4	110
2000	13	0	110
2001	48	48	110
2003	102	107	200

- Μέθοδος μετατροπής (Transform method)

Για τις υπολεκάνες του Γιαλιά επιλέχθηκε η μέθοδος SCS Unit Hydrograph. Πρόκειται για μια ειδική μονάδα υδρογραφήματος, είναι η απλούστερη και πλέον εμπειρική μέθοδος. Ως είσοδο, η μέθοδος απαιτεί μόνο το χρόνο συγκέντρωσης σε λεπτά.

- Μέθοδος βασικής απορροής (Baseflow method)

Για τις υπολεκάνες του Γιαλιά επιλέγεται η μέθοδος Recession (μέθοδος υποχώρησης). Η μέθοδος υποχώρησης χρησιμοποιεί μια εκθετική κατανομή της

πτώσης της βασικής απορροής. Είναι κατάλληλη για τους υδροκρίτες όπου ο όγκος και η λειτουργία της βασικής απορροής επηρεάζονται έντονα από τα γεγονότα βροχόπτωσης. Στη μέθοδο αυτή απαιτείται η εισαγωγή της αρχικής απορροής. Επειδή πρόκειται για αρχική συνθήκη είναι διαφορετική για κάθε γεγονός. Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι τιμές που εισήχθησαν.

Πίνακας 6. Τιμές αρχικής απορροής

Initial Discharge (m ³ /sec)			
	Κοτσιάτης	Νήσου	Ποταμιά
1983	0	0	0
1992	0	0	0
2000	1.2	0.7	0
2001-1	0	0	0
2003	0.4	0.1	0

5.1.2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Στην περιοχή που μελετάται δηλώνεται μόνο βροχόπτωση για όλες τις υπολεκάνες. Για τις υπολεκάνες του Γιαλιά επιλέγεται η μέθοδος Inverse distance Weighting (αντίστροφης απόστασης). Η μέθοδος αντίστροφης απόστασης σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογή στα συστήματα πρόβλεψης πραγματικού χρόνου. Μπορεί να χρησιμοποιήσει τους σταθμούς καταγραφής που υποβάλλουν έκθεση σχετικά, σε τακτό χρονικό διάστημα όπως 15 λεπτά ή 1 ώρα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει τους σταθμούς που εκθέτουν μόνο τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης. Επειδή σχεδιάστηκε για πρόβλεψη σε πραγματικό χρόνο, έχει τη δυνατότητα να αλλάξει αυτόματα από τη χρήση των κοντινών σταθμών στη χρήση των πιο απόμακρων σταθμών όταν οι πρώτοι δεν δίνουν πια στοιχεία. Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος των σταθμών χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν πόσο κοντά ή μακριά βρίσκονται οι σταθμοί από έναν ή περισσότερους κόμβους που ορίζονται σε κάθε υπολεκάνη.

Πρέπει, τέλος, να οριστούν κόμβοι για κάθε υπολεκάνη του μετεωρολογικού μοντέλου με την αντίστοιχη απόδοση βαρών τους. Τα βάρη ελέγχουν πως θα υπολογιστεί το τελικό υετογράφημα από τα επιμέρους υετογραφήματα των κόμβων.

Παράλληλα με τα βάρη, που δηλώνονται ίσα με τη μονάδα, είναι απαραίτητος και ο ορισμός του γεωγραφικού πλάτους και μήκους της κάθε λεκάνης.

5.1.3. ΑΡΧΕΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι ημερομηνίες προσομοίωσης για κάθε χρονιά. Το χρονικό βήμα που δηλώθηκε ήταν μία ώρα.

Πίνακας 7. Ημερομηνίες προσομοιώσεων

Χρονολογία	Έναρξη		Λήξη	
	Ημερομηνία	Ωρα	Ημερομηνία	Ωρα
1983	10 Νοεμβρίου	09:00	13 Νοεμβρίου	08:00
1992	17 Ιουνίου	09:00	19 Ιουνίου	08:00
2000	11 Δεκεμβρίου	09:00	14 Δεκεμβρίου	08:00
2001	1 Δεκεμβρίου	09:00	4 Δεκεμβρίου	08:00
2003	10 Φεβρουαρίου	00:00	15 Φεβρουαρίου	11:00

5.1.4. ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Αρχικά, επιλέγεται χρονοσειρά βροχόπτωσης για την εισαγωγή των βροχομετρικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα. Όπως έχει αναφερθεί και ανωτέρω υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις από τέσσερις σταθμούς: Αναλιόντα, Κιόνια, Λεύκαρα και Μάντρα του Καμπιού. Το πρόγραμμα απαιτεί την εισαγωγή της ημερομηνίας αρχής και τέλους των δεδομένων που θα εισαχθούν καθώς και τις γεωγραφικές συντεταγμένες του κάθε σταθμού.

Πίνακας 8. Διαθέσιμες μετρήσεις βροχόπτωσης

Ημερομηνία	Σταθμός			
	Αναλιόντας	Κιόνια	Λεύκαρα	Μάντρα του Καμπιού
1983	√	√	√	√
1992	√	√	√	√
2000	√	√	√	√
2001	√	√	√	√
2003	√	√	√	√

Πίνακας 9. Συνολική βροχόπτωση ανά γεγονός και σταθμό

	Κιόνια (mm)	Μάντρα του Καμπιού (mm)	Λεύκα (mm)	Αναλιόντας (mm)
1983	63.63	43.02	57.51	40.72
1992	2.20	30.8	34.50	26.1
2000	0.00	37.9	23.20	22.4
2001	-	-	84.10	-
2003	128.10	186.9	137.50	165.7
Υψόμετρο (m)	1188	644	381	355

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται η συνολική βροχόπτωση ανά γεγονός και ανά σταθμό. Επίσης στον πίνακα παρουσιάζεται και το υψόμετρο που είναι τοποθετημένος ο κάθε σταθμός. Κατά το γεγονός του 1983 στο σταθμό Λεύκα το μηχάνημα δεν κατέγραφε όλες τις ημέρες του γεγονότος που προσομοιώθηκε. Στο γεγονός του 2000 ο σταθμός στη θέση Κιόνια δεν κατέγραφε τιμές τις ημέρες της βροχόπτωσης, ενώ το 2001 τιμές κατέγραφε μόνο ο σταθμός στη Λεύκα.

Επιπλέον, εισάγεται χρονοσειρά παροχών. Δηλώνονται οι μονάδες της παροχής, η ημερομηνία και ώρα που αρχίζουν και τελειώνουν τα δεδομένα και, τέλος, το χρονικό βήμα. Δεδομένα παροχών υπάρχουν στα σημεία Κοτσιάτη, Νήσου και Ποταμιάς.

Πίνακας 10. Διαθέσιμες μετρήσεις παροχής

Ημερομηνία	Σταθμός		
	Κοτσιάτης	Νήσου	Ποταμιά
1983	√	√	
1992	√	√	
2000	√	√	√
2001	√	√	
2003	√	√	√

Το μοντέλο πλέον είναι έτοιμο για προσομοίωση.

5.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Η βαθμονόμηση του μοντέλου έγινε με τρία γεγονότα βροχόπτωσης, μικρής και μεσαίας έντασης. Συγκεκριμένα, έγινε βαθμονόμηση με τα γεγονότα:

- Νοεμβρίου 1983
- Ιουνίου 1992
- Δεκεμβρίου 2000

Επιλέχθηκαν τα γεγονότα αυτά ούτως ώστε να καλύπτονται διαφορετικές εποχές του χρόνου και, παράλληλα, να καλύπτεται η πλειοψηφία των γεγονότων βροχόπτωσης από άποψη παροχής που λαμβάνει χώρα στην περιοχή.

1. ΓΕΓΟΝΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 1983

Η προσομοίωση του φαινομένου βροχόπτωσης για το 1983 ξεκινάει από τις 10 Νοεμβρίου, 09:00, και τελειώνει στις 13 Νοεμβρίου, 08:00.

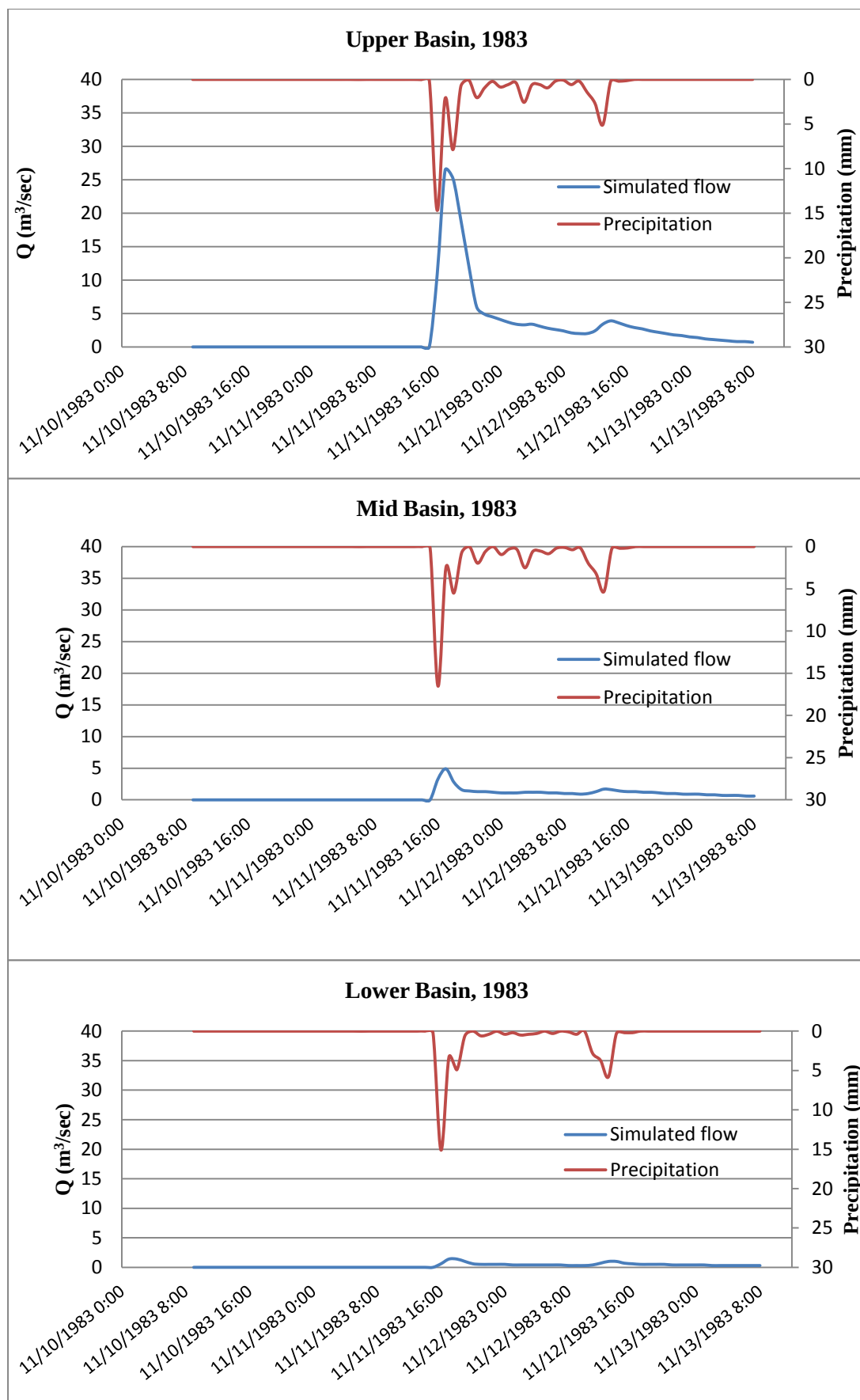
Δεδομένα παροχής υπάρχουν για τις υπολεκάνες Κοτσιάτη και Νήσου. Για την υπολεκάνη της Ποταμιάς δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα.

Η ώρα της μέγιστης παροχής ταυτίζεται σε μοντέλο και καταγεγραμμένες τιμές στην υπολεκάνη του Κοτσιάτη, παρουσιάζει, ωστόσο, μεγάλο σφάλμα στην τιμή της παροχής. Όσον αφορά την υπολεκάνη Νήσου το μοντέλο υπολογίζει τη μέγιστη παροχή μία ώρα αργότερα σε σχέση με την τιμή που καταγράφηκε. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 1983

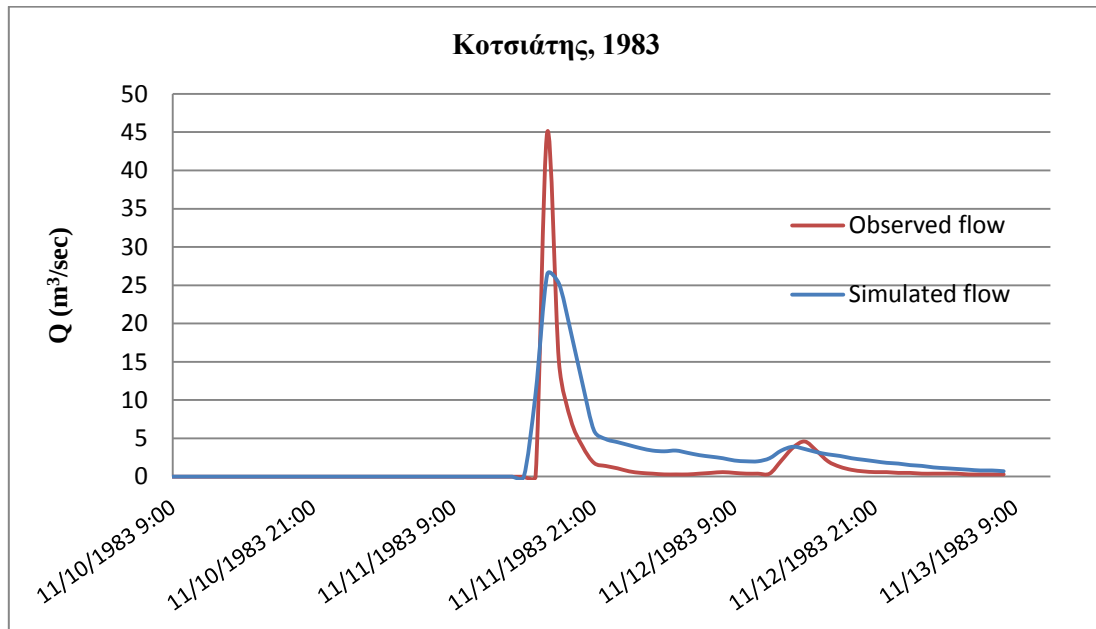
1983	Observed		Simulated		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Error %
Κοτσιάτης	11/11, 17:00	45.00	11/11, 17:00	26.40	41.33
Νήσου	11/11, 19:00	29.00	11/11, 20:00	22.40	22.76
Ποταμιά	-	-	11/11, 21:00	21.80	-

Στη συνέχεια ακολουθούν τα υδρογραφήματα για τις τρεις υπολεκάνες όπου φαίνεται η βροχόπτωση και η αντίστοιχη απορροή.

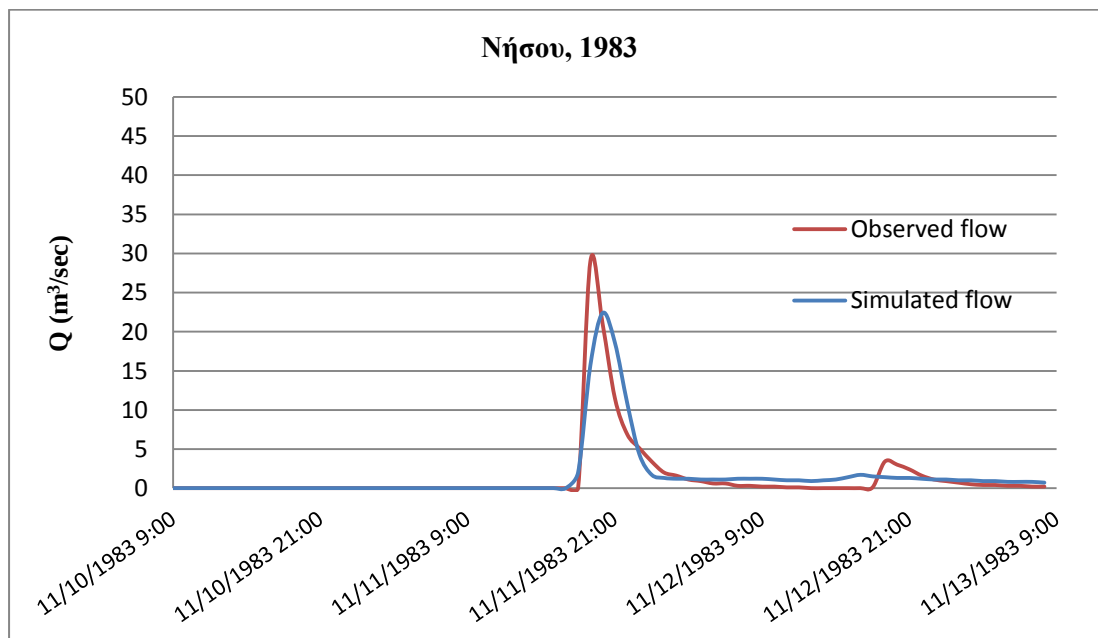


Εικόνα 8. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 1983

Ακολουθούν τα διαγράμματα σύγκρισης καταγεγραμμένης και προσομοιωμένης παροχής μόνο για τις υπολεκάνες Κοτσιάτη και Νήσου όπου υπάρχουν δεδομένα. Ο συντελεστής Nash–Sutcliffe για την περίπτωση του Κοτσιάτη υπολογίστηκε 0.594 και για την περίπτωση της υπολεκάνης Νήσου 0.801.



Εικόνα 9. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1983 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη



Εικόνα 10. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1983 στην υπολεκάνη Νήσου

2. ΓΕΓΟΝΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 1992

Η προσομοίωση του φαινομένου ξεκινάει στις 17 Ιουνίου, 09:00 πμ. και τελειώνει στις 19 Ιουνίου, 08:00 πμ.

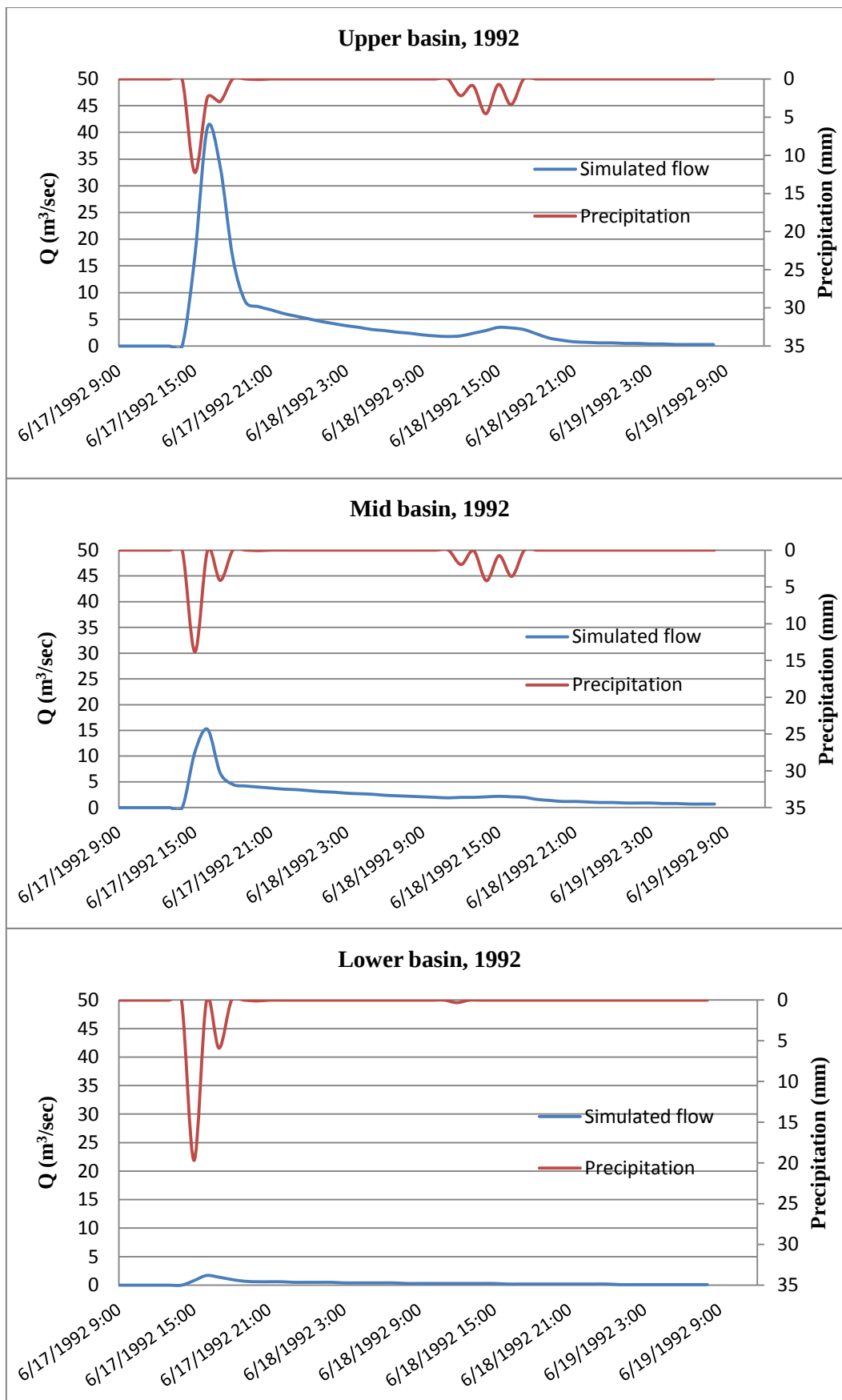
Δεδομένα παροχής είναι διαθέσιμα μόνο για τις υπολεκάνες Κοτσιάτη και Νήσου.

Το μοντέλο ταυτίζεται στην ώρα μέγιστης παροχής για τον Κοτσιάτη, ενώ, για την υπολεκάνη Νήσου, υπολογίζει τη μέγιστη παροχή μία ώρα αργότερα απ' ότι έχει καταγραφεί παρουσιάζοντας, ωστόσο αρκετά μεγάλη ακρίβεια στην τιμή αυτής με σφάλμα 0.5%. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 1992

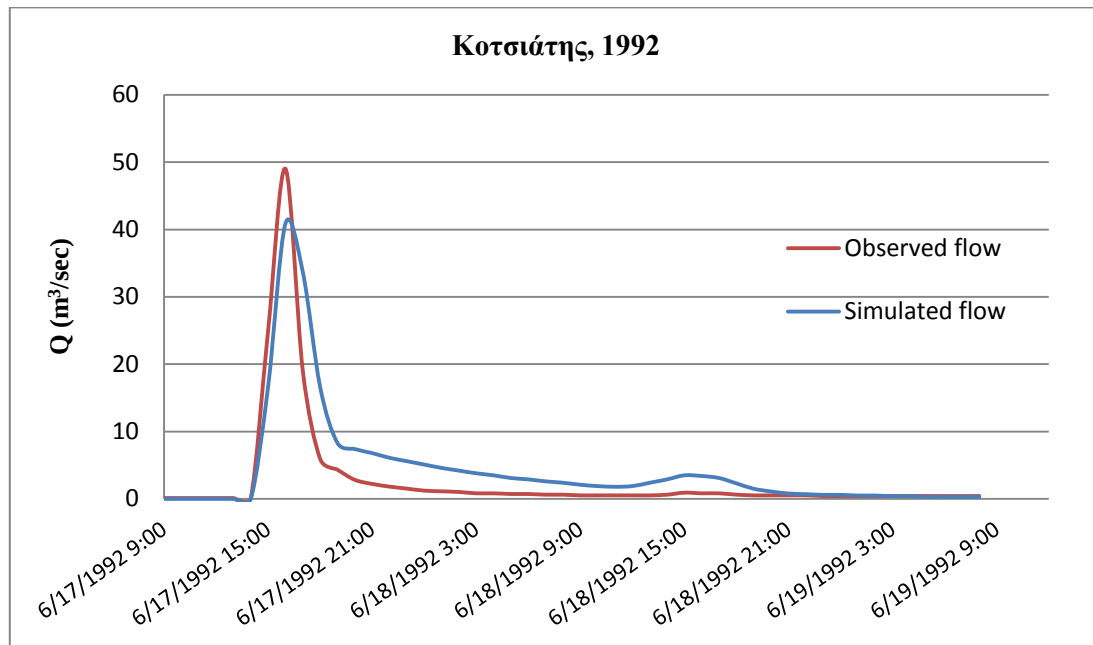
1992	Observed		Simulated		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Error %
Κοτσιάτης	17/6, 16:00	49.00	17/6, 16:00	40.90	16.53
Νήσου	17/6, 19:00	40.00	17/6, 19:00	40.20	0.50
Ποταμιά	-	-	17/6, 20:00	38.90	-

Παρατίθενται ακολούθως τα γραφήματα βροχόπτωσης απορροής για τις τρεις υπολεκάνες.

