



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### «Εκτίμηση Πλημμυρικών Μεγεθών στην Υδρολογική Λεκάνη του Ερασίνου»



Εκπόνηση: Δημήτριος Κασιμάτης

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Τσακίρης

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2011



## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των σπουδών μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την πολύτιμη βοήθεια του επιβλέποντος καθηγητή μου κ. Γεώργιου Τσακίρη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την υπόδειξη του θέματος, καθώς επίσης και για την πολύτιμη καθοδήγησή του και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου, προκειμένου να την φέρω σε πέρας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Μπέλλο για την πολύτιμη βοήθειά του που προσέφερε μέσω των γνώσεων και των συμβουλών του πάνω στο λογισμικό προγράμματα του HEC-HMS και στις υδρολογικές έννοιες, δίνοντας μου τη δυνατότητα κατανόησης και αφομοίωσής τους αλλά και για την υπομονή, τη διάθεση που επέδειξε καθώς και το χρόνο που αφιέρωσε. Για την βοήθεια στη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κα. Αιμιλία Πιστρίκα καθώς και για τις συμβουλές της σχετικά με τον τρόπο εργασίας που ακολούθησα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για την ηθική συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την απεριόριστη στήριξη και υπομονή που έδειξαν όλο αυτόν τον καιρό στον πενταετή κύκλο σπουδών μου, που κλείνει αισίως με την παρουσίαση της παρούσας εργασίας.

## Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος .....	3
Πίνακας περιεχομένων .....	4
Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	10
Εισαγωγή .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	12
Νομοθετικό πλαίσιο.....	12
2.1 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK .....	12
2.2 Βασικά στάδια εφαρμογής της οδηγίας.....	13
2.3 Αρχές στις οποίες στηρίζεται η Οδηγία .....	14
2.4 Οι έννοιες Hazard, Risk Vulnerability .....	15
2.4.1 Εκτίμηση κινδύνου (hazard) .....	15
2.4.2 Τρωτότητα (vulnerability).....	15
2.4.3 Διακινδύνευση (risk) .....	15
2.4.4 Κίνδυνος πλημμύρας και πλημμυρική διακινδύνευση .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	17
Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής.....	17
3.1 Γεωγραφική Θέση .....	17
3.2 Ιστορικά στοιχεία (6.000 πΧ-19 <sup>ος</sup> αιώνας).....	21
3.3 Η περιοχή της Βραυρώνας.....	22
3.3.1 Ο αρχαιολογικός χώρος της Βραυρώνας.....	22
3.3.2 Υδροβιότοπος Βραυρώνας και Natura 2000.....	23
3.4 Οικονομία.....	23
3.5 Γεωμορφολογία- Υδρογραφικό δίκτυο.....	29
3.6 Κλίμα- Μετεωρολογικά στοιχεία .....	31
3.7 Αντιπλημμυρική προστασία.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	33
Μέθοδοι υπολογισμού πλημμυρικών παροχών .....	33
4.1 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού.....	34
4.2 Περίσσειμα βροχόπτωσης.....	35
4.3 Υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος .....	39
4.4 Μοναδιαίο υδρογράφημα.....	40
4.5 Θεωρητικό υπόβαθρο του HEC-HMS .....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	45
Το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS .....	45
5.1 Γενικά .....	45
5.2 Το πεδίο εφαρμογής .....	47
5.3 Ικανότητες .....	47
5.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά υδροκρίτη .....	47
5.3.2 Μετεωρολογική περιγραφή .....	50
5.3.3 Υδρολογική προσομοίωση .....	51
5.3.4 Εκτίμηση παραμέτρων .....	52
5.3.5 Αναλύοντας προσομοιώσεις .....	52
5.3.6 Σύνδεση με GIS .....	53
5.4 Περιορισμοί .....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	55
Ανάλυση βροχομετρικών παρατηρήσεων .....	55
6.1 Εκτίμηση Όμβριων Καμπυλών περιοχής Ερασίνου .....	56
6.2 Όμβριες Καμπύλες τύπου $i = k t^{0.60}$ .....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	62
Υδραυλική προσομοίωση .....	62
7.1 Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών λεκάνης .....	62
7.2 Μέθοδοι απωλειών .....	65
7.3 Υπολογισμός του CN και στεγανότητας .....	66
7.4 Εκτίμηση παραμέτρων φυτοκάλυψης (Canopy) .....	69
7.5 Μέθοδος Μετατροπής (Transform) .....	70
7.7 Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic model) .....	73
7.8 Πραγματοποίηση προσομοίωσης .....	75
7.8.1 Προσομοίωση λεκάνης Ερασίνου ανάντη .....	75
7.8.2 Προσομοίωση λεκάνης Αγίου Γεωργίου .....	79
7.9 Σχόλια .....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 .....	83
Ανάλυση Ευαισθησίας .....	83
8.1 Μεθοδολογία της ανάλυσης ευαισθησίας .....	85
8.2 Προσομοίωση με αύξηση του αριθμού CN .....	85
8.3 Προσομοίωση με μείωση του αριθμού CN .....	94
8.4 Σχόλια .....	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 .....	104

Συμπεράσματα- Προτάσεις.....	104
9.1 Σύνοψη.....	104
9.2 Συμπεράσματα .....	105
9.2.1 Συμπεράσματα για τις χρήσεις γης της περιοχής.....	105
9.2.2 Συμπεράσματα από την ανάλυση ευαισθησίας των δύο λεκανών.....	105
9.3 Προτάσεις-μέτρα προστασίας .....	106
Βιβλιογραφία .....	109
Διαδικτυακές Πηγές .....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	111
Πίνακες Δεδομένων .....	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ .....	123
Πίνακες Αποτελεσμάτων .....	123

## Περίληψη

Η κατασκευή του διεθνή αεροδρομίου Αθηνών, της Αττικής Οδού και των Ολυμπιακών εγκαταστάσεων στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής και των Μεσογείων είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία οικιστική ανάπτυξη στην περιοχή. Ωστόσο, οι παρεμβάσεις που έγιναν τόσο με την κατασκευή αυτών των έργων όσο και με την ανοικοδόμηση που ακολούθησε διατάραξαν την ροή των χειμάρρων και αύξησαν την διακινδύνευση πλημμύρας. Ειδικότερα ο Ερασίνοσ στον οποίο γίνεται η μελέτη αυτής της διπλωματικής είναι ο αποδέκτης των νερών της Αττικής Οδού και του αεροδρομίου γεγονός που καθιστά αναγκαία την μελέτη της υδρολογικής του συμπεριφοράς κάτω από τις διαμορφωμένες συνθήκες. Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, σκοπός της εργασίας αυτής ήταν εκτίμηση των πλημμυρικών μεγεθών και η ανάλυση ευαισθησίας τους για την λεκάνη του συγκεκριμένου ποταμού.

Η λεκάνη απορροής του Ερασίνοσ βρίσκεται στην περιοχή των Μεσογείων δίπλα στο διεθνές αεροδρόμιο Αθηνών "Ελ.Βενιζέλος" και εκτείνεται σε μία έκταση 208 km<sup>2</sup> περίπου διατρέχοντας πολλούς από τους δήμους της περιοχής. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας η λεκάνη αυτή χωρίστηκε σε δύο επιμέρους υπολεκάνες αυτές του Ερασίνοσ ανάντη και του Αγίου Γεωργίου.

Αρχικά μελετήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα από τον βροχογράφο του Μαρκόπουλου. Από την στατιστική επεξεργασία που εκτελέστηκε έγινε η κατασκευή όμβριων καμπυλών για διάφορες περιόδους επαναφοράς, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στον υδρολογικό σχεδιασμό για έργα προστασίας των υδατικών πόρων.

Στην συνέχεια έγινε ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δύο υπολεκάνων που μελετήθηκαν με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCad 2009 και χάρτη της περιοχής σε κλίμακα 1:500.000. Επίσης, έγινε ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης με βάση εμπειρικές εξισώσεις (πχ. εξίσωση του Giandotti), που χρησιμοποιούνται για φυσικές λεκάνες όπως αυτή του Ερασίνοσ, και με βάση αυτόν υπολογίστηκε ο χρόνος υστέρησης των λεκανών.

Ακολούθησε ο υπολογισμός του αριθμού καμπύλης CN των δύο υπολεκάνων και η επιλογή των μεθόδων για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης πλημμύρας. Έτσι, για τις απώλειες βροχής επιλέχθηκε η μέθοδος SCS, για την μέθοδο μετατροπής το μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS και για την βασική ροή η μέθοδος της υποχώρησης. Οι παράμετροι αυτών των μεθόδων έγιναν με βάση τα χαρακτηριστικά της κάθε υπολεκάνης αλλά και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που υπολογίστηκαν νωρίτερα. Η προσομοίωση έγινε με την εφαρμογή του υδρολογικού προγράμματος HEC-HMS, το οποίο έδωσε τα εκτιμώμενα μεγέθη πλημμύρας όπως την παροχή αιχμής, τον όγκο της πλημμύρας και τα υδρογραφήματα σχεδιασμού.

Στην συνέχεια έγινε ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων των δύο υπολεκάνων σε σχέση με τον αριθμό καμπύλης CN. Μελετήθηκε δηλαδή ποια θα είναι η μεταβολή στα πλημμυρικά μεγέθη των δύο λεκανών αν μεταβληθεί η υδρολογική τους απόκριση. Η ανάλυση ευαισθησίας έγινε και πάλι στο HEC-HMS το οποίο έδωσε τα νέα πλημμυρικά μεγέθη που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση.

Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα αλλά και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την

υπολογισμό των πλημμυρικών μεγεθών. Με βάση τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν προτείνονται μια σειρά από μέτρα τα οποία θα συμβάλλουν στην πρόληψη πλημμυρών καθώς και την μείωση της διακινδύνευσής πλημμύρας στην περιοχή.



## Abstract

The construction of the international airport of Athens, Attiki Odos and the Olympic facilities in the Eastern Attica and Mesogeia led to a rapid residential development in the region. However, the contributions made to both the construction of these projects and the reconstruction that followed disrupted the flow of streams and increased the risk of floods. In particular, Erasinós which is the study of this thesis is the recipient of the waters of the Attiki Odos and the airport which makes it necessary to study the hydrologic behavior. On this basis, the purpose of this study was to estimate the flood values and the sensitivity analysis of these values for Erasinós basin.

The basin of Erasinós is located in Mesogeia near the Athens airport and extending over an area of 208 km<sup>2</sup> around incurs many of municipalities in the region. In this project, area is split into two subbasins Erasinós upstream and St. George.

Firstly rainfall data from Markopoulo station was studied. The construction of storm curves for different return periods was the result from this statistical analysis. These curves are particularly useful in hydrological planning of projects for protection of water resources.

Next step was the calculation of geometrical characteristics of two sub-basins with AutoCad 2009 software and a map of the region on a scale 1:500.000. Furthermore, we calculated time of concentration with empirical equations like Giandotti equation, which are used for natural areas such as Erasinós, and based on that estimated time, lag time of the river was calculated.

Then was the calculation of the curve number CN of both sub-basins and the choice of methods that would simulate the flood. Thus, the loss method that was chosen was SCS method, the method of transformation SCS unit hydrograph and the baseflow method, the method of recession. The parameters of these methods were based on the characteristics of each sub-basin and the geometrical characteristics calculated earlier. The simulation was done with the application of hydrologic program HEC-HMS, which gave the estimated size as the provision of flood peak, the volume of flood and design hydrographs.

Then we analyzed the sensitivity of flood values for the two sub-basins based on curve number. The change in flood magnitudes of the two basins was studied, based on the change in the hydrologic soil type. The sensitivity analysis was done again in HEC-HMS which gave new flood sizes obtained in each case.

Finally, conclusions are drawn from the results obtained from the program and the difficulties encountered in the calculation of flood sizes. Based on the findings reported proposed a series of measures which will help prevent flooding and reduce flood risk in the region.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

#### Γενικά

Από τη δεκαετία του '90 η γνώση και η μελέτη που αφορά τους κινδύνους από φυσικές καταστροφές έχει αναπτυχθεί ραγδαία, χωρίς ωστόσο αυτό να συνεπάγεται και ραγδαία ανάπτυξη της ικανότητά του ανθρώπου να μειώσει τις επιπτώσεις αυτών των φυσικών καταστροφών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο αριθμός των θανάτων και των ζημιών από μεγάλες καταστροφές να συνεχίζει να αυξάνεται.

Τα τελευταία χρόνια είναι φανερό, ότι υπάρχει η συνειδητοποίηση πως οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι όχι μόνο υπάρχουν παράλληλα με τις αλλαγές σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά είναι αναπόσπαστο κομμάτι αυτών των αλλαγών. Πράγματι, πολλές από τις τάσεις που παρατηρούνται σήμερα όπως είναι η εξάντληση των διαθέσιμων πόρων, η παγκοσμιοποίηση και η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση των καταστροφών που έχουν αντίκτυπο στους ανθρώπους και στο περιβάλλον σε διεθνές επίπεδο. Όλοι είναι αποδέκτες των φυσικών κινδύνων ασχέτως με το βαθμό της οικονομικής η οποιασδήποτε άλλης ανάπτυξης έχουν επιτύχει.

Παράλληλα, συνειδητοποιώντας την αδυναμία αντίδρασης σε μια φυσική καταστροφή, υπήρξε μια στροφή προς την προληπτική συμπεριφορά απέναντι σε πιθανά προβλήματα. Η επιστημονική έρευνα απέδειξε ότι το κόστος προληπτικής δράσης σε θέματα φυσικών καταστροφών, είναι πολύ μικρότερο του κόστους αντίδρασης μετά την εμφάνιση του προβλήματος.

Στην προσπάθειά της η Ε.Ε να αντιμετωπίσει το αυξανόμενο πρόβλημα των πλημμυρών τα τελευταία χρόνια, δείχνει να στρέφεται προς την υιοθέτηση αυτής της νοοτροπίας εφαρμόζοντας προληπτική δράση. Προς αυτήν την κατεύθυνση κινείται το κείμενο της Οδηγίας 2007/60 που έχει εκδοθεί ειδικά για την περίπτωση

πρόληψης των πλημμυρών. Σε αυτό υπάρχουν αρκετές επισημάνσεις πάνω στην αλλαγή τακτικής από μετριασμό των επιπτώσεων συμβάντων πλημμύρας (συμβολή της Οδηγίας 2000/60 της Ε.Ε) στη μείωση της διακινδύνευσης πλημμύρας.

Ένας ακόμη άξονας που κινείται η οδηγία είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Με αφορμή λοιπόν αυτή την κατεύθυνση η παρούσα εργασία επιχειρεί να μελετήσει τα πλημμυρικά μεγέθη της υδρολογικής λεκάνης του Ερασίνου και πως αυτά επηρεάζονται από την μεταβολή ορισμένων χαρακτηριστικών της λεκάνης αυξάνοντας ή όχι την διακινδύνευση της πλημμύρας στην περιοχή.

## **Σκοπός της εργασίας**

Στόχος της εργασίας είναι να εκτιμηθούν τα πλημμυρικά μεγέθη της υδρολογικής λεκάνης του Ερασίνου μέσω της δημιουργίας του κατάλληλου μοντέλου που την αντιπροσωπεύει και της προσομοίωσης του. Επίσης, θα γίνει ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων με βάση τον αριθμό καμπύλης CN. Τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και θα συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης.

## **Δομή της εργασίας**

Το κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας όπου παρουσιάζεται ο προβληματισμός που προκάλεσε την εκπόνησή της αλλά και τον βασικό στόχο της. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται το Νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τις πλημμύρες και ειδικότερα η Οδηγία 2007/60/ΕΚ με τα βασικά της σημεία αλλά και τις αρχές στις οποίες στηρίζεται. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της περιοχής μελέτης του Ερασίνου. Προσδιορίζεται η γεωγραφική της θέση, τα υδρολογικά και κλιματικά της χαρακτηριστικά αλλά και άλλα χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με αυτήν όπως η οικονομία της. Στο επόμενο κεφάλαιο το 4<sup>ο</sup> γίνεται η αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο των υπολογισμών των πλημμυρικών παροχών. Δίνονται επίσης και κάποιοι απαραίτητοι ορισμοί.

Το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στο υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων. Αναλύονται οι μέθοδοι που υποστηρίζει το πρόγραμμα, οι δυνατότητες του και ο τρόπος λειτουργίας του. Στο κεφάλαιο 6 γίνεται επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων της περιοχής και από αυτήν κατασκευάζονται όμβριες καμπύλες. Το κεφάλαιο 7 είναι αυτό στο οποίο γίνεται η εκτίμηση των παραμέτρων της λεκάνης και στην συνέχεια γίνεται η προσομοίωση με τα αποτελέσματα των πλημμυρικών μεγεθών. Στο επόμενο κεφάλαιο το 8 γίνεται ανάλυση ευαισθησίας με βάση τον αριθμό καμπύλης CN δηλαδή μελετάται ποια είναι η διαφοροποίηση των πλημμυρικών μεγεθών αν μεταβληθεί το CN. Τέλος στο κεφάλαιο 9 δίνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν των όσων μελετήθηκαν από την εργασία αυτή και στην συνέχεια παρατίθενται προτάσεις για την προστασία από τις πλημμύρες στην περιοχή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Νομοθετικό πλαίσιο

#### 2.1 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ

*Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και διαχείριση της διακινδύνευσης πλημμύρας.*

Η Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις πλημμύρες (Οδηγία 2007/60) μπήκε σε εφαρμογή το Νοέμβριο του 2007. Η Οδηγία είναι μια πρωτοβουλία έπειτα από τις πλημμύρες στο Δούναβη και τον Έλβα 1998-2002 που είχαν καταστροφικές συνέπειες τόσο σε ανθρώπινες απώλειες (700 νεκροί και μισό εκατομμύριο άστεγοι) όσο και σε οικονομικές ζημιές (25 δις ευρώ). Αποτελεί συμπλήρωμα της Οδηγίας πλαισίου 2000/60 και έχει στόχο τη μείωση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Οδηγία αναφέρεται σε όλα τα είδη πλημμύρων (ποταμών, λιμνών, απότομων πλημμύρων, αστικών και παράκτιων πλημμύρων).

Η οδηγία 2007/60 έχει ως στόχο να θεσπίσει ένα πλαίσιο για την αξιολόγηση και διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έτσι ώστε να μειωθούν οι αρνητικές συνέπειες από τις πλημμύρες. Η οδηγία αυτή αποτελεί ουσιαστικά συμπλήρωμα της οδηγίας 2000/60 και για αυτό στηρίζεται σε ορισμούς και μεθοδολογίες που περιλαμβάνονται σε αυτήν.

Προβλέπει μία προκαταρκτική αξιολόγηση των περιοχών που εμφανίζουν υψηλή διακινδύνευση πλημμύρας. Αυτό γίνεται μέσω μίας λεπτομερής χαρτογραφικής απεικόνισης των περιοχών που κινδυνεύουν

χρησιμοποιώντας ψηφιακά υπόβαθρα και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Ταυτόχρονα καταγράφονται οι οικονομικές δραστηριότητες, ο πληθυσμός των περιοχών και οι χρήσεις γης ώστε υπάρχει εικόνα για τις πιθανές ζημιές σε περίπτωση πλημμύρας.

Σύμφωνα με την 2007/60/EK απαιτείται ακόμα η κατάρτιση χαρτών τρωτότητας που να περιγράφουν τις αρνητικές συνέπειες από πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας, μέσης πιθανότητας (περίοδος επαναφοράς  $\geq 100$  έτη) και υψηλής πιθανότητας. Τα κράτη μέλη έχουν την ευθύνη να θέσουν τους στόχους για την διαμόρφωση σχεδίων διαχείρισης της διακινδύνευσης ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η μείωση των πιθανών αρνητικών συνεπειών από τις πλημμύρες στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την οικονομική δραστηριότητα. Η διαχείριση της διακινδύνευσης γίνεται με έργα και μέτρα που αφορούν την λεκάνη απορροής και αποσκοπούν στην μείωση της παροχής και στις όσο γίνεται μικρότερες απώλειες και ζημιές.

Η οδηγία έχει ως βασικό στόχο της την πρόληψη των πλημμυρών. Επομένως εκτός από τα μέτρα προστασίας έμφαση δίνεται και στα συστήματα πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Ιδιαίτερη επίσης σημασία σύμφωνα με την οδηγία έχει η διαμόρφωση ενός ενιαίου σχεδίου διαχείρισης πλημμυρικής διακινδύνευσης σε διασυνοριακές λεκάνες. Προτείνεται ακόμα ένας τρόπος διαμεσολάβησης στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η συμφωνία μεταξύ κρατών.

## 2.2 Βασικά στάδια εφαρμογής της οδηγίας

Η οδηγία περιλαμβάνει τα εξής τρία βασικά στάδια εφαρμογής,:

1. Προκαταρκτικό στάδιο εκτίμησης των περιοχών που κινδυνεύουν. Τα κράτη μέλη θα πρέπει μέχρι τον Δεκέμβριο του 2011 να έχουν ολοκληρώσει την διαδικασία προσδιορισμού των περιοχών που υπάρχει ή πρόκειται να υπάρξει διακινδύνευση πλημμύρας.
2. Δημιουργία χαρτών κινδύνου και χαρτών διακινδύνευσης. Μέχρι το τέλος του 2013 τα κράτη μέλη θα πρέπει να κατασκευάσουν χάρτες κινδύνου και διακινδύνευσης στους οποίους θα φαίνονται τα πιθανά βάθη νερού σε γεγονότα τουλάχιστον ανά 100 έτη.
3. Δημιουργία σχεδίων διαχείρισης της διακινδύνευσης με βάση τους άξονες της πρόληψης και της προετοιμασίας μέχρι το 2015.