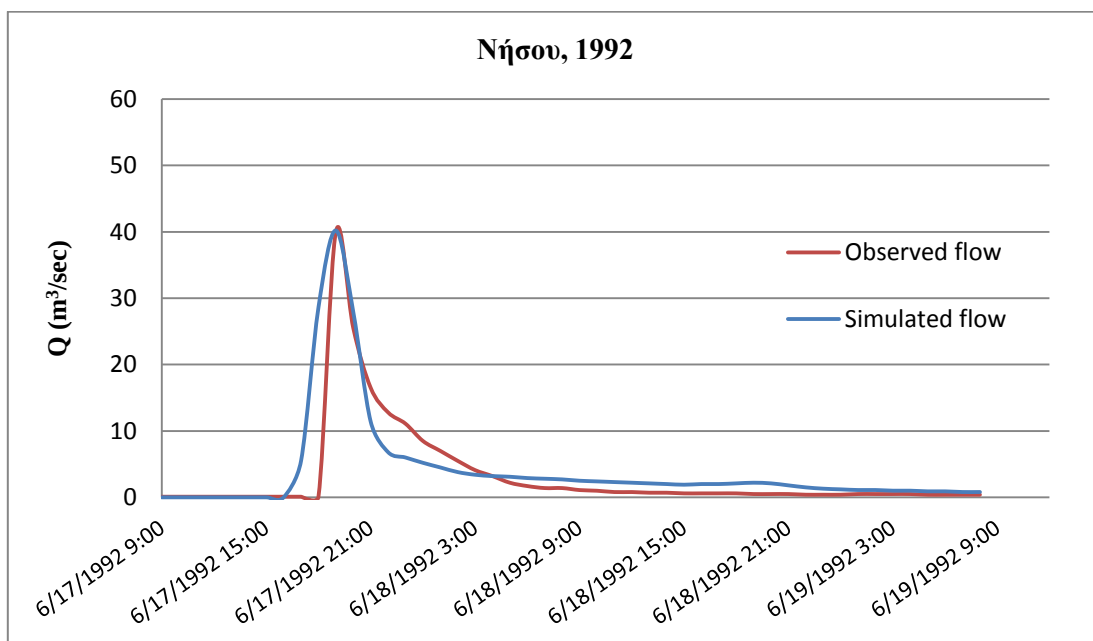


Εικόνα 11. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 1992

Ο συντελεστής Nash–Sutcliffe για τον Κοτσιάτη υπολογίστηκε 0.784, ενώ για τη Νήσου 0.603. Ακολουθούν τα διαγράμματα καταγεγραμμένης - προσομοιωμένης ροής για την επαλήθευση της αποτελεσματικότητας του μοντέλου.



Εικόνα 12. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1992 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη



Εικόνα 13. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 1992 στην υπολεκάνη Νήσου

3. ΓΕΓΟΝΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2000

Η προσομοίωση του φαινομένου ξεκινάει στις 11 Δεκεμβρίου, 09:00 πμ. και λήγει στις 14 Δεκεμβρίου 08:00 πμ.

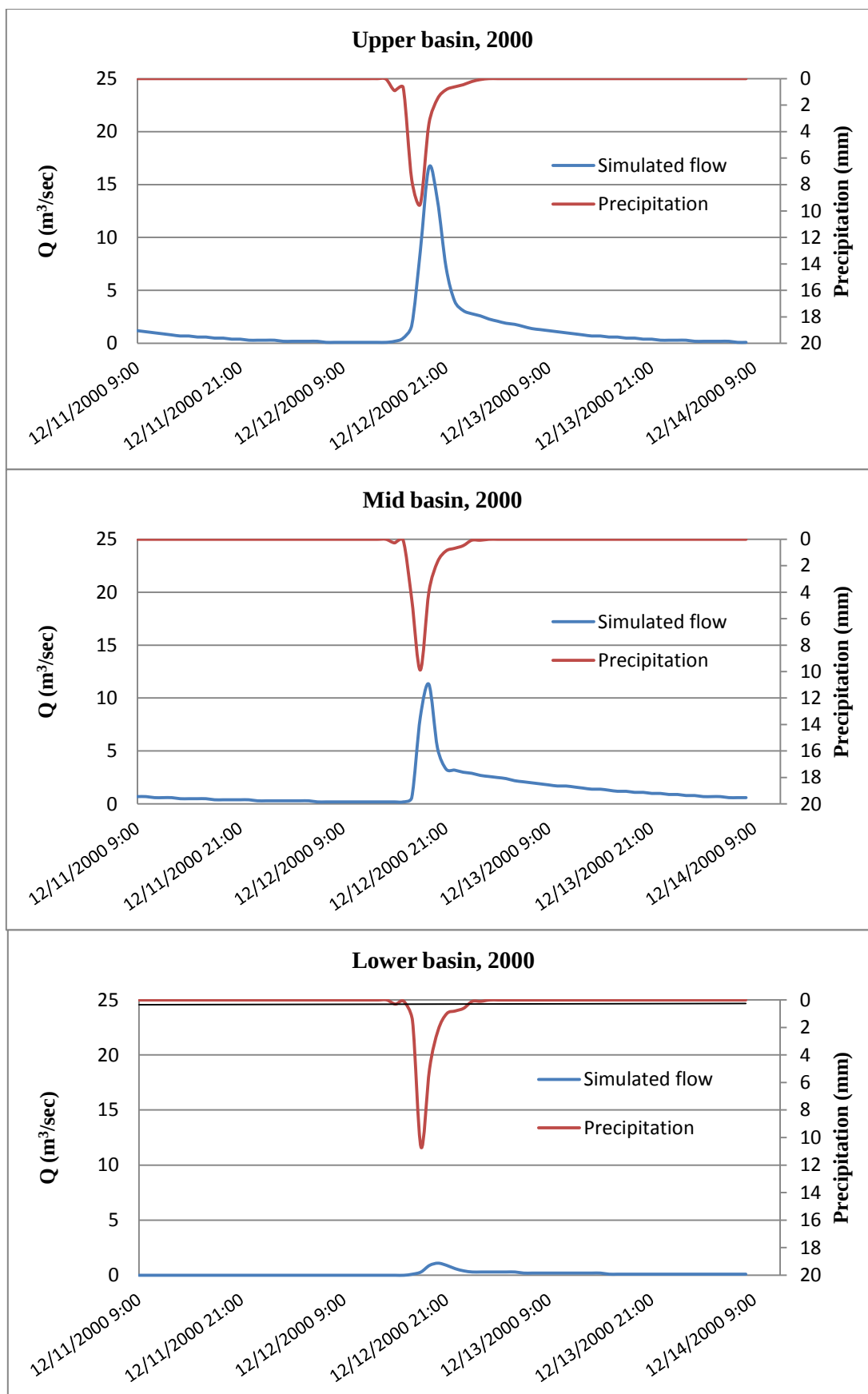
Δεδομένα είναι διαθέσιμα και για τις τρεις υπολεκάνες που εξετάζονται.

Το μοντέλο ταυτίζεται όσον αφορά την ώρα της μέγιστης παροχής με τις καταγεγραμμένες ώρες, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα αποδεκτό σφάλμα στις αντίστοιχες τιμές παροχής τόσο στην υπολεκάνη Κοτσιάτη όσο και την υπολεκάνη Νήσου. Στην περίπτωση της υπολεκάνης της Ποταμιάς το μοντέλο υπολογίζει τη μέγιστη παροχή με σφάλμα μίας ώρας. Το σφάλμα στην τιμή της παροχής είναι μεγάλο σαν τιμή, ωστόσο, σαν απόλυτο νούμερο είναι αποδεκτό. Αυτό συμβαίνει διότι το γεγονός είναι πολύ μικρό σε ένταση.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα βαθμονόμησης 2000

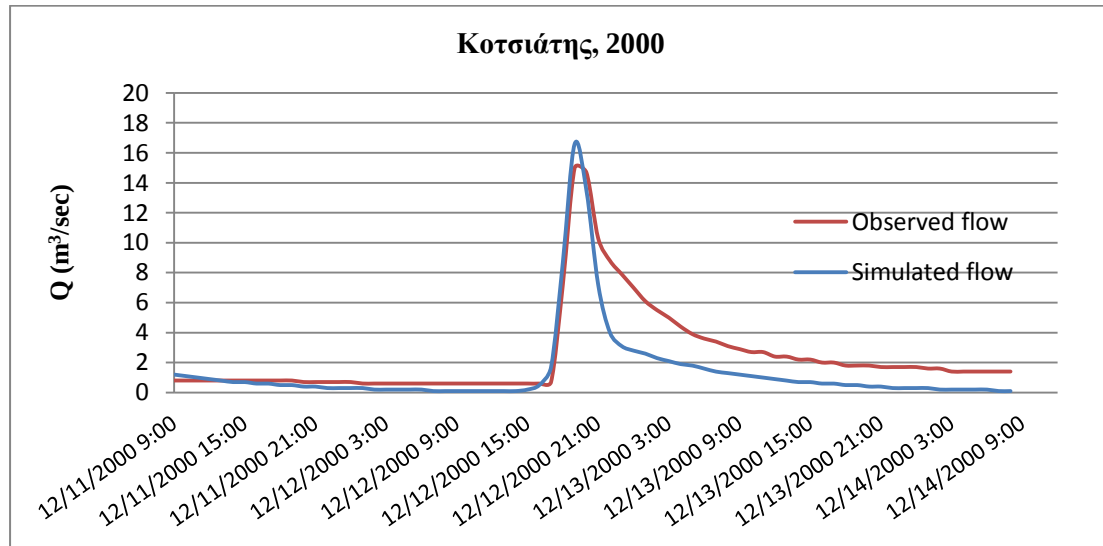
2000	Observed		Simulated		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Error %
Κοτσιάτης	12/12, 19:00	15.00	12/12, 19:00	16.60	10.67
Νήσου	12/12, 22:00	16.56	12/12, 22:00	17.80	7.49
Ποταμιά	13/12, 00:00	7.20	12/12, 23:00	17.2	138.89

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα βροχόπτωσης - απορροής για τις τρεις υπολεκάνες.

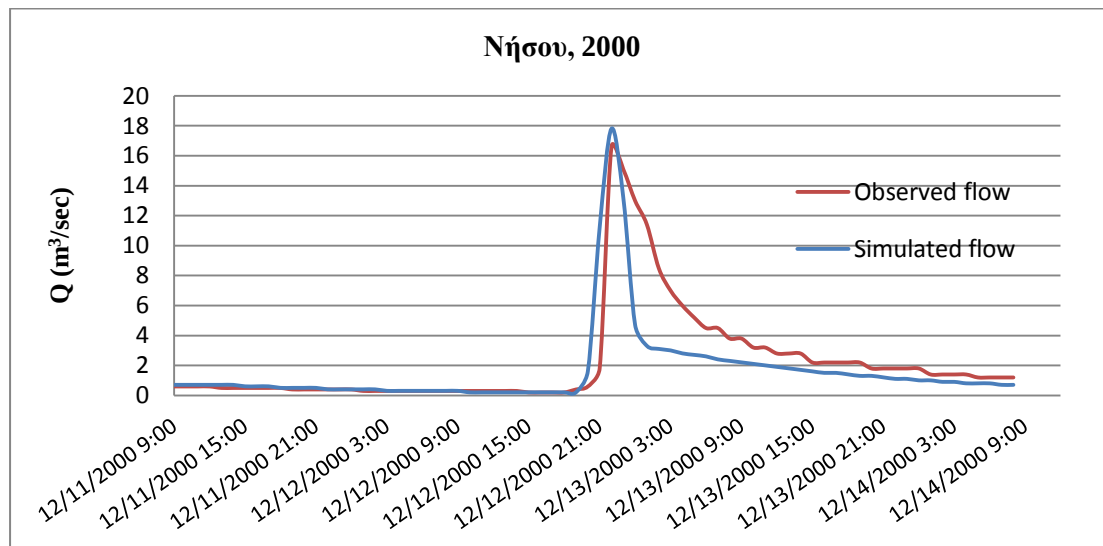


Εικόνα 14. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2000

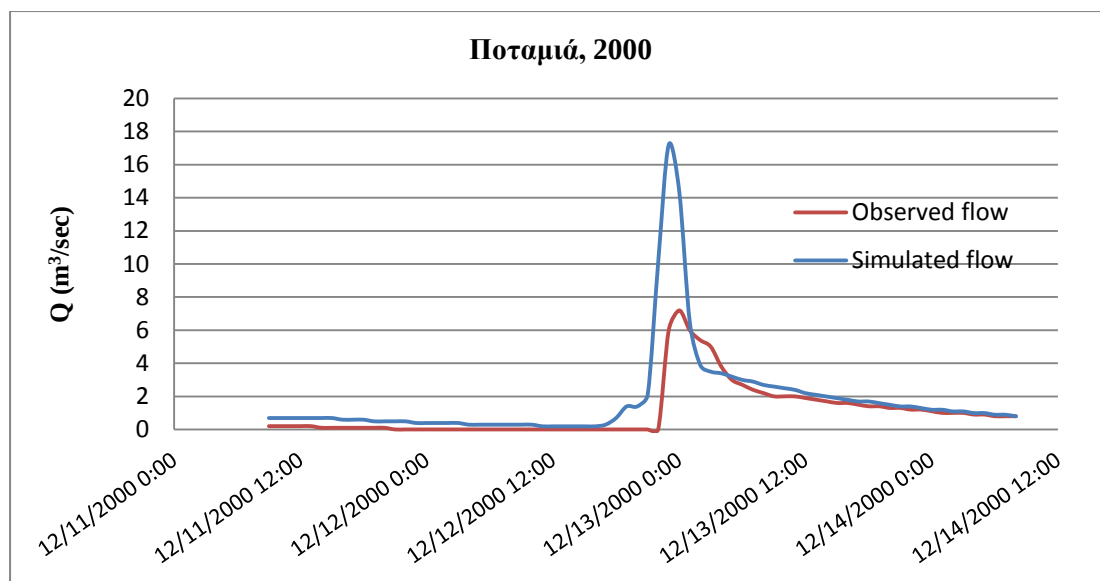
Ο συντελεστής Nash–Sutcliffe για τον Κοτσιάτη υπολογίστηκε 0.709, ενώ για τη Νήσου 0.608. Παρακάτω βρίσκονται τα διαγράμματα καταγεγραμμένης - προσομοιωμένης ροής.



Εικόνα 15. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη



Εικόνα 16. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Νήσου



Εικόνα 17. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2000 στην υπολεκάνη Ποταμιάς

5.3. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ (VALIDATION)

Η επαλήθευση του μοντέλου θα γίνει με δύο γεγονότα βροχόπτωσης:

- Δεκεμβρίου 2001
- Φεβρουαρίου 2003

1. ΓΕΓΟΝΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2001

Η προσομοίωση του γεγονότος ξεκινάει στη 1 Δεκεμβρίου, 09:00 πμ. και λήγει στις 4 Δεκεμβρίου, 08:00 πμ.

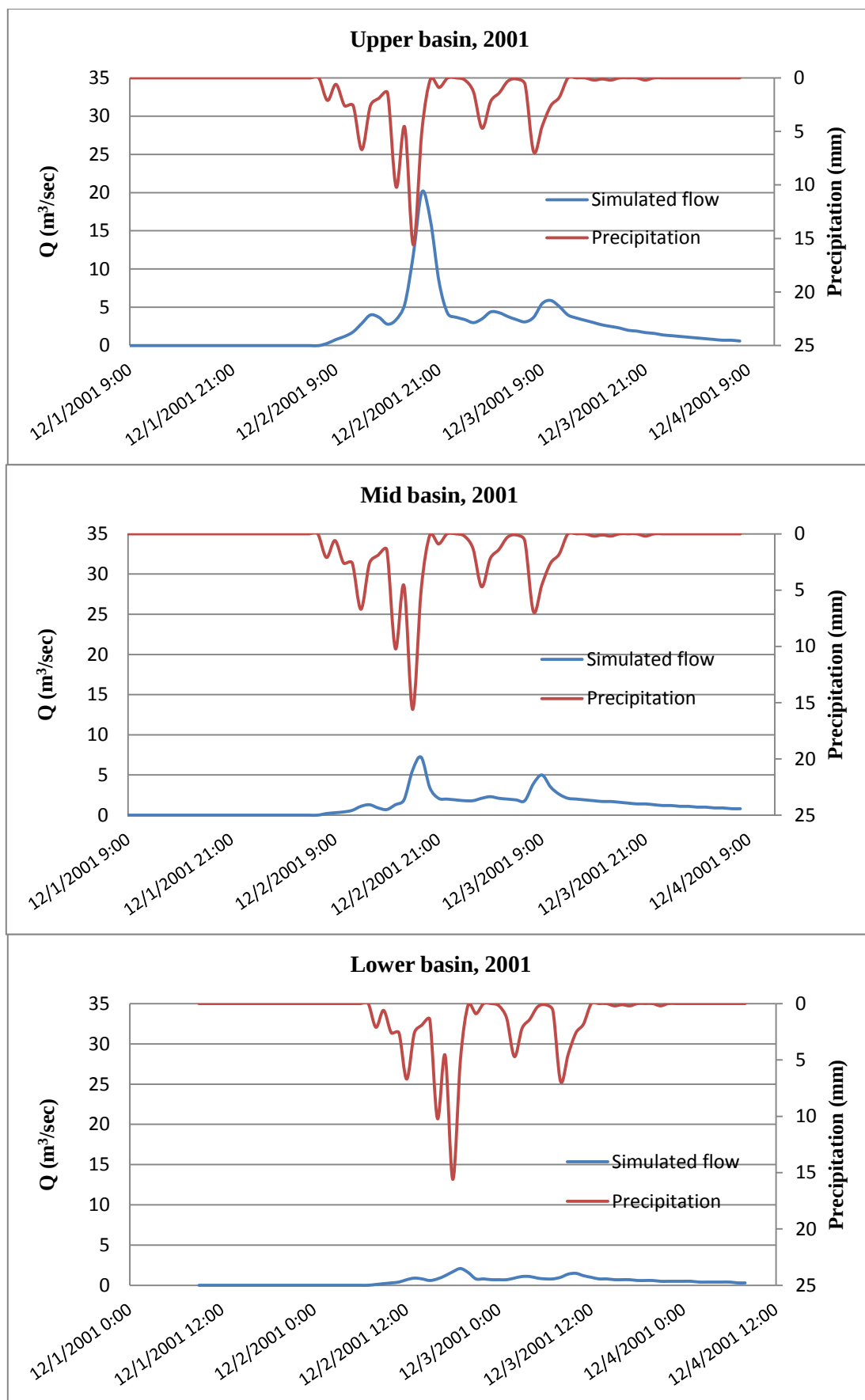
Δεδομένα παρέχονται για τους σταθμούς στις θέσεις Κοτσιάτη και Νήσου.

Το μοντέλο καταφέρνει να προσομοιάσει ακριβώς τη μέγιστη ροή στο σταθμό του Κοτσιάτη παρουσιάζοντας μηδενικό σφάλμα. Στο σταθμό Νήσου το μοντέλο υπολογίζει τη μέγιστη ροή μία ώρα αργότερα από την καταγεγραμμένη με σφάλμα περίπου 18%.

Πίνακας 14. Αποτελέσματα επαλήθευσης 2001

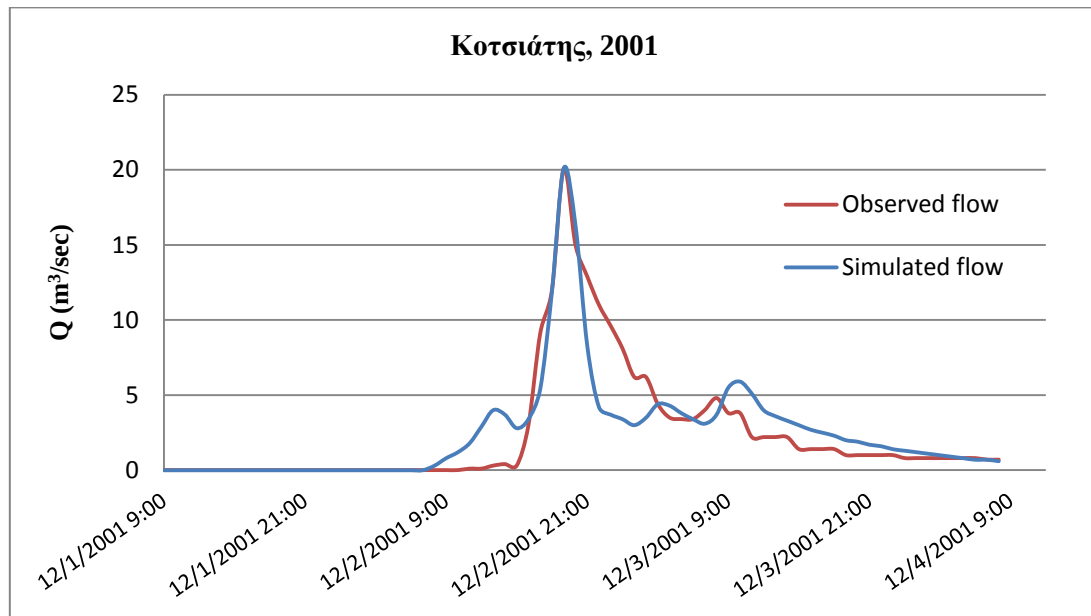
2001	Observed		Simulated		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Error %
Κοτσιάτης	2/12, 19:00	20.10	2/12, 19:00	20.10	0.00
Νήσου	2/12, 21:00	14.88	2/12, 22:00	17.50	17.61
Ποταμιά	-	-	2/12, 23:00	17.70	-

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα βροχόπτωσης - απορροής για τις τρεις υπολεκάνες.

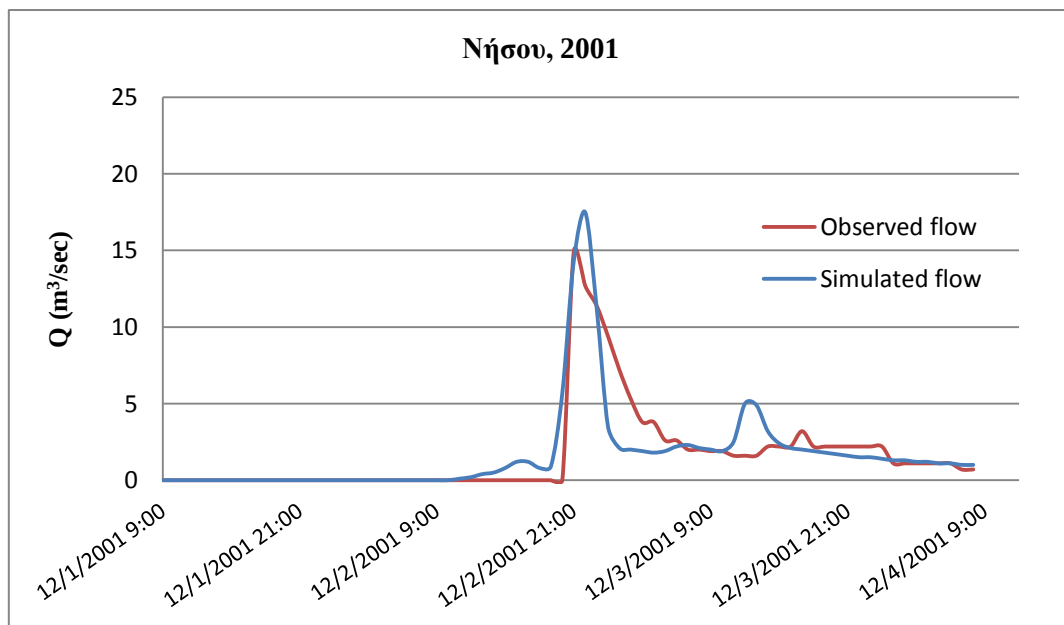


Εικόνα 18. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2001

Ο συντελεστής Nash–Sutcliffe για τον Κοτσιάτη υπολογίστηκε 0.793, ενώ για τη Νήσου 0.724 γεγονός που δείχνει ότι η προσομοίωση είναι αρκετά καλή. Παρακάτω βρίσκονται τα διαγράμματα καταγεγραμμένης - προσομοιωμένης ροής.



Εικόνα 19. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2001 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη



Εικόνα 20. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2001 στην υπολεκάνη Νήσου

2. ΓΕΓΟΝΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 2003

Το γεγονός αυτό ήταν το μεγαλύτερο σε ένταση σε σχέση με τα υπόλοιπα που μελετήθηκαν. Η προσομοίωση ξεκινά στις 10 Φεβρουαρίου, 00:00 πμ., και τελειώνει στις 15 Φεβρουαρίου, 11:00 πμ.

Δεδομένα παροχής ήταν διαθέσιμα για όλες τις υπολεκάνες, με την εξαίρεση της Ποταμιάς όπου υπήρχε έλλειψη δεδομένων έως και τις 12 Φεβρουαρίου, 20:15 μ.μ. Για το λόγο αυτό η προσομοίωση της συγκεκριμένης υπολεκάνης δεν μπορεί να γίνει με ακρίβεια.

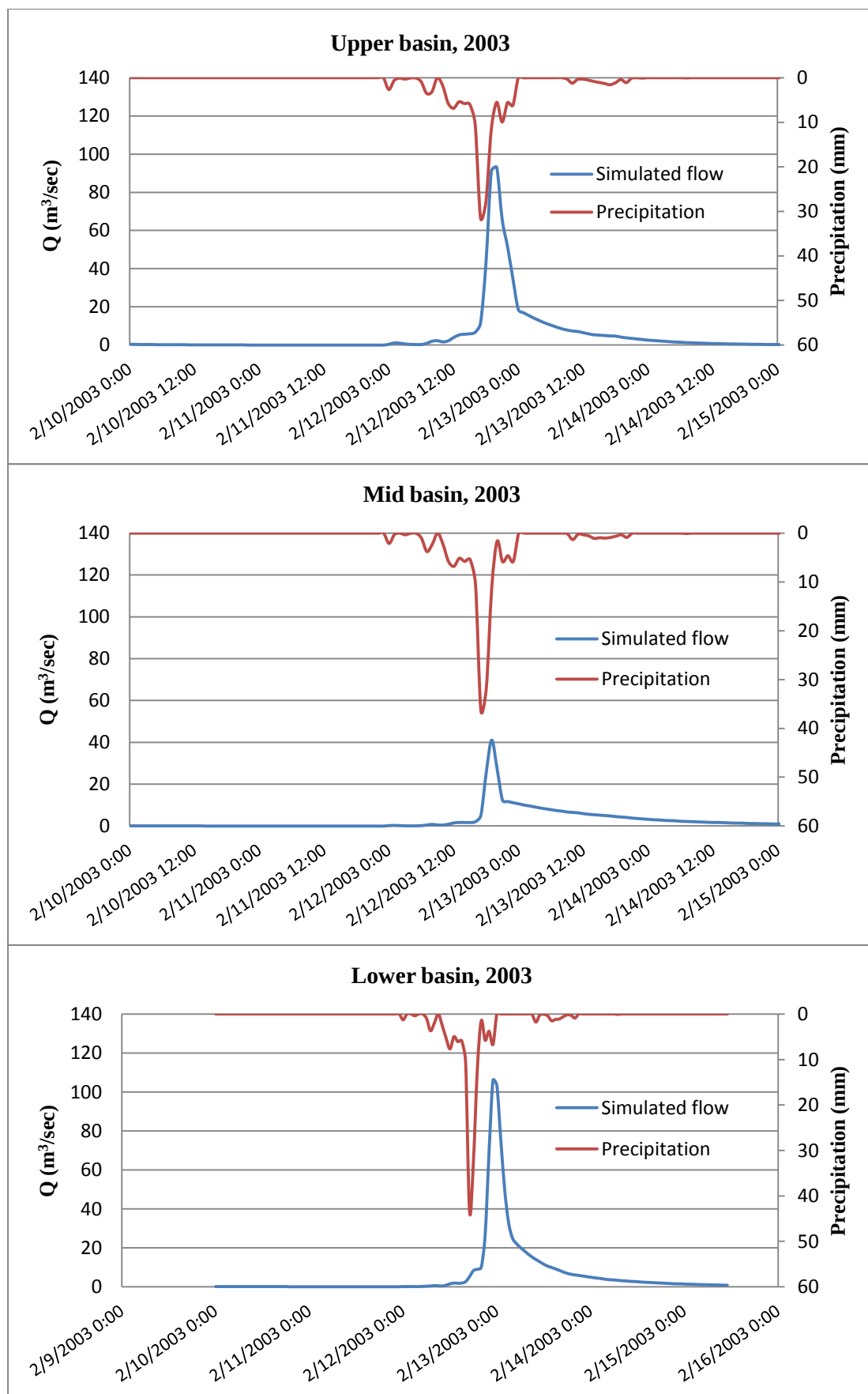
Το μοντέλο προσομοιώνει την αιχμή της απορροής με διαφορά μιας ώρας τόσο στην υπολεκάνη Κοτσιάτη όσο και στη Νήσου. Η διαφορά στην υπολεκάνη της Ποταμιάς είναι δύο ώρες. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της μέγιστης παροχής που καταγράφηκαν στους σταθμούς αλλά και οι τιμές που υπολόγισε το μοντέλο μαζί με το σφάλμα.

Πίνακας 15. Αποτελέσματα επαλήθευσης 2003

2003	Observed		Simulated		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Error %
Κοτσιάτης	12/2, 19:00	100.50	12/2, 20:00	93.10	7.36
Νήσου	12/2, 21:00	110.00	12/2, 22:00	109.50	0.45
Ποταμιά	12/2, 21:00	57.00	12/2, 23:00	105.90	-90.35

Το μοντέλο καταφέρνει να υπολογίσει τις μέγιστες παροχές με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, στην Ποταμιά το σφάλμα είναι αρκετά μεγάλο λόγω της έλλειψης των δεδομένων.

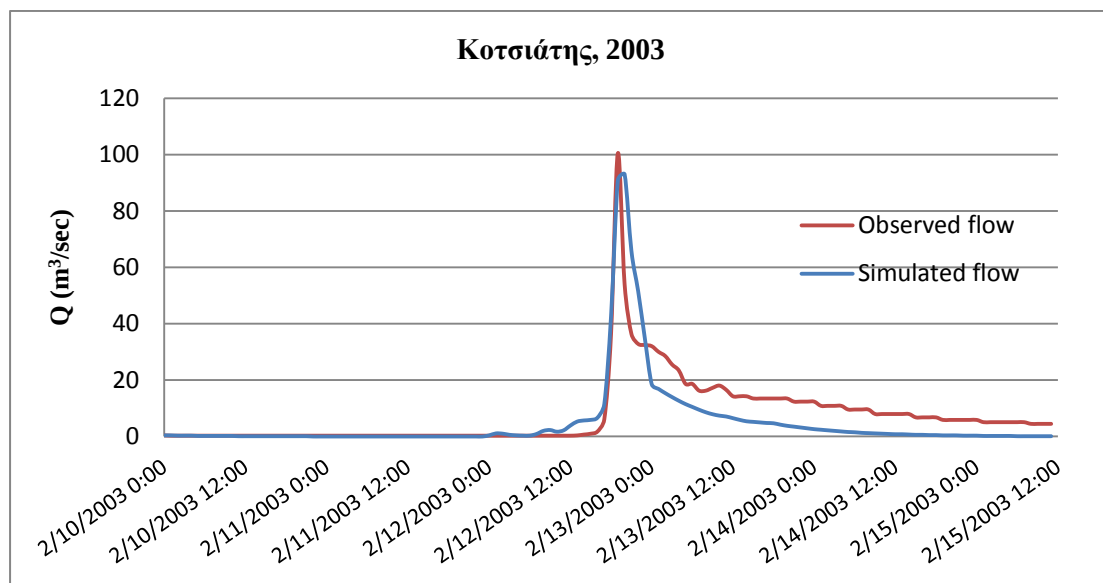
Παρακάτω παρατίθενται τα υδρογραφήματα για τις τρεις υπολεκάνες. Στο διάγραμμα φαίνεται η ροή όπως υπολογίστηκε από το πρόγραμμα HEC -HMS για κάθε μία υπολεκάνη καθώς και η αντίστοιχη βροχόπτωση που καταγράφηκε την περίοδο εκείνη.



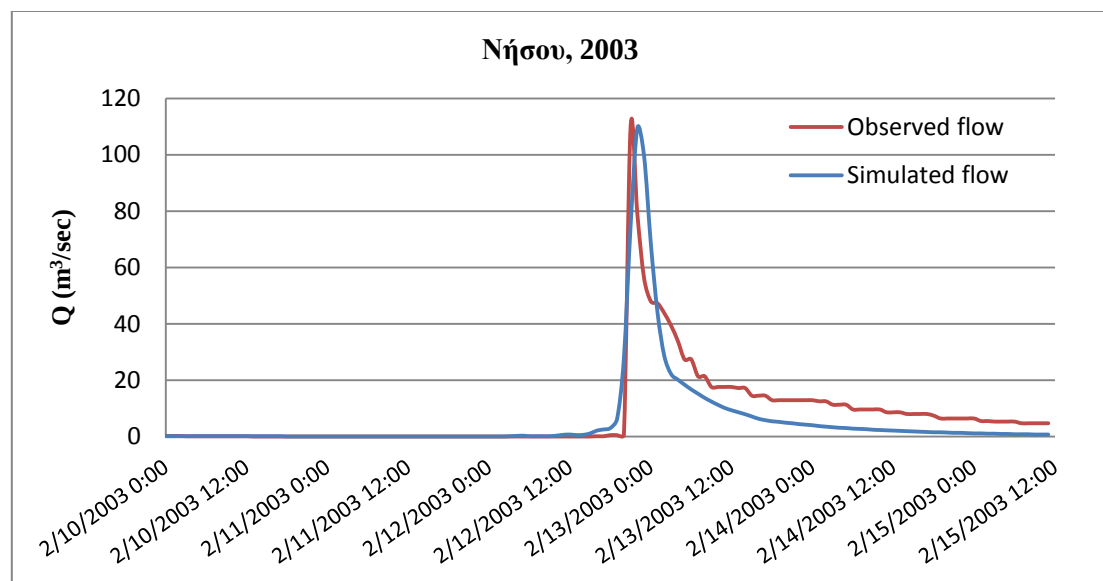
Εικόνα 21. Υδρογραφήματα υπολεκάνων για το 2003

Ο συντελεστής Nash–Sutcliffe για τον Κοτσιάτη υπολογίστηκε 0.671 και για τη Νήσου 0.717 που αποτελούν αποδεκτές τιμές. Για την υπολεκάνη της Ποταμιάς δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί ο συντελεστής καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα για όλη τη χρονική περίοδο που εξετάζεται.

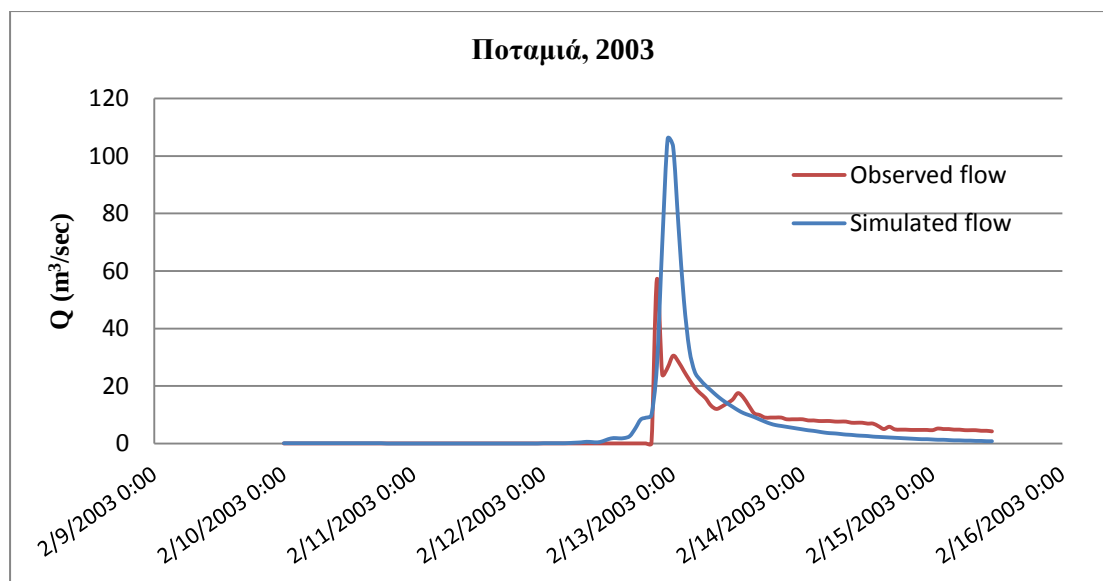
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα σύγκρισης των καταγεγραμμένων τιμών παροχών με τις τιμές προσομοίωσης όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο για όλες τις υπολεκάνες.



Εικόνα 22. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Κοτσιάτη



Εικόνα 23. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Νήσου



Εικόνα 24. Διάγραμμα καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης παροχής για το 2003 στην υπολεκάνη Ποταμιάς

5.4. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για κάθε γεγονός μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές Nash–Sutcliffe, τα σφάλματα στη μέγιστη παροχή και τον όγκο παρουσιάζονται τους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 16. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Κοτσιάτη

Κοτσιάτης	Observed			Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
1983	11 Νοέμβρη, 17:00	45	5.04	11 Νοέμβρη, 17:00	26.4	8.87	0,594	41.33	-75.99
1992	17 Ιουνίου, 16:00	49,00	6.3	17 Ιουνίου, 16:00	40,90	9.95	0,784	16,53	-57.94
2000	12 Δεκεμβρίου, 19:00	15,00	8.28	12 Δεκεμβρίου, 19:00	16,60	4.64	0,709	10,67	43.96
2001	2 Δεκεμβρίου, 19:00	20,10	8.23	2 Δεκεμβρίου, 19:00	20,10	8.53	0,793	0,00	-3.65
2003	12 Φεβρουαρίου, 19:00	100,50	47.38	12 Φεβρουαρίου, 20:00	93,10	31.54	0,671	7,36	33.43

Πίνακας 17. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Νήσου

Νήσου	Observed			Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
1983	11 Νοέμβρη, 19:00	29.00	3.71	11 Νοέμβρη, 20:00	22.40	4.12	0.801	22.76	-11.05
1992	17 Ιουνίου, 19:00	40.00	5.79	17 Ιουνίου, 19:00	40.20	7.32	0.603	0.50	-26.42
2000	12 Δεκεμβρίου, 22:00	16.56	5.92	12 Δεκεμβρίου, 22:00	17.80	4.29	0.608	7.49	27.53
2001	2 Δεκεμβρίου, 21:00	14.88	4.43	2 Δεκεμβρίου, 22:00	17.50	4.48	0.724	17.61	-1.13
2003	12 Φεβρουαρίου, 21:00	110.00	39.49	12 Φεβρουαρίου, 22:00	109.50	27.97	0.717	0.45	29.17

Πίνακας 18. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την υπολεκάνη Ποταμιάς

Ποταμιά	Observed			Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
	Date	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
1983	-	-	-	11 Νοεμβρίου, 21:00	21.80	4.17	-	-	-
1992	-	-	-	17 Ιουνίου, 20:00	38.90	6.76	-	-	-
2000	13 Δεκεμβρίου, 00:00	7.20	2.47	12 Δεκεμβρίου, 23:00	17.20	4.05	-0.642	138.89	-63.97
2001	-	-	-	2 Δεκεμβρίου, 23:00	17.70	4.98	-	-	-
2003	12 Φεβρουαρίου, 21:00	57.00	21.38	12 Φεβρουαρίου, 23:00	105.90	26.4	-	85.79	-

Η υπολεκάνη της Ποταμιάς είναι ιδιαίτερη περίπτωση καθώς τα δεδομένα που υπάρχουν για τη βαθμονόμηση αφορούν ένα μόνο γεγονός μικρής έντασης, επομένως, δεν είναι εφικτό να γίνει σωστή βαθμονόμηση. Για το λόγο αυτό και η επαλήθευση με το γεγονός του 2003 αποδίδει αρκετά μεγάλο σφάλμα. Έτσι, τα

δεδομένα για όλα τα γεγονότα ενδέχεται να διαφέρουν αρκετά από την πραγματικότητα.

Παρατηρείται, ακόμα, ότι το σφάλμα στον όγκο είναι αρκετά μεγάλο, ιδίως στη λεκάνη του Κοτσιάτη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης έγινε με βάση κυρίως το συντελεστή Nash–Sutcliffe και στη συνέχεια το σφάλμα της παροχής αιχμής. Επιπλέον, στη λεκάνη της Ποταμιάς σφάλμα στον όγκο υπολογίζεται μόνο για το 2000, καθώς το 2003 η χρονοσειρά παροχής που εισήχθη ήταν ελλιπής, επομένως, ο όγκος που έχει υπολογιστεί δεν καλύπτει όλο το γεγονός.

5.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιείται για τις πέντε βασικές παραμέτρους που εισάγονται στο HEC - HMS. Έτσι, στη μέθοδο απωλειών, εξετάζεται η συμπεριφορά του μοντέλου για αλλαγές στις παραμέτρους αρχικής (Initial loss) και σταθερής απώλειας (Constant rate). Στη μέθοδο μετατροπής, αλλάζει ο χρόνος συγκέντρωσης και, τέλος, στη μέθοδο βασικής απορροής εξετάζονται οι παράμετροι Recession constant και Ratio.

Η ανάλυση γίνεται για δύο γεγονότα βροχόπτωσης, του Φεβρουαρίου 2003 το οποίο είναι το μεγαλύτερο σε ένταση γεγονός και του Ιουνίου 1992. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι μεταβολές στους δείκτες βαθμονόμησης για κάθε περίπτωση.

Η βελτιστοποίηση γίνεται κατά κύριο λόγο με το δείκτη Nash - Sutcliffe σε συνδυασμό με το σφάλμα μέγιστης παροχής. Επομένως, η τιμή της παραμέτρου που επιλέγεται γίνεται λαμβάνοντας υπόψη του δύο αυτών δεικτών και κατά πόσο επηρεάζεται το σφάλμα στην εκάστοτε περίπτωση.

Στο Παράρτημα Α παρατίθενται τα διαγράμματα όπου παρουσιάζεται το εύρος της παροχής για τις αλλαγές σε κάθε παράμετρο.

Πίνακας 19. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Κοτσιάτη, 2003

Κοτσιάτης	Observed		Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
Παράμετρος	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Μεταβολή	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
Τελικές Τιμές	100.50	47.38		93.10	31.54	0.671	7.36	33.43
Constant rate 7 mm			10%	87.1	29.45	0.701	13.33	37.84
			20%	83.2	27.54	0.718	17.21	41.87
			30%	79.4	25.57	0.717	21.00	46.03
			-10%	99.4	33.7	0.625	1.09	28.87
			-20%	105.7	36.46	0.566	-5.17	23.05
			-30%	113.7	40.66	0.418	-13.13	14.18
Recession constant 0.1			10%	93.1	31.96	0.678	7.36	32.55
			20%	93.1	32.39	0.684	7.36	31.64
			30%	93.1	32.8	0.691	7.36	30.77
			-10%	93.1	31.1	0.663	7.36	34.36
			-20%	93.1	30.66	0.656	7.36	35.29
			-30%	93.1	30.2	0.647	7.36	36.26
Ratio 0.2			10%	93.1	32.39	0.687	7.36	31.64
			20%	93.1	33.23	0.702	7.36	29.86
			30%	93.1	34.05	0.715	7.36	28.13
			-10%	93.1	30.81	0.656	7.36	34.97
			-20%	93.1	30.05	0.640	7.36	36.58
			-30%	93.1	29.26	0.622	7.36	38.24
Lag Time 100 min			10%	91.9	31.42	0.657	8.56	33.69
			20%	89.4	31.12	0.635	11.04	34.32
			30%	85.3	30.6	0.604	15.12	35.42
			-10%	99.6	32.34	0.693	0.90	31.74
			-20%	109.1	33.26	0.709	-8.56	29.80
			-30%	116.8	34.01	0.694	-16.22	28.22
Initial Loss 102 mm			10%	51.5	20.8	0.520	48.76	56.10
			20%	32.55	15.13	0.330	67.61	68.07
			30%	25.1	13	0.253	75.02	72.56
			-10%	143	43.22	0.284	-42.29	8.78
			-20%	192.2	54.69	-0.596	-91.24	-15.43
			-30%	235.5	65.8	-1.916	-134.33	-38.88

Πίνακας 20. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Νήσου, 2003

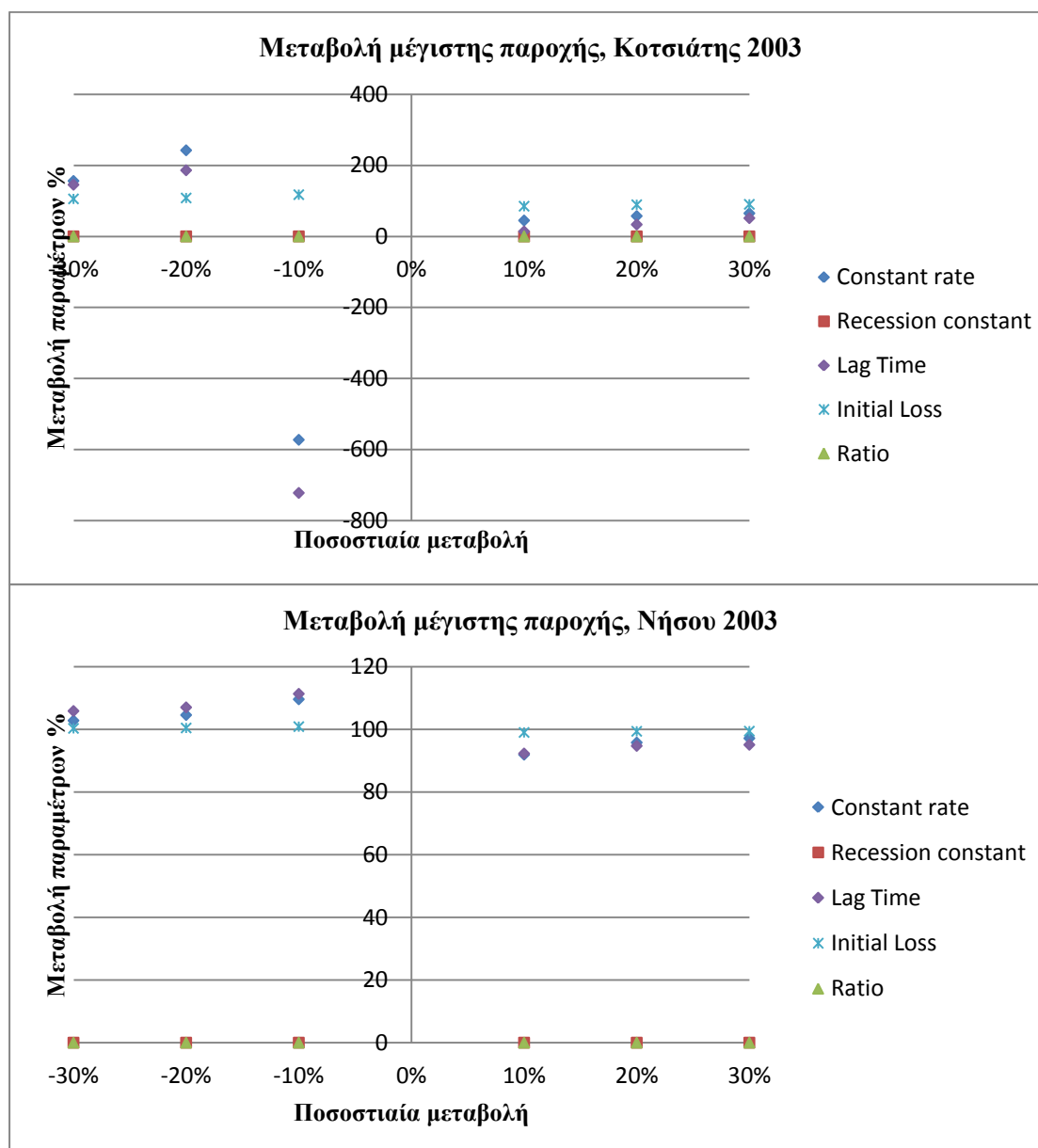
Νήσου	Observed		Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
Παράμετρος	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Μεταβολή	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
Τελικές Τιμές	110	39.49		109.50	27.97	0.717	0.45	29.17
Constant rate 6 mm			10%	103.8	26.13	0.733	5.64	33.83
			20%	98.1	24.39	0.738	10.82	38.24
			30%	92.4	22.64	0.730	16.00	42.67
			-10%	115.2	29.91	0.690	-4.73	24.26
			-20%	120.9	32.32	0.652	-9.91	18.16
			-30%	127.7	35.75	0.558	-16.09	9.47
Recession constant 0.3			10%	109.5	28.71	0.727	0.45	27.30
			20%	109.5	29.47	0.735	0.45	25.37
			30%	109.5	30.23	0.744	0.45	23.45
			-10%	109.5	27.24	0.708	0.45	31.02
			-20%	109.5	26.53	0.698	0.45	32.82
			-30%	109.5	25.83	0.687	0.45	34.59
Ratio 0.3			10%	109.5	29.3	0.736	0.45	25.80
			20%	109.5	30.63	0.752	0.45	22.44
			30%	109.5	31.95	0.765	0.45	19.09
			-10%	109.5	26.76	0.698	0.45	32.24
			-20%	109.5	25.6	0.676	0.45	35.17
			-30%	109.5	24.43	0.651	0.45	38.14
Lag Time 70 min			10%	103.5	27.55	0.707	5.91	30.24
			20%	100.5	26.93	0.689	8.64	31.81
			30%	99.8	26.3	0.665	9.27	33.40
			-10%	114.4	28.77	0.731	-4.00	27.15
			-20%	117.1	29.5	0.741	-6.45	25.30
			-30%	118.5	29.96	0.733	-7.73	24.13
Initial Loss 107 mm			10%	58.7	15.32	0.526	46.64	61.21
			20%	28.4	8.7	0.266	74.18	77.97
			30%	21.3	7.13	0.179	80.64	81.94
			-10%	167	41.69	0.362	-51.82	-5.57
			-20%	219.3	54.89	-0.508	-99.36	-39.00
			-30%	261.5	66.12	-1.802	-137.73	-67.43