Τα βήματα αυτά πρέπει να επαναλαμβάνονται κάθε 6 έτη, συγχρονισμένα με τα βήματα της Οδηγίας 2000/60 με αρχή το έτος 2009. Το αμέσως επόμενο έτος έγινε ο ορισμός των Αρχών που θα υλοποιήσουν την Οδηγία (Τσακίρης Γ., 2009).

## 2.3 Αρχές στις οποίες στηρίζεται η Οδηγία

Η Ευρωπαϊκή επιτροπή στο κείμενό της για τις πλημμύρες υιοθετεί τις εξής βασικές αρχές που τις ονομάζει Αρχές Διαχείρισης Διακινδύνευσης πλημμύρας:

1. *Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης*: Ανάπτυξη σχεδίων για την μείωση των αρνητικών συνεπειών των πλημμυρών που να βασίζεται σε επίπεδο λεκάνης αντιμετωπίζοντας έτσι συνολικά το σύστημα του ποταμού , από την πηγή στην εκβολή.
2. *Αρχή της πρόληψης (Prevention principle)*: Σύμφωνα με την αρχή αυτή λαμβάνονται δράσεις για την προστασία του περιβάλλοντος σε πρώιμο στάδιο. Δηλαδή, πριν δημιουργηθούν περιβαλλοντικές ζημίες λαμβάνονται μέτρα για την αποτροπή τους.
3. *Η Αρχή της αλληλεγγύης (solidarity principle)*: Τα κράτη μέλη θα πρέπει να επιδιώκουν τον δίκαιο επιμερισμό των αρμοδιοτήτων και να λαμβάνουν υπόψιν το συμφέρον και των υπολοίπων μελών λαμβάνοντας μέτρα προς όφελος όλων.
4. *Η Αρχή της βιώσιμης ανάπτυξης (Sustainability principle)*: Στο πλαίσιο της διαχείρισης πλημμυρών οι αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης συμπεριλαμβάνουν τόσο την ασφάλεια μεταξύ διαφορετικών πληθυσμιακών ομάδων όσο και τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων και των λειτουργιών του πεδίου πλημμύρας.
5. *Η αρχή της Δημόσιας Συμμετοχής (Public participation principle)*: Ενεργή συμμετοχή του κοινού στην ανάπτυξη και την εφαρμογή των στρατηγικών και σχεδίων διαχείρισης διακινδύνευσης πλημμύρας.
6. *Αρχή της Αναλογικότητας - (Proportionality principle)*: Σύμφωνα με την αρχή αυτή η έκταση της εκάστοτε δράσης και η αντίστοιχη επένδυση προσπαθειών και πόρων θα πρέπει να αντιστοιχεί στον επιδιωκόμενο στόχο. Για παράδειγμα, για ένα μέτρο που έχει ως στόχο την καταστολή της ρύπανσης κατά 2% δεν είναι λογικό να επενδυθεί το 50% του προϋπολογισμού. Η αρχή της αναλογικότητας βασίζεται σε λογικές και ηθικές αρχές. (<http://www.mio-ecsdde.org/epeaek09/dictionary.html>)
7. *Αρχή της επικουρικότητας (Subsidiarity principle)*: Σε περιπτώσεις διεθνών λεκανών απορροής ποταμού για την κατανομή της χρήσης των νερών απαιτείται η συναπόφαση των κυβερνήσεων όλων των χωρών στις οποίες βρίσκεται η λεκάνη απορροής του ποταμού. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να εμπλέκονται επίσης οι επιμέρους περιφέρειες που βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να υπάρχει ένα κεντρικό διαχειριστικό σχέδιο που να πηγάζει από την κοινοτική-εθνική νομοθεσία και στη συνέχεια να εκπονούνται μικρότερα διαχειριστικά σχέδια για κάθε λεκάνη απορροής προσαρμοσμένα στις ανάγκες των επιμέρους περιοχών στα οποία τον κύριο λόγο θα έχουν, λόγω εμπειρίας οι περιφερειακές αρχές.

## 2.4 Οι έννοιες Hazard, Risk Vulnerability

Από την βιβλιογραφική έρευνα που έγινε, εντοπίστηκε το πρόβλημα της διαφορετικής χρήσης των εννοιών που υπάρχουν στην Οδηγία. Κατά την μετάφραση της οδηγίας στα ελληνικά δεν έγινε η σωστή απόδοση ορισμένων εννοιών με αποτέλεσμα να δίνεται διαφορετική ερμηνεία κάθε φορά στη μεταφρασμένη λέξη. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει ασάφεια μεταξύ των όρων *hazard* και *risk* ακόμα και στα αγγλικά λεξικά. Η ασάφεια αυτή μεταφέρεται αντίστοιχα στις έννοιες κίνδυνος και επικινδυνότητα (ή ίσως διακινδύνευση) που χρησιμοποιήθηκαν για να μεταφράσουν τις λέξεις αυτές.

Σύμφωνα λοιπόν με τη προτεινόμενη ορολογία που έγινε από τον Καθηγητή Γ. Τσακίρη στην εργασία του "Συστημική Προσέγγιση στην Ανάλυση των Φυσικών Κινδύνων και των Φυσικών Καταστροφών" στην παρούσα διπλωματική θα χρησιμοποιηθούν οι συγκεκριμένοι όροι ως εξής:

### 2.4.1 Εκτίμηση κινδύνου (hazard)

Ως κίνδυνος ορίζεται κάθε πηγή ή κατάσταση που μπορεί να προκαλέσει δυνητικά βλάβη ή καταστροφή. Η ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου μπορεί να γίνει είτε με βάση την πιθανότητα εκδήλωσης είτε με βάση το διακύβευμα είτε και με τα δύο.

Στις πλημμύρες που αφορούν ορεινές περιοχές η εκτίμηση κινδύνου γίνεται με βάση το υδρογράφημα εισροής στην παράκτια ζώνη με παράλληλη εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης. Αντίθετα, σε περιπτώσεις θραύσης φράγματος δεν ισχύει η εκτίμηση πιθανότητας εκδήλωσης.

### 2.4.2 Τρωτότητα (vulnerability)

Ο όρος τρωτότητα αναφέρεται στο πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα στον φυσικό κίνδυνο. Μαθηματικά μπορεί να περιγραφεί μεταξύ 0 και 1 στην οποία λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως η κατάσταση του συστήματος, το μέγεθος του φαινομένου, ο κοινωνικός παράγοντας και η αλληλεξάρτηση παραγόντων του συστήματος. Η έκθεση(*exposure*) είναι ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να περιορίσει ή να επιδεινώσει τις επιπτώσεις από την πλημμύρα.

### 2.4.3 Διακινδύνευση (risk)

Ως διακινδύνευση ορίζεται ο πραγματικός κίνδυνος από τις πλημμύρες σε σχέση με τις ανθρώπινες ζωές, περιουσίες, υποδομές, περιβάλλον και οικονομικές δραστηριότητες. Η αναφορά στην διακινδύνευση μπορεί να γίνεται με ή χωρίς χρονικό όριο.

#### 2.4.4 Κίνδυνος πλημμύρας και πλημμυρική διακινδύνευση

Ο κίνδυνος πλημμύρας δίνει για κάθε σενάριο βροχόπτωσης (πχ για περιόδους επαναφοράς T= 50, 100, 1000 έτη) ποια είναι η έκταση που πλημμυρίζει στην περιοχή μελέτης. Έτσι, υπολογίζονται τα διαφορετικά βάθη νερού σε κάθε σημείο της λεκάνης. Τα μέγιστα βάθη αποτελούν τα στοιχεία με τα οποία συνθέτονται οι χάρτες πλημμυρικού κινδύνου. Υπάρχουν τόσοι χάρτες κινδύνου όσα και τα σενάρια πλημμύρας.

Από την άλλη με την πλημμυρική διακινδύνευση δίνεται το ύψος των ζημιών για κάθε ένα από τα σενάρια που προαναφέρθηκαν. Σε κάθε στοιχείο του χάρτη κινδύνου και με βάση τα δεδομένα διακυβέματος, τρωτότητας και έκθεσης υπολογίζονται οι ζημιές. Ο χάρτης αυτός με τις ζημιές αποτελεί τον χάρτη διακινδύνευσης.

**Πίνακας 2.1: Προτεινόμενη ορολογία στους όρους της οδηγίας 2007/60/ΕΚ για τα νερά (Πηγή: Τσακίρης, 2007)**

Όρος στην Οδηγία	Προτεινόμενος δόκιμος όρος	Δόκιμος όρος στην αγγλική γλώσσα
Επικινδυνότητα	Κίνδυνος	Hazard
Κίνδυνος	Διακινδύνευση	Risk
Κίνδυνος	Τρωτότητα	Vulnerability
Κίνδυνος πλημμύρας	Διακινδύνευση πλημμύρας	Flood risk
Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας	Χάρτης κινδύνου πλημμύρας	Flood hazard map
Χάρτης κινδύνου πλημμύρας	Χάρτης διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk map
Διαχείριση κινδύνου πλημμύρας	Διαχείριση διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk management
Σχέδια διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας	Σχέδια διαχείρισης διακινδύνευσης πλημμύρας	Flood risk plans
Πλημμυρικές περιοχές	Πεδίο πλημμυρών	Floodplains
Περίοδος επαναληπτικότητας	Περίοδος επαναφοράς	Return period



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

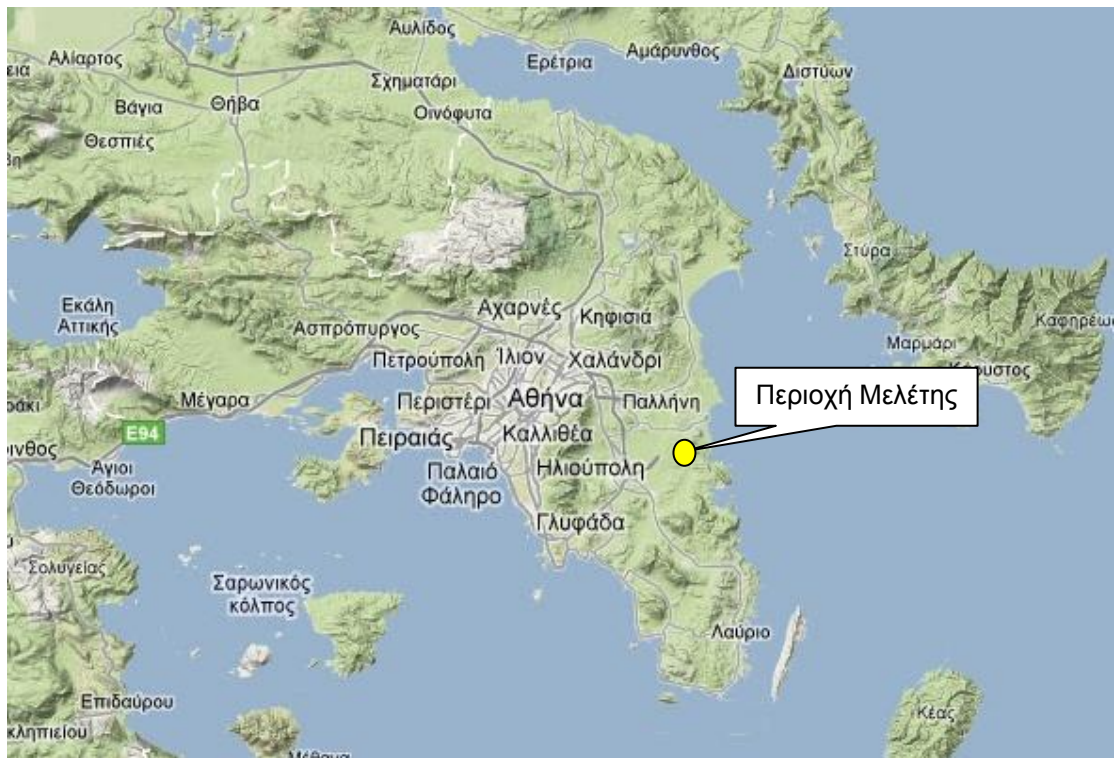
### Γενικά Χαρακτηριστικά Περιοχής

#### 3.1 Γεωγραφική Θέση

Ο Ερασίνοσ είναι ποταμός της Αττικής που βρίσκεται στην περιοχή των Μεσογείων. Σχηματίζεται στην περιοχή της Παιανίας από συμβολή ρεμάτων που ρέουν από τον Υμηττό. Στην συνέχεια ρέει ανατολικά και εκβάλλει στον Νότιο Ευβοϊκό κόλπο στην περιοχή της Βραυρώνας. Στις όχθες του βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος της Βραυρώνας. Λίγο πριν εκβάλλει στην θάλασσα τα νερά του λιμνάζουν και διαμορφώνουν έλη με αποτέλεσμα η περιοχή να αποτελεί σημαντικό υδροβιότοπο της Ανατολικής Αττικής.

Γεωγραφικά εκτείνεται σε μία έκταση 208 km<sup>2</sup> διατρέχοντας τους δήμους Παιανίας, Κορωπίου, το νότιο τμήμα του δήμου Σπάτων και κατά το τελευταίο του τμήμα τους δήμους Μαρκόπουλου και Κουβαρά. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της συγκεκριμένης περιοχής είναι περίπου 37° Β 24° Α.

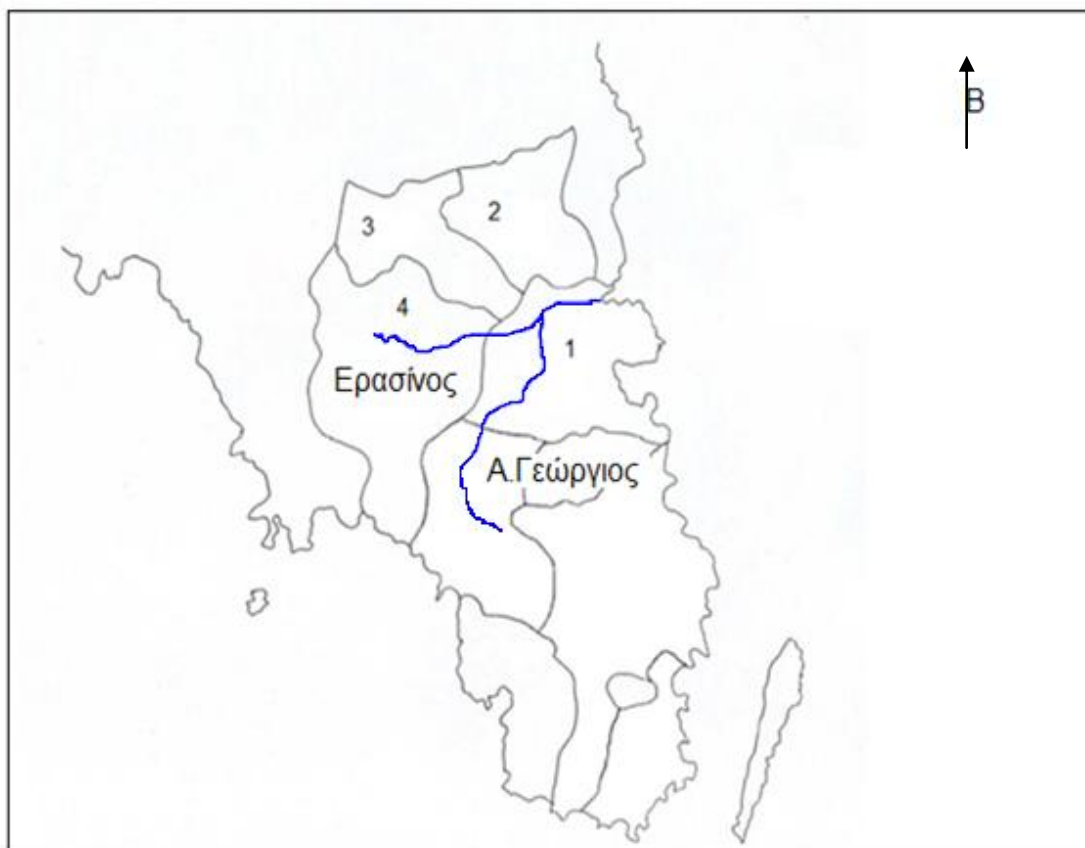
Η ευρύτερη Ανατολική Αττική γνώρισε μεγάλη οικιστική ανάπτυξη μετά τα έργα που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή το 2004. Δημιουργήθηκαν σημαντικά έργα εξ' αιτίας των Ολυμπιακών αγώνων (2004) με πιο αξιοσημείωτο την δημιουργία του νέου ιππόδρομου Αττικής και φυσικά του διεθνούς αερολιμένα "Ελευθέριος Βενιζέλος". Η δημιουργία αυτών των υποδομών είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν και σημαντικά έργα οδοποιίας που έφεραν την αποσυμφόρηση στην περιοχή τις καλοκαιρινές περιόδους, καθώς έγινε και ο τελικός προορισμός της περιφέρους Αττικής Οδού ενώ η σύνδεση με το Αεροδρόμιο των Σπάτων είναι άμεση.



**Χάρτης 3.1: Γεωγραφικός Χάρτης Αττικής (Κλίμακα 1:100,000)**

Ταυτόχρονα όμως η περιοχή έχασε εξ' ολοκλήρου τον αγροτικό της χαρακτήρα και σήμερα τείνει να αστικοποιείται ύστερα από τα έντονα πλεονεκτήματα που απέκτησε. Το έδαφος είναι πολύ γόνιμο (κάτι το συνηθισμένο στα Μεσόγεια) και καλλιεργούνται σε αυτό πλήθος προϊόντων με σημαντικότερα τα αμπέλια, τις ελιές και τις φυσιτικές.

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω χάρτη η διοικητική διαίρεση της περιοχής την οποία διατρέχει ο Ερασίνοσ μαζί με τον κύριο παραπόταμό του Άγιο Γεώργιο, έχει ως εξής:



**Χάρτης 3.2: Διοικητικά όρια δήμων της περιοχής μελέτης (Πηγή: ΕΣΥΕ)**

1. Δήμος Μαρκόπουλου
2. Δήμος Σπάτων
3. Δήμος Παιανίας
4. Δήμος Κρωπίας

### **1. Μαρκόπουλο**

Ο Δήμος Μαρκόπουλου καταλαμβάνει έκταση 81,8 km<sup>2</sup>. Ο πληθυσμός της περιοχής σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ανέρχεται σε 7.614 κατοίκους, ήτοι 93 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Το παραθαλάσσιο επίνειο του Μαρκόπουλου Πόρτο-Ράφτη τμήμα του ίδιου του Δήμου Μαρκόπουλου αποτελεί έναν από τους πιο δημοφιλείς τόπους καλοκαιρινού παραθερισμού. Απέχει από την πόλη του Μαρκόπουλου μόλις 10 χιλιόμετρα και συνδέονται άμεσα με δρόμο που τις καλοκαιρινούς μήνες έχει βεβαρημένη φόρτιση. Χαρακτηριστικότερα σημεία του το λιμανάκι με τις πολυτελείς ταβέρνες, και ο κεντρικός παραλιακός δρόμος πλατύς και μονοδρομημένος με μεγάλες καφετέριες που καταλήγει στην κεντρική ελεύθερη πλαζ. Νοτιότερα ο δρόμος οδηγεί στο Αυλάκι που ανήκει επίσης στον Δήμο Μαρκοπούλου κοντά στα σύνορα με την Κερατέα. Ο κεντρικός παραλιακός δρόμος συναντά μεγάλες δυσκολίες

προσπέλασης τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω μπουτιλιαρίσματος, και καταλήγει σε μεγάλη πλαζ με εκτεταμένα κέντρα αναψυχής.

## **2. Σπάτα**

Τα Σπάτα συνιστούν πόλη της Αττικής και έδρα του δήμου Σπάτων-Λούτσας. Βρίσκονται στο κέντρο της πεδιάδας των Μεσογείων (που οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης, του Υμηττού και της Μερέντας) και βρίσκεται πάνω σε λόφο. Διοικητικά υπάγονται στη Νομαρχία Ανατολικής Αττικής, με πρωτεύουσα τη γειτονική Παλλήνη, ενώ επίνειο τους είναι η Λούτσα του Δήμου Αρτέμιδος.

Ο σύγχρονος δήμος καταλαμβάνει έκταση 52.469 στρεμμάτων, το μεγαλύτερο τμήμα των οποίων καλύπτεται από αγροτικές εκτάσεις κι ένα μικρό κομμάτι συνιστά το παραδοσιακό κέντρο του οικισμού. Κατά την απογραφή του 2001 παρουσίαζε 10.203 κατοίκους, ήτοι 194 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Σύμφωνα δε με τις τελευταίες εκτιμήσεις πρέπει να ανέρχονται στους 15.000, τουτέστιν 286 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Τα τελευταία χρόνια η περιοχή γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη, τόσο οικιστικά όσο και εμπορικά, λόγω της λειτουργίας του γειτονικού αεροδρομίου "Ελευθέριος Βενιζέλος". Διαθέτει επίσης πολύ καλή συγκοινωνιακή σύνδεση και μέσω λεωφορείο-γραμμών που περνούν από την Αρτέμιδα προς το σταθμό της Δουκίσσης Πλακεντίας στην Αθήνα.

## **3. Παιανία**

Η Παιανία (η περιοχή στην οποία σχηματίζεται το κύριο ρέμα) εντοπίζεται στις ανατολικές παρυφές του Υμηττού, σε υψόμετρο 200μ. περίπου, σε απόσταση 17 χιλιομέτρων ανατολικά των Αθηνών και 4 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Παλλήνης. Κατέχει μεγάλη αγροτική έκταση λόγω παλαιότερων απαλλοτριώσεων των γειτονικών αγροκτημάτων Καρελά, Βραώνος, Παλλήνης, Βακαλόπουλου κ.ά. Είναι τόπος καταγωγής του Δημοσθένη, του Ρίνωνα (πολιτικού και στρατηγού), του Καλλικράτη, του Φίλωνα (κήρυκα της Δήλου), και λοιπών επιφανών αττικών κατοίκων.