Πίνακας 21. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Ποταμιάς, 2003

Ποταμιά	Observed		Simulated		
Παράμετρος	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Μεταβολή	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)
Τελικές Τιμές	57	21.38		105.9	26.4
Constant rate 10 mm			10%	100.7	24.83
			20%	95.5	23.34
			30%	90.3	21.84
			-10%	111.1	28.06
			-20%	117.5	30.13
			-30%	127.4	33.06
Recession constant 0.3			10%	106	27.14
			20%	106	27.89
			30%	106	28.65
			-10%	105.9	25.68
			-20%	105.9	24.98
			-30%	105.9	24.28
Ratio 0.4			10%	106.2	27.69
			20%	106.4	28.97
			30%	106.6	30.26
			-10%	105.7	25.24
			-20%	105.5	24.12
			-30%	105.3	22.98
Lag Time 90 min			10%	103	26.17
			20%	102	25.6
			30%	100.2	25.01
			-10%	111.5	27.15
			-20%	115.7	27.88
			-30%	118.7	28.37
Initial Loss 200 mm			10%	59.7	15.59
			20%	30.1	9.93
			30%	23.3	8.58
			-10%	160.9	38.13
			-20%	212.4	49.42
			-30%	257.5	59.03

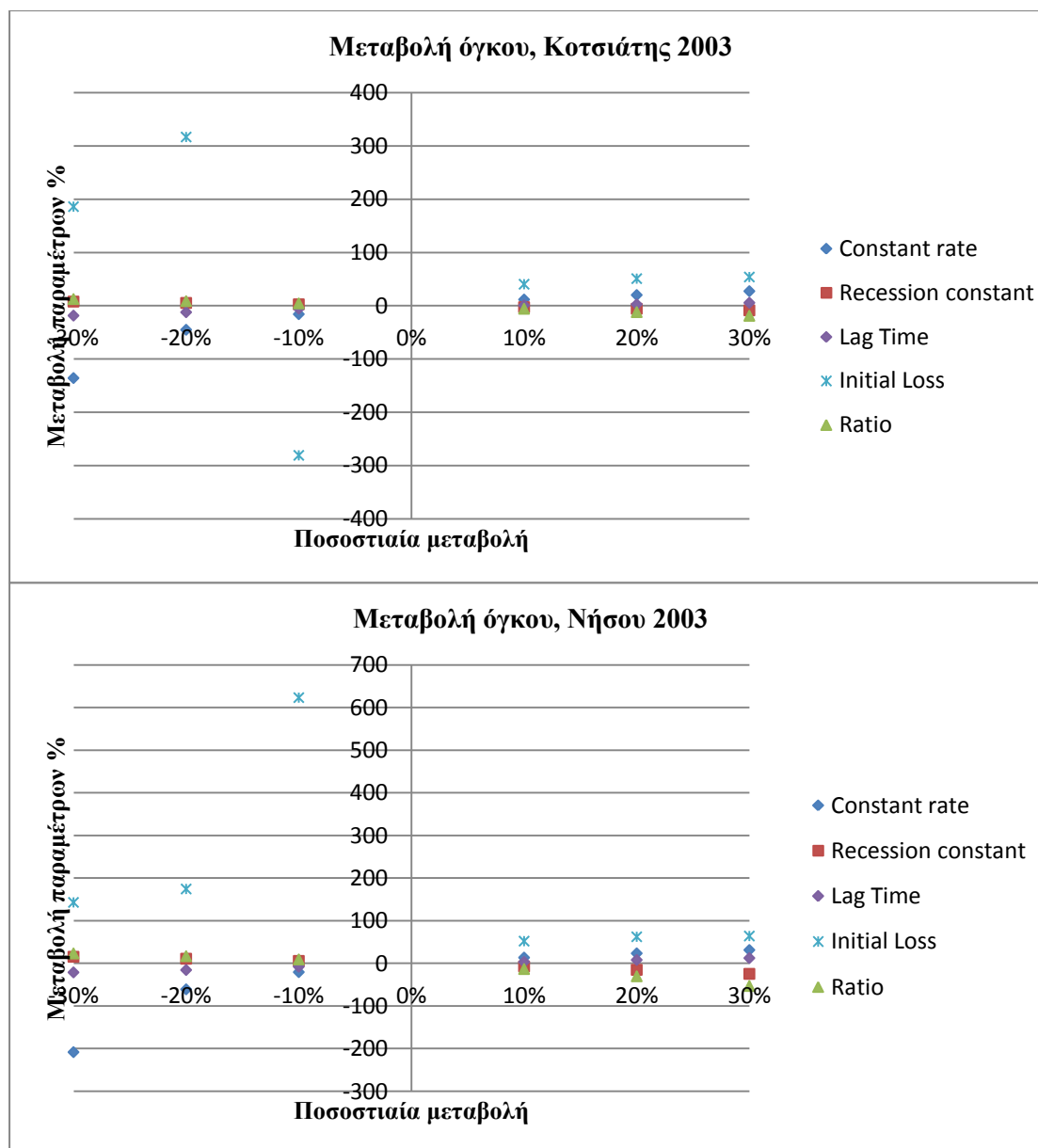
Για την υπολεκάνη της Ποταμιάς δεν υπολογίζονται οι δείκτες βαθμονόμησης καθώς η χρονοσειρά των δεδομένων δεν καλύπτει ολόκληρη την περίοδο προσομοίωσης.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η ευαισθησία των παραμέτρων στις τιμές της μέγιστης παροχής και του συνολικού όγκου των υπολεκάνων Κοτσιάτη και Νήσου για το γεγονός βροχόπτωσης του 2003. Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2 οι επί τοις εκατό μεταβολές της μέγιστης παροχής και του όγκου ανάλογα με τη μεταβολή της παραμέτρου.



Εικόνα 25. Διαγράμματα μεταβολής μέγιστης παροχής, 2003

Οι παράμετροι που επηρεάζουν περισσότερο τη μέγιστη παροχή, σύμφωνα με τα ανωτέρω διαγράμματα είναι η σταθερή και η αρχική απώλεια καθώς και ο χρόνος συγκέντρωσης. Αντίθετα, οι παράμετροι που σχετίζονται με τη μέθοδο επιστροφής των υδάτων (baseflow) δεν επηρεάζουν τη μέγιστη παροχή.



Εικόνα 26. Διαγράμματα μεταβολής όγκου, 2003

Όσον αφορά το συνολικό όγκο των υπολεκάνων, μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει η μεταβλητή της αρχικής απώλειας καθώς προκαλεί μεγάλες διακυμάνσεις στο συνολικό υπολογιζόμενο όγκο. Έντονες διακυμάνσεις προκαλεί, επίσης, η μεταβλητή της σταθερής απώλειας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας για το γεγονός βροχόπτωσης του 1992. Για την υπολεκάνη Κοτσιάτη δεν αναλύεται η παράμετρος της αρχικής απώλειας καθώς έχει εισαχθεί η τιμή μηδέν.

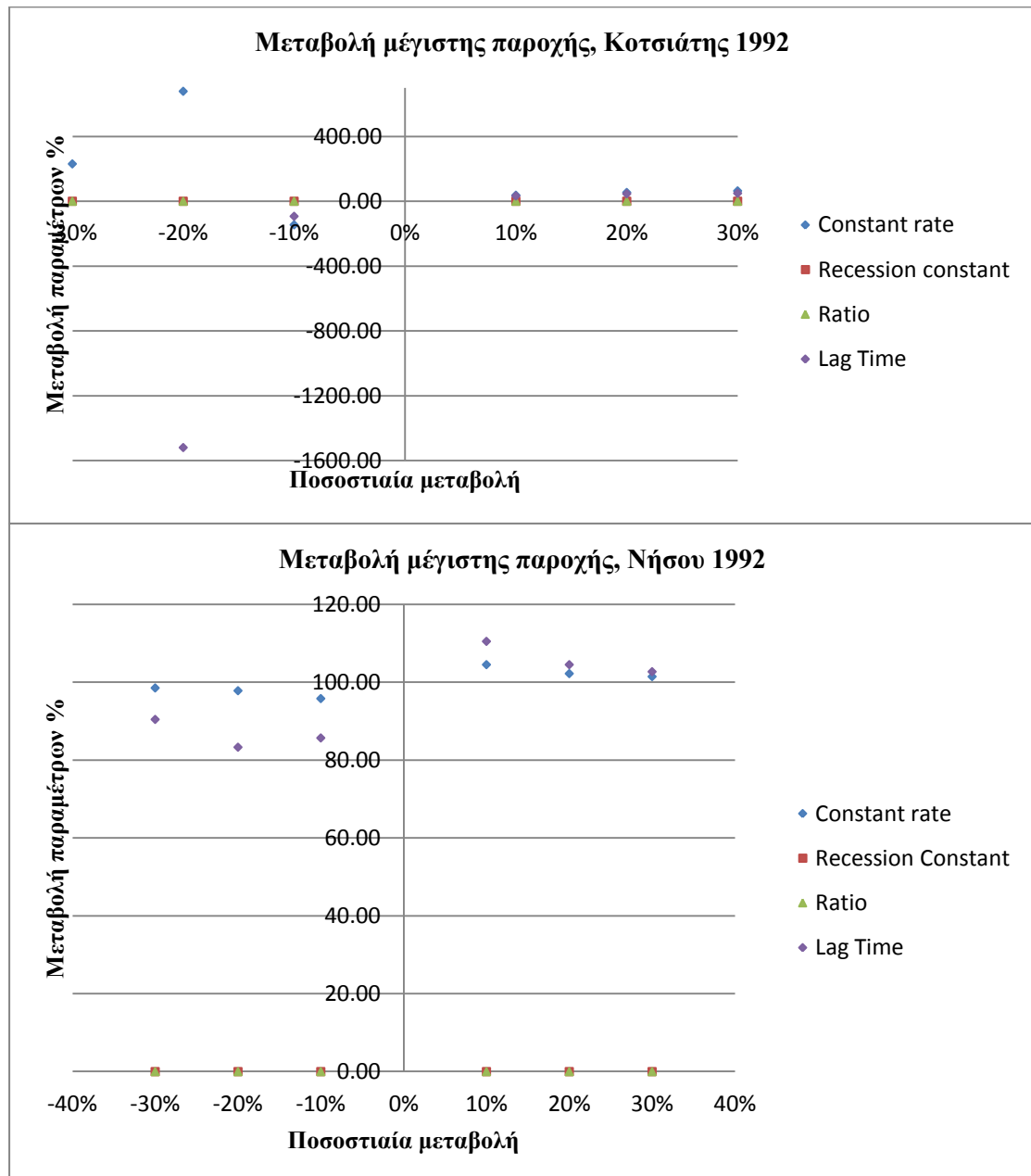
Πίνακας 22. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Κοτσιάτη, 1992

Κοτσιάτης	Observed		Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
Παράμετρος	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Μεταβολή	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
Τελικές Τιμές	49	6.3		40.9	9.95	0.784	16.53	-57.94
Constant rate 7 mm			10%	36.1	8.89	0.801	26.33	-41.11
			20%	31.3	7.84	0.785	36.12	-24.44
			30%	26.5	6.78	0.738	45.92	-7.62
			-10%	45.7	11	0.737	6.73	-74.60
			-20%	50.4	12.07	0.657	-2.86	-91.59
			-30%	55.2	13.14	0.546	-12.65	-108.57
Recession constant 0.1			10%	40.9	10.09	0.780	16.53	-60.16
			20%	40.9	10.24	0.776	16.53	-62.54
			30%	40.9	10.38	0.772	16.53	-64.76
			-10%	40.9	9.8	0.788	16.53	-55.56
			-20%	40.9	9.64	0.792	16.53	-53.02
			-30%	40.9	9.48	0.796	16.53	-50.48
Ratio 0.2			10%	40.9	10.32	0.768	16.53	-63.81
			20%	40.9	10.69	0.750	16.53	-69.68
			30%	40.9	11.05	0.731	16.53	-75.40
			-10%	40.9	9.63	0.796	16.53	-52.86
			-20%	40.9	9.29	0.807	16.53	-47.46
			-30%	40.9	8.95	0.817	16.53	-42.06
Lag Time 100 min			10%	37	9.64	0.720	24.49	-53.02
			20%	34	9.33	0.645	30.61	-48.10
			30%	33	9.21	0.555	32.65	-46.19
			-10%	44.8	10.38	0.837	8.57	-64.76
			-20%	48.5	10.74	0.878	1.02	-70.48
			-30%	50.2	10.87	0.869	-2.45	-72.54

Πίνακας 23. Ανάλυση ευαισθησίας για την υπολεκάνη Νήσου, 1992

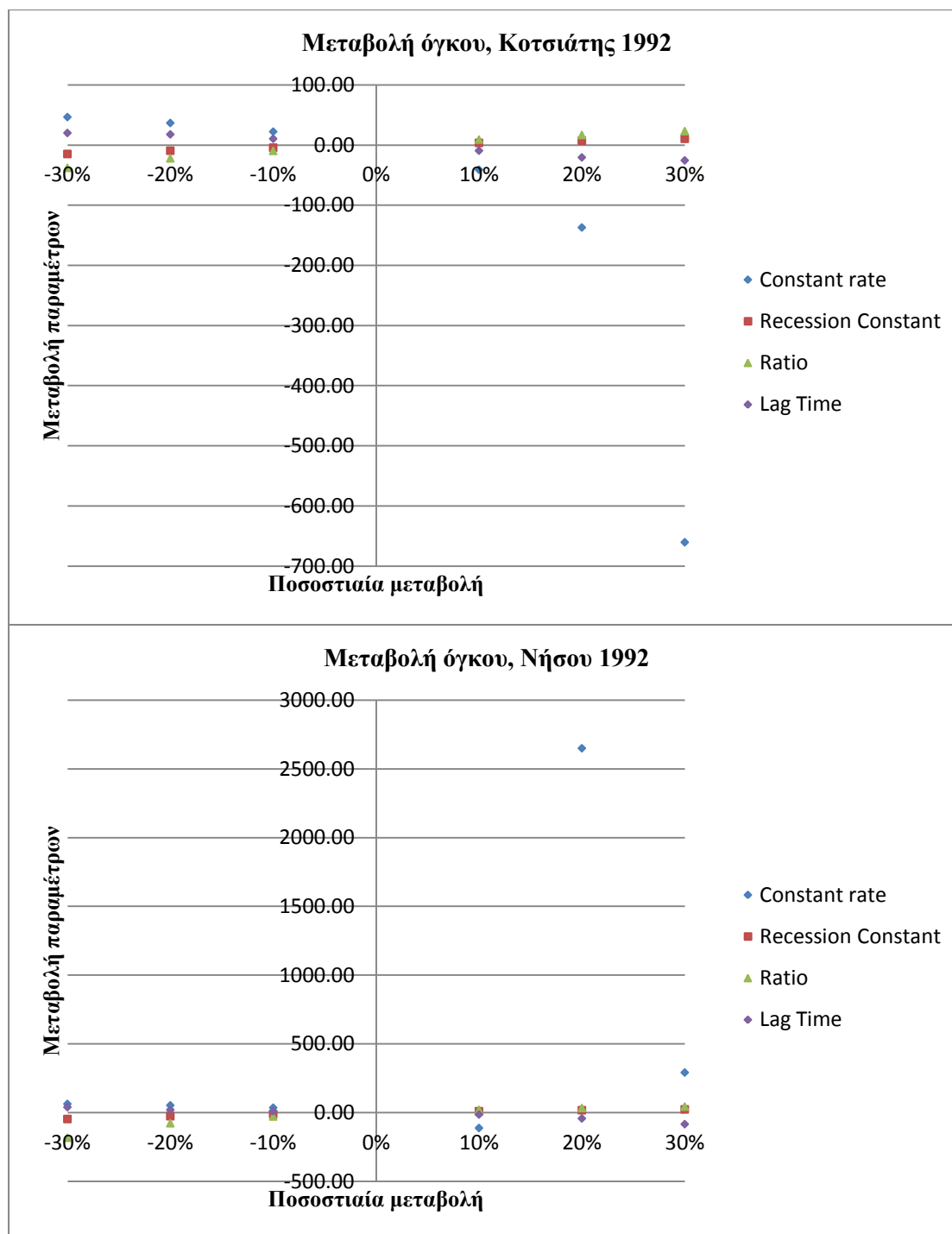
Νήσου	Observed		Simulated			Δείκτες βαθμονόμησης		
Παράμετρος	Peak outflow (m ³ /sec)	Volume (MM)	Μεταβολή	Peak discharge (m ³ /sec)	Volume (MM)	NSE	Peak Flow Error %	Volume Error %
Τελικές Τιμές	40	5.79		40.2	7.32	0.603	-0.50	-26.42
Constant rate 6 mm			10%	35.6	6.51	0.662	11.00	-12.44
			20%	31.1	5.73	0.682	22.25	1.04
			30%	26.5	4.99	0.666	33.75	13.82
			-10%	44.8	8.15	0.504	-12.00	-40.76
			-20%	49.3	9.01	0.363	-23.25	-55.61
			-30%	53.9	9.88	0.178	-34.75	-70.64
Recession constant 0.3			10%	40.2	7.48	0.601	-0.50	-29.19
			20%	40.2	7.63	0.599	-0.50	-31.78
			30%	40.2	7.78	0.595	-0.50	-34.37
			-10%	40.2	7.16	0.605	-0.50	-23.66
			-20%	40.2	7	0.606	-0.50	-20.90
			-30%	40.2	6.83	0.606	-0.50	-17.96
Ratio 0.3			10%	40.2	7.7	0.613	-0.50	-32.99
			20%	40.2	8.08	0.618	-0.50	-39.55
			30%	40.2	8.47	0.619	-0.50	-46.29
			-10%	40.2	6.98	0.593	-0.50	-20.55
			-20%	40.2	6.65	0.580	-0.50	-14.85
			-30%	40.2	6.33	0.565	-0.50	-9.33
Lag Time 70 min			10%	38.1	7.13	0.690	4.75	-23.14
			20%	35.6	6.86	0.748	11.00	-18.48
			30%	32.7	6.62	0.786	18.25	-14.34
			-10%	41.4	7.51	0.487	-3.50	-29.71
			-20%	41.2	7.69	0.318	-3.00	-32.82
			-30%	42.1	8.31	0.108	-5.25	-43.52
Initial Loss 4 mm			10%	39.8	7.18	0.604	0.50	-24.01
			20%	39.3	7.03	0.606	1.75	-21.42
			30%	38.9	6.89	0.609	2.75	-19.00
			-10%	40.6	7.46	0.599	-1.50	-28.84
			-20%	41.1	7.61	0.597	-2.75	-31.43
			-30%	41.5	7.75	0.593	-3.75	-33.85

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα όπου παρουσιάζεται η ευαισθησία των παραμέτρων στις τιμές της μέγιστης παροχής και του συνολικού όγκου των υπολεκάνων Κοτσιάτη και Νήσου για το γεγονός βροχόπτωσης του 1992.



Εικόνα 27. Διαγράμματα μεταβολής μέγιστης παροχής, 1992

Μεγαλύτερες μεταβολές στη μέγιστη παροχή προκαλούν η αρχική απώλεια και ο χρόνος συγκέντρωσης. Οι μεταβλητές Ratio και Recession constant που αφορούν τη μέθοδο βασικής απορροής δεν επηρεάζουν καθόλου τη μέγιστη παροχή.



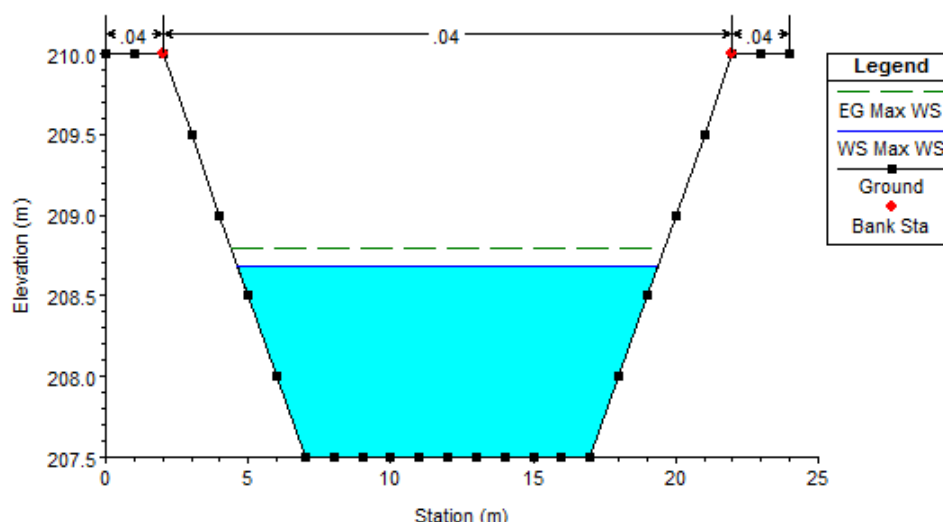
Εικόνα 28. Διαγράμματα μεταβολής όγκου, 1992

Η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο τις τιμές του όγκου είναι η σταθερή απώλεια καθώς προκαλεί σημαντικές διακυμάνσεις με την άνοδο της τιμής της. Η μεταβλητή με τη μικρότερη ευαισθησία είναι η Recession constant.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ HEC - RAS ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Έπειτα από την υδρολογική προσομοίωση των γεγονότων στο HEC - HMS, ακολουθεί η υδραυλική τους ανάλυση μέσω του λογισμικού HEC - RAS. Λόγω έλλειψης ψηφιακού μοντέλου εδάφους κατάλληλης ανάλυσης για την εξαγωγή των διατομών, χρησιμοποιήθηκαν υποθετικές διατομές, τα χαρακτηριστικά των οποίων προσεγγίζουν όσο το δυνατό καλύτερα τα πραγματικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν 84 m του ποταμού στο σημείο πριν το σταθμό της Ποταμιάς. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η πρώτη ανάντη υποθετική διατομή.



Εικόνα 29. Διατομή στο HEC - RAS

Για κάθε διατομή είναι απαραίτητη η εισαγωγή του συντελεστή Manning. Για την περιοχή που μελετάται επιλέχθηκε τιμή του συντελεστή, $n = 0.04$ για το κυρίως υδατόρευμα και η τιμή $n = 0.08$ για τις πλημμυρικές περιοχές (Koutroulis & Tsanis, 2010).

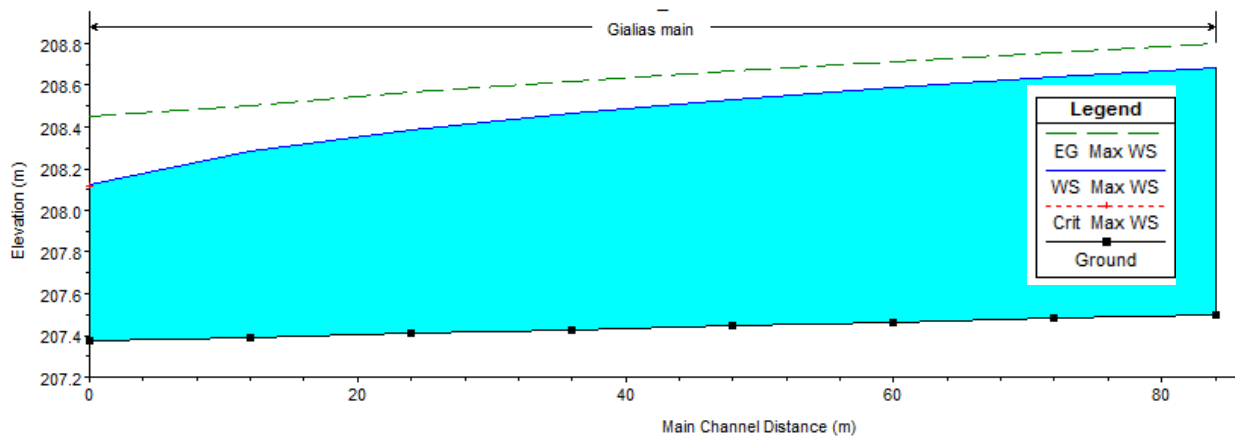
Για την προσομοίωση των γεγονότων, η ροή θεωρείται μη σταθερή. Είναι, λοιπόν, απαραίτητη σε αυτή την περίπτωση η εισαγωγή οριακών συνθηκών για την πρώτη και την τελευταία διατομή που έχει δηλωθεί στο μοντέλο. Ως οριακή συνθήκη στην ανάντη διατομή θα δηλωθούν οι εξαγόμενες τιμές της ροής από το HEC - HMS, καθώς για την Ποταμιά δεν υπάρχουν δεδομένα. Εξαίρεση αποτελεί το γεγονός του 2000 όπου ο σταθμός κατέγραψε τιμές παροχής οπότε και θα δηλωθούν αυτές οι

τιμές. Για το γεγονός του 2003 παρά το ότι υπάρχουν τιμές παροχής, χρησιμοποιούνται οι τιμές προσομοίωσης καθώς οι καταγεγραμμένες είναι λιγότερες από το χρονικό διάστημα που μελετάται. Οριακή συνθήκη για την κατάντη διατομή δηλώνεται το βάθος του ποταμού. Δηλώνεται η κλίση της περιοχής που υπολογίστηκε 1.8% για τα γεγονότα που δεν υπάρχουν δεδομένα από το σταθμό της Ποταμιάς. Αντίθετα, στο γεγονός του 2000 δηλώνεται το ύψος του ποταμού που κατέγραψε ο σταθμός.

6.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- ΓΕΓΟΝΟΣ 1983

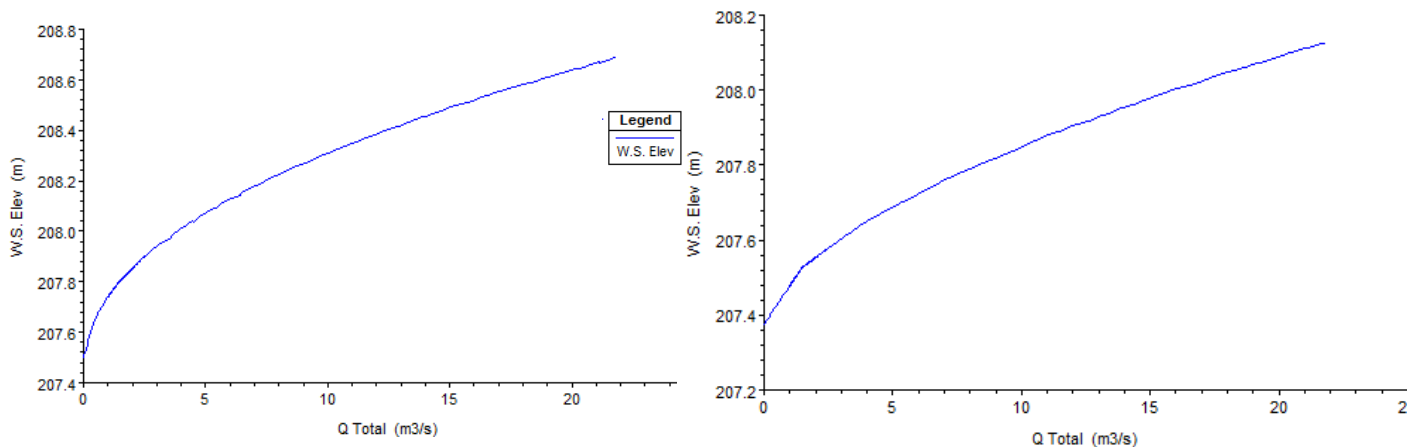
Παρακάτω παρατίθεται η μηκοτομή σε άξονα ανύψωσης στάθμης - απόστασης. Στο διάγραμμα φαίνεται η μέγιστη στάθμη του νερού (WS), η γραμμή ενέργειας (EG) και ο πυθμένας (Ground). Στο δεξί μέρος του διαγράμματος βρίσκεται η ανάντη διατομή ενώ στο αριστερό μέρος η κατάντη.



Εικόνα 30. Μηκοτομή για το γεγονός 1983

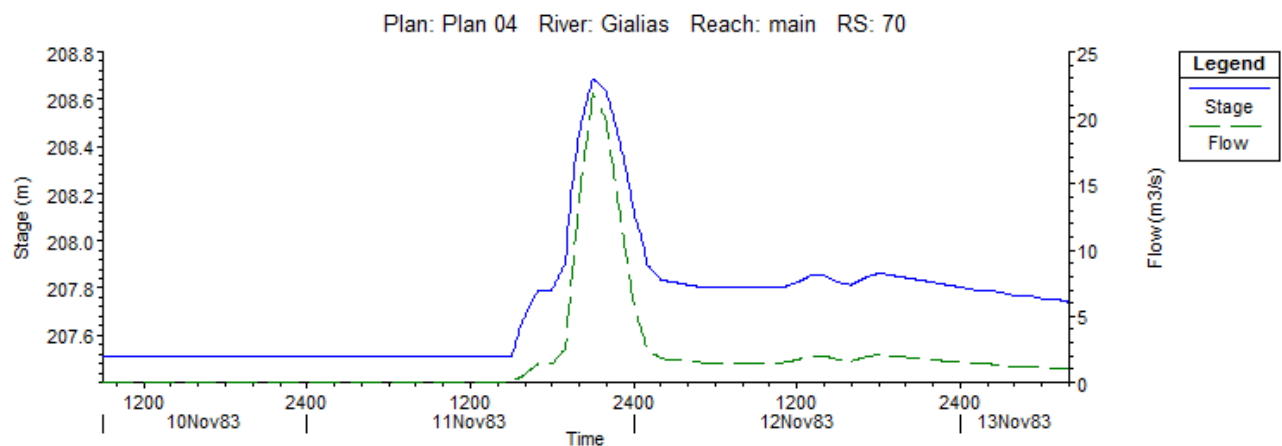
Το μοντέλο έχει τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων για την ταχύτητα που αναπτύσσει το νερό. Έτσι, καταγράφεται μέγιστη ταχύτητα 2.51 m/sec στη διατομή 1, δηλαδή στην έξοδο του ποταμού. Μικρότερη ταχύτητα καταγράφεται στις τέσσερις πρώτες διατομές με τιμή 1.48 m/sec. Αναλυτικά ο πίνακας και το διάγραμμα με τις ταχύτητες στις διατομές βρίσκεται στον Πίνακα 1 στο Παράρτημα Γ.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή στάθμης στις διατομές 1 και 70 με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής. Αριστερά παρατίθεται το διάγραμμα για την ανάντη διατομή και δεξιά το διάγραμμα για την κατάντη. Είναι εμφανές ότι όσο μεγαλύτερη παροχή καταγράφεται στο ποτάμι τόσο μεγαλύτερη είναι και η ανύψωση της στάθμης.

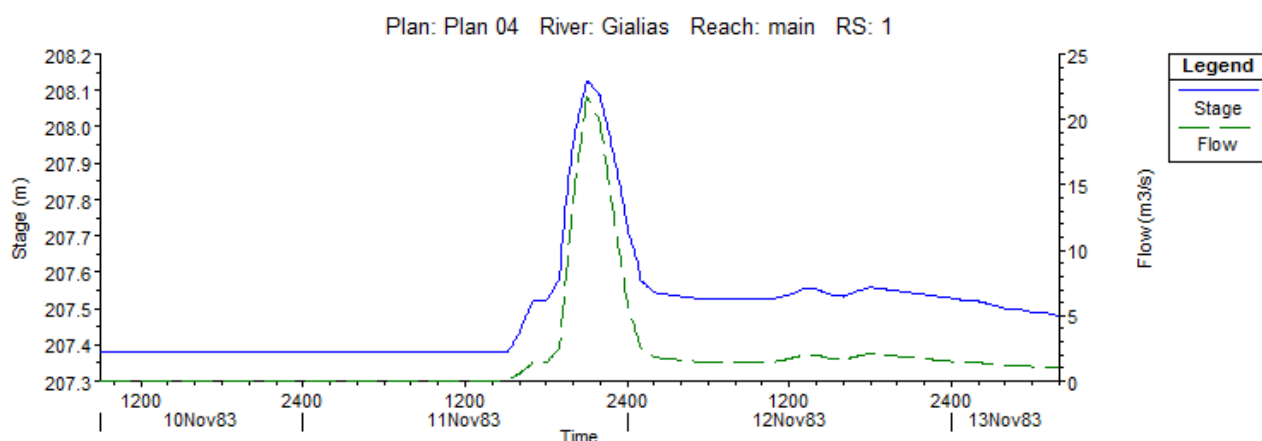


Εικόνα 31. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 1983

Τέλος, το HEC - RAS εξάγει το συγκεντρωτικό διάγραμμα για όλη την περίοδο προσομοίωσης σε συνάρτηση με την παροχή και την ανύψωση που παρουσιάζονται παρακάτω. Η μέγιστη ανύψωση στην ανάντη διατομή είναι 208.69 m ενώ στην κατάντη διατομή 208.13 m.



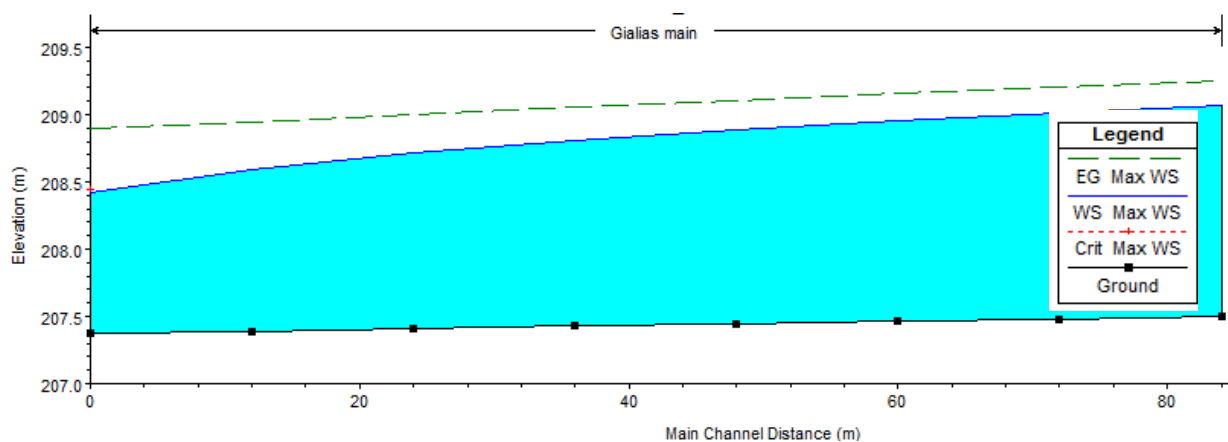
Εικόνα 32. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 1983



Εικόνα 33. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 1983

- ΓΕΓΟΝΟΣ 1992

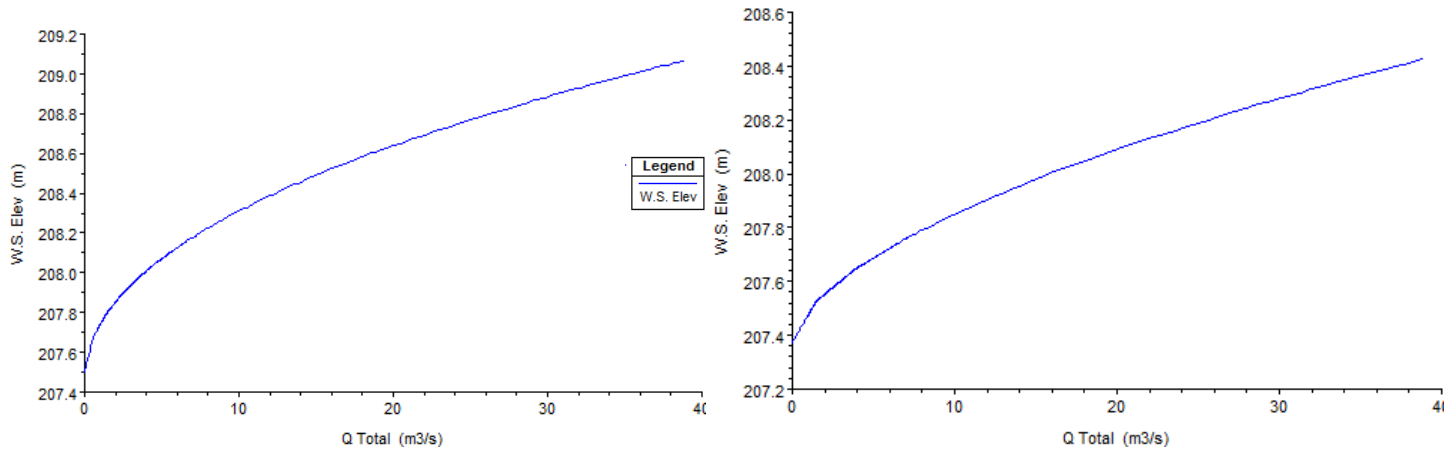
Για το γεγονός βροχόπτωσης του Ιουνίου 1992 παρατίθεται η μηκοτομή σε άξονα ανύψωσης στάθμης - απόστασης με την ανάντη διατομή να φαίνεται στα δεξιά και την κατάντη στα αριστερά.



Εικόνα 34. Μηκοτομή για το γεγονός 1992

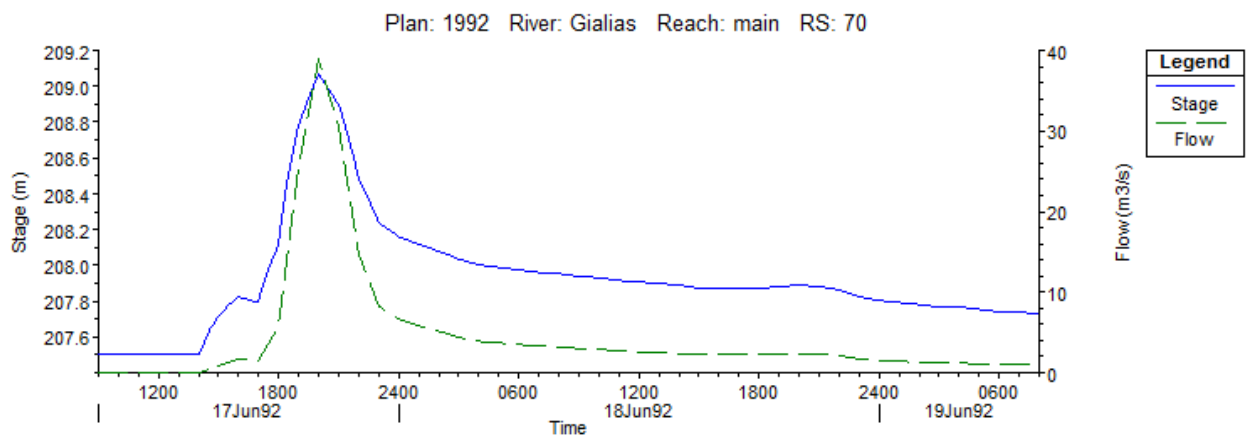
Η μέγιστη ταχύτητα που παρατηρείται είναι στην κατάντη διατομή με τιμή 3.05 m/sec. Αντίθετα, η μικρότερη τιμή καταγράφεται στην ανάντη διατομή με τιμή 1.89 m/sec. Αναλυτικά οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2 στο Παράρτημα Γ.

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεταβολή στάθμης στις διατομές 1 και 70 με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής. Αριστερά βρίσκεται το διάγραμμα για την ανάντη διατομή και δεξιά το διάγραμμα για την κατάντη.

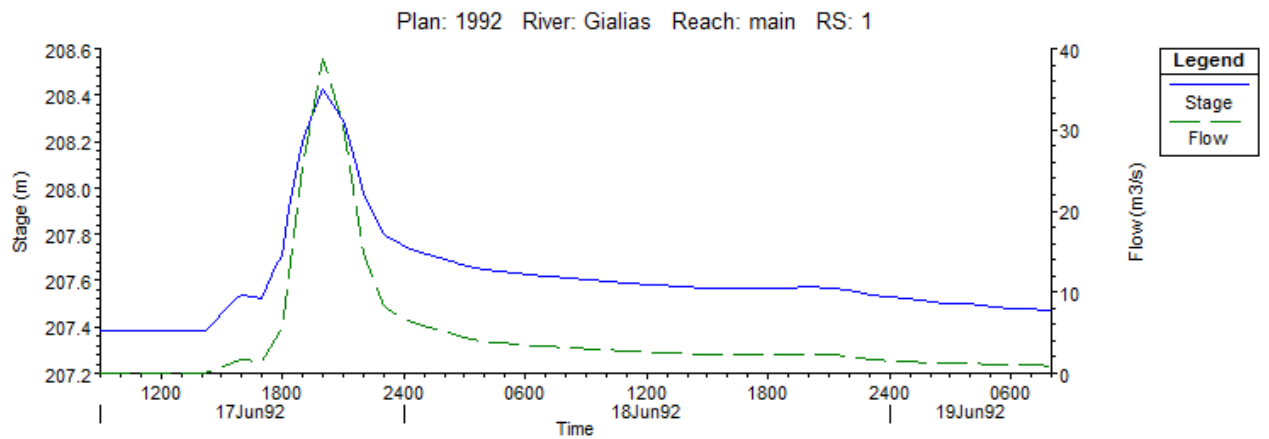


Εικόνα 35. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 1992

Επιπλέον παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα ανύψωσης – παροχής για όλο το διάστημα προσομοίωσης. Η ανύψωση που υπολογίζει το πρόγραμμα για την ανάντη διατομή είναι 209.07 m και για την κατάντη 208.42 m.



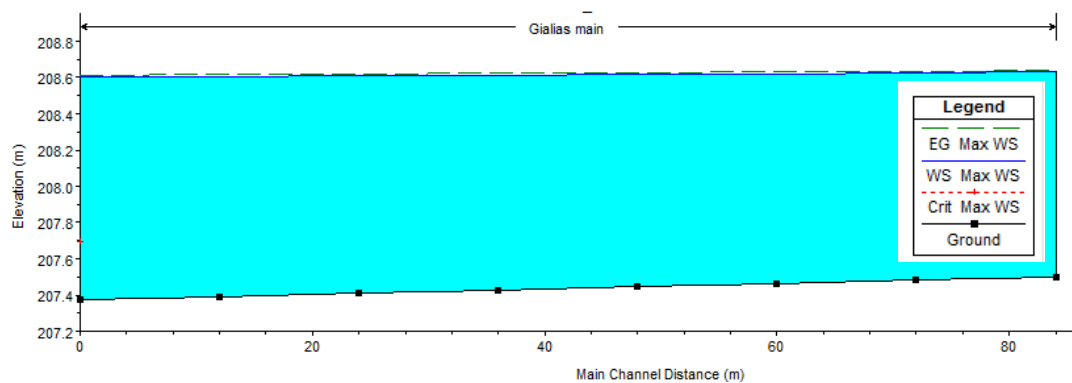
Εικόνα 36. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 1992



Εικόνα 37. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 1992

- ΓΕΓΟΝΟΣ 2000

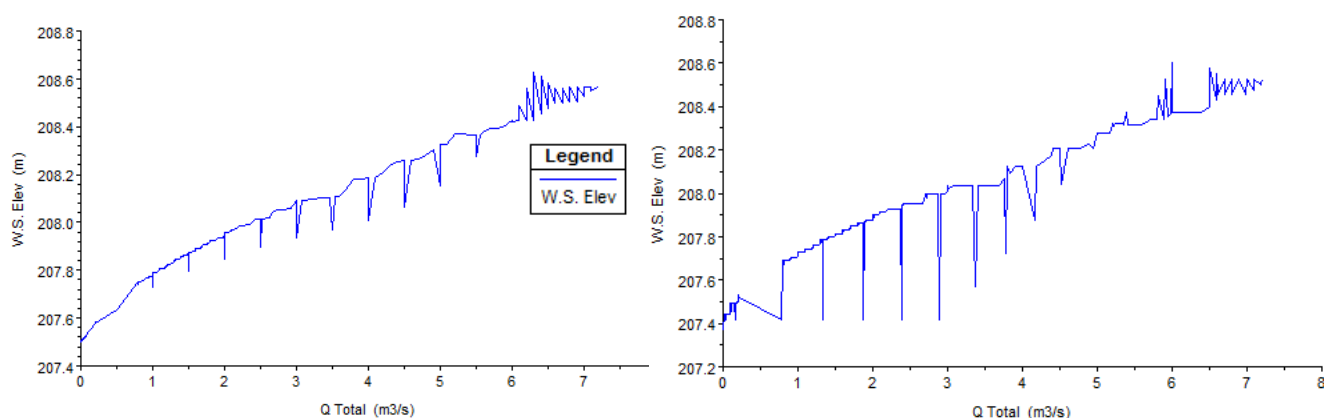
Παρακάτω παρουσιάζεται η μηκοτομή σε άξονα ανύψωσης στάθμης – απόστασης για το γεγονός βροχόπτωσης που έλαβε χώρα το 2000. Στο δεξί μέρος βρίσκεται η κατάντη διατομή, ενώ, στο αριστερά η ανάντη.



Εικόνα 38. Μηκοτομή για το γεγονός 2000

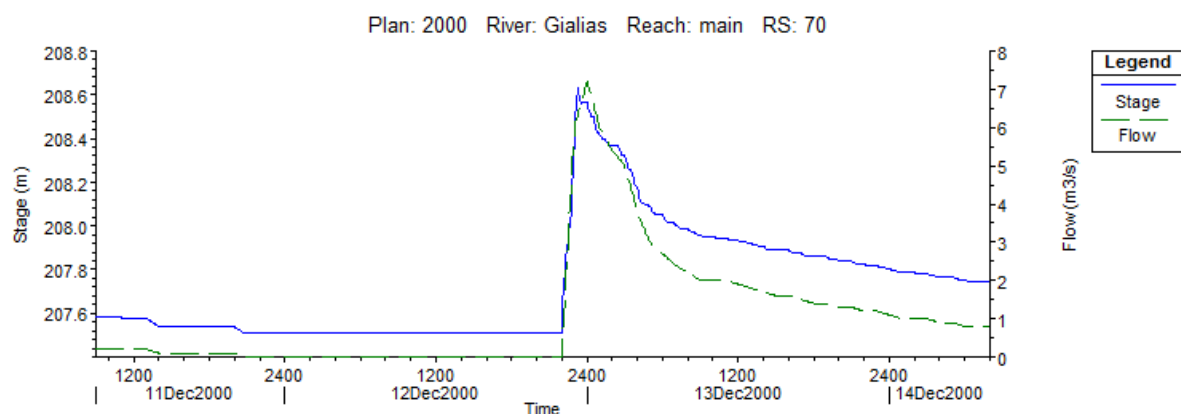
Η μέγιστη ταχύτητα που παρατηρείται είναι στην ανάντη διατομή με τιμή 0.46 m/sec. Αντίθετα, η μικρότερη τιμή καταγράφεται στην κατάντη διατομή με τιμή 0.39 m/sec. Αναλυτικά οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 3 στο Παράρτημα Γ.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεταβολή στάθμης στις διατομές 1 και 70 με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής. Στα αριστερά βρίσκεται το διάγραμμα για την ανάντη διατομή και δεξιά το διάγραμμα για την κατάντη.

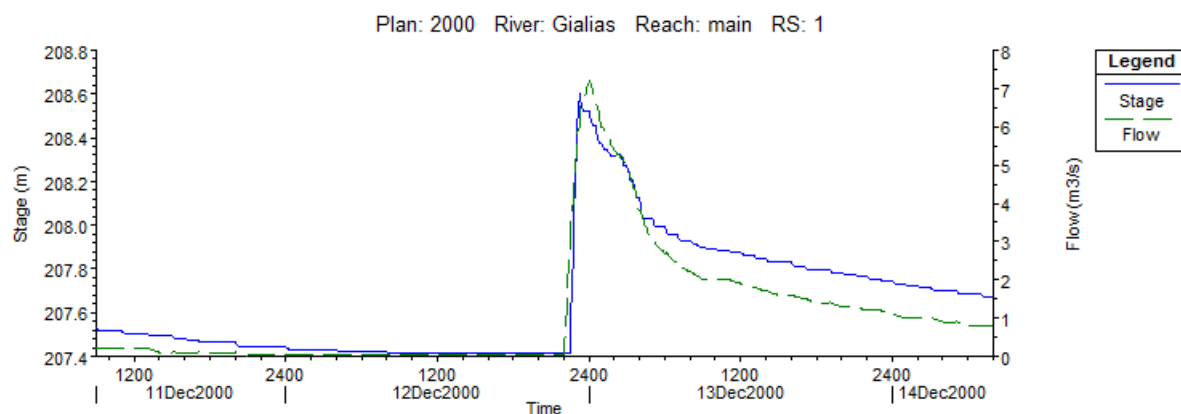


Εικόνα 39. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2000

Τέλος, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα ανύψωσης – παροχής για όλο το διάστημα προσομοίωσης. Η ανύψωση που υπολογίζεται από το πρόγραμμα για την ανάντη διατομή είναι 208.63 m και για την κατάντη 208.6 m.