Η πόλη των 42.762 στρεμμάτων εκτείνεται μέχρι και τις εγκαταστάσεις του Διεθνούς Αεροδρομίου, ενώ εντός των διοικητικών της ορίων διέρχεται και η Αττική Οδός. Οι κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ανέρχονται σε 13.013, ενώ μετά τα έργα που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή αναμένεται να φτάνουν περί τις 18.000. Αυτό σημαίνει ότι το 2001 σε κάθε χμ<sup>2</sup> αντιστοιχούσαν 304 κάτοικοι και σήμερα ακόμη περισσότεροι.

## **4. Κορωπί**

Το Κορωπί είναι πόλη της Ανατολικής Αττικής στα Μεσόγεια, και έδρα του δήμου Κρωπίας. Είναι από τις περιοχές, μαζί με την Κερατέα και το Μαρκόπουλο, με τη μεγαλύτερη ζήτηση για μόνιμη κατοικία μετά τα μεγάλα έργα που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή. Η οικιστική ζώνη είναι διαχωρισμένη από τη βιομηχανική, ενώ στα όρια του δήμου υπάγεται και η παράκτια συνοικία της Αγίας Μαρίνας. Επικοινωνεί με την Αθήνα μέσω των νοτίων προαστίων, από τη

λεωφόρο Βάρης-Κορωπίου. Επίσης βρίσκεται κοντά στο σταθμό του μετρό και προαστιακού «Κορωπί», την Αττική Οδό και το αεροδρόμιο των Σπάτων. Ο δήμος διατηρήθηκε αμετάβλητος με την διοικητική εφαρμογή του σχεδίου Καλλικράτης την 1η Ιανουαρίου του 2010.

### 3.2 Ιστορικά στοιχεία (6.000 πΧ-19<sup>ος</sup> αιώνας)

Τελευταίες αρχαιολογικές έρευνες στην περιοχή του νέου Ιππικού Κέντρου δείχνουν συνεχή ανθρώπινη παρουσία από την εποχή του “λίθου” μέχρι σήμερα. Η γόνιμη γη και τα ρέματα που διατρέχουν τα βουνά που την περιβάλλουν διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην κατοίκηση της Μεσογαίας από τον άνθρωπο. Παράλληλα οι προσβάσεις της προς την θάλασσα διευκόλυναν την επικοινωνία της με τον υπόλοιπο κόσμο. Με αυτά τα ερεθίσματα από το περιβάλλον ο άνθρωπος άρχισε από νωρίς τις επεμβάσεις του σε αυτό ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες του.

Παρόλο που δεν υπάρχουν μαρτυρίες που να φανερώνουν την παρουσία του παλαιολιθικού ανθρώπου ωστόσο οι ενδείξεις από την Αττική οδηγούν τους ειδικούς να την θεωρούν δυνατή. Από τα μέσα πάντως της έκτης χιλιετίας π.Χ. και ως το τέλος της τέταρτης υπάρχει έντονη νεολιθική ζωή στα Μεσόγεια.

Κατά τη Πρώιμη Εποχή του Χαλκού(3<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ) η ανάπτυξη της μεταλλουργίας και των άλλων τεχνικών κατακτήσεων βελτίωσαν πολλούς τομείς της ανθρώπινης υγείας με αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού. Το ίδιο συμβαίνει και στην Μέση Εποχή του Χαλκού με τους οικισμούς να οργανώνονται ακόμη περισσότερο για να αντιμετωπίσουν προβλήματα όπως η ύδρευση, αποχέτευση κλπ. Μάλιστα την εποχή αυτή συναντάται και ένας μεγάλος συνοικισμός στην Μεσογαία που αποδίδεται στον μυθικό Κέκροπα.

Κατά την μυκηναϊκή περίοδο παρατηρούνται ελάχιστοι οικισμοί. Αντίθετα, στην αρχαϊκή περίοδο η ανάπτυξη είναι μεγάλη λόγω των μεταλλείων του Λαυρίου. Η λειτουργία των μεταλλείων εξασφαλίζει πάρα πολλούς πόρους για το κράτος των Αθηνών. Για αυτό τον λόγο οι περιοχές των Μεσογείων και Λαυρεωτικής ήταν πολύ ανεπτυγμένες και πλούσιες παρότι ήταν κυρίως αγροτικές

Η περιοχή κράτησε τον αγροτικό της χαρακτήρα κατά την Κλασική περίοδο και με βασικό προϊόν το λάδι που ήταν ξακουστό μέχρι την Αίγυπτο. Η ελιά αυτοφυής στην Αττική θεωρήθηκε σύμβολο ολόκληρης της Αττικής σε όλες της εποχές. Παράλληλα στα Μεσόγεια συχνή ήταν η καλλιέργεια αμπελιών.

Την περίοδο αυτή η Αθήνα ήταν το εμπορικό κέντρο και αυτό συντέλεσε στην ανάπτυξή της ωστόσο μόνο οι ιδιοκτήτες γης και αγροτικής περιουσίας μπορούσαν να ανέβουν στην κοινωνική ιεραρχία. Για τον λόγο αυτό πολλές εξέχουσες προσωπικότητες της πολιτικής ζωής της Αθήνας είχαν εκτάσεις στα Μεσόγεια.

Γνωρίζοντας ότι η βάση του Αθηναϊκού πολιτεύματος ήταν ο Δήμος και έχοντας υπόψη ότι οι περισσότεροι Δήμοι της Αττικής βρίσκονταν στο χώρο της Ανατολικής Αττικής γίνεται αντιληπτή η μεγάλη συμβολή της περιοχής στη διαμόρφωση του κράτους της αρχαίας Αθήνας. Έτσι, ο Μυρρινούς (σημερινή Μερέντα), οι Πρασιές (Πρασάς ή Μπρασάς), η Στειρία (Ντρίβλια), ο Κύθηρος (Λιγόρι), η Αγγελή (Αγγελίσι), οι Φιλαΐδες (Βραώνα), μαζί με το Ιερό της Αρτέμιδος στη

Βραώνα, ήταν οι Δήμοι που βρίσκονταν στη σημερινή Ανατολική Αττική , όπου μαζί με τους άλλους 168 “Κλεισθένειους Δήμους” συναποτέλεσαν την Αθηναϊκή επικράτεια κατά την εποχή της κοσμοκρατορίας των Αθηνών.

Οι αρχαίοι Δήμοι της περιοχής της σημερινής Ανατολικής Αττικής παρήκμασαν, μαζί με τους άλλους αθηναϊκούς Δήμους, μετά το απόγειο της δόξας τους - 5ο και 4ο π.Χ. αιώνα- καταλήγοντας σε μικρούς αγροτικούς οικισμούς κατά τους Ρωμαϊκούς Χρόνους. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την εγκατάλειψη της υπαίθρου και την εμφάνιση των μεγάλων γαιοκτησιών.

Ο μαρασμός συνεχίστηκε, με αποκορύφωμα τους Βυζαντινούς χρόνους, οπότε καταστράφηκαν ότι είχαν απομείνει από τα αρχαία μνημεία. Η περιοχή των σημερινών Μεσογείων, όπως και ολόκληρη η Αττική, θα χαθεί για τους Βυζαντινούς πολύ πριν την κατάλυση της αυτοκρατορίας από τους Τούρκους.

Έτσι λοιπόν τον 13ο αιώνα θα κυριαρχήσουν στο τόπο οι Γάλλοι δούκες Ντε λα Ρόζ, αφήνοντας παρακαταθήκη δύο μνημεία να σημαδεύουν το πέρασμά τους, τον “Πύργο” της Βραώνας και τον “Πύργο” της Λιάδας .Τον 14ο αιώνα, κύριοι της περιοχής θα γίνουν για εβδομήντα χρόνια οι Καταλανοί, επιβάλλοντας την στυγνότερη ίσως τρομοκρατία που είχε ποτέ γνωρίσει η Αττική, ενώ στα τέλη του 14ου και τον μισό 15ο αιώνα αφέντες του τόπου θα γίνουν οι Φλωρεντίνοι Ατζαγιόλι. Η επίδραση των τελευταίων υπήρξε καταλυτική για τούτο τον τόπο, αφού είναι εκείνοι που προσκάλεσαν αλβανόφωνα Ηπειρωτικά φύλα, ελληνικής καταγωγής που κατοικούσαν στη μεταξύ όρους Τόμαρου και ποταμού Γενούσου περιοχή της Βορείου Ηπείρου, προκειμένου να εποικίσουν την ερημωμένη τότε Αττική.

Τα Μεσόγεια, μαζί με όλη την Αττική, θα πέσει στα χέρια των Τούρκων το 1456, ακολουθώντας τη τύχη της υπόλοιπης Ελλάδας, στα 400 χρόνια του Τούρκικου ζυγού. Με την ίδρυση του Ελληνικού κράτους αρχίζει η συγκέντρωση του πληθυσμού στους οικισμούς. Οι κάτοικοι αποκτούν σταδιακά γη και παρατηρείται άνθιση της γεωργικής παραγωγής με έμφαση στην καλλιέργεια αμπελιών.

### **3.3 Η περιοχή της Βραυρώνας**

#### **3.3.1 Ο αρχαιολογικός χώρος της Βραυρώνας**

Η Βραυρώνα είναι σημαντικός αρχαιολογικός χώρος της Αττικής και άμεσα συνδεδεμένος με τον Ερασίνο καθώς είναι χτισμένη στις όχθες του. Γνωστή για τον ναό της Αρτέμιδας που έχει δώσει το όνομά του στον σύγχρονο δήμο της ανατολικής Αττικής, αλλά και στον παραθαλάσσιο γειτονικό οικισμό της Λούτσας (σημερινό όνομα Αρτέμιδα). Ήταν χτισμένη σε έναν κολπίσκο στις ακτές του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου, κοντά στον σημερινό οικισμό της Λούτσας. Πρωτοκατοικήθηκε από την νεολιθική εποχή. Την εποχή του Θησέα (εποχή του χαλκού) η Βραυρώνα ήταν ένας από τους 20 δήμους που ενώθηκαν και αποτέλεσαν το μετέπειτα Αθηναϊκό κράτος. Σταδιακά η Βραυρώνα εξελίχθηκε σε τόπος λατρείας της Άρτεμης και χτίστηκε ναός αφιερωμένος σε αυτή. Κάθε πέντε χρόνια ξεκινούσε μια πομπή από την Ακρόπολη για να γιορτάσει τα Βραυρώνεια στο ιερό της θεάς. Η γιορτή περιελάμβανε θυσία, αθλητικούς, μουσικούς αγώνες και αρματοδρομίες.

Από τα μέσα του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αι. έως τα τέλη του 4<sup>ου</sup> π.Χ. αι. το ιερό καταστράφηκε λόγω καθίζησης και εισροής των υδάτων του ποταμού Ερασίνου στο χώρο. Τα ερείπια του ναού της Αρτέμιδος χρονολογούνται από το πρώτο μισό του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αι. και η λίθινη γέφυρα του Ερασίνου κτίστηκε κατά την κλασική περίοδο και οδηγούσε στο ναό.

Ένα ακόμα αξιόλογο κτίσμα του 5<sup>ου</sup> αι. π. Χ. είναι η λίθινη γέφυρα, που κατασκευάστηκε στο χώρο του ιερού ,προκειμένου να διοχετεύονται τα νερά της ιερής πηγής, καθώς και τα νερά του Ερασίνου ποταμού. Μέσω της γέφυρας μπορούσαν οι άμαξες να διέλθουν τη γεμάτη με νερά περιοχή του ιερού. Στο ιερό εκτός από την Άρτεμη, λατρευόταν η Ιφιγένεια, η Λητώ, ο Απόλλων και ο Διόνυσος.

### **3.3.2 Υδροβιότοπος Βραυρώνας και Natura 2000**

Ο υγρότοπος της Βραυρώνας ανάμεσα στην Αρτέμιδα και το Μαρκόπουλο, σε μια εύφορη πεδιάδα που διαρρέεται από το χείμαρρο Ερασίνο, αποτελεί από τα πιο σημαντικά καταφύγια άγριας ζωής της Αττικής. Η μεγάλη ποικιλία διαφορετικών βιοτόπων σε συνδυασμό με τις ήπιες μεθόδους εκμετάλλευσης από τον άνθρωπο δημιούργησαν ένα οικοσύστημα μοναδικής αξίας.

Πηγή ζωής για τον άνθρωπο και τη φύση, ο χείμαρρος Ερασίνο δημιούργησε τις συνθήκες για τη δημιουργία του υγροτόπου, ενώ το νερό του χρησιμοποιείται για το πότισμα των χωραφιών που συνορεύουν με τις όχθες του. Οι καλαμώνες, τα υγρά λιβάδια και οι αρμυρικές είναι συνυφασμένα με την ύπαρξη του χείμαρρου, όπως και τα αμπέλια, οι φιστικιές και τα κηπευτικά που καλλιεργούνται στις παρακείμενες εκτάσεις. Εκμεταλλεόμενα αυτή τη μοναδική ποικιλία, πάνω από 170 είδη πουλιών έχουν παρατηρηθεί, ενώ η περιοχή είναι πλούσια σε ερπετά, αμφίβια και μικρά θηλαστικά.

Ο υγρότοπος και η γύρω περιοχή έχουν ενταχθεί στο δίκτυο των Τόπων Κοινοτικής Σημασίας με βάση την Οδηγία 92/43 για τη προστασία των οικοτόπων και έχει συμπεριληφθεί στους τόπους που προτείνονται για ένταξη στο ευρωπαϊκό δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000. Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει τους σημαντικότερους φυσικούς βιοτόπους της Ευρώπης και έχει ως σκοπό τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης επιβίωσης των πιο σπάνιων και απειλούμενων ειδών και οικοτόπων, μέσα από μέτρα και πολιτικές που προωθούν εναλλακτικές μορφές τοπικής ανάπτυξης, όπως ο οικότουρισμός, ο αγροτουρισμός, η βιολογική γεωργία και κτηνοτροφία.

### **3.4 Οικονομία**

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '60 ένα σημαντικό τμήμα του πληθυσμού ασχολείται με την γεωργία και την κτηνοτροφία ενώ ο υπόλοιπος πληθυσμός απασχολείται στις λιγοστές βιομηχανίες και βιοτεχνίες της περιοχής

και την παροχή υπηρεσιών. Από την δεκαετία του '70 παρατηρείται για πρώτη φορά στροφή προς τις υπηρεσίες και την δευτερογενή παραγωγή.

Έτσι λοιπόν σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2001 σχετικά με την κατανομή της απασχόλησης στα Μεσόγεια παρατηρείται μία συνεχής ενίσχυση του τριτογενή και δευτερογενή τομέα παραγωγής. Η τάση μάλιστα αυτή ενισχύθηκε ακόμη περισσότερο με την λειτουργία του νέου αεροδρομίου. Σύμφωνα λοιπόν με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ επιβεβαιώνονται οι διαδικασίες μετασχηματισμού της περιοχής με σταδιακή μείωση της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα παραγωγής και ενδυνάμωση της βιομηχανίας, της μεταποίησης, του εμπορίου και των υπηρεσιών.

Κάτω από αυτή την επίδραση τα παραδοσιακά επαγγέλματα της γεωργίας, της κτηνοτροφίας και γενικότερα του πρωτογενή τομέα της παραγωγής χάνονται και οι αγρότες μετατρέπονται σε αστούς. Αυτό σημαίνει στροφή σε επαγγέλματα όπως έμποροι, βιοτέχνες, δημόσιοι και ιδιωτικοί υπάλληλοι.

Η κατασκευή του αεροδρομίου και της Αττικής οδού στην περιοχή οδήγησαν σε μεγάλη μετατόπιση παλαιών και νέων βιομηχανιών στα Μεσόγεια και σημαντική ενίσχυση του τριτογενή τομέα της περιοχής. Μάλιστα σύμφωνα με μελέτη του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών το αεροδρόμιο αντιπροσωπεύει το 47% του συνολικού ΑΕΠ της περιοχής και ενισχύει την απασχόληση δημιουργώντας 8.000 θέσεις εργασίας για τους κατοίκους. Ενδεικτικό είναι ότι από τους 70.000 εργαζόμενους στα Μεσόγεια οι 15.296 απασχολούνται στην αεροδρομιακή κοινότητα.

Πιο αναλυτικά με βάση τα στοιχεία της απογραφής του 2001 η απασχόληση στον πρωτογενή τομέα συρρικνώνεται με τον χρόνο ενώ ο τριτογενής τομέας συνεχίζει την ανοδική του πορεία. Έτσι, σε κανένα δήμο ο πρωτογενής τομέας δεν ξεπερνάει 10% ενώ το αντίστοιχο ποσοστό του συνόλου της χώρας είναι της τάξης του 14% ενώ στο σύνολο των δήμων είναι στο 8%. Την μικρότερη συμμετοχή των απασχολούμενων στο τομέα αυτό παρουσιάζει το Μαρκόπουλο με 6%.

Ο δευτερογενής τομέας συγκεντρώνει στο σύνολο των δήμων το 1/3 περίπου των απασχολούμενων. Το μεγαλύτερο ποσοστό συγκεντρώνει ο δήμος Κρωπίας με 34% με τους υπόλοιπους δήμους να κυμαίνονται στο 28%-29%.

Στον τριτογενή τομέα συγκεντρώνεται σε όλους τους δήμους πάνω από το μισό ποσοστό των απασχολούμενων. Τα ποσοστά σε όλες τις περιπτώσεις υπερβαίνουν το 50% με της Παιανίας μάλιστα να φτάνει το 58%. Ωστόσο στο σύνολο των δήμων απασχολείται ποσοστό λιγότερο από αυτό του συνόλου της χώρας. Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα συγκεντρωτικά τα στοιχεία αυτά.



**Πίνακας 3.1: Ποσοστό απασχολούμενων ανά τομέα παραγωγής (Πηγή: ΕΣΥΕ)**

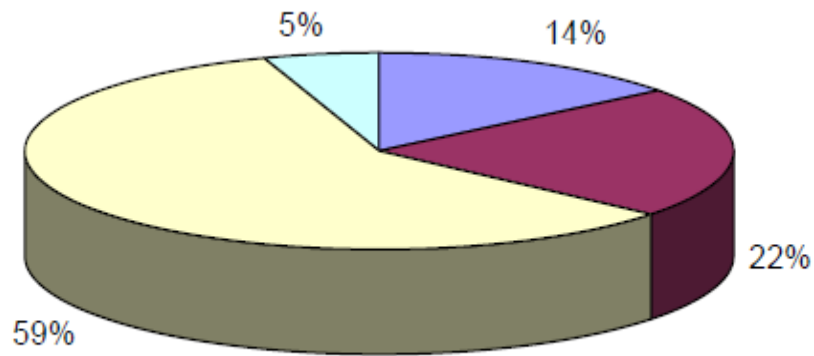
	Απασχολούμενοι		
	Πρωτογενής τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας
Σύνολο Ελλάδας	14%	22%	59%
Δήμος Κρωπίας	8%	34%	51%
Δήμος Μαρκόπουλου	6%	28%	55%
Δήμος Παιανίας	8%	29%	58%
Δήμος Σπάτων	9%	28%	54%
Σύνολο Δήμων μελέτης	8%	30%	55%

**Πίνακας 3.2: Κλαδική διάρθρωση απασχολούμενων κατά το έτος 2001 (Πηγή: ΕΣΥΕ)**

	Απασχολούμενοι				
	Σύνολο	Πρωτογενής τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δεν δήλωσαν κλάδο
Σύνολο Ελλάδας	4,102,091	591,669	892,189	2,401,831	216,402
Δήμος Κρωπίας	10,156	774	3,499	5,151	732
Δήμος Μαρκόπουλου	5,181	327	1,442	2,859	553
Δήμος Παιανίας	5,212	433	1,526	3,009	244
Δήμος Σπάτων	4,061	355	1,121	2,219	366
Σύνολο Δήμων μελέτης	24,610	1,889	7,588	13,238	1,895

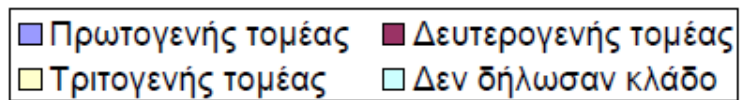
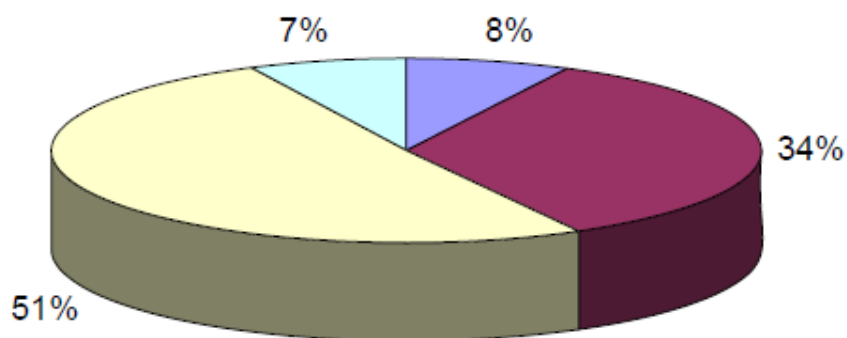
Στην συνέχεια φαίνονται με διαγράμματα τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους παραπάνω πίνακες.