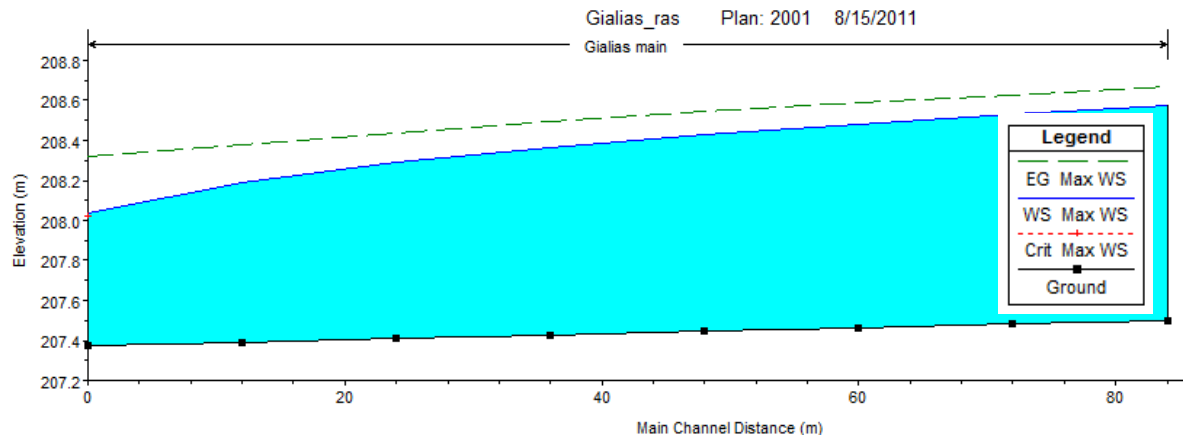
Εικόνα 40. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2000



Εικόνα 41. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 2000

- ΓΕΓΟΝΟΣ 2001

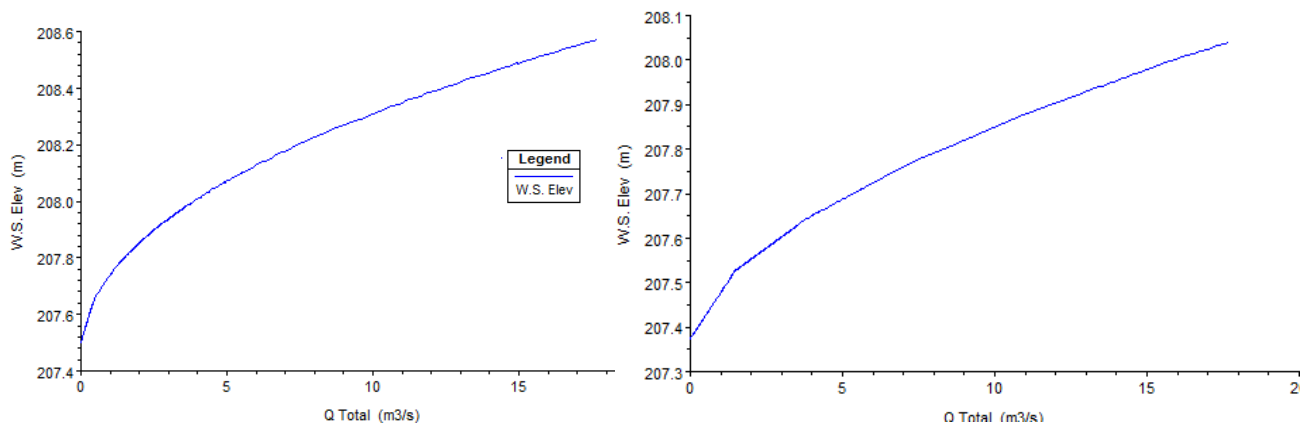
Παρακάτω παρουσιάζεται η μηκοτομή σε άξονα ανύψωσης στάθμης – απόστασης. Η ανάντη διατομή βρίσκεται στα δεξιά του διαγράμματος και η κατάντη στα αριστερά.



Εικόνα 42. Μηκοτομή για το γεγονός 2001

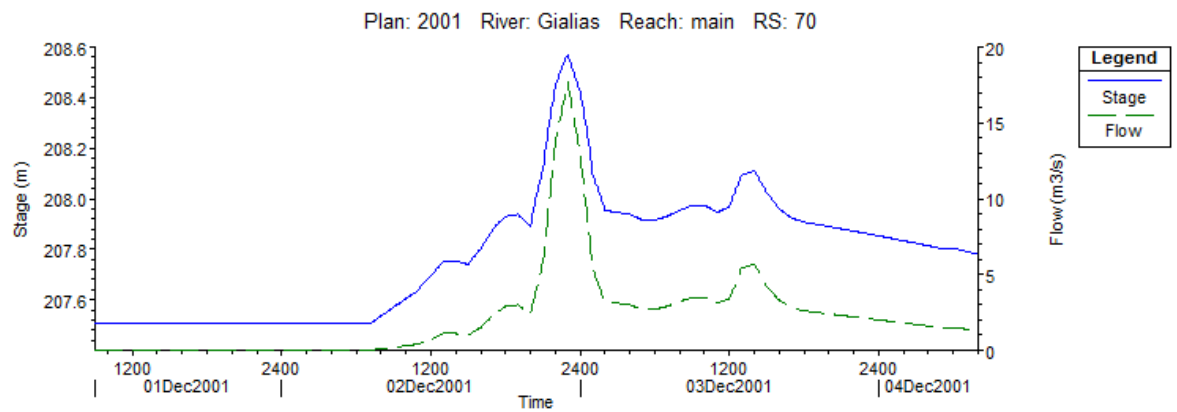
Η μέγιστη ταχύτητα που καταγράφεται είναι 2.35 m/sec στην κατάντη διατομή. Η μικρότερη ταχύτητα, που καταγράφεται στην ανάντη διατομή είναι 1.36 m/sec. Αναλυτικά οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 4 στο Παράρτημα Γ.

Στα παρακάτω διαγράμματα εμφανίζεται η μεταβολή στάθμης στις διατομές ανάντη και κατάντη, με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής. Αριστερά βρίσκεται το διάγραμμα για την ανάντη διατομή και δεξιά το διάγραμμα για την κατάντη.

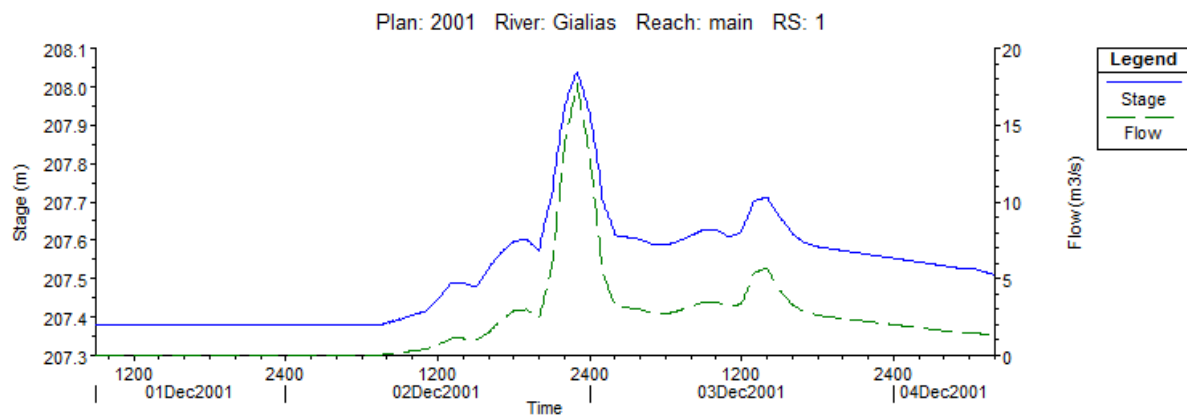


Εικόνα 43. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2001

Στη συνέχεια παρουσιάζονται για όλη την περίοδο προσομοίωσης τα διαγράμματα ανύψωσης – παροχής. Η μέγιστη ανύψωση στην ανάντη κορυφή είναι 208.57 m ενώ στην κατάντη 208.04 m.



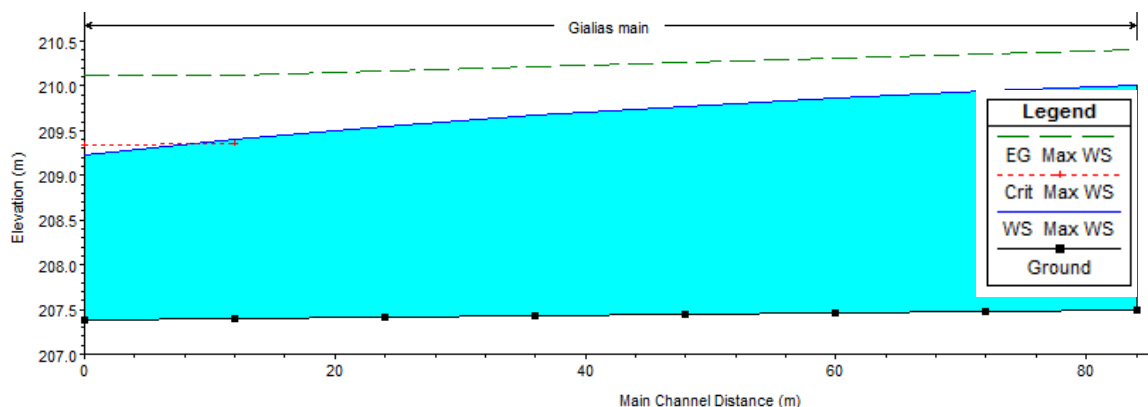
Εικόνα 44. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2001



Εικόνα 45. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2001

- ΓΕΓΟΝΟΣ 2003

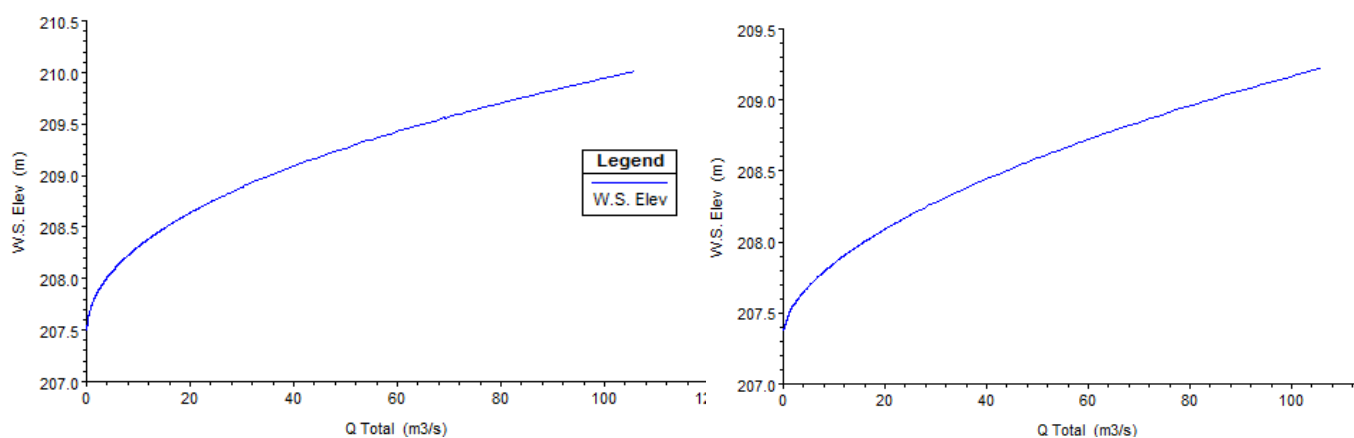
Για το γεγονός βροχόπτωσης του 2003 παρουσιάζεται μηκοτομή σε άξονα ανύψωσης στάθμης – απόστασης. Στα δεξιά βρίσκεται η ανάντη διατομή του ποταμού που εξετάζεται, ενώ στα αριστερά η κατάντη διατομή.



Εικόνα 46. Μηκοτομή για το γεγονός 2003

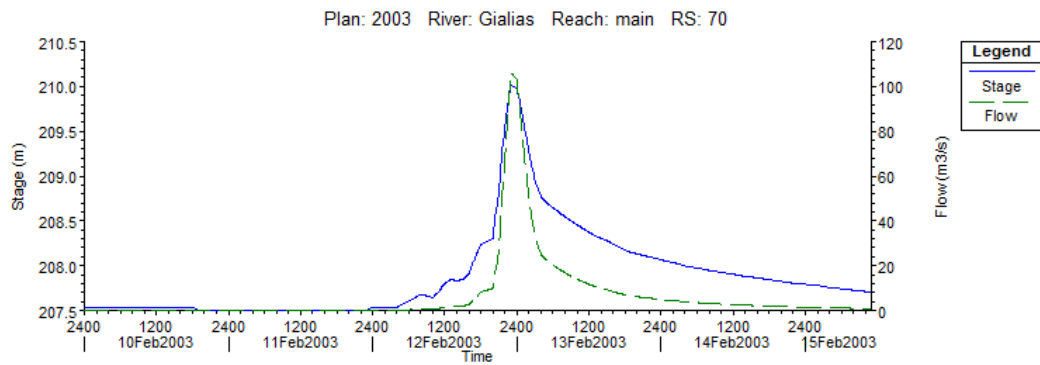
Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας που υπολογίστηκε από το μοντέλο παρατηρείται στην κατάντη διατομή με τιμή 4.18 m/sec. Η μικρότερη τιμή που καταγράφεται είναι 2.81 m/sec στην ανάντη διατομή. Αναλυτικά οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 5 στο Παράρτημα Γ.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα στάθμης - παροχής στις διατομές ανάντη και κατάντη. Αριστερά βρίσκεται το διάγραμμα για την ανάντη διατομή και δεξιά το διάγραμμα για την κατάντη διατομή.

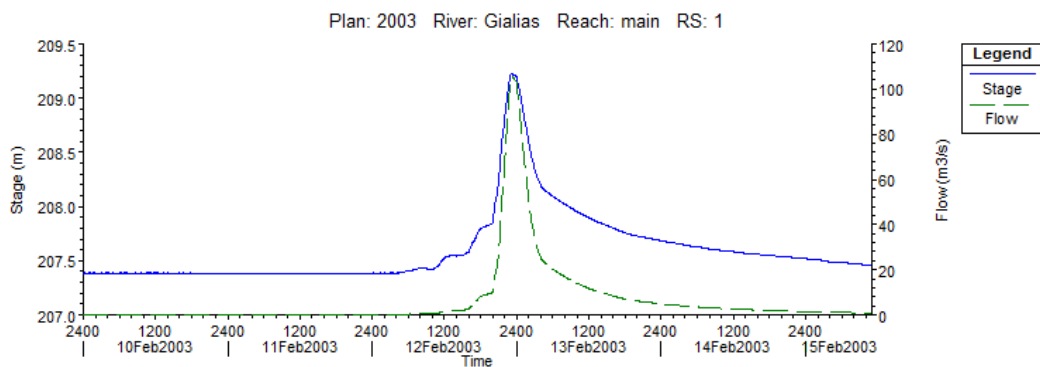


Εικόνα 47. Διαγράμματα στάθμης – παροχής για το 2003

Παρακάτω εμφανίζονται τα διαγράμματα ανύψωσης παροχής για όλη την περίοδο προσομοίωσης. Η μέγιστη ανύψωση στην ανάντη κορυφή είναι 210.01 m ενώ στην κατάντη 209.22 m. Το γεγονός βροχόπτωσης του 2003 ήταν το μεγαλύτερο σε ένταση από όσα μελετήθηκαν οπότε και εμφανίζει τη μεγαλύτερη ανύψωση στη στάθμη του ποταμού.



Εικόνα 48. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην ανάντη διατομή, 2003



Εικόνα 49. Συγκεντρωτικό διάγραμμα στάθμης, παροχής και χρόνου στην κατάντη διατομή, 2003

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η υδρολογική προσομοίωση της περιοχής που εξετάστηκε πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο HEC - HMS σε συνδυασμό με την επέκταση HEC - GeoHMS του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS. Το μοντέλο HEC - HMS αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την προσομοίωση επιφανειακής απορροής σε μία λεκάνη καθώς διαθέτει αρκετές μεθόδους που μπορούν να περιγράψουν μία πληθώρα περιπτώσεων.

Οι υδρολογικές διεργασίες περιγράφηκαν από μεθόδους υπολογισμού απωλειών, μετατροπής της κατακρήμνισης σε απορροή και επιστροφή της ροής. Λόγω των μεμονωμένων μικρών σε διάρκεια, έντονων γεγονότων βροχόπτωσης, παραλήφθηκε η εξατμισοδιαπνοή. Η προσομοίωση έγινε για τρεις υπολεκάνες του ποταμού Γιαλιά, τις υπολεκάνες Κοτσιάτη, Νήσου και Ποταμιάς.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε προσομοίωσε αρκετά ικανοποιητικά γεγονότα βροχόπτωσης στις υπολεκάνες που εξετάστηκαν. Η βαθμονόμηση έγινε με τρία γεγονότα μικρής και μεσαίας έντασης βροχόπτωσης καθώς η εμφάνιση τέτοιων φαινομένων είναι πιο συχνή. Ωστόσο, αποδείχτηκε ότι προσομοιώνει εξίσου καλά και γεγονότα μεγαλύτερης έντασης όπως αυτό του 2003, παρουσιάζοντας μικρό σφάλμα στον προσδιορισμό της μέγιστης απορροής (<10%) και, ταυτόχρονα, αρκετά ικανοποιητικό συντελεστή Nash–Sutcliffe (~70%).

Ενώ, τα αποτελέσματα για τις υπολεκάνες Κοτσιάτη και Νήσου είναι ικανοποιητικά και αποδεκτά, τα αποτελέσματα της Ποταμιάς παρουσιάζουν μία ιδιομορφία. Η βαθμονόμηση της υπολεκάνης δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία σταθμού μέχρι το 2000 αλλά και την απουσία κάποιων δεδομένων κατά τις περιόδους που εξετάζονταν, οδηγούν στο συμπέρασμα πως τα αποτελέσματα του μοντέλου ενδεχομένως να μην είναι αξιόπιστα και να αποκλίνουν αρκετά από την πραγματικότητα. Για μία ολοκληρωμένη έρευνα των τριών υπολεκάνων του Γιαλιά κρίνεται αναγκαία η βαθμονόμηση του μοντέλου με επιπλέον γεγονότα, πιο πρόσφατα του 2000, που θα περιλαμβάνουν δεδομένα από το σταθμό Ποταμιάς.

7.2. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Όσον αφορά την υδραυλική προσομοίωση, πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο HEC – RAS για ένα μέρος του ποταμού μήκους περίπου 80 m. Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αφορά διατομές που παριστάνουν τη μέση γεωμετρία του προς εξέταση τμήματος του ποταμού. Η προσομοίωση έδωσε μια ικανοποιητική εικόνα της συμπεριφοράς της στάθμης του ποταμού στα διάφορα γεγονότα που εξετάστηκαν. Με αντικατάσταση της γεωμετρίας του τμήματος του ποταμού όπου χρησιμοποιήθηκε, από τη γεωμετρία ενός υψηλής ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου εδάφους στο υπάρχον μοντέλο, είναι δυνατή η λήψη ακριβέστερων αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης. Έτσι γίνεται δυνατή η προσομοίωση της περιοχής που πρόκειται να επηρεαστεί σε μία ενδεχόμενη πλημμύρα, και η κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας στις αστικές περιοχές από τις οποίες ρέει το ποτάμι.

7.3. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για μία πιο ολοκληρωμένη μελέτη της υδρολογίας στην περιοχή μελέτης, θα μπορούσε να επεκταθεί η διαδικασία τόσο της βαθμονόμησης αλλά και της τεκμηρίωσης του υδρολογικού μοντέλου με χρήση επιπλέον γεγονότων βροχόπτωσης - απορροής. Έτσι, θα μπορούσε να βελτιωθεί η απόδοση του μοντέλου αλλά και να μειωθεί η αβεβαιότητα στα αποτελέσματά αυτού. Επιπλέον, με ένα καλύτερα καταναμημένο δίκτυο βροχομετρικών σταθμών εντός και κοντά στην υπό μελέτη περιοχή, θα μπορούσαν να περιγραφούν με ακριβέστερο τρόπο τα πεδία βροχόπτωσης που επηρεάζουν την λεκάνη. Τέλος, το HEC – HMS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με πλήρως καταναμημένη μορφή, αντί της ημικαταναμημένης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη λόγω της έλλειψης υψηλής διακριτικότητας χωρικής πληροφορίας, τόσο στη μορφολογία και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, όσο και στα δεδομένα βροχόπτωσης.

Σχετικά με την υδραυλική ανάλυση της περιοχής, προτείνεται η εισαγωγή βελτιωμένων διατομών στο ήδη υπάρχον υδραυλικό μοντέλο από τοπογραφική πληροφορία υψηλής ανάλυσης όπως υψηλότερης ανάλυσης DEM (διακριτοποίηση κάτω των 10m) ή με μετρήσεις γεωμετρίας τύπου LIDAR.

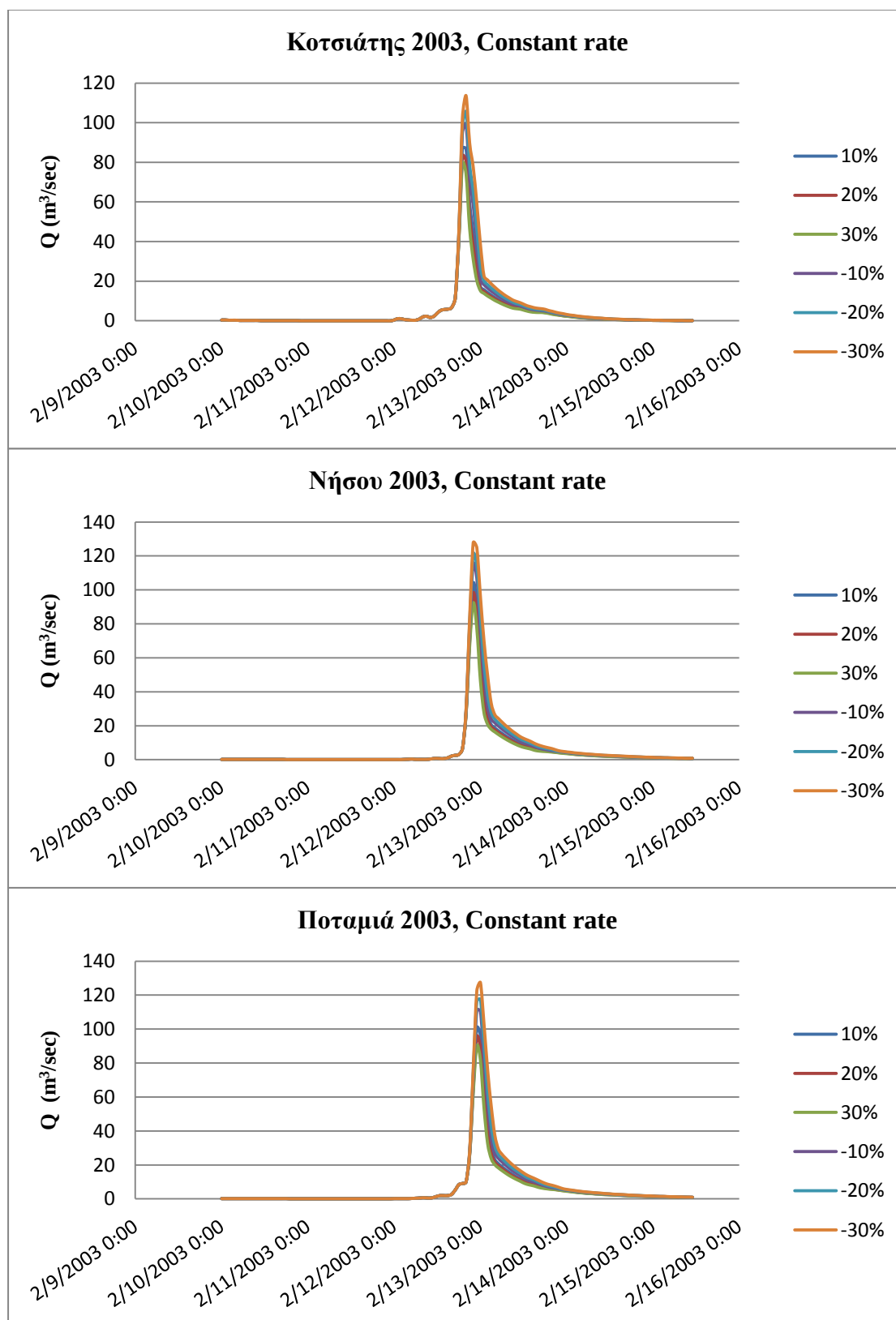
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανδρεαδάκης Ε., Υδρολογικός κύκλος – Μορφολογική ανάλυση, Εργαστήριο Υδρολογίας, Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
http://users.uoa.gr/~eandreadk/index_files/Hydrogeology01.pps [πρόσβαση: 01/08/2011]
- Barredo José I. and Engelen Guy, 2010, Land Use Scenario Modeling for Flood Risk Mitigation, Sustainability 2010,2, pp. 1327 – 1344
- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2005, Μεταβολή του Κλίματος και Υπερχείλιση Ποταμών στην Ευρώπη
- European Environment Agency, 2007, Climate Change and Water Adaptation Issues, Technical Report No 2/2007
- Galiouna E., Efstratiadis A., Mamassis N. and Aristeidou K., Investigation of extreme flows in Cyprus: empirical formulas and regionalization approaches for peak flow estimation. EGU General Assembly 2011, Vienna, Austria, 4 - 8 April 2011.
- Gruntfest, E., Handmer, J., 2001. Dealing with flash floods: contemporary issues and future possibilities. In: Gruntfest, E., Handmer, J. (Eds.), Coping with Flash Floods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 3–10.
- Jonkman S.N., 2005, Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods, Natural Hazards vol. 34 pp.151 – 175
- Koutroulis, A.G., Tsanis, I.K., 2010. A method for estimating flash flood peak discharge in a poorly gauged basin: Case study for the 13-14 January 1994 flood, Giofiros basin, Crete, Greece, Journal of Hydrology, 385, 1-4, pp. 150-164, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.02.012.
- Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., 1999, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3^η, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων
- Κοινή Υπουργική Απόφαση, Αριθμ. Η.Π. 31822/1542/Ε103:
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=keIuJ1wwrsc%3D&tabid=252>
- Μαμάσης Νίκος, 2009, Τυπικά Συστήματα Υδατικών Πόρων, Εκτίμηση Πλημμυρικών Παροχών, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Ε.Μ.Π.

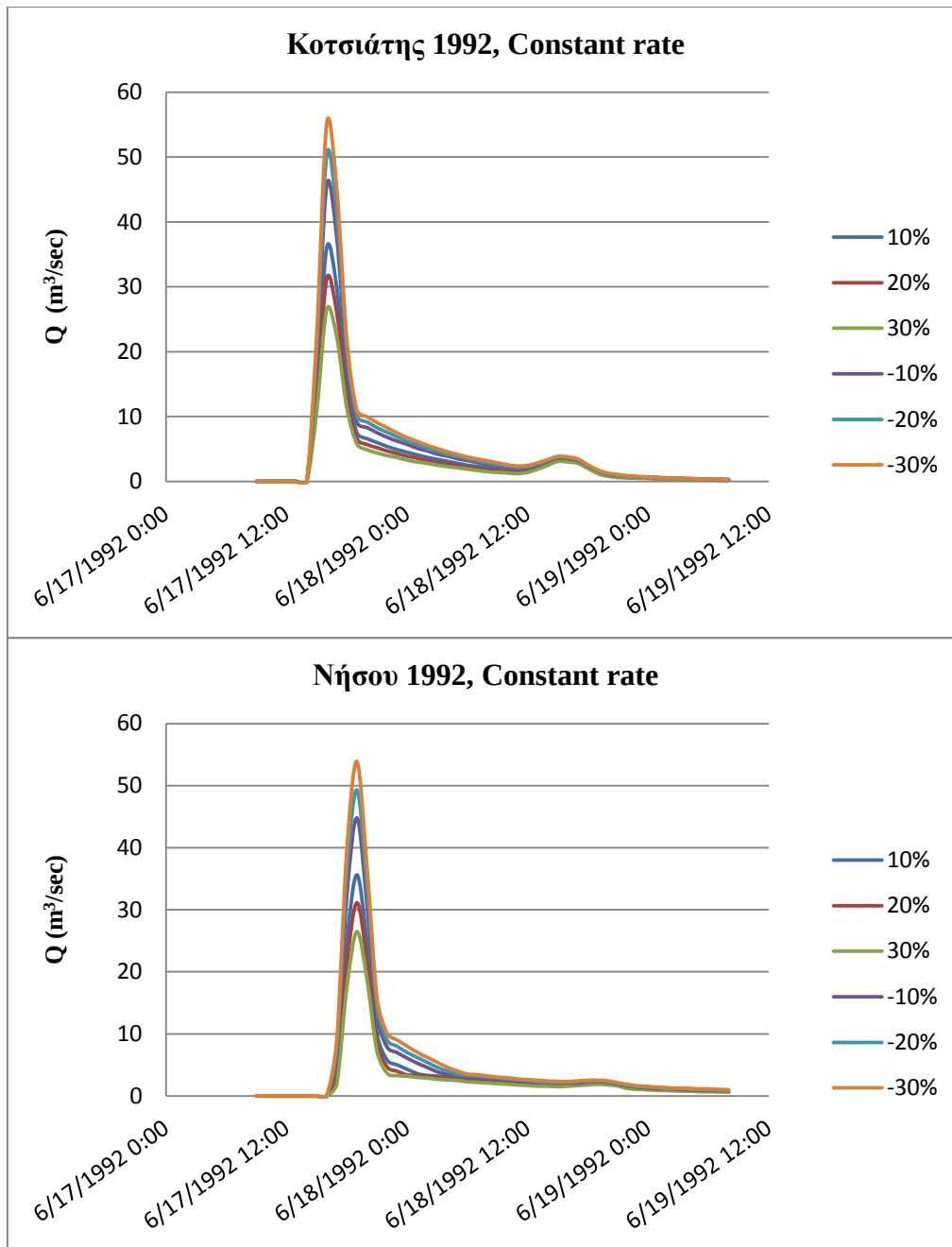
- Μιμίκου, Μ., Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα. Εκπαιδευτική Ημερίδα "Φυσικές καταστροφές οικονομικές επιπτώσεις και η αντιμετώπιση τους", Ελληνικό Ινστιτούτο Ασφαλιστικών Σπουδών, 22/4/2005
- Ministry of Natural Resources, Ontario, Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
http://www.mnr.gov.on.ca/en/Business/Water/2ColumnSubPage/STEL02_163446.html [Πρόσβαση: 01/08/2011]
- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Binger R.L., Harmel R.D., Veith T.L., 2007, Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 50(3), pp. 885 - 900
- Οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:EL:PDF>
- Shrestha A.B., Shah S.H., Karim R., 2008, Resource Manual on Flash Flood Risk Management, International Centre for Integrated Mountain Development
- Στάθης Δημήτριος, 2004, Ακραία Γεγονότα Βροχής και Πλημμυρογέννεση στην Ελλάδα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων
- Τελική Έκθεση 1, Πρωτόκολλο πληροφοριών για Οικονομική Ανάλυση της Χρήσης Ύδατος, Κυβερνητική Πύλη Διαδικτύου Κύπρου, Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
[http://www.gov.cy/moa/WDD/WDD.nsf/all/42EFBDA5841D89FFC22572EC004ECDB8/\\$file/PI_REPORT_1GR.pdf](http://www.gov.cy/moa/WDD/WDD.nsf/all/42EFBDA5841D89FFC22572EC004ECDB8/$file/PI_REPORT_1GR.pdf) [Πρόσβαση: 04/08/2011]
- Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Αναφορά στα ακραία καιρικά φαινόμενα, Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:
<http://www.teicrete.gr/diatmim/> [Πρόσβαση: 01/08/2011]
- Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου
http://www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/profile_gr/profile_gr?OpenDocument [Πρόσβαση: 04/08/2011]

- Τσιτσιλώνης Σωτήριος, 2008, Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης
- US Army Corps of Engineers, 2009, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual, Version 4.2
- US Army Corps of Engineers, 2010a, HEC - RAS River Analysis System. User's Manual, Version 4.1
- US Army Corps of Engineers, 2010b, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User's Manual, Version 3.5

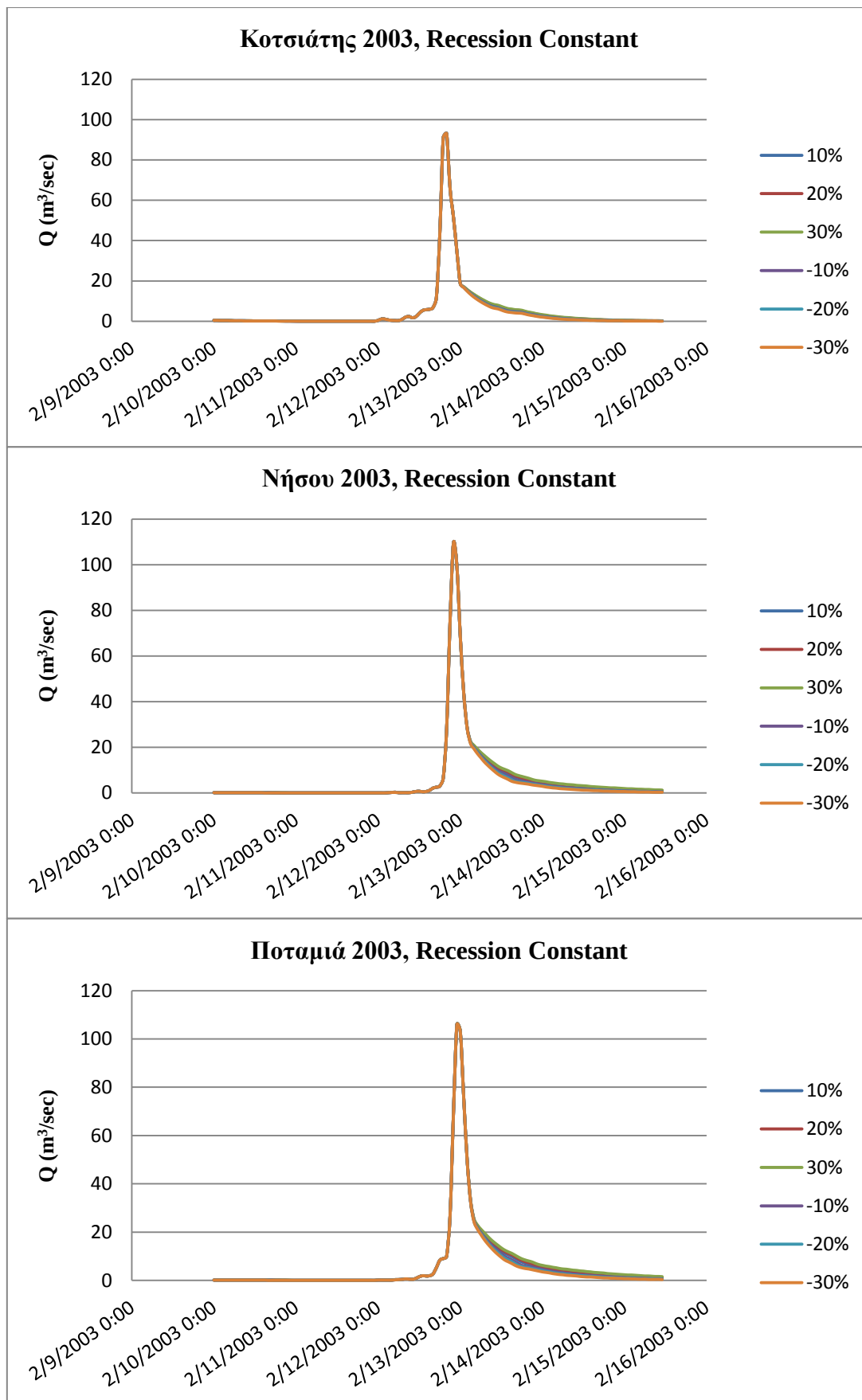
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



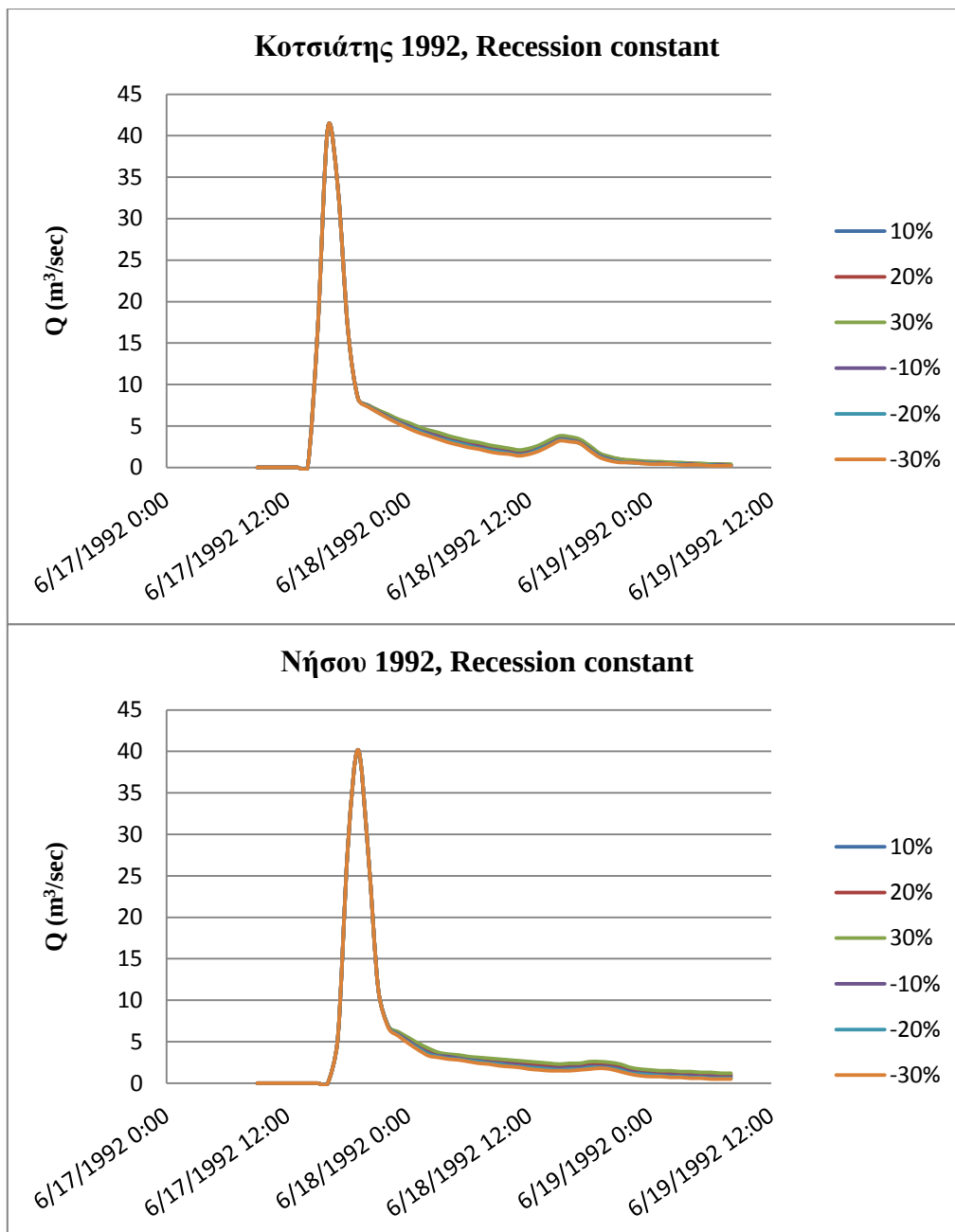
Εικόνα 1. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου constant rate για το γεγονός 2003



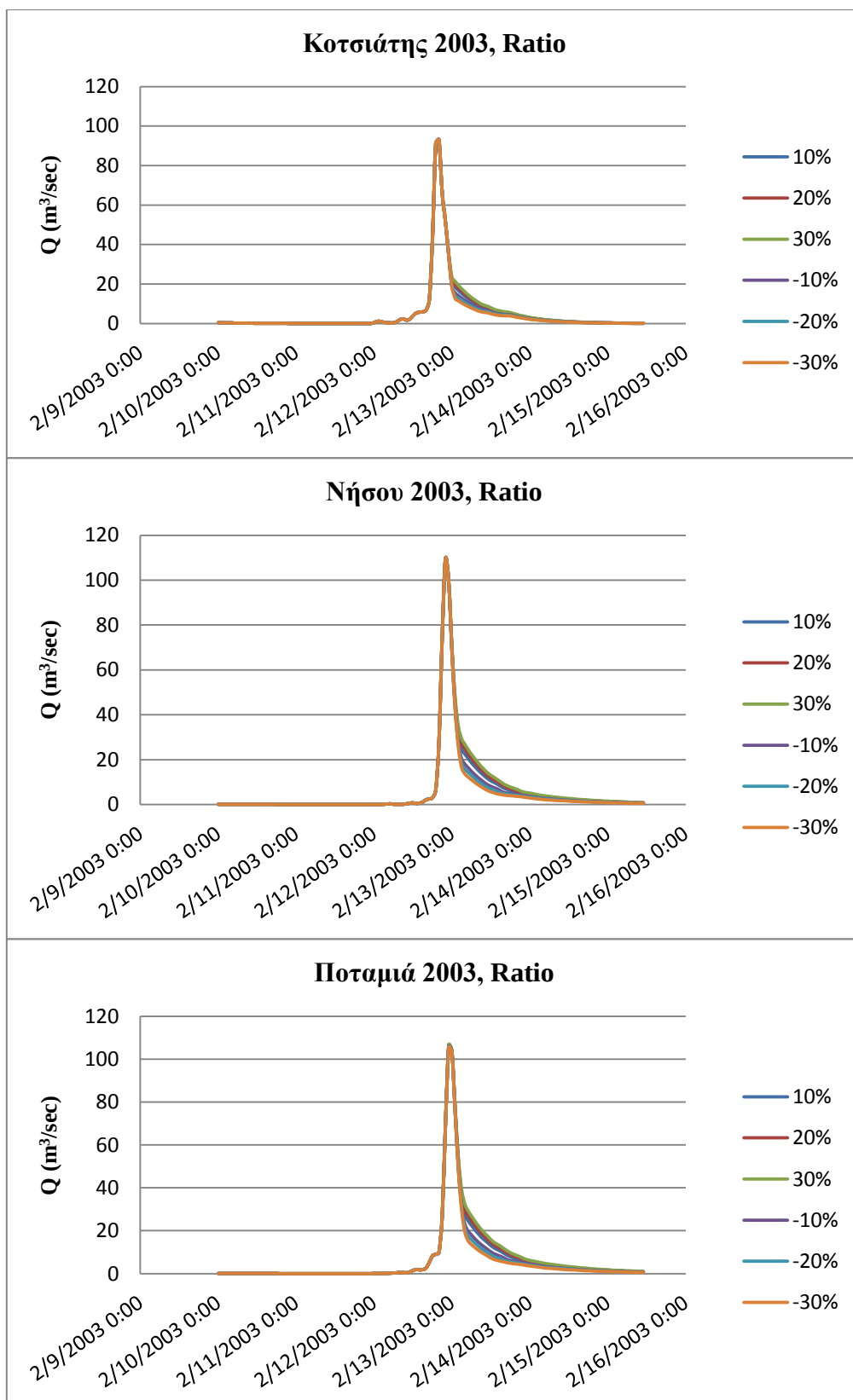
Εικόνα 2. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου constant rate για το γεγονός 1992



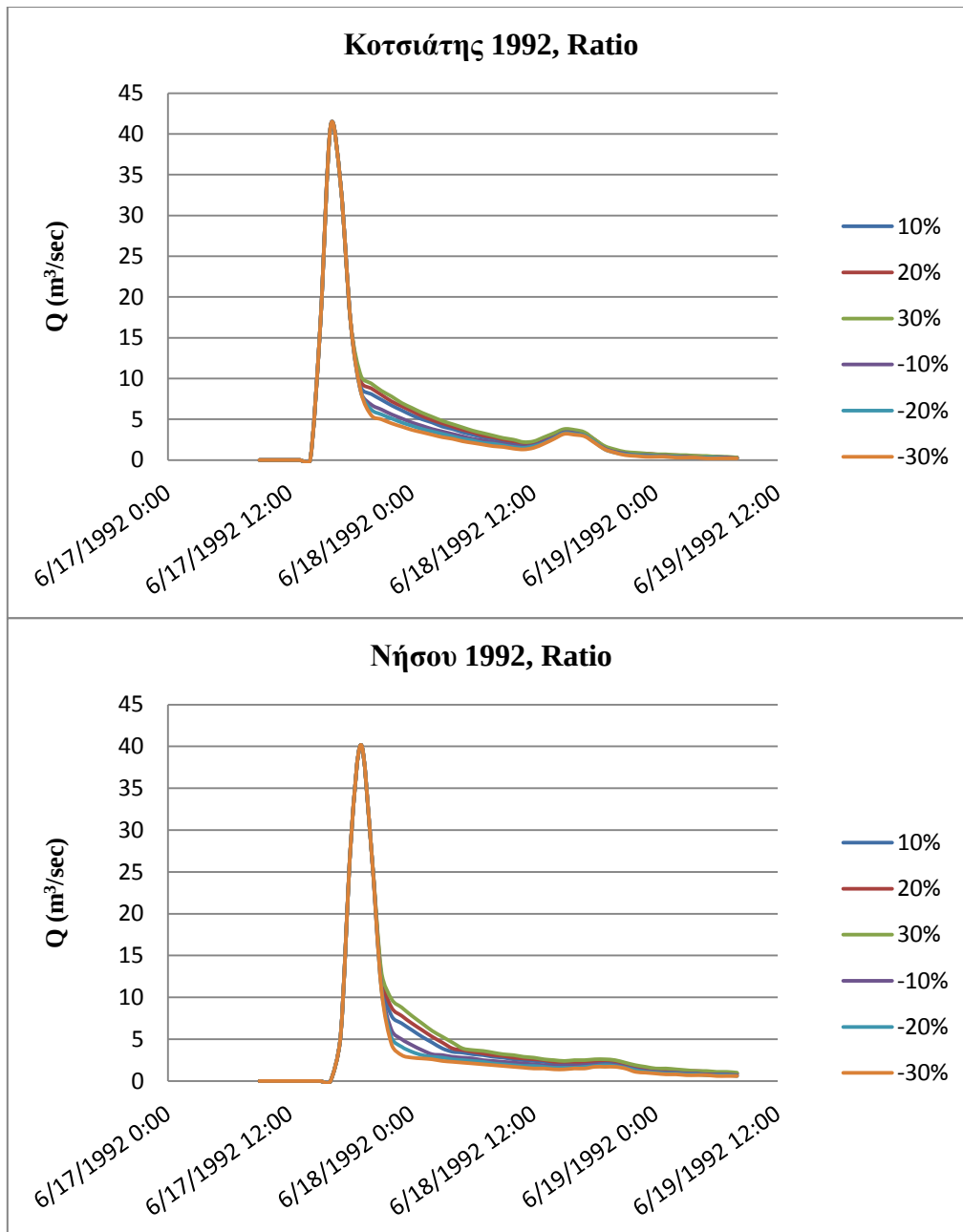
Εικόνα 3. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου recession constant για το γεγονός 2003