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο σύνολο της χώρας  
2001**



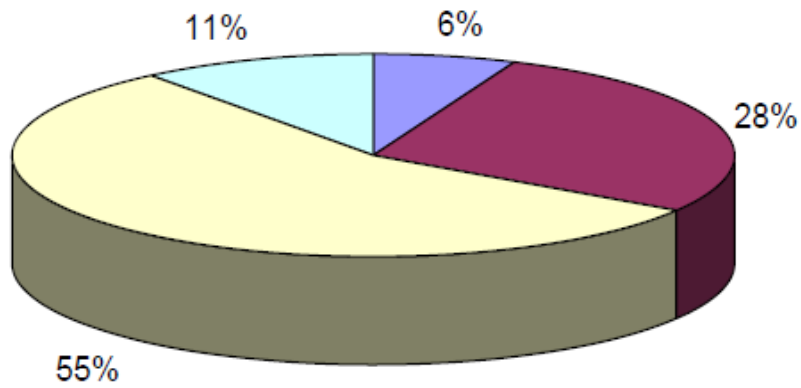
Πηγή: ΕΣΥΕ

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο δήμο Κρωπίας  
2001**



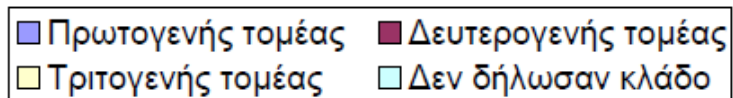
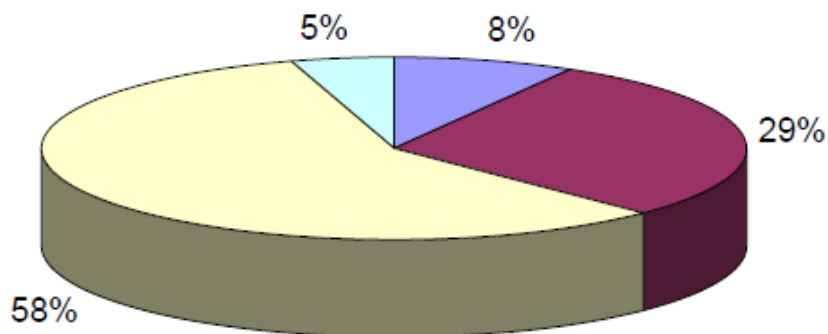
Πηγή: ΕΣΥΕ

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο δήμο Μαρκόπουλου  
2001**



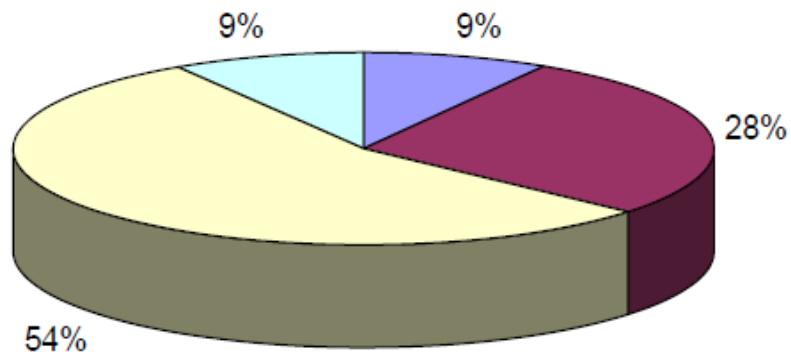
Πηγή: ΕΣΥΕ

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο δήμο Παιανίας  
2001**



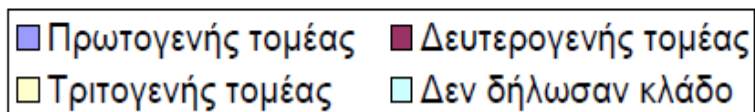
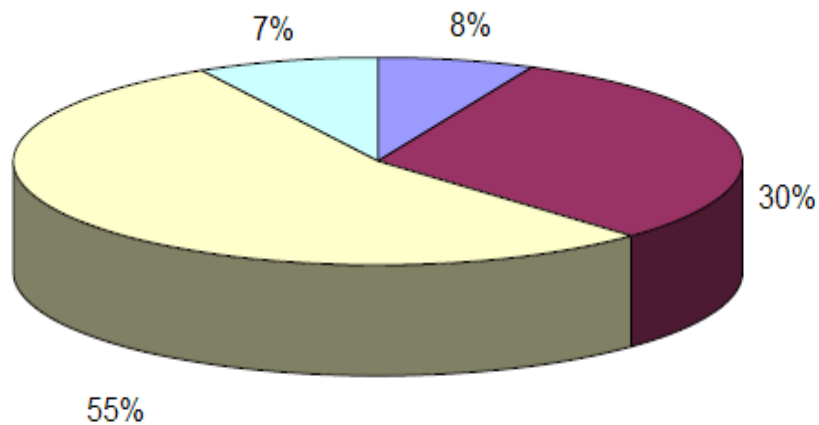
Πηγή: ΕΣΥΕ

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο δήμο Σπάτων  
2001**



Πηγή: ΕΣΥΕ

**Κλαδική διάρθρωση  
απασχολούμενων στο σύνολο των δήμων  
2001**



Πηγή: ΕΣΥΕ

### 3.5 Γεωμορφολογία- Υδρογραφικό δίκτυο

Ο Ερασίνοσ αποτελεί τον αποδέκτη της απορροής της κεντρικής περιοχής των Μεσογείων (ευρύτερη περιοχή Παιανίας, Κορωπίου, νότια ζώνη Σπάτων) και της νότιας περιοχής των Μεσογείων (Μαρκόπουλο, Κουβαράς). Έχει σημαντική λεκάνη απορροής (204 χλμ<sup>2</sup>) και οριοθετείται από τον υδροκρίτη του ρέματος Ραφήνας (βόρεια), την οροσειρά του Υμηττού (δυτικά) και τους αυχένες μεταξύ των υψωμάτων Ψηλόβραχος, Κορυφή, Μερέντα, Κερατοβούνι, Πάνειο Όρος, Στρογγυλοπούλα, Ζυγός και Κόντρα νότια.

Συγκεντρώνει την απορροή δύο βασικών ρεμάτων: του ρέματος Αγίου Γεωργίου και του ίδιου του Ερασίνου, που είναι και ο τελικός αποδέκτης. Η συμβολή Ερασίνου- Αγ.Γεωργίου πραγματοποιείται σε μικρή απόσταση (2000 μ. περίπου) από την εκβολή του στον όρμο Βραυρώνας.

Η λεκάνη του Ερασίνου μορφολογικά διαχωρίζεται σε τρεις ζώνες:

- Το πάνω τμήμα: με απότομες κλίσεις στο όρος Υμηττός και μικρή ανθρωπογενή παρέμβαση
- Το μεσαίο τμήμα: προερχόμενο από το ποτάμι και την πεδιάδα των Μεσογείων. περιλαμβάνει τους κώνους αποθέσεων των φερτών των ανάντη χειμάρρων από τις εύφορες καλλιεργήσιμες περιοχές του κάμπου των Μεσογείων (πολεοδομικές περιοχές Παιανίας, Κορωπίου, Καρελά, νότιο τμήμα Σπάτων, βόρειο Μαρκόπουλο). Στην περιοχή αυτή η κύρια χρήση γης έχει τροποποιηθεί ραγδαία από γεωργική σε οικιστική και στη συνέχεια βιοτεχνική, βιομηχανική και εμπορική. Χαρακτηριστικό της μεσαίας ζώνης είναι η ολική έλλειψη μισγάγγειων, όχι μόνο σήμερα, αλλά ακόμη και στο πρόσφατο παρελθόν (50 χρόνια πριν), και η μέτρια έως χαμηλή κλίση του εδάφους. Αποτέλεσμα της έλλειψης φυσικών αποδεκτών είναι η πλανώμενη απορροή των πλημμυρών, γεγονός το οποίο στις περιοχές καλλιεργήσιμης γης (ελιές, αμπέλια, συκιές) διηθείται και εμπλουτίζει τον υδροφόρο ορίζοντα χωρίς προβλήματα κατακλύσεων. Η μεταβολή στις χρήσεις γης περιορίζει συνεχώς τη διαδικασία διήθησης και η επιφανειακή απορροή μετατρέπεται πλέον σε εκτεταμένο πλημμυρικό φαινόμενο .
- Το κατώτερο τμήμα: παρουσιάζονται πτυχώσεις εδάφους με φυσικές βαθιές γραμμές και μικρές κοιλάδες και η κοίτη του ποταμού επανεμφανίζεται με διάκριση σε τρεις φυσικές μισγάγγειες:
  - ❖ Στη βόρεια, στην οποία απορρέει το τμήμα της λεκάνης κατάντη της οδού Παιανίας-Μαρκοπούλου, δηλαδή η απορροή που καταλήγει στη δυτική περίμετρο του Α/Δ Σπάτων. Τμήμα της μισγάγγειας αυτής έχει καταληφθεί από τα έργα του αεροδρομίου, με αποτέλεσμα να αποκόπτεται η απορροή.
  - ❖ Στην κεντρική, η οποία μέχρι πρόσφατα παρουσίαζε περιορισμένη απορροή λόγω της λειτουργίας της οδού Παιανίας-Μαρκοπούλου ως φράγματος, όμως σήμερα αποτελεί αποδέκτη της αντιπλημμυρικής τάφρου Μεσογείων, που

κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της Αττικής Οδού, και πλέον επιφορτίζεται με σημαντικές απορροές που δεν δεχόταν πριν.

- ❖ Στη νότια, κατάντη της συμβολής του ρέματος Μαρκοπούλου, η οποία δέχεται πρώτα τις απορροές από τη λεκάνη του ρέματος Μαρκοπούλου και στη συνέχεια τις σημαντικότερες απορροές από το ρέμα Αγίου Γεωργίου και τα συμβάλλοντα σε αυτό ρέματα Μαλέξη-Αγίας Άνας, Καλυβίων και Κουβαρά.

Το ρέμα του Αγίου Γεωργίου αποστραγγίζει μία περιοχή 67 km<sup>2</sup> και περιβάλλεται από τους λόφους 'Πυργάρι-Κορυφή-Κερατέα-Πάνιο' και από το χαμηλό βουνό Μαρκόπουλο. Ο Ερασίνοσ αποστραγγίζει μια περιοχή 132 km<sup>2</sup> που περιβάλλεται από τους υδροκρίτες των υπολεκανών των παραποτάμων της Ραφήνας (Βόρεια), του Αγίου Γεωργίου (Νότια) και από το όρος του Υμηττού (Δυτικά).

Η λεκάνη του Αγ. Γεωργίου χαρακτηρίζεται από μικρές κατά μήκος κλίσεις. Το ορεινό ανάγλυφο στα νότια δεν είναι απόκρημνο και στις πλαγιές όπως και σε όλη την λεκάνη υπάρχουν εκτεταμένες καλλιέργειες και κατά τόπους κτίσματα. Η κοίτη είναι διαμορφωμένη σε μεγάλο μήκος και υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε σημαντικό μήκος του ρέματος. Σε μήκος 4,5 χλμ. περίπου ανάντη της συμβολής με το ρέμα Ερασίνοσ η κοίτη εκφυλίζεται. Σ' αυτό συμβάλουν οι εκτεταμένες καλλιέργειες στις ανάντη ζώνες. Πολλοί δρόμοι διασταυρώνονται με το ρέμα και για τις διαβάσεις έχουν κατασκευαστεί σε κάποιες περιπτώσεις μικρά, ανεπαρκή τεχνικά έργα. Σε άλλες περιπτώσεις έχει διακοπεί η συνέχεια της κοίτης από δρόμους, οπότε σε συνδυασμό με τις μικρές κατά μήκος κλίσεις, παρατηρούνται φαινόμενα λιμναζόντων υδάτων, καθώς το ρέμα υπερχειλίζει πάνω από το δρόμο για να συνεχίσει τη ροή του προς τα κατάντη

Τα τελευταία χρόνια στην περιοχή έχουν κατασκευαστεί σημαντικά έργα υποδομής όπως ο διεθνής αερολιμένας Ελευθέριος Βενιζέλοσ, η Αττική Οδός, ο ιππόδρομοσ στο Μαρκόπουλο καθώς και το Ολυμπιακό σκοπευτήριο. Όλα αυτά τα έργα έχουν επηρεάσει την οικονομική και τουριστική ανάπτυξη και έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση πληθυσμού.

Ωστόσο στην κατασκευή πολλών από αυτών των έργων παρά την σπουδαιότητα τους δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι απορροές της λεκάνης σαν σύνολο επηρεάζοντας έτσι το σύστημα αποστράγγισης της λεκάνης. Έτσι από την μία παρατηρούνται μείωση των χρόνων συγκέντρωσης και από την άλλη αύξηση των συντελεστών εκροής. Έτσι, λόγω της ανθρωπογενής παρέμβασης στο δίκτυο απορροής του Ερασίνοσ αντιμετωπίζονται σημαντικά προβλήματα αποστράγγισης.

Συγκεντρωτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης του Ερασίνοσ είναι τα παρακάτω:

- Συνολική έκταση λεκανής: 208 km<sup>2</sup>
- Κύριοσ παραπόταμοσ: Άγιος Γεώργιοσ
- Μήκοσ Αγ. Γεωργίου: 16,1 km
- Μήκοσ Ερασίνοσ (ανάντι και κατάντι συμβολής): 8,2 km



Χάρτης 3.3: Υδρογραφικό Δίκτυο Περιοχής Μελέτης

### 3.6 Κλίμα- Μετεωρολογικά στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής είναι εύκρατο Μεσογειακό με ξηρό και ζεστό καλοκαίρι και ήπιο και βροχερό χειμώνα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16,5° και 19° C. Η μέση σχετική υγρασία βρίσκεται μεταξύ 56%-64%. Η ηλιοφάνεια είναι περίπου 2920 ώρες το χρόνο. Η περιοχή μελέτης ανήκει στην μεσαία κλιματολογική κατηγορία με ήπιο χειμώνα και σπάνιες χιονοπτώσεις. Οι καλοκαιρινοί μήνες περιλαμβάνουν πολύ ξηρασία και ζέση. Πολλές είναι οι φορές μάλιστα που η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 40°C (καύσωνας). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην ευνοείται η ανάπτυξη ιδιαίτερης βλάστησης.

Οι άνεμοι είναι συνήθως βόρειοι και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μετατρέπονται σε βόρειο- ανατολικούς. Από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα τέλη Οκτώβρη οι άνεμοι γίνονται πιο συχνοί αλλά έχουν μικρότερη ένταση. Αυτές οι συνθήκες σε συνδυασμό με το ξηρό και ζεστό καλοκαίρι ευνοεί τις πυρκαγιές. Η σχετική υγρασία τον Ιούλιο που είναι ο ξηρότερος μήνας είναι 57% ενώ τον Φλεβάρη 75%.

### 3.7 Αντιπλημμυρική προστασία

Οι δήμοι των Μεσογείων είναι ανοχύρωτοι από πλευράς αντιπλημμυρικής προστασίας καθώς η περιοχή είναι σε μεγάλο βαθμό αθωράκιστη μπροστά στον κίνδυνο πλημμύρας. Σύμφωνα μάλιστα με τις υπηρεσίες της Νομαρχίας, η πιο επικίνδυνη περιοχή για πλημμύρα είναι τα Μεσόγεια. Ειδικότερα μάλιστα όταν στην

περιοχή “ανθεί” η αυθαίρετη δόμηση και η συνεχής αποψίλωση των δασών από τις πυρκαγιές και την οικοπεδοποίηση. Η ταχεία οικιστική ανάπτυξη που γνώρισε η περιοχή κατά την τελευταία δεκαετία χειροτέρεψε την κατάσταση.

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης και της αστικοποίησης υπάρχουν πολλά ρέματα τα οποία δεν λειτουργούν πλέον λόγω των ανθρώπινων επεμβάσεων. Κατά την κατασκευή της Αττικής Οδού πραγματοποιήθηκαν πολλά αντιπλημμυρικά έργα για την προστασία του αυτοκινητοδρόμου και τα οποία εξυπηρετούν παρακείμενες περιοχές. Ωστόσο τα έργα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις διατάραξαν τη ροή των χειμάρρων της ευρύτερης περιοχής και δημιούργησαν την ανάγκη συνολικότερης αντιμετώπισης της αντιπλημμυρικής προστασίας της περιοχής, καθώς δεν επαρκούν οι υποδοχείς που είναι το ρέμα της Ραφήνας και του Ερασίνου. Ειδικότερα ο Ερασίνας γίνεται αποδέκτης των νερών της Αττικής Οδού και κυρίως του αεροδρομίου χωρίς να υπάρχει καμία μελέτη διευθέτησης παρόλο που δημιουργούνται προβλήματα σε κάθε ραγδαία βροχή ιδιαίτερα κοντά στο αεροδρόμιο. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι από την αρχή της λειτουργίας του αεροδρομίου μεγάλες αγροτικές εκτάσεις να καταστρέφονται από τις πλημμύρες ενώ και το ίδιο το αεροδρόμιο κατά καιρούς να πλημμυρίζει περιφερειακά.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Μέθοδοι υπολογισμού πλημμυρικών παροχών

#### Γενικά-Ορισμοί

Το νερό που ρέει στα ρέματα προέρχεται από τις πηγές που έχουν σταθερή παροχή στην διάρκεια του χρόνου (υπόγεια ή βασική ροή) και από την άμεση απορροή που οφείλεται στα γεγονότα βροχής. Σε μία περίοδο χωρίς βροχή όπου η παροχή είναι σταθερή εάν προκύψουν έντονες βροχοπτώσεις ή καταιγίδες δημιουργούνται πλημμυρικές αιχμές δηλαδή χρονικές περίοδοι με απότομη αύξηση και κατόπιν μείωση της παροχής.

*Πλημμύρα* λοιπόν είναι το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή (επιφανειακή και ταχεία υπεδάφια) είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει τη διοχετευτική ικανότητα του ρέματος και να κατακλύζει τις γύρω περιοχές με όλες τις δυσμενείς συνέπειες που ακολουθούν. Τα έργα που αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου από τις πλημμύρες ονομάζονται αντιπλημμυρικά έργα. Σημαντική πληροφορία που παρέχει η υδρολογική μελέτη για το σχεδιασμό αυτών των έργων είναι ο εντοπισμός των περιοχών που κινδυνεύουν από τις πλημμύρες για κάθε περίοδο επαναφοράς (Τσακίρης, 1995).

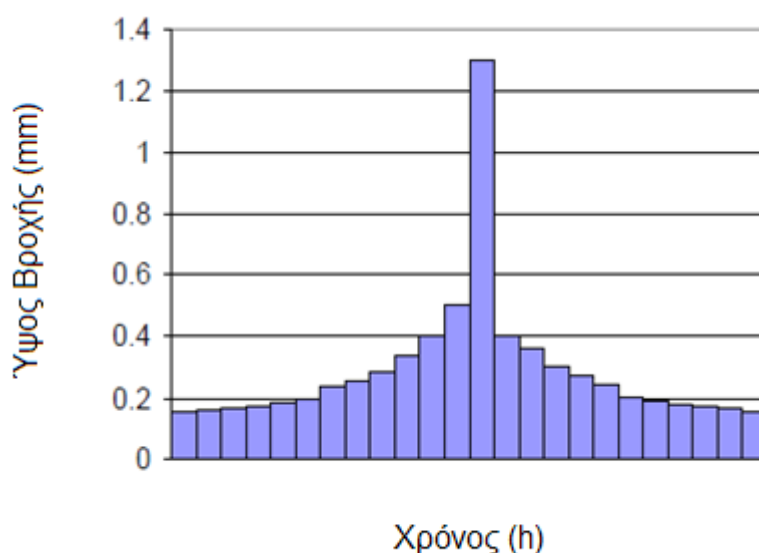
Όπως είναι γνωστό το διάγραμμα της παροχής σε συνάρτηση με τον χρόνο σε ένα ορισμένο σημείο της κοίτης ενός ρέματος καλείται *υδρογράφημα* [ $Q=Q(t)$ ].

Η μέγιστη παροχή και το υδρογράφημα της λεκάνης προσδιορίζει το πώς θα αρχίσει να αυξάνει η παροχή καθώς θα συγκεντρώνονται στο ρέμα όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού, σε πόσο χρόνο θα φτάσει στο μέγιστο σημείο παροχής και τέλος με ποιο ρυθμό θα εκτονωθεί η παροχή αυτή. Όλα αυτά τα μεγέθη εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και από την ένταση της βροχής. Η καταγραφή σε διάγραμμα της μεταβολής της βροχής ως προς τον χρόνο [ $P=P(t)$ ] ονομάζεται *υετόγραμμα*.

## 4.1 Κατάρτιση υετογράμματος σχεδιασμού

Στις μεθόδους που είχαν αναπτυχθεί πριν από χρόνια, για τον υδρολογικό σχεδιασμό, όπως η ορθολογική μέθοδος, λαμβανόταν υπόψη μόνο η παροχή αιχμής και καθόλου η χρονική κατανομή της παροχής ή η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Εντούτοις, πρόσφατες μέθοδοι σχεδιασμού οι οποίες χρησιμοποιούν ανάλυση ασταθούς ροής, απαιτούν αξιόπιστη πρόβλεψη του υετογράμματος σχεδιασμού για την κατάρτιση υδρογραφημάτων σχεδιασμού.

Η μέθοδος των εναλλασσομένων μπλοκ (alternating block method), είναι ένας απλός τρόπος παραγωγής υετογράμματος σχεδιασμού από μια όμβρια καμπύλη. Το υετόγραμμα σχεδιασμού που παράγεται απ' αυτή τη μέθοδο ορίζει το ύψος βροχόπτωσης που συμβαίνει σε  $n$  διαδοχικά χρονικά διαστήματα διάρκειας  $\Delta t$  και συνολική διάρκεια  $n\Delta t$ . Μετά την επιλογή της περιόδου επαναφοράς, η ένταση της βροχόπτωσης μπορεί να βρεθεί από την όμβρια καμπύλη για κάθε μια από τις χρονικές διάρκειες  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$  κ.ο.κ., και το αντίστοιχο ύψος βροχόπτωσης μπορεί να βρεθεί ως το γινόμενο της έντασης και της διάρκειας. Λαμβάνοντας διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών των υψών βροχόπτωσης, μπορεί να βρεθεί το σύνολο βροχόπτωσης που θα προστεθεί για κάθε επιπλέον μονάδα του  $\Delta t$ . Τα μπλοκ αυτά ανακατανέμονται σε μια χρονική σειρά με τη μέγιστη ένταση στο κέντρο της περιόδου επαναφοράς και τα υπόλοιπα μπλοκ σε φθίνουσα σειρά εκατέρωθεν του κεντρικού μπλοκ-εναλλασσόμενα μια αριστερά και μία δεξιά. Με τον τρόπο αυτό, καταρτίζεται το υετόγραμμα σχεδιασμού (Chow, 1988). Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται ένα τυπικό υετόγραμμα σχεδιασμού με τη μέθοδο των εναλλασσομένων μπλοκ.