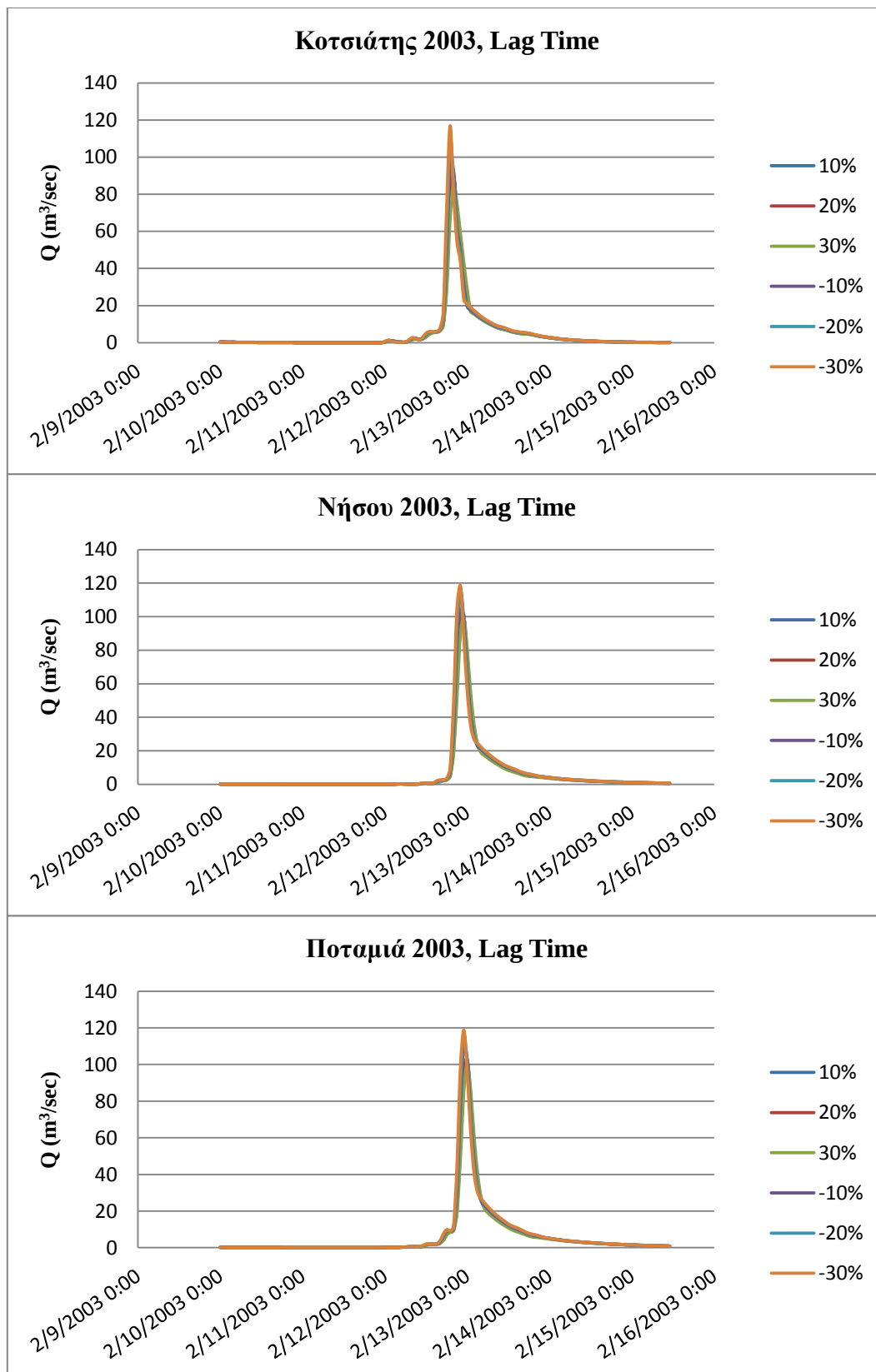
Εικόνα 4. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου recession constant για το γεγονός 1992



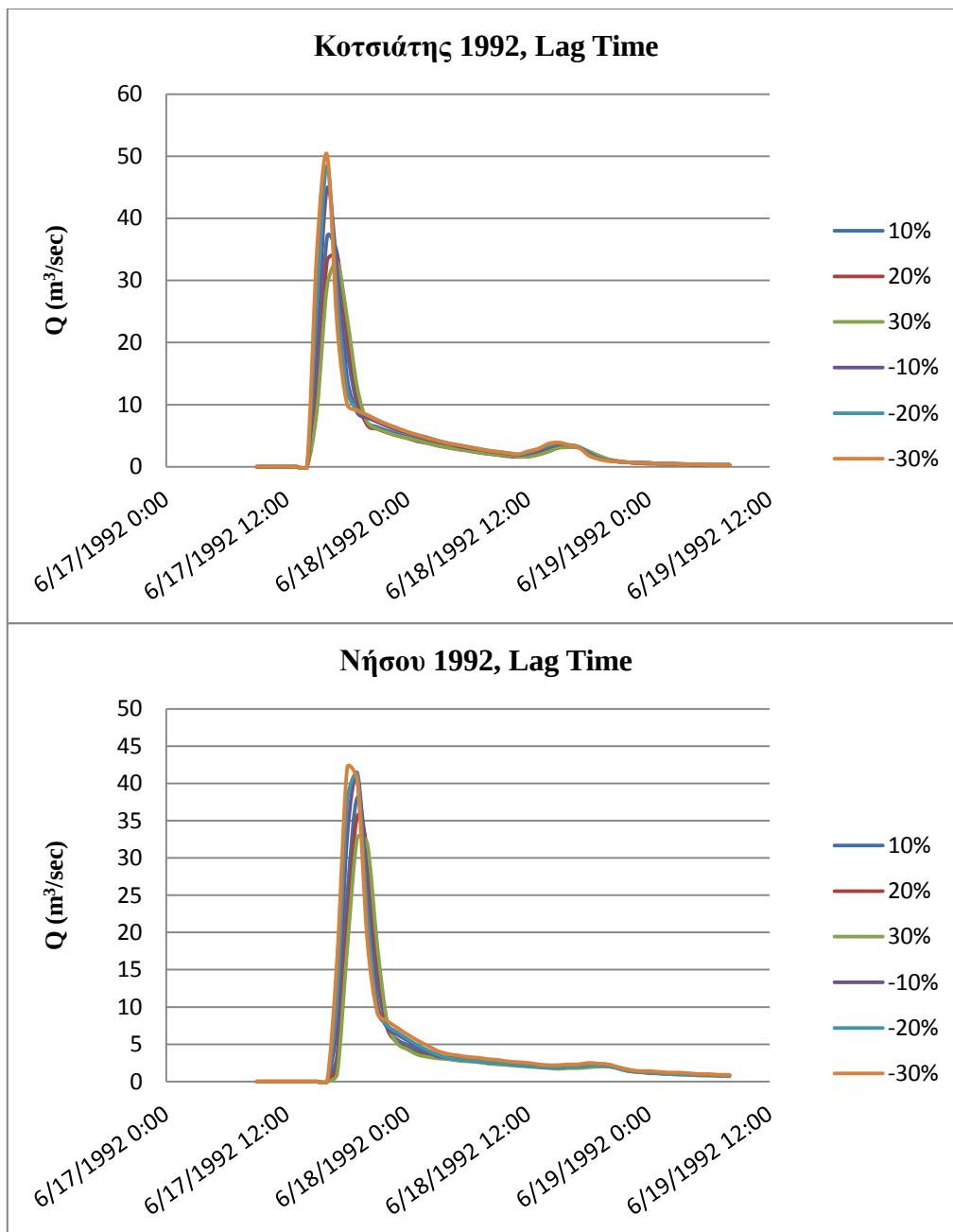
Εικόνα 5. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου ratio για το γεγονός 2003



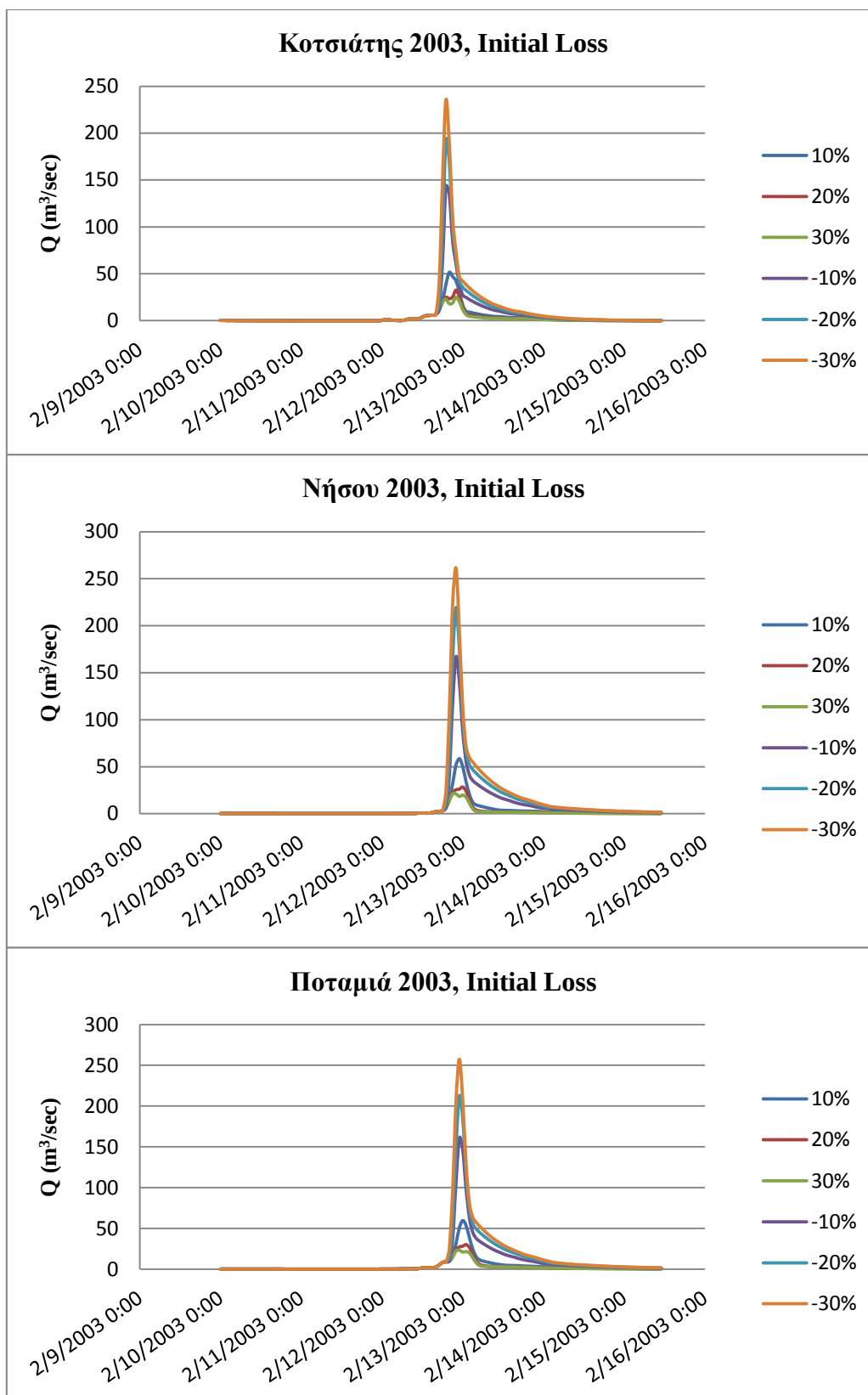
Εικόνα 6. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου ratio για το γεγονός 1992



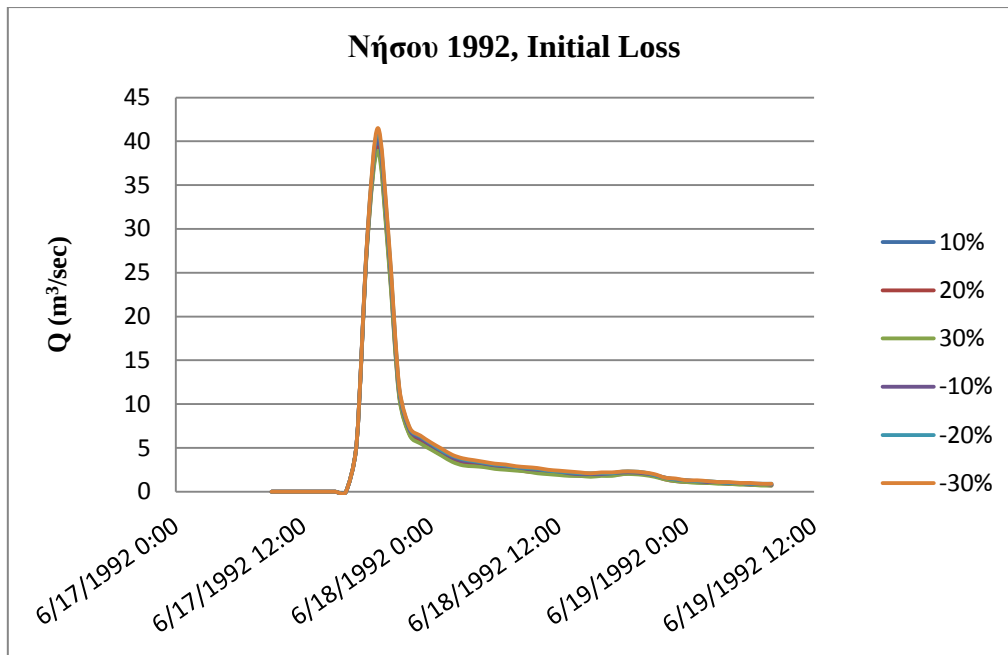
Εικόνα 7. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου lag time για το γεγονός 2003



Εικόνα 8. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου lag time για το γεγονός 1992



Εικόνα 9. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου initial loss για το γεγονός 2003



Εικόνα 10. Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου initial loss για το γεγονός 1992

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας 1. Ποσοστιαίες μεταβολές μέγιστης παροχής και όγκου για το γεγονός 2003

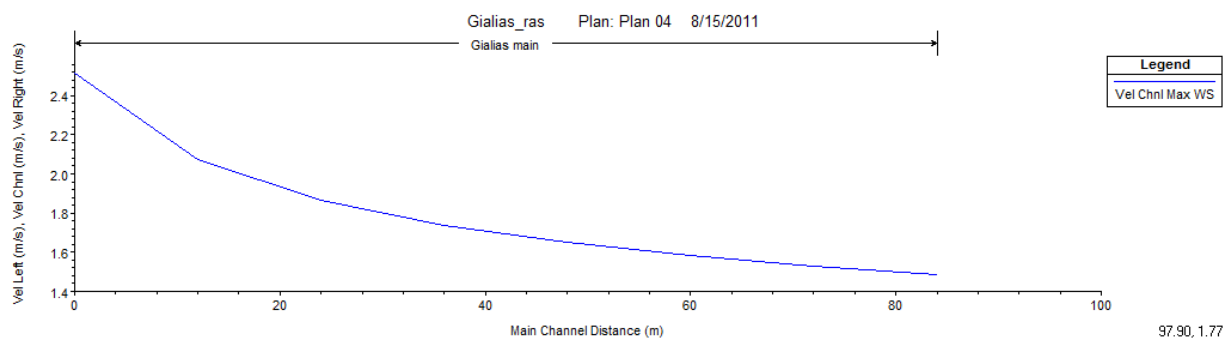
2003					
		Κοτσιάτης		Νήσου	
	Μεταβολή παραμέτρου	% Μεταβολή μέγιστης παροχής	% Μεταβολή όγκου	% Μεταβολή μέγιστης παροχής	% Μεταβολή όγκου
Constant rate 7 mm	10%	44.78	11.66	91.94	13.77
	20%	57.23	20.16	95.80	23.71
	30%	64.93	27.37	97.16	31.63
	-10%	-572.73	-15.79	109.62	-20.25
	-20%	242.31	-45.05	104.59	-60.67
	-30%	156.06	-135.71	102.82	-208.02
Recession constant 0.1	10%	0.00	-2.72	0.00	-6.86
	20%	0.00	-5.67	0.00	-14.97
	30%	0.00	-8.64	0.00	-24.41
	-10%	0.00	2.70	0.00	5.96
	-20%	0.00	5.26	0.00	11.11
	-30%	0.00	7.80	0.00	15.67
Ratio 0.2	10%	0.00	-5.67	0.00	-13.05
	20%	0.00	-11.94	0.00	-30.02
	30%	0.00	-18.83	0.00	-52.79
	-10%	0.00	4.41	0.00	9.51
	-20%	0.00	8.60	0.00	17.06
	-30%	0.00	12.58	0.00	23.51
Lag Time 100 min	10%	13.95	0.75	92.31	3.52
	20%	33.33	2.58	94.74	8.28
	30%	51.32	5.60	95.10	12.66
	-10%	-722.22	-5.32	111.36	-7.46
	-20%	186.05	-12.18	107.04	-15.32
	-30%	145.40	-18.47	105.88	-20.88
Initial Loss 107 mm	10%	84.90	40.41	99.03	52.34
	20%	89.11	50.88	99.39	62.59
	30%	90.19	53.93	99.44	64.40
	-10%	117.41	-280.77	100.88	623.64
	-20%	108.07	316.69	100.46	174.81
	-30%	105.48	185.99	100.33	143.26

Πίνακας 2. Ποσοστιαίες μεταβολές μέγιστης παροχής και όγκου για το γεγονός 1992

1992					
		Κοτσιάτης		Νήσου	
	Μεταβολή παραμέτρου	% Μεταβολή μέγιστης παροχής	% Μεταβολή όγκου	% Μεταβολή μέγιστης παροχής	% Μεταβολή όγκου
Constant rate 7 mm	10%	37.21	-40.93	104.55	-112.50
	20%	54.24	-137.01	102.25	2650.00
	30%	64.00	-660.42	101.48	291.25
	-10%	-145.45	22.34	95.83	35.17
	-20%	678.57	36.74	97.85	52.48
	-30%	230.65	46.64	98.56	62.59
Recession constant 0.1	10%	0.00	3.69	0.00	9.47
	20%	0.00	7.36	0.00	16.85
	30%	0.00	10.54	0.00	23.12
	-10%	0.00	-4.29	0.00	-11.68
	-20%	0.00	-9.28	0.00	-26.45
	-30%	0.00	-14.78	0.00	-47.12
Ratio 0.2	10%	0.00	9.20	0.00	19.90
	20%	0.00	16.86	0.00	33.19
	30%	0.00	23.16	0.00	42.91
	-10%	0.00	-9.61	0.00	-28.57
	-20%	0.00	-22.07	0.00	-77.91
	-30%	0.00	-37.74	0.00	-183.33
Lag Time 100 min	10%	32.50	-9.28	110.53	-14.18
	20%	46.00	-20.46	104.55	-42.99
	30%	49.38	-25.43	102.74	-84.34
	-10%	-92.86	10.54	85.71	11.05
	-20%	-1520.00	17.79	83.33	19.47
	-30%	775.00	20.13	90.48	39.29

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

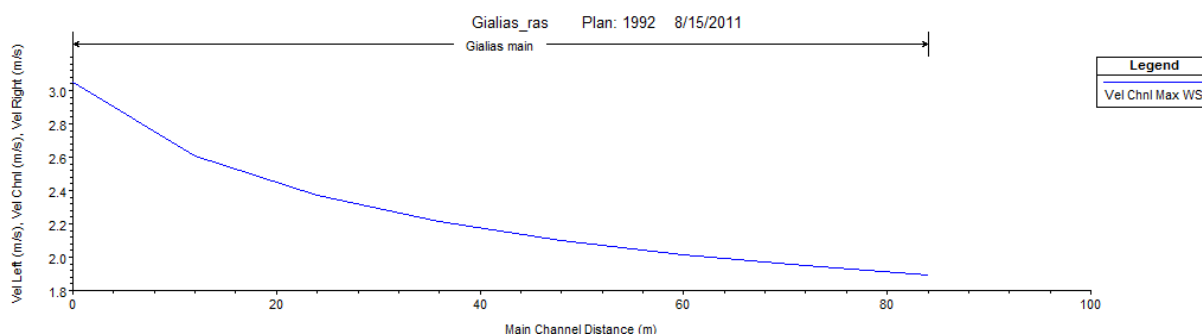
- 1983



Πίνακας 1. Μέγιστες ταχύτητες για το γεγονός 1983

Διατομή	Απόσταση καναλιού (m)	Μέγιστη ταχύτητα (m/sec)
Ανάντη (70)	84	1.48
60	72	1.53
50	60	1.58
40	48	1.65
30	36	1.74
20	24	1.87
10	12	2.07
Κατάντη (1)	0	2.51

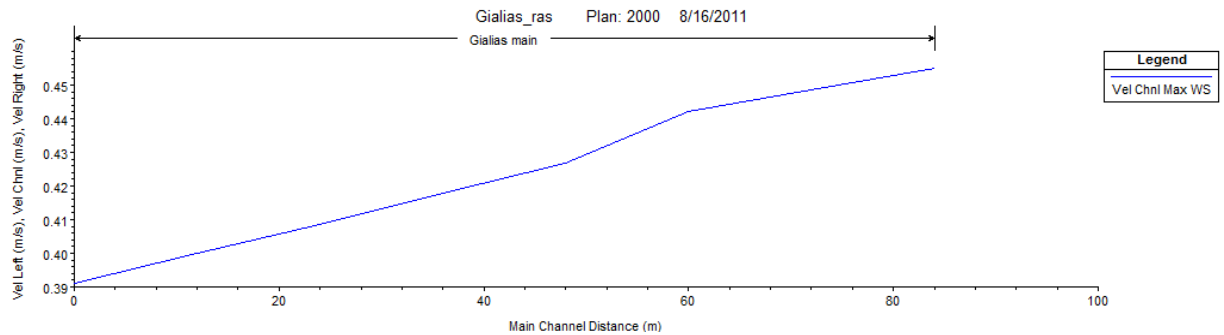
- 1992



Πίνακας 2. Μέγιστες ταχύτητες για το γεγονός 1992

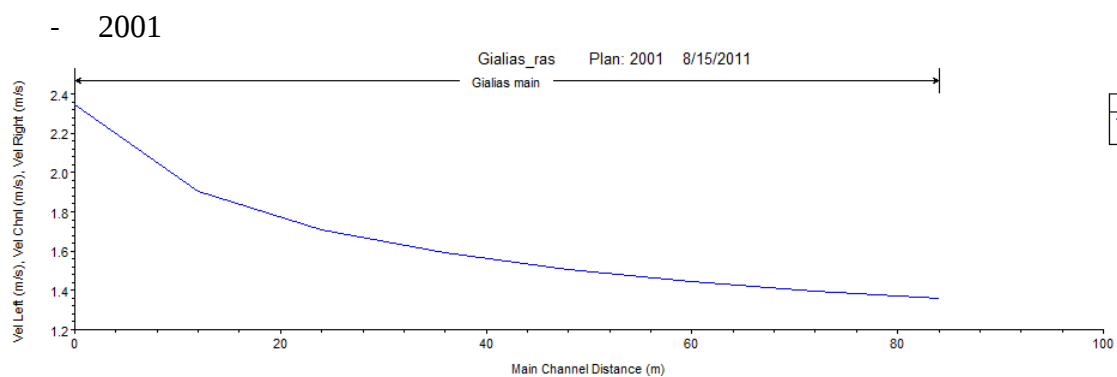
Διατομή	Απόσταση καναλιού (m)	Μέγιστη ταχύτητα (m/sec)
Ανάντη (70)	84	1.89
60	72	1.95
50	60	2.02
40	48	2.10
30	36	2.21
20	24	2.37
10	12	2.61
Κατάντη (1)	0	3.05

- 2000



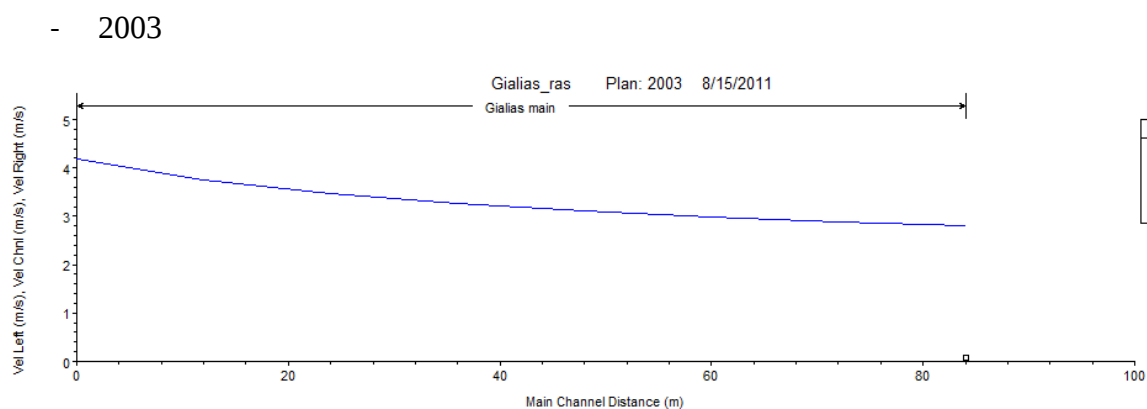
Πίνακας 3. Μέγιστες ταχύτητες για το γεγονός 2000

Διατομή	Απόσταση καναλιού (m)	Μέγιστη ταχύτητα (m/sec)
Ανάντη (70)	84	0.46
60	72	0.45
50	60	0.44
40	48	0.43
30	36	0.42
20	24	0.41
10	12	0.40
Κατάντη (1)	0	0.39



Πίνακας 4. Μέγιστες ταχύτητες για το γεγονός 2001

Διατομή	Απόσταση καναλιού (m)	Μέγιστη ταχύτητα (m/sec)
Ανάντη (70)	84	1.36
60	72	1.40
50	60	1.45
40	48	1.51
30	36	1.59
20	24	1.71
10	12	1.90
Κατάντη (1)	0	2.35



Πίνακας 5. Μέγιστες ταχύτητες για το γεγονός 2003

Διατομή	Απόσταση καναλιού (m)	Μέγιστη ταχύτητα (m/sec)
Ανάντη (70)	84	2.81
60	72	2.89
50	60	2.99
40	48	3.12
30	36	3.27
20	24	3.47
10	12	3.74
Κατάντη (1)	0	4.18