Σχήμα 4.1: Παράδειγμα υετογράμματος σχεδιασμού

## 4.2 Περίσσειμα βροχόπτωσης

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

Χρονικά έπεται η πτώση της βροχής στο έδαφος που ακολουθείται από το φαινόμενο της διήθησης που αποτελεί επίσης απώλεια. Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και των απωλειών διήθησης και, εφόσον η βροχή συνεχίζεται, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του αναγλύφου. Ακολουθεί η επιφανειακή αποθήκευση. Το νερό που συγκεντρώνεται σ' αυτές τις κοιλότητες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί επίσης απώλεια.

Το τμήμα που δημιουργεί την επιφανειακή απορροή και είναι απαλλαγμένο από κάθε είδους απώλειες λέγεται Καθαρή Βροχή (Net Precipitation). Όμως, στην απορροή είναι δύσκολο να απομονώσουμε την επιφανειακή απορροή επειδή στο μέρος της επιπλέον απορροής που ακολουθεί ένα γεγονός βροχής, γνωστής ως άμεσης απορροής, εμπεριέχεται και η ταχεία υπεδάφια ροή. Για το λόγο αυτό, το μέρος της βροχής που προκαλεί την άμεση απορροή είναι η καθαρή βροχή και το τμήμα που προκαλεί την ταχεία υπεδάφια ροή ουσιαστικά εμπεριέχεται στο μέρος που διηθείται- τα οποία μαζί αναφέρονται απλοποιητικά ως Περίσσειμα Βροχής (Rainfall Excess).

Υπάρχει πάντοτε η ανάγκη αδρομερούς εκτίμησης των συνολικών απωλειών με τρόπο ώστε να μπορούν να συσχετιστούν με την άμεση απορροή. Αυτό επιτυγχάνεται με μετρημένα στοιχεία βροχόπτωσης και απορροής. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίζονται διάφοροι δείκτες που μπορούν μετά να χρησιμοποιηθούν για τη λεκάνη και για οποιαδήποτε βροχή ώστε να προσδιοριστεί το περίσσειμα βροχής.

Σύμφωνα με μια προσέγγιση, οι συνολικές απώλειες μπορούν αδρομερώς να εκτιμηθούν ως περίπου ίσες με την αθροιστική ποσότητα διήθησης που ακολουθεί το φαινόμενο της βροχής. Παρά την απλή εφαρμογή των εξισώσεων αυτών επινοήθηκαν και χρησιμοποιούνται σήμερα ποσότητες γνωστές ως δείκτες Απωλειών, όπως ο δείκτης  $\Phi$ , ο δείκτης  $W$  και ο συντελεστής απορροής  $C$ . Επίσης υπάρχει και η μέθοδος της SCS που είναι αυτή που θα εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία.

### Ο Δείκτης $\Phi$

Ο δείκτης  $\Phi$  είναι μία παράμετρος που αντιπροσωπεύει την μέση ένταση βροχόπτωσης πάνω από την οποία ο επιπλέον όγκος βροχόπτωσης ισούται με τον όγκο άμεσης απορροής. Επομένως για τον προσδιορισμό του δείκτη  $\Phi$  χρειάζεται η

μέτρηση όγκων βροχόπτωσης και απορροής μιας λεκάνης. Η μέτρησή του γίνεται με τις συνήθεις μονάδες έντασης βροχής (π.χ. mm/h).

Η μεθοδολογία για να προσδιοριστεί ο δείκτης  $\Phi$  έχει ως εξής. Αφού οριστεί μια αρχική τιμή του  $\Phi$  γίνεται έλεγχος αν ο επιπλέον όγκος βροχόπτωσης που προκύπτει είναι ίσος με αυτόν της άμεσης απορροής που μετρήθηκε στη λεκάνη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μεταβάλλοντας την τιμή του  $\Phi$  μέχρις ότου οι όγκοι της άμεσης απορροής και του περισσεύματος βροχής να γίνουν ίσοι.

Ο δείκτης  $\Phi$  περιλαμβάνει τόσο την ποσότητα διήθησης όσο και τις υπόλοιπες απώλειες όπως αναπτύχθηκαν παραπάνω. Ουσιαστικά, ο δείκτης  $\Phi$  εκφράζει τις ανά μονάδα χρόνου απώλειες της βροχόπτωσης.

### Ο Δείκτης $W$

Ένας ακόμη δείκτης απωλειών είναι ο δείκτης  $W$ . Αντιπροσωπεύει την μέση ταχύτητα διήθησης κατά τη διάρκεια  $t_1$  της διήθησης και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f_m = \frac{\int_0^{t_1} f dt}{t_1} \quad (4.1)$$

Σε περίπτωση που η ένταση βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη από τη διηθητικότητα, η τιμή του  $f$  μπορεί να υπολογιστεί με διάφορες μεθόδους όπως η εξίσωση του Horton. Σε πολλές περιπτώσεις ο δείκτης  $f_m$  αντικαθίσταται από τον δείκτη  $W$  που είναι ο μέσος όρος των  $n$  επιμέρους  $f_m$  και αναφέρεται σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Αυτό συμβαίνει διότι οι παράμετροι της εξίσωσης του  $f_m$  εξαρτώνται από τις συνθήκες εδάφους και βλάστησης και μπορεί να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή στην ίδια λεκάνη απορροής. Συνεπώς, ο δείκτης  $W$  δίνεται από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$W = \frac{\sum_i^n f_{m,i}}{n} \quad (4.2)$$

### Ο Συντελεστής Απορροής $C$

Μία ακόμη παράμετρος για τον υπολογισμό των απωλειών βροχής είναι ο συντελεστής απορροής  $C$ . Δίνεται από την σχέση που φαίνεται στην συνέχεια:

$$C = \frac{h_R}{h_r} \quad (4.3)$$

όπου  $h_R$  είναι ο όγκος της άμεσης απορροής εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος και  
 $h_r$  είναι ο όγκος βροχόπτωσης εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος.

Όπως φαίνεται από την σχέση (4.3) ο συντελεστής απορροής ουσιαστικά αποτελεί τον λόγο του όγκου της άμεσης απορροής προς τον όγκο βροχόπτωσης. Χρησιμοποιείται στην «Ορθολογική Μέθοδο» που είναι μια εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της αιχμής της πλημμύρας.

Από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν ο δείκτης  $\Phi$  χρησιμοποιείται περισσότερο λόγω της ευκολίας εφαρμογής του. Ωστόσο, δεν αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο για τον υπολογισμό του περισσεύματος της βροχής.

## Η Μέθοδος SCS

Σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες. Έτσι η εκτίμηση του περισσεύματος βροχόπτωσης είναι δύσκολη. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος βροχόπτωσης από μια δεδομένη βροχή. Ο υπολογισμός γίνεται με τη βοήθεια τριών μεταβλητών: του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας εδάφους και του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους-καλύμματος (SCS, 1972). Έτσι, με την μέθοδο της SCS μπορεί να γίνει εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής ή εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας.

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS θεωρείται ότι οι αρχικές απώλειες είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής ( $h_r$ ) και περισσεύματος βροχής ( $h_R$ ). Σύμφωνα με τη μέθοδο λοιπόν το περίσσευμα βροχής δίνεται από τις σχέσεις:

$$h_{R(i)} = \frac{(h_{r(i)} - 0.2 \cdot S_{\max})^2}{h_{r(i)} + 0.8 \cdot S_{\max}}, h_{r(i)} > 0.2 \cdot S_{\max} \quad (4.4)$$

$$h_{R(i)} = 0, h_{r(i)} \leq 0.2 \cdot S_{\max}$$

Εάν υπάρχει μέτρηση της απορροής, τότε το τελικό περίσσευμα είναι γνωστό επομένως μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες ( $S$ ) από την επίλυση του παραπάνω τύπου. Έτσι, έχουμε:

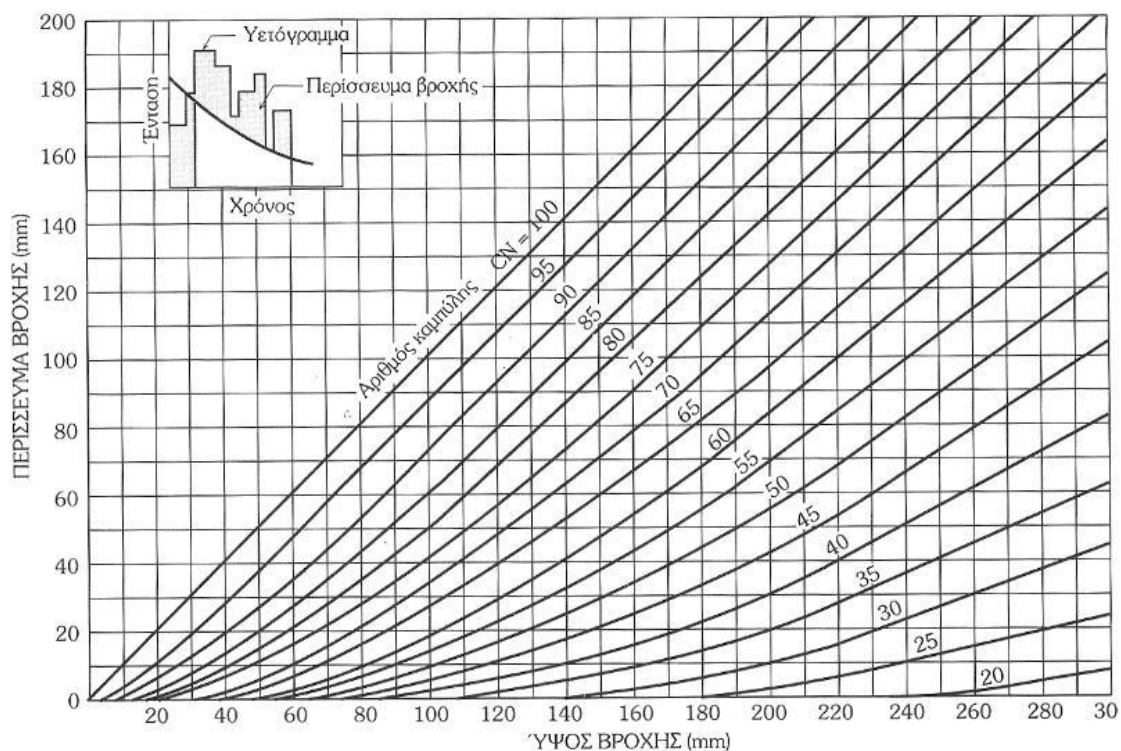
$$S = 5h_r + 10h_R - 10\sqrt{h_R(h_R + 1.25h_r)} \quad (4.5)$$

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει μέτρηση της απορροής χρησιμοποιείται η ακόλουθη εμπειρική σχέση ανάμεσα στην παράμετρο  $S$  και μια άλλη παράμετρο που είναι γνωστή ως αριθμός καμπύλης (runoff curve number) CN:

$$S_{\max} = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (4.6)$$

Ο αριθμός καμπύλης απορροής CN αντιπροσωπεύει το σύμπλοκο εδάφους-φυτοκάλυψης. Το σύμπλοκο αυτό αντιπροσωπεύει τον τύπο του εδάφους από υδρολογική άποψη και την κατηγορία φυτοκάλυψης και χρήσης γης. Η SCS έχει δώσει πίνακες με τις τιμές του CN ανάλογα με την κατηγορία εδάφους και τη χρήση γης (Τσακίρης, 1995). Ο πίνακας αυτός δίνεται στο κεφάλαιο που πραγματοποιείται η προσομοίωση της λεκάνης.

Στην συνέχεια δίνεται ο πίνακας που δίνει την σχέση του CN με το ύψος και το περίσσειμα βροχής.



Σχήμα 4.2: Υπολογισμός του περισσέυματος βροχής με τη μέθοδο SCS

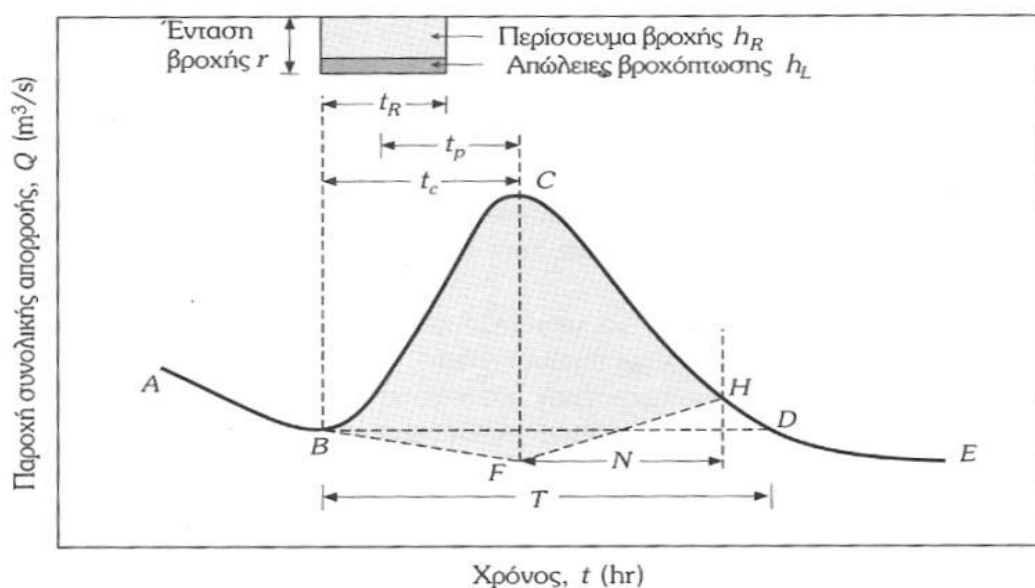
### 4.3 Υδρογράφημα πλημμυρικού γεγονότος

#### Γενικά

Υδρογράφημα όπως αναφέρθηκε παραπάνω θεωρείται γενικά η γραφική παράσταση της απορροής σε μια διατομή ενός ρεύματος ως συνάρτηση του χρόνου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον σχεδιασμό των υδραυλικών έργων παρουσιάζουν τα υδρογραφήματα των πλημμυρών δηλαδή των απορροών που αποτελούνται κυρίως από επιφανειακή απορροή.

Η επιφανειακή απορροή αναλύεται σε δύο συνιστώσες: την άμεση ή ταχεία (direct runoff, quickflow) και την βασική ή βραδεία (baseflow, base runoff). Η άμεση απορροή σχετίζεται ευθέως με το περίσσειμα της βροχής, ενώ η βασική απορροή οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στον μηχανισμό της υπόγειας ροής και, γι' αυτό, δεν επηρεάζεται αισθητά κατά τη διάρκεια των πλημμυρών (Τσακίρης, 1995).

Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ένα υδρογράφημα πλημμύρας που προέρχεται από μια μεμονωμένη ραγδαία βροχή σταθερής έντασης. Κατά τη χρονική στιγμή που η απορροή έχει φτάσει στο σημείο B (συνεχώς μειούμενη) αρχίζει η ραγδαία βροχή που δημιουργεί περίσσειμα βροχόπτωσης διάρκειας  $t_R$  όπως φαίνεται στο υετόγραμμα του ίδιου σχήματος. Αμέσως μετά η απορροή αυξάνει με τη δημιουργία του ανιόντος κλάδου BC που εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και της βροχής. Στο σημείο C, συνήθως μετά το τέλος της βροχής, παρουσιάζεται η αιχμή της απορροής και ακολουθεί ο κατιών κλάδος CD. Ο χρόνος από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης ως την αιχμή λέγεται χρονική επιβράδυνση (ή χρόνος υστέρησης),  $t_L$ . Από το σημείο D και μετά επικρατούν περίπου οι ίδιες συνθήκες απορροής όπως και πριν το B. Αν ενωθεί το B με το D επιτυγχάνεται ένας κατά προσέγγιση διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή (Τσακίρης, 1995). Η χρονική περίοδος κατά την οποία παρατηρείται άμεση απορροή είναι γνωστή ως χρονική βάση του υδρογραφήματος,  $T$ .



Σχήμα 4.3: Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας (Πηγή: Τσακίρης)

Ο κλάδος AB και DE αντιπροσωπεύει τη βασική ροή του ποταμού. Ο κλάδος αυτός ονομάζεται κλάδος στέρειωσης της βασικής ροής και συνήθως περιγράφεται μαθηματικά από μια εξίσωση εκθετικής μείωσης της παροχής ως προς το χρόνο, της μορφής:

$$Q = Q_0 e^{-(t-t_0)/a} \quad (4.7)$$

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

#### 4.4 Μοναδιαίο υδρογράφημα

##### Γενικά

Μοναδιαίο Υδρογράφημα ορίζεται το υδρογράφημα άμεσης απορροής (ΥΑΑ) που προήλθε από περίσσειμα βροχής  $h_R = 1$  cm για βροχή ομοιόμορφα κατανομημένη σε μια λεκάνη απορροής και διάρκειας περισεύματος  $t_R$ . Το μοναδιαίο υδρογράφημα (ΜΥΓ) είναι ιδιαίτερα σημαντικό διότι περιλαμβάνει ουσιαστικά όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και αναφέρεται στη συγκεκριμένη διάρκεια περισεύματος βροχής. Για κάθε δηλαδή διάρκεια περισεύματος υπάρχει κι ένα διαφορετικό μοναδιαίο υδρογράφημα το οποίο αποτελεί τη βάση (τη μονάδα) για τον υπολογισμό του υδρογραφήματος άμεσης απορροής από οποιοδήποτε ύψος περισεύματος της ίδιας διάρκειας (Τσακίρης, 1995).

Το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο γιατί μπορεί να μετασχηματίσει, οποιοδήποτε περίσσειμα ραγδαίας βροχής σε υδρογράφημα της άμεσης απορροής.

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

##### I. Αρχή της Αναλογίας:

Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας, δύο βροχές που έχουν το ίδιο περίσσειμα βροχόπτωσης της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικές εντάσεις περισεύματος βροχόπτωσης, δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση και τεταγμένες που σε κάθε χρονική στιγμή έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων.



## II. Αρχή της Επαλληλίας:

Η αρχή της επαλληλίας ορίζει ότι το συνολικό ΥΑΑ που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των ΥΑΑ των επιμέρους βροχοπτώσεων.

Οι παραπάνω αρχές πηγάζουν ουσιαστικά από τις ακόλουθες παραδοχές που αποτελούν και προϋπόθεση για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος:

- Το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος δεδομένης διάρκειας βροχής μιας λεκάνης απορροής, αντιπροσωπεύει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.
- Κατά τη διάρκεια του γεγονότος της βροχής η ένταση της βροχής θεωρείται σταθερή
- Οι βροχές με την ίδια διάρκεια έχουν την ίδια κατανομή περισεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο.
- Δύο ραγδαίες βροχές με διαφορετικό ύψος περισεύματος βροχής αλλά της ίδιας διάρκειας, δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες ανάλογες των υψών περισεύματος βροχής. (Συνθήκη Γραμμικότητας).
- Όμοια μοναδιαία υδρογραφήματα προκύπτουν από δύο ραγδαίες βροχές που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους και έχουν το ίδιο ύψος περισεύματος της βροχής και την ίδια διάρκεια (Συνθήκη Στασιμότητας).

### 4.5 Θεωρητικό υπόβαθρο του HEC-HMS

Το HEC-HMS έχει σχεδιαστεί για να επιταχύνει και να αυτοματοποιήσει την διαδικασία των υπολογισμών των μεθόδων που περιγράφηκαν νωρίτερα και ανάλογα με την μέθοδο που έχει επιλεγεί να ακολουθηθεί από τον ερευνητή για να εκτιμήσει το υδρογράφημα σχεδιασμού της περιοχής μελέτης. Το θεωρητικό υπόβαθρο των υπολογισμών του HEC-HMS που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική βασίζεται στα ακόλουθα βήματα:

#### 1. Υετόγραμμα σχεδιασμού

Το υετόγραμμα σχεδιασμού εκτιμάται με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ που περιγράφηκε νωρίτερα. Με βάση τον υπολογισμό των καθαρών υψών βροχής  $h_{R(i)}$  για κάθε βήμα χρόνου υπολογίζονται οι διαφορές τους  $\Delta h_{R(i)} = h_{R(i)} - h_{R(i-1)}$  για κάθε χρονικό βήμα  $\Delta t$ . Τα συνολικά ύψη βροχής μετασχηματίζονται σε καθαρά ύψη βροχής μέσω της μεθόδου SCS με βάση τις σχέσεις (4.4) και (4.6) που έχουν αναφερθεί παραπάνω:

$$h_{R(i)} = \frac{(h_{r(i)} - 0.2 \cdot S_{\max})^2}{h_{r(i)} + 0.8 \cdot S_{\max}}, h_{r(i)} > 0.2 \cdot S_{\max}$$

$$h_{R(i)} = 0, h_{r(i)} \leq 0.2 \cdot S_{\max}$$

όπου  $h_R$ : καθαρό ύψος βροχής (σε mm)  
 $S_{\max}$ : παράμετρος που είναι υπεύθυνη για την απώλεια του νερού λόγω της διήθησης που λαμβάνει χώρα στην λεκάνη και ισούται με:

$$S_{\max} = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

με CN: ο δείκτης καμπύλης ανάλογα με τον τύπο εδάφους της περιοχής

## 2. Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS

Η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος SCS, βασίζεται σε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα, το οποίο έχει προκύψει από την ανάλυση ενός μεγάλου αριθμού μοναδιαίων υδρογραφημάτων, για πολλές υδρολογικές λεκάνες σε μεγάλο αριθμό γεωγραφικών θέσεων.

Το αδιάστατο υδρογράφημα είναι ένα μοναδιαίο υδρογράφημα, στο οποίο η απορροή εκφράζεται ως λόγος της απορροής ως προς την αιχμή της πλημμύρας ( $Q_p$ ) και ο χρόνος ως λόγος του χρόνου ως προς το χρόνο που παρατηρείται η μέγιστη παροχή ( $t_p$ ).

Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS παρουσιάζεται αριθμητικά στον ακόλουθο πίνακα και γραφικά στο παρακάτω σχήμα:

**Πίνακας 4.1: Αδιάστατο Υδρογράφημα της SCS**

$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$
0.0	0.000	2.0	0.280
0.2	0.100	2.2	0.207
0.4	0.310	2.4	0.147
0.6	0.660	2.6	0.107
0.8	0.930	2.8	0.077
1.0	1.000	3.0	0.055
1.2	0.930	3.4	0.029
1.4	0.780	4.2	0.010
1.6	0.560	4.6	0.003
1.8	0.390	5.0	0.000



Σχήμα 4.4: Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS

όπου:

$Q/Q_p$  : ο λόγος της απορροής ( $Q$ ) ως προς την αιχμή της πλημμύρας  $Q_p$

$t/t_p$ : ο λόγος του χρόνου ως προς το χρόνο ( $t_p$ ) που παρατηρείται η μέγιστη παροχή.

Το παραπάνω υδρογράφημα μετατρέπεται σε μοναδιαίο επιθυμητής διάρκειας αν είναι γνωστά αντίστοιχα τα μεγέθη  $Q_p$  και  $t_p$ . Αν το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS αντικατασταθεί από ένα ισοδύναμο τριγωνικό μοναδιαίο υδρογράφημα, προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση σχετικά με την αιχμή της απορροής του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

$$Q_p = \frac{2.08 \cdot A}{t_p} \quad (4.8)$$

$$\text{και } t_p = \frac{t_R}{2} + t_L \quad (4.9)$$

όπου:

$A$ : η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (σε  $\text{km}^2$ ),

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

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

$t_L$ : ο χρόνος υστέρησης (σε h) της λεκάνης απορροής, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ του κέντρου μάζας του υετογράμματος και της αιχμής της πλημμύρας, που συνήθως υπολογίζεται από τη σχέση:  $t_L = 0.6 \cdot t_c$ , όπου  $t_c$  είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής (σε h)

$Q_p$ : η αιχμή της πλημμυρικής παροχής ( $m^3/s$ ) του μοναδιαίου υδρογραφήματος

### 3. Υδρογράφημα Άμεσης απορροής

Το Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής της λεκάνης προκύπτει από την σύνθεση του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος και του Υετογράμματος σχεδιασμού βασισμένο στις αρχές της σύνθεσης και της επαλληλίας που αναλυθήκαν παραπάνω:

$$Q_j = \sum_{i=m}^n QU_{(j+1-i)} \frac{\Delta h_{R2(i)}}{10} \quad (4.10)$$

$Q_j$ : η τιμή της απορροής σε χρόνο  $t_j$  (σε  $m^3/s$ )

$QU_{(j+1-i)}$ : η τεταγμένη του ΜΥ (σε  $m^3/s$ )

$\Delta h_{R2(i)}$ : η τεταγμένη του Υετογράμματος σχεδιασμού (σε mm)

$j=1,2,\dots,(N_u+N_h-1)$

$N_u$ : ο αριθμός των τεταγμένων του ΜΥΓ που είναι ίση με:

$$N_u = \frac{T_b}{\Delta t} - 1$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS

#### 5.1 Γενικά

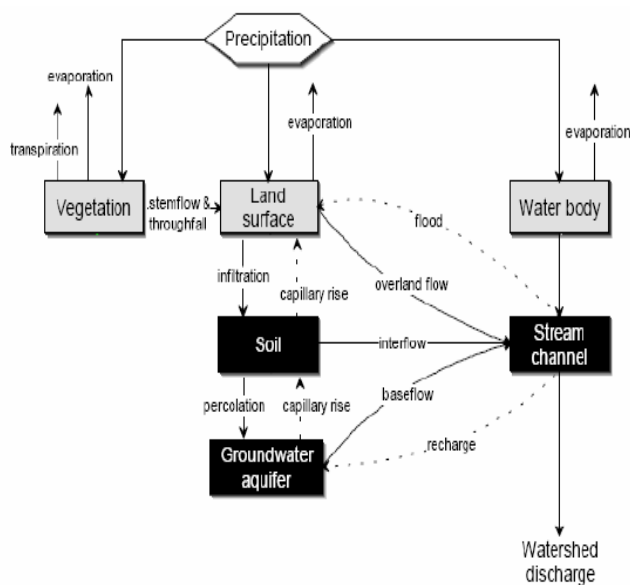
Το HEC-HMS είναι ένα πρόγραμμα υδρολογικής προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από το Σώμα Μηχανικών του στρατού των ΗΠΑ (US Army Corps of Engineers, USACE). Το πρόγραμμα αυτό προσομοιώνει τις διαδικασίες κατακρήμνισης- απορροής και διόδευσης , μέσα από φυσικά ρέματα ή τεχνητές εγκαταστάσεις. Το HEC-HMS αποτελεί εξέλιξη του προγράμματος HEC1 το οποίο ξεκίνησε από το 1967 και συνέχισε να εξελίσσεται μέχρι το 1998. Από εκεί και έπειτα το διάδοχο πρόγραμμα (HEC-HMS) σχεδιάστηκε από την αρχή έτσι ώστε να ενσωματώσει νέες δυνατότητες και να βελτιώσει τις υπάρχουσες , κάνοντας χρήση των εξελίξεων της επιστήμης των υπολογιστών και της μηχανικής, ώστε έτσι να παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα μέσα από ένα πιο εύχρηστο περιβάλλον χρήσης.

Συνοπτικά οι επιλογές που παρέχει το πρόγραμμα για την προσομοίωση διαδικασιών κατακρήμνισης- απορροής- διόδευσης :

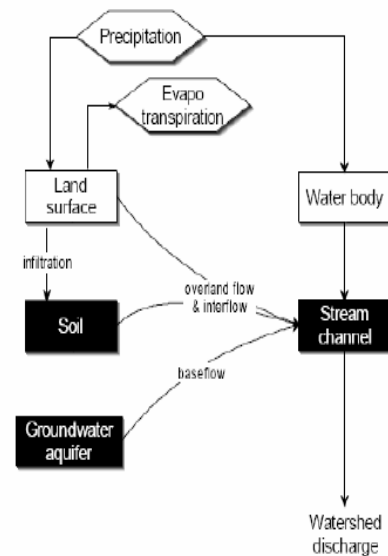
- Επιλογές κατακρημνίσεων- προδιαγραφών οι οποίες να μπορούν να περιγράψουν μια χρονοσειρά κατακρήμνισης, μία υποθετική κατακρήμνιση, ή ένα γεγονός που περιγράφει το άνω όριο μιας πιθανής κατακρήμνισης σε μια τοποθεσία.
- Μοντέλα άμεσης απορροής για τον υπολογισμό της επιφανειακής ροής, την αποθήκευση και την απώλεια ενέργειας καθώς το νερό διαρρέει από την λεκάνη στο ρέμα.
- Μοντέλα απωλειών τα οποία μπορούν να υπολογίσουν τον όγκο τη απορροής, δεδομένης της κατακρήμνισης και των ιδιοτήτων της λεκάνης απορροής
- Μοντέλα φυσικών συμβολών και διακλαδώσεων

- Μοντέλα υδρολογικών διεδύσεων για τον υπολογισμό της υδαταποθήκευσης και της ενεργειακής ροής καθώς το νερό ρέει στο ρέμα.
- Μοντέλα για τα έργα ελέγχου του νερού, όπως εκτροπές και εγκαταστάσεις αποθήκευσης.
- Συνδέσεις με ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων (HEC-DSS) το οποίο επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων την επανάκτηση και την συνδεσιμότητα με άλλα εργαλεία ανάλυσης.

Τα υδρογραφήματα που παράγει το πρόγραμμα χρησιμοποιούνται για την διαχείριση των υδατικών συστημάτων, καθώς η χρησιμότητά τους είναι εμφανής σε περιπτώσεις όπως: μελέτες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, αποστραγγιστικά έργα, μελέτες πρόγνωσης πλημμυρών, σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων κα. Η αναπαράσταση των διαδικασιών βροχής απορροής απλοποιείται και μοντελοποιείται σε περιβάλλον HEC-HMS όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Απεικόνιση διεργασιών βροχής – απορροής (Feldman 2000)



Μοντελοποίηση απορροής από το HEC-HMS (Feldman 2000)

Από την παράθεση του πραγματικού συστήματος και του αντίστοιχου απλοποιημένου μοντέλου HMS παρατηρείται η λεπτομερής ανάλυση μόνο των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την πρόβλεψη της απορροής. Τα υπόλοιπα συγχωνεύονται και απλοποιούνται. Παράμετροι όπως η επιφανειακή ροή, η εξατμισοδιαπνοή μπορούν ανάλογα με την απόφαση του μελετητή να αγνοηθούν ή να ληφθούν υπόψη.

## 5.2 Το πεδίο εφαρμογής

Το πρόγραμμα είναι ένα γενικευμένο σύστημα μοντελοποίησης σε θέση να εκπροσωπεί πολλές διαφορετικές λεκάνες απορροής. Ένα μοντέλο της λεκάνης κατασκευάζεται με το διαχωρισμό του υδρολογικού κύκλου σε διαχειρίσιμα κομμάτια και την κατασκευή ορίων γύρω από τη λεκάνη απορροής. Κάθε ροή μάζας ή ενέργειας στον κύκλο μπορούν στη συνέχεια να εκπροσωπηθούν με ένα μαθηματικό μοντέλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αρκετές επιλογές μοντέλων είναι διαθέσιμες για την αναπαράσταση κάθε ροής. Κάθε μαθηματικό μοντέλο που συμπεριλαμβάνετε στο πρόγραμμα είναι κατάλληλο για διαφορετικές συνθήκες. Η σωστή επιλογή του μοντέλου προϋποθέτει γνώση του υδροκρίτη, των στόχων της υδρολογικής μελέτης αλλά και τεχνική κρίση.

Το πρόγραμμα διαθέτει ένα πλήρως ολοκληρωμένο περιβάλλον εργασίας, συμπεριλαμβανομένης μιας βάσης δεδομένων, δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων, μηχανή υπολογισμού και εργαλεία εμφάνισης των αποτελεσμάτων. Η γραφική ανάδραση με τον χρήστη επιτρέπει την απρόσκοπτη κινητικότητα μεταξύ των διαφόρων μερών του προγράμματος.

## 5.3 Ικανότητες

Το πρόγραμμα έχει μια εκτενή σειρά δυνατοτήτων για τη διενέργεια υδρολογικής προσομοίωσης. Πολλές από τις συνηθέστερες υδρολογικές μεθόδους και μεθόδους μηχανικής περιλαμβάνονται με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι εύκολη η χρήση τους. Το πρόγραμμα κάνει το δύσκολο έργο και αφήνει τον χρήστη να επικεντρωθεί στο πώς να αναπαραστήσει καλύτερα το περιβάλλον.

### 5.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά υδροκρίτη

Η φυσική απεικόνιση ενός υδροκρίτη επιτυγχάνεται με ένα μοντέλο λεκάνης, όπου τα υδρολογικά στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε ένα δενδρικό δίκτυο για την προσομοίωση των διαδικασιών απορροής. Διαθέσιμα στοιχεία είναι τα εξής: η υπό-λεκάνη, το ρέμα, η συμβολή, η δεξαμενή, η εκτροπή, η πηγή και εκβολή. Ο υπολογισμός γίνεται με κατεύθυνση από τα ανάντη στοιχεία προς τα κατόντη.

Μια ποικιλία διαφορετικών μεθόδων είναι διαθέσιμη για την προσομοίωση των απωλειών λόγω διήθησης. Οι επιλογές για την προσομοίωση περιλαμβάνουν: την αρχικά σταθερή, τον αριθμό καμπύλη SCS, τον πλεγματοποιημένο αριθμό καμπύλης SCS, την εκθετική, την Green Ampt και την Smith parlange. Μέθοδοι πλέγματος είναι διαθέσιμες τόσο για τις μεθόδους του σταθερού ελλείμματος και για τις μεθόδους μέτρησης της εδαφικής υγρασίας.

Επτά μέθοδοι περιλαμβάνονται για τη μετατροπή του περισσεύματος βροχής σε επιφανειακή απορροή. Οι επιλογές μεθόδων μοναδιαίου υδρογραφήματος περιλαμβάνουν την Clark, Snyder και SCS τεχνικές. Υπάρχει δυνατότητα ορισμού

από τον χρήστη του μοναδιαίου υδρογραφήματος ή μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν οι συντεταγμένες του γραφήματος S. Η τροποποιημένη μέθοδος Clark, ModClark, είναι μια ακόμη επιλογή όπως και αυτή της κινηματικής μεθόδου.

Πέντε μέθοδοι περιλαμβάνονται για την εκπροσώπηση της συνεισφοράς της βασικής ροής στην εκροή της λεκάνης. Η μέθοδος της ύφεσης(recession) δίνει μια εκθετικά φθίνουσα βασική ροή από ένα μεμονωμένο γεγονός. Η μη γραμμική μέθοδος Boussinesq δίνει αποτελέσματα παρόμοια με τη μέθοδο της ύφεσης, αλλά οι παράμετροι μπορούν να εκτιμηθούν από μετρήσιμες ιδιότητες της λεκάνης.

Συνολικά έξι υδρολογικοί μέθοδοι διόδευσης περιλαμβάνονται για την προσομοίωση της ροής σε ανοικτούς αγωγούς. Οι μέθοδοι διόδευσης χωρίς εξασθένιση μπορούν να μοντελοποιηθούν με τη μέθοδο της υστέρησης. Η παραδοσιακή μέθοδος Muskingum περιλαμβάνεται για απλές προσεγγίσεις της εξασθένισης. Περιλαμβάνεται επίσης η τροποποιημένη μέθοδος Puls . Τα κανάλια με τραπεζοειδή, ορθογώνια, τριγωνική ή κυκλική διατομή μπορούν να μοντελοποιηθούν με το κινηματικό κύμα ή τη μέθοδο Muskingum-Cunge. Οι απώλειες του καναλιού μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν. Η μέθοδος σταθερής απώλειας μπορεί να προστεθεί σε οποιαδήποτε μέθοδο δρομολόγησης, ενώ η μέθοδος διήθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με την τροποποιημένη Puls ή την Muskingum-Cunge μέθοδο.

Κατακρατήσεις νερού μπορούν επίσης να μοντελοποιηθούν. Οι λίμνες συνήθως περιγράφονται από μία καθορισμένη από τον χρήστη σχέση μεταξύ αποθήκευσης και εκροής.

### **Δημιουργία του μοντέλου λεκάνης (basin model)**

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εισαγωγή των φυσικών χαρακτηριστικών και των μεθόδων του μοντέλου της λεκάνης έχει ως εξής. Από το menu components → basin model manager πατώντας new στην καρτέλα που εμφανίζεται, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ενός νέου μοντέλου λεκάνης. Δίνοντας όνομα και περιγραφή πατώντας create δημιουργείται ο φάκελος basin models που περιέχει όλα τα μοντέλα λεκάνης που προστίθενται στο πρόγραμμα και από εκεί γίνεται η διαχείριση τους.

Ο χρήστης έχει ακόμα την δυνατότητα να παραθέσει χάρτες υποβάθρου της λεκάνης του ποταμού για να έχει εποπτική εικόνα. Η λειτουργία αυτή γίνεται μέσω της εντολής view → background maps από όπου και φορτώνονται οι χάρτες.





Η εισαγωγή των εργαλείων στο χάρτη πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της λειτουργίας της λεκάνης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν:

1. Δύο υπολεκάνες (sub basin), του Ερασίνου ανάντη και του Αγίου Γεωργίου.
2. Ένα σημείο όπου ενώνονται οι εκβολές των ποταμών, επομένως μία συμβολή (junction)
3. Τρία ρέματα (reach) που θα ενώνουν τις συμβολές μεταξύ τους.

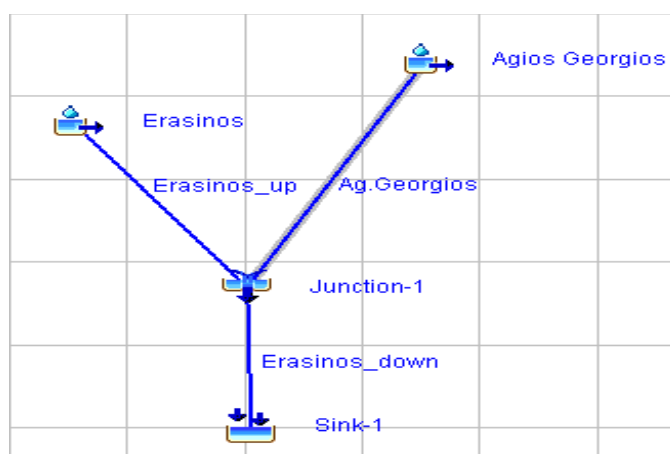


Τα παραπάνω στοιχεία της λεκάνης μπορούν να παρουσιαστούν στο πρόγραμμα HEC- HMS με την βοήθεια των ακόλουθων εργαλείων:

**Πίνακας 5.1: Λειτουργία εργαλείων του HEC-HMS**

Εικονίδιο στο HEC-HMS	Ονομασία στο HEC-HMS	Ιδιότητα
	Sub-basin	Υπολεκάνη: είναι το στοιχείο που συνήθως δεν έχει εισροή παρά μόνο μία εκροή. Είναι ένας από τους δύο τρόπους στο HEC για παραγωγή απορροής στο μοντέλο λεκάνης.
	Junction	Συμβολή: το υδρολογικό στοιχείο που χρησιμεύει για να συνδυάσει τις απορροές των υπόλοιπων στοιχείων ανάντη
	Reach	Αγωγός: είναι το στοιχείο που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει ποτάμια ή ρέματα
	Sink	Δεξαμενή: είναι το στοιχείο στο οποίο καταλήγουν οι απορροές και αντιπροσωπεύει συνήθως την έξοδο της λεκάνης

Έτσι δημιουργείται το εξής μοντέλο λεκάνης απορροής για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης:



**Εικόνα 5.1: Μοντέλο λεκάνης Περιοχής Ερασίνου**

Για την κατάρτιση του μοντέλου λεκάνης στη συνέχεια γίνεται η επιλογή των μεθόδων απωλειών βροχής, μετασχηματισμού και επιστροφής ροής που περιγράφηκαν παραπάνω.

### 5.3.2 Μετεωρολογική περιγραφή

Η ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων γίνεται από το μετεωρολογικό μοντέλο και περιλαμβάνει την κατακρήμνιση, την εξατμισοδιαπνοή και το λιώσιμο του πάγου. Περιλαμβάνονται έξι διαφορετικές ιστορικές και συνθετικές μέθοδοι βροχόπτωσης. Τρεις μέθοδοι εξατμισοδιαπνοής και μόνο δύο μέθοδοι για τα χιόνια που λιώνουν είναι διαθέσιμες.

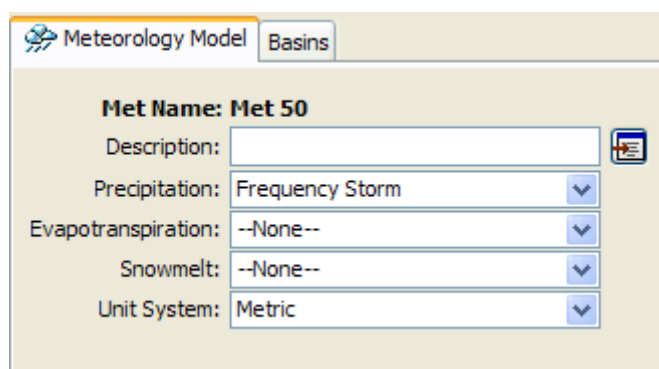
Περιλαμβάνονται τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι για την ανάλυση των ιστορικών κατακρημνίσεων. Η μέθοδος του καθορισμένου από τον χρήστη υετογράμματος είναι για τα δεδομένα βροχόπτωσης που αναλύονται έξω από το πρόγραμμα. Η μέθοδος "Gage weights" μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί.

Τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι για την παραγωγή συνθετικών βροχοπτώσεων περιλαμβάνονται. Η μέθοδος "frequency storm" χρησιμοποιεί στατιστικά δεδομένα για την παραγωγή ισορροπημένων καταιγίδων με μια συγκεκριμένη πιθανότητα. Πηγές των στατιστικών δεδομένων είναι διάφοροι χάρτες τις Εθνικής Υπηρεσίας Καιρού των Η.Π.Α (NOAA Atlas 2, NOAA Atlas 14, NOAA Atlas 14 ). Οι μέθοδοι "standard project storm" και "SCS hypothetical storm" είναι επίσης διαθέσιμες στον χρήστη.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί βάσει μηνιαίων τιμών. Μπορεί επίσης να γίνει η εφαρμογή της μεθόδου Priestley-Taylor που περιλαμβάνει συντελεστές καλλιέργειας. Η εκδοχή της μεθόδου Priestley-Taylor με κάρναβο είναι επίσης διαθέσιμη, καθορίζοντας τις απαιτούμενες παραμέτρους της θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας σε πλεγματοποιημένη βάση.

#### Δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου (Meteorologic model)

Στο στάδιο λοιπόν αυτό γίνεται η εισαγωγή του Υετογράμματος, της εξατμισοδιαπνοής και της τήξης του χιονιού. Η εισαγωγή του μετεωρολογικού μοντέλου γίνεται με τον ίδιο τρόπο που δημιουργήθηκε και το basin model. Πατώντας στο αντίστοιχο εικονίδιο του μοντέλου που δημιουργήθηκε (met) εμφανίζεται το ακόλουθο μενού όπου γίνεται η επιλογή των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 5.2: Καρτέλα επιλογής μεθόδων του Meteorologic model

### 5.3.3 Υδρολογική προσομοίωση

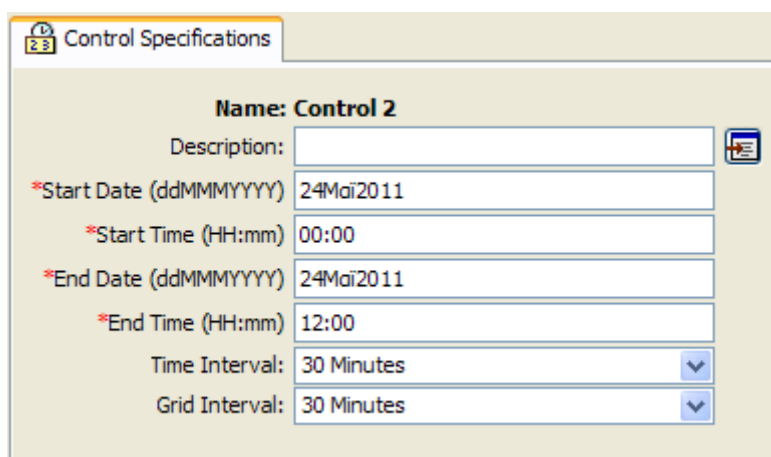
Το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης ελέγχεται από το “control specifications”. Το “control specifications” περιλαμβάνει ημερομηνία και ώρα έναρξης, ημερομηνία λήξης και ώρα καθώς και ένα χρονικό διάστημα.

Μια προσομοίωση δημιουργείται με το συνδυασμό ενός μοντέλου λεκάνης, ενός μετεωρολογικού μοντέλου και ενός “control specification”. Οι επιλογές “τρέξιματος” περιλαμβάνουν την ικανότητα για αποθήκευση όλων των πληροφοριών της λεκάνης σε ένα χρονικό σημείο και τη δυνατότητα να αρχίσει μια προσομοίωση να τρέχει από τις πληροφορίες που αποθηκεύτηκαν προηγουμένως.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να προβληθούν από τον χάρτη της λεκάνης. Οι συνοπτικοί πίνακες περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με αιχμή της ροή και τον συνολικό όγκο. Ο πίνακας χρονοσειρών και το διάγραμμα είναι διαθέσιμες για τα στοιχεία της λεκάνης. Τα αποτελέσματα από πολλαπλά στοιχεία λεκάνης και πολλαπλά “τρέξιματα” προσομοίωσης μπορούν επίσης να προβληθούν. Όλα επίσης τα γραφήματα και οι πίνακες μπορούν να εκτυπωθούν.

#### Δημιουργία του “Control specification”

Σε αυτό το βήμα γίνεται η εισαγωγή ενός σταθμού ελέγχου για τα χρονικά δεδομένα με τα οποία θα γίνει η προσομοίωση. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω απαιτείται προσοχή ώστε για τους χρονικούς περιορισμούς που θα δοθούν να υπάρχουν αντίστοιχα δεδομένα. Με τον γνωστό λοιπόν τρόπο εισάγεται το μοντέλο και πατώντας πάνω στο εικονίδιο control 1 συμπληρώνονται οι ημερομηνίες, οι ώρες ελέγχου και το χρονικό βήμα όπως φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 5.3: Καρτέλα επιλογής χρονικών βημάτων της προσομοίωσης

Έχοντας ολοκληρώσει την είσοδο των δεδομένων στο πρόγραμμα επόμενο βήμα είναι η προσομοίωση και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Πατώντας πάνω





στο “compute” την επιλογή “create simulation Run” εμφανίζεται ένας οδηγός όπου συμπληρώνονται τα μοντέλα που θα συμπεριλάβει η προσομοίωση. Στη συνέχεια πατώντας την επιλογή “compute” → “select run” γίνεται η επιλογή της προσομοίωσης και στην συνέχεια πατώντας το κουμπί “compute current run”



πραγματοποιείται η προσομοίωση.

Για την προβολή των αποτελεσμάτων αφού επιλεγεί ξανά το μοντέλο λεκάνης και με δεξιά κλικ πάνω στο αντίστοιχο εργαλείο επιλέγεται η μορφή των αποτελεσμάτων. Εναλλακτικά από το menu υπάρχουν οι εξής επιλογές:

**Πίνακας 5.2 : Επεξήγηση λειτουργίας εργαλείων του HEC-HMS**

Εικονίδιο	Εργασία που εκτελεί
	εμφάνιση συνολικού, συνοπτικού πίνακα
	εμφάνιση γραφήματος για το επιλεγμένο εργαλείο
	εμφάνιση συνοπτικού πίνακα για το επιλεγμένο εργαλείο
	εμφάνιση χρονοσειρών για το επιλεγμένο εργαλείο

### 5.3.4 Εκτίμηση παραμέτρων

Οι περισσότερες παράμετροι για τις μεθόδους που περιλαμβάνονται στην υπολεκάνη απορροής και τα στοιχεία των ποταμών μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας αυτόματα δοκιμές βαθμονόμησης. Παρατηρούμενες απορροές πρέπει να είναι διαθέσιμες για τουλάχιστον ένα στοιχείο πριν τη βαθμονόμηση για να μπορεί να αρχίσει. Οι παράμετροι για κάθε στοιχείο ανάντη της θέσης της παρατηρούμενης ροής μπορούν να υπολογιστούν. Επτά διαφορετικές αντικειμενικές συναρτήσεις είναι διαθέσιμες για την εκτίμηση της καλής προσαρμογής μεταξύ των υπολογιζόμενων αποτελεσμάτων και παρατηρούμενη ροή. Δύο διαφορετικές μέθοδοι αναζήτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Μπορούν να επιβληθούν και περιορισμοί για τον περιορισμό της διαφοράς μεταξύ των παραμέτρων της μεθόδου αναζήτησης.

### 5.3.5 Αναλύοντας προσομοιώσεις

Τα εργαλεία ανάλυσης έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν με την εκτέλεση της προσομοίωσης για να παρέχει πρόσθετες πληροφορίες. Επί του παρόντος, το μόνο εργαλείο είναι το εργαλείο “depth-area”. Λειτουργεί με τρεξίματα προσομοίωσης που έχουν ένα μετεωρολογικό μοντέλο σύμφωνα με τη μέθοδο “frequency storm”. Δίνεται μια επιλογή των στοιχείων και το εργαλείο ρυθμίζει αυτόματα την περιοχή της

καταιγίδα και δημιουργεί ροές αιχμής που εκπροσωπούνται από τις σωστές περιοχές καταιγίδας.

### 5.3.6 Σύνδεση με GIS

Η δύναμη και η ταχύτητα του προγράμματος, επιτρέπουν να εκπροσωπήσει λεκάνες απορροής με εκατοντάδες υδρολογικά στοιχεία. Παραδοσιακά, τα στοιχεία αυτά θα προσδιορίζονται από την επιθεώρηση ενός τοπογραφικού χάρτη και αυτόματο εντοπισμό των ορίων αποστράγγισης. Ενώ αυτή η μέθοδος είναι αποτελεσματική, είναι απαγορευτικά χρονοβόρα όταν η λεκάνη πρόκειται να εκπροσωπηθεί με πολλά στοιχεία. Ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), μπορεί να χρησιμοποιήσει υψομετρικά δεδομένα και γεωμετρικούς αλγορίθμους για να εκτελέσει την ίδια εργασία πολύ πιο γρήγορα. Ένα συνοδευτικό προϊόν GIS έχει αναπτυχθεί για να βοηθήσει στην δημιουργία μοντέλων λεκάνης απορροής για τα εν λόγω έργα. Καλείται HEC-GeoHMS και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία λεκάνης και μετεωρολογικά μοντέλα για χρήση με το πρόγραμμα.

## 5.4 Περιορισμοί

Κάθε σύστημα προσομοίωσης έχει περιορισμούς λόγω των επιλογών που έχουν γίνει κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του λογισμικού. Οι περιορισμοί που προκύπτουν σε αυτό το πρόγραμμα οφείλονται σε δύο πτυχές του σχεδιασμού: στη διατύπωση του απλουστευμένου μοντέλου και την απλοποιημένη αναπαράσταση της ροής. Η διατύπωση του απλουστευμένου μοντέλου επιτρέπει στο πρόγραμμα την πολύ γρήγορη ολοκλήρωση των προσομοιώσεων, ενώ ταυτόχρονα παράγει ακριβή και έγκυρα αποτελέσματα. Η απλοποιημένη αναπαράσταση της ροής στοχεύει να διατηρεί την υπολογιστική διαδικασία αποτελεσματική και μειώνει την επανάληψη των δυνατοτήτων του λογισμικού του HEC.

### Μοντέλο διαμόρφωσης

Όλα τα μαθηματικά μοντέλα που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα είναι ντετερμινιστικά. Αυτό σημαίνει ότι οι συνοριακές συνθήκες, οι αρχικές συνθήκες και οι παράμετροι των μοντέλων θεωρείται ότι είναι γνωστές με ακρίβεια. Αυτό εγγυάται ότι κάθε φορά που μια προσομοίωση υπολογίζεται θα αποφέρει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με όλες τις προηγούμενες φορές που υπολογίστηκε. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα μερικές φορές συγκρίνονται με στοχαστικά μοντέλα, όπου οι ίδιες οριακές συνθήκες, οι αρχικές συνθήκες και οι παράμετροι αντιπροσωπεύονται με κατανομές πιθανότητας.

Όλα τα μαθηματικά μοντέλα που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα χρησιμοποιούν σταθερές τιμές παραμέτρων, δηλαδή, θεωρείται ότι είναι σταθερές με τον χρόνο. Κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων είναι δυνατόν παράμετροι

που περιγράφουν μια λεκάνη απορροής να αλλάξουν ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης ή άλλων διεργασιών στο χώρο εργασίας στην λεκάνη απορροής. Αυτές οι τάσεις των παραμέτρων δεν είναι δυνατόν να περιλαμβάνονται σε μια προσομοίωση.

Όλα τα μαθηματικά μοντέλα που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα είναι αυτόνομα. Το πρόγραμμα υπολογίζει πρώτα την εξατμισοδιαπνοή και στη συνέχεια να υπολογίζει την διήθηση. Στο φυσικό κόσμο, το ποσό της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από την ποσότητα του νερού στο έδαφος. Η ποσότητα της διήθησης εξαρτάται επίσης από την ποσότητα του νερού του εδάφους. Ωστόσο, η εξατμισοδιαπνοή αφαιρεί νερό από το έδαφος την ίδια στιγμή που η διήθηση προσθέτει νερό στο έδαφος. Για να λυθεί το πρόβλημα σωστά η εξατμισοδιαπνοή και η διήθηση θα πρέπει να προσομοιώνονται ταυτόχρονα με μαθηματικές εξισώσεις για τις δύο διαδικασίες που συνδέονται αριθμητικά. Αυτό το πρόγραμμα δεν περιλαμβάνει αυτή την δυνατότητα. Τα σφάλματα που οφείλονται στη χρήση των αποσυνδεδεμένων μοντέλων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο με χρησιμοποιώντας μικρό χρονικό βήμα στους υπολογισμούς.

### **Αναπαράσταση της ροής**

Ο σχεδιασμός του μοντέλου λεκάνης επιτρέπει μόνο δενδριτικά δίκτυα ρεμάτων. Η βασική ιδέα είναι ότι ένα ρεύμα δεν μπορεί να χωριστεί σε δύο ρεύματα. Το μοντέλο λεκάνης επιτρέπει σε κάθε υδρολογικό στοιχείο να έχει μόνο μία κατάντη σύνδεση, επομένως δεν είναι δυνατό να διαχωριστεί η έξοδος από ένα στοιχείο σε δύο διαφορετικά κατάντη στοιχεία. Το στοιχείο της εκτροπής προβλέπει μια περιορισμένη δυνατότητα να αφαιρεθεί ορισμένη από τη ροή του και να το μεταφέρει σε διαφορετική θέση του κατάντη δικτύου. Ομοίως, ένα στοιχείο δεξαμενής μπορεί να έχει μία βοηθητικό διέξοδο. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, διακλάδωση του δικτύου ρευμάτων δεν μπορεί να προσομοιωθεί από το πρόγραμμα και θα απαιτεί ένα ξεχωριστό υδραυλικό μοντέλο το οποίο μπορεί να αντιπροσωπεύει τα εν λόγω δίκτυα.

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας για τον υπολογισμό μια προσομοίωσης δεν επιτρέπει στάσιμα νερά στο δίκτυο ρευμάτων. Η υπολογιστική διαδικασία ξεκινάει σε λεκάνες απορροής με τρεχούμενα νερά και εκτελείται προς τα κάτω μέσω του δικτύου. Κάθε στοιχείο υπολογίζεται για ολόκληρο το χρονικό παράθυρο προσομοίωσης πριν το επόμενο στοιχείο. Δεν υπάρχει επανάληψη μεταξύ των στοιχείων. Συνεπώς, δεν είναι δυνατόν στα ανάντη στοιχεία να υπάρχει γνώση των κατάντη συνθηκών ροής. Υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα να αντιπροσωπευτούν τα στάσιμα νερά εάν περιέχονται πλήρως μέσα σε ένα ρέμα. Ωστόσο, γενικά, η παρουσία στάσιμων νερών στα ρέματα του δικτύου απαιτεί ξεχωριστό υδραυλικό μοντέλο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Ανάλυση βροχομετρικών παρατηρήσεων

Η βροχόπτωση είναι ένα μέγεθος ιδιαίτερα μεταβλητό στο χώρο και το χρόνο και για αυτό δεν είναι εύκολο να γίνει η ανάλυσή του. Η αντιπροσωπευτική καταγραφή της βροχής γίνεται με την χρήση βροχογράφου, ο οποίος παράγει μία αθροιστική καμπύλη ύψους βροχής σε σχέση με τον χρόνο. Με βάση τα δεδομένα του βροχογράφου μπορούν να προκύψουν διαγράμματα ύψους βροχής– χρόνου τα οποία ονομάζονται υετογράμματα καθώς επίσης και η μέγιστη ένταση βροχής για κάθε διάρκεια.

Με την ανάλυση συχνότητας και την συσχέτιση των μεγεθών ένταση, διάρκεια, περίοδος επαναφοράς προκύπτουν διαγράμματα ιδιαίτερα χρήσιμα στον υδρολογικό σχεδιασμό πολλών έργων προστασίας υδατικών πόρων. Οι καμπύλες που προκύπτουν είναι γνωστές στην υδρολογία ως «Όμβριες Καμπύλες». Από τις καμπύλες αυτές εξάγονται συνήθως καμπύλες εκθετικού ή άλλου τύπου. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κυρίως οι εξής δύο μορφές:

- $r=a \cdot t^n$  διαφορετική για κάθε περίοδο επαναφοράς
- $r=c \cdot \frac{t^n}{T^b}$  μοναδική για όλες τις περιόδους επαναφοράς  
(γνωστή ως γενικευμένη όμβρια καμπύλη)

όπου  $a$ ,  $b$  και  $c$  σταθερές που προσδιορίζονται κατάλληλα .

Συνήθως στις Όμβριες Καμπύλες χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μονάδες:

$r$  σε mm/h

$t$  σε h

$T$  έτη

Τέλος, σε ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ για τις Προδιαγραφές Διευθετήσεων Υδατορευμάτων για την περιοχή της Ανατολικής Αττικής προτάθηκε η Όμβρια Καμπύλη που καλύπτει το 90% των περιοχών της χώρας:

$$i=40 \cdot t^{-0.60} \text{ για } T=50 \text{ έτη}$$

όπου  $i$  η ένταση σε mm/h

$t$  η διάρκεια σε h

## 6.1 Εκτίμηση Όμβριων Καμπυλών περιοχής Ερασίνου

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε ανάλυση βροχομετρικών παρατηρήσεων και έγινε η εξαγωγή Όμβριων Καμπυλών για την υπό μελέτη περιοχή του Ερασίνου για περιόδους επαναφοράς  $T=5, 10, 25, 50$  και  $100$  έτη.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα μέγιστα ύψη βροχής για διάφορες διάρκειες από τον βροχογράφο του σταθμού Μαρκόπουλο για την περίοδο 1962- 1996 και δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.1: Μέγιστα ύψη βροχής σταθμού Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Μαρκόπουλου**

Υδρολ. έτος	30'	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
<b>1962-63</b>	10.9	20.7	21.7	29.5	30.6	43.1
<b>1963-64</b>	10.6	17.2	27.2	44.6	52.2	52.3
<b>1964-65</b>	10.2	14.9	19.8	27.2	39.1	41.1
<b>1965-66</b>	9.4	9.4	9.8	18.5	18.7	33.3
<b>1966-67</b>	16.1	19.8	25.2	39.1	39.8	56.7
<b>1967-68</b>	14.2	24.3	25.8	31.4	39.7	57.3
<b>1968-69</b>	9.5	16.9	20.7	25.3	33.1	45.5
<b>1969-70</b>	8.7	8.7	12.2	19.9	20.9	29.8
<b>1970-71</b>	23.3	33.7	41.1	49.8	64.6	71.4
<b>1971-72</b>	10.4	16.7	25.8	50.1	71.3	103.1
<b>1972-73</b>	23.3	33.7	41.1	50.4	77.1	78.8
<b>1973-74</b>	12.3	14.9	19.1	42.6	68.8	93.1
<b>1974-75</b>	7.5	11.5	20.8	29.0	29.0	29.0
<b>1975-76</b>	12.1	18.5	26.2	42.5	59.5	69.4
<b>1976-77</b>	17.3	24.1	33.3	44.0	45.9	48.1
<b>1977-78</b>	9.9	19.1	34.5	40.0	55.0	56.9
<b>1978-79</b>	11.5	21.9	23.2	32.8	36.1	38.9
<b>1979-80</b>	9.0	13.5	26.1	27.1	40.7	49.9
<b>1980-81</b>	10.1	14.8	20.0	27.3	33.4	55.0



<b>1981-82</b>	16.2	19.5	25.5	44.1	85.5	111.3
<b>1982-83</b>	13.5	19.0	26.4	41.1	56.0	63.9
<b>1983-84</b>	15.8	16.5	16.5	27.4	41.6	47.4
<b>1985-86</b>	23.3	33.7	41.1	49.8	64.6	71.4
<b>1986-87</b>	11.0	14.5	17.0	38.2	62.3	68.8
<b>1987-88</b>	7.5	12.2	20.6	37.8	42.1	42.2
<b>1988-89</b>	3.4	4.7	6.0	6.0	8.9	12.4
<b>1989-90</b>	7.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>1990-91</b>	6.0	8.9	10.6	18.0	32.2	42.7
<b>1991-92</b>	9.5	14.6	14.9	23.2	31.6	37.4
<b>1992-93</b>	7.6	10.8	15.7	32.7	39.2	39.2
<b>1993-94</b>	14.7	17.5	19.8	23.8	26.5	36.2
<b>1994-95</b>	9.7	9.7	19.3	25.5	41.9	47.9
<b>1995-96</b>	11.7	14.8	22.1	24.5	31.7	37.3

Για την ανάλυσή τους θεωρήθηκε ότι για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης το δείγμα των μέγιστων υψών βροχής ακολουθεί την Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου Ι (Gumbel). Οι παράμετροι της κατανομής δίνονται στον εξής πίνακα

**Πίνακας 6.2: Υπολογισμός παραμέτρων κατανομής Gumbel**

Διάρκεια	0.5	1	2	6	12	24
<b>Μέσος όρος</b> $\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{N}$	11.9	16.9	22.3	32.5	43.3	52.1
<b>Τυπική απόκλιση</b> $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$	4.7	7.0	8.7	11.5	18.4	22.3
<b>Παράμετρος κατανομής α</b> $\hat{\alpha} = \frac{\hat{\sigma}}{1.283}$	3.7	5.4	6.8	9.0	14.3	17.4
<b>Παράμετρος κατανομής β</b> $\hat{\beta} = \bar{x} - 0.45 \cdot \hat{\sigma}$	9.8	13.8	18.4	27.3	35.0	42.1

Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε ο πρώτος τύπος Όμβριων Καμπυλών  $r=a \cdot t^{\beta}$  με διαφορετική σχέση για κάθε περίοδο επαναφοράς. Έτσι, για παράδειγμα για περίοδο επαναφοράς 50 ετών η διαδικασία που ακολουθείται έχει ως εξής:

$$P(y) = P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T}$$

$$P(y) = 1 - \frac{1}{50}$$

$$P(y) = 0.98$$

Όμως

$$P(y) = \exp(-\exp(-y))$$

$$\exp(-\exp(-y)) = 0.98$$

$$y = -\ln(-\ln(0.98))$$

$$y = 3.9$$

Για την διάρκεια των 24h, το μέγιστο ύψος βροχής προκύπτει:

$$x_{50} = y \cdot \alpha + \beta$$

$$x_{50} = 3.9 \cdot 3.7 + 9.8$$

$$x_{50} = 109.9 \text{ mm}$$

Επομένως η αντίστοιχη ένταση βροχής είναι:  $109.9 \text{ mm}/24 \text{ h} = 4.6 \text{ mm}$ .

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι εντάσεις για κάθε διάρκεια και περίοδο επαναφοράς και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 6.3: Υπολογισμός μέγιστων εντάσεων για κάθε περίοδο επαναφοράς και διάρκεια**

		0.5 h	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
<b>T=5 έτη</b> <b>P(y)= 0.8</b> <b>y= 1.50</b>	$x_5 = \alpha y + \beta$	15.3	13.8	18.4	27.3	35.0	42.1
	Ένταση r	30.6	13.8	9.2	4.5	2.9	1.8
<b>T=10 έτη</b> <b>P(y)= 0.9</b> <b>y= 2.25</b>	$x_{10} = \alpha y + \beta$	18.1	26.0	33.7	47.5	67.2	81.2
	Ένταση r	36.1	26.0	16.9	7.9	5.6	3.4
<b>T=25 έτη</b> <b>P(y)= 0.96</b> <b>y= 3.20</b>	$x_{25} = \alpha y + \beta$	21.5	31.2	40.1	56.0	80.8	97.7
	Ένταση r	43.1	31.2	20.1	9.3	6.7	4.1
<b>T=50 έτη</b> <b>P(y)= 0.98</b> <b>y= 3.90</b>	$x_{50} = \alpha y + \beta$	24.1	35.0	44.9	62.3	90.8	109.9
	Ένταση r	48.2	35.0	22.5	10.4	7.6	4.6
<b>T=100 έτη</b> <b>P(y)= 0.99</b> <b>y= 4.60</b>	$x_{100} = \alpha y + \beta$	26.7	38.8	49.7	68.6	100.9	122.0
	Ένταση r	53.3	38.8	24.8	11.4	8.4	5.1

Ο υπολογισμός της όμβριας καμπύλης γίνεται λογαριθμώντας την εξίσωση της όμβριας καμπύλης και υπολογίζοντας τις παραμέτρους  $a$  και  $n$  με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης.

Η όμβρια γράφεται:

$$\log r = \log a + n \log t$$

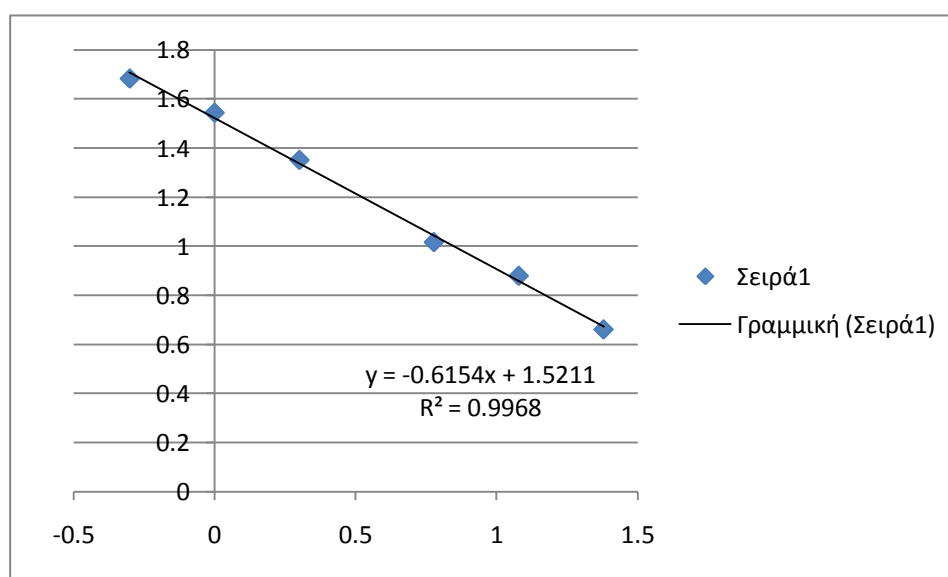
Για κάθε περίοδο επαναφοράς υπάρχουν 6 ζεύγη τιμών ( $\log r$ ,  $\log t$ ) τα οποία χρησιμοποιώντας την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης προσδιορίζονται το  $\log a$  (επομένως το  $a$ ) και το  $n$ .

Για παράδειγμα για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη θέτοντας όπου  $y = \log r$  και  $x = \log t$  από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής ζεύγη τιμών:

**Πίνακας 6.4: Ζεύγη τιμών γραμμικής παλινδρόμησης για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη**

<b>y</b>	<b>1.683</b>	<b>1.544</b>	<b>1.351</b>	<b>1.016</b>	<b>0.879</b>	<b>0.661</b>
<b>x</b>	<b>-0.301</b>	<b>0.000</b>	<b>0.301</b>	<b>0.778</b>	<b>1.079</b>	<b>1.380</b>

Από τα οποία σχηματίζεται η ακόλουθη γραμμή τάσης



**Σχήμα 6.1: Γραμμή τάσης γραμμικής παλινδρόμησης**

Από την αντίστοιχη εξίσωση της γραμμής τάσης προκύπτει ότι:

- $n = -0.6154$
- $\log a = 1.5211$  επομένως  $a = 10^{1.5211}$  δηλαδή  $a = 33.197$

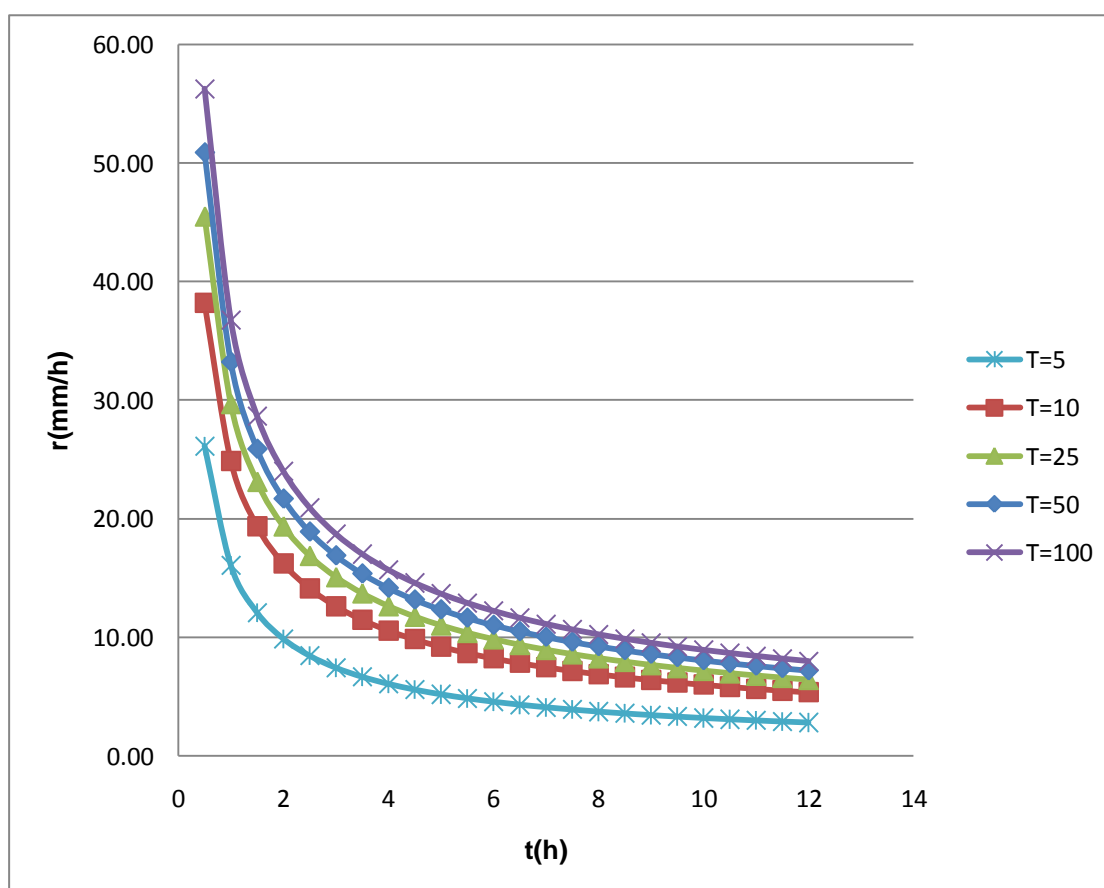
Έτσι, η εξίσωση της όμβριας καμπύλης για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη είναι  $i = 33.197 t^{-0.6154}$ .

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία της γραμμικής παλινδρόμησης από τα αντίστοιχα ζεύγη τιμών ( $\log r$ ,  $\log t$ ) για κάθε περίοδο επαναφοράς προκύπτουν οι εξισώσεις των όμβριων καμπυλών για κάθε περίοδο επαναφοράς. Οι εξισώσεις των όμβριων καμπυλών για την περιοχή του Ερασίνου δίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 6.5: Εξισώσεις όμβριων καμπυλών**

Περίοδος Επαναφοράς T	Όμβρια Καμπύλη
5	$i = 16.043 t^{(-0.7025)}$
10	$i = 24.88 t^{(-0.6177)}$
25	$i = 29,67 t^{(-0,6162)}$
50	$i = 33,197 t^{(-0,6154)}$
100	$i = 36,73 t^{(-0,6148)}$

Από τις εξισώσεις αυτές προκύπτουν οι όμβριες καμπύλες της περιοχής που παρατίθενται στο ακόλουθο σχήμα:



**Σχήμα 6.2: Όμβριες καμπύλες περιοχής Ερασίνου**

## 6.2 Όμβριες Καμπύλες τύπου $i = k t^{-0.60}$

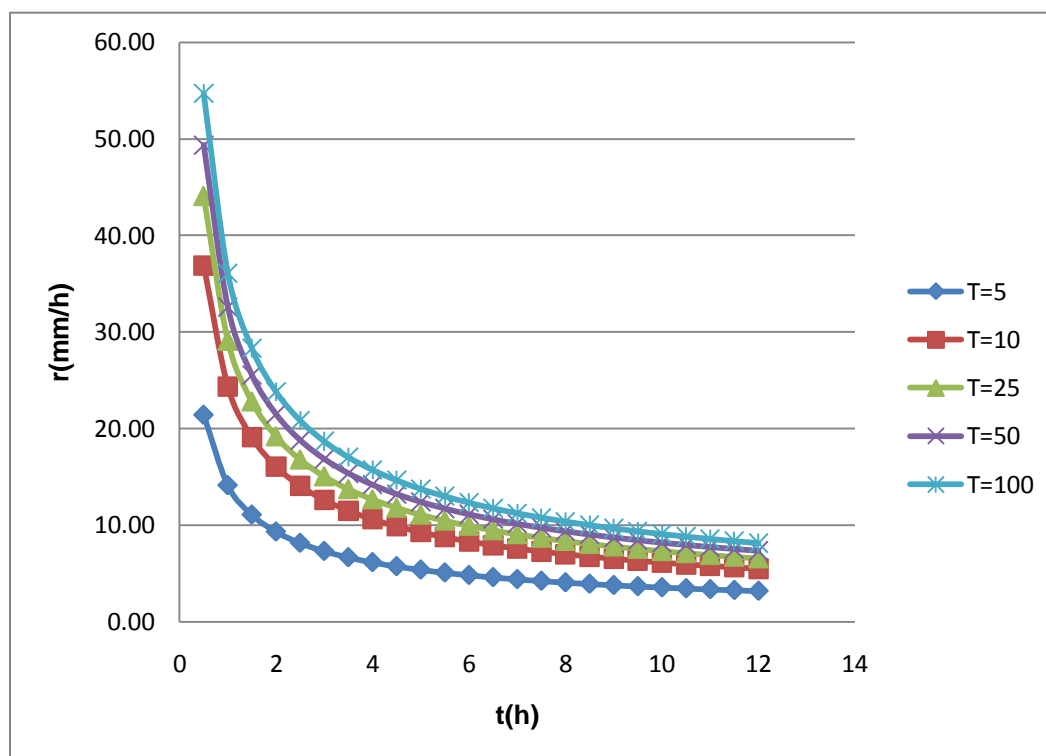
Εν συνεχεία έγινε εκ νέου υπολογισμός των όμβριων καμπυλών αυτή την φορά όμως χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική σχέση  $i = k t^{-0.60}$ . Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με την παραπάνω (αυτή της γραμμικής παλινδρόμησης) αυτήν την φορά όμως ο άγνωστος ήταν ένας αφού ο εκθέτης ήταν σταθερός και ίσος με "-0.60" ενώ ο μόνος άγνωστος που έπρεπε να υπολογιστεί ήταν το k.

Οι εξισώσεις των όμβριων καμπυλών που προέκυψαν αυτή την φορά είναι οι εξής:

Πίνακας 6.6: Εξισώσεις όμβριων καμπυλών τύπου  $i = k t^{-0.60}$  περιοχής Ερασίνου

Περίοδος Επαναφοράς T	Όμβρια Καμπύλη
5	$i = 14.125 t^{-0.60}$
10	$i = 24.342 t^{-0.60}$
25	$i = 29.078 t^{-0.60}$
50	$i = 32.568 t^{-0.60}$
100	$i = 36.095 t^{-0.60}$

Από τις παραπάνω εξισώσεις των όμβριων καμπυλών προκύπτουν οι παρακάτω όμβριες καμπύλες:



Σχήμα 6.3: Όμβριες καμπύλες τύπου  $i = k t^{-0.60}$  περιοχής Ερασίνου

Όπως ήταν αναμενόμενο η μορφή των όμβριων καμπυλών είναι η ίδια με αυτή των καμπυλών που υπολογίστηκαν στην παράγραφο 6.1.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

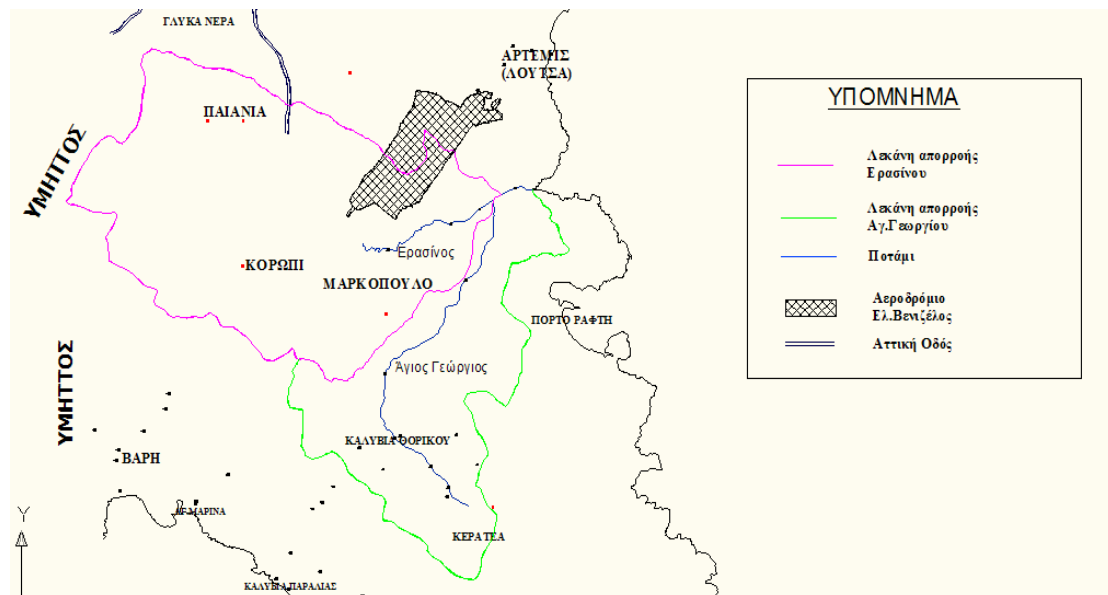
### Υδραυλική προσομοίωση

#### 7.1 Υπολογισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών λεκάνης

Το πρόγραμμα HEC-HMS όπως αναλύθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο είναι ένα υδραυλικό πρόγραμμα το οποίο υπολογίζει την παροχή σχεδιασμού σε μία λεκάνη απορροής. Για να “τρέξει” όμως χρειάζεται εκτός από βροχομετρικά δεδομένα και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (έκταση, μήκος κύριου ρέματος, φυτοκάλυψη κλπ.).

Τα χαρακτηριστικά αυτά υπολογίστηκαν από χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:500.000 που είχε χρησιμοποιηθεί κατά την πραγματοποίηση του ερευνητικού έργου DISMA (Disaster Management GIS) από το ΕΜΠ το 2007 με θέμα την «Κατάρτιση μεθοδολογίας για τον υπολογισμό των καταστροφών από πλημμύρες» για την περιοχή της Ανατολικής Αττικής. Ο υπολογισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών έγινε με το σχεδιαστικό πρόγραμμα Auto Cad 2009 με βάση τον χάρτη που δίνεται στην συνέχεια.

Όπως φαίνεται και από τον παρακάτω χάρτη η περιοχή μελέτης έχει χωριστεί σε δύο υπολεκάνες την λεκάνη του Ερασίνου ανάντη(περιλαμβάνει τμήματα των δήμων Παιανίας, Κορωπίου, Μαρκόπουλου) μέχρι το σημείο που συμβάλλει με τον Άγιο Γεώργιο και την υπολεκάνη του Αγίου Γεωργίου.



Χάρτης 7.1: Περιοχή μελέτης

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών υπολεκανών όπως υπολογίστηκαν από στο Auto Cad 2009 δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν:

▪ **Ερασίνος Ανάντη:**

Πίνακας 7.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης Ερασίνου ανάντη

Εμβαδόν Λεκάνης $A(m^2)$	Εμβαδόν Λεκάνης $A(km^2)$	Μήκος Κύριου Ρέματος $L(m)$	Μήκος Κύριου Ρέματος $L(km)$	Περίμετρος Λεκάνης $P(m)$	Περίμετρος Λεκάνης $P(km)$
126,890,058.345	126.890	6912.097	6.912	53,877.224	53.877

Πίνακας 7.2: Κλίσεις και υψόμετρα λεκάνης Ερασίνου ανάντη

Μέση Κλίση $S_L$	Μέση Κλίση $S_L$ (%)	Μέσο Υψόμετρο $H_m$ (m)	Υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης $H_{εξ}$ (m)
0.029	2.893	187.92	0

▪ **Άγιος Γεώργιος:**

Πίνακας 7.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης Αγίου Γεωργίου

Εμβαδόν Λεκάνης $A(m^2)$	Εμβαδόν Λεκάνης $A(km^2)$	Μήκος Κύριου Ρέματος $L(m)$	Μήκος Κύριου Ρέματος $L(km)$	Περίμετρος Λεκάνης $P(m)$	Περίμετρος Λεκάνης $P(km)$
66,775,471.330	66.775	16029.280	16.029	69,795.290	69.795

**Πίνακας 7.4: Κλίσεις και υψόμετρα λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

Μέση Κλίση $S_L$	Μέση Κλίση $S_L$ (%)	Μέσο Υψόμετρο $H_m$ (m)	Υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης $H_{εξ}$ (m)
0.012	1.154	186.4	0

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία έγινε ο υπολογισμός του χρόνου υστέρησης των δύο υπολεκάνων που είναι απαραίτητο στοιχείο εισόδου για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης από το HEC-HMS που θα γίνει στην συνέχεια. Ο χρόνος συγκέντρωσης (από τον οποίο υπολογίζεται ο χρόνος υστέρησης) δίνεται από τις εμπειρικές σχέσεις Giandotti και Kirpich που ακολουθούν:

$$\text{Η εξίσωση του Giandotti: } t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (7.1)$$

όπου,  $t_c$  ο χρόνος υστέρησης σε h  
 $A$  η έκταση της λεκάνης  $\text{km}^2$   
 $L$  το μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης σε km  
 $\Delta H$  η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψόμετρου της λεκάνης και της κοίτης του ρέματος στην έξοδο της λεκάνης στην έξοδο σε m

$$\text{Η εξίσωση του Kirpich: } t_c = 0.02 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (7.2)$$

όπου,  $t_c$  ο χρόνος συγκέντρωσης σε min  
 $L$  το μήκος του κυρίου ρέματος από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι την έξοδο της λεκάνης σε m  
 $S$  η μέση κλίση κατά μήκος τους μήκους διαδρομής  $L$  σε m/m

Στην συγκεκριμένη διπλωματική ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης της κάθε υπολεκάνης της περιοχής έγινε με την εξίσωση του Giandotti καθώς η συγκεκριμένη εξίσωση χρησιμοποιείται κυρίως για φυσικές και αγροτικές λεκάνες. Επομένως αντιπροσωπεύει καλύτερα την ευρύτερη λεκάνη απορροής του Ερασίνου που μελετάται αφού πρόκειται για μία τέτοια λεκάνη. Αντίθετα η εξίσωση του Kirpich χρησιμοποιείται περισσότερο για τεχνικά έργα όπως δρόμοι επομένως δεν συνίσταται για την συγκεκριμένη λεκάνη. Έπειτα ο χρόνος υστέρησης  $t_L$  βρέθηκε από την σχέση που πολλά υπολογιστικά πακέτα όπως και αυτό του HEC δέχονται ότι ο συνδέει τον χρόνο υστέρησης  $t_L$  με τον χρόνο συγκέντρωσης  $t_c$  και αυτή είναι η ακόλουθη:

$$t_c = \frac{5}{3} \cdot t_L \quad \text{οπότε } t_L = 0.6 \cdot t_c \quad (7.3)$$



Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι χρόνοι συγκέντρωσης και υστέρησης των δύο υπολεκανών με βάση τις σχέσεις που προαναφέρθηκαν:

**Πίνακας 7.5: Πίνακας χρόνων υστέρησης και συγκέντρωσης κάθε λεκάνης**

Λεκάνη	Χρόνος συγκέντρωσης $t_c$ (h)	Χρόνος συγκέντρωσης $t_c$ (min)	Χρόνος υστέρησης $t_L$ (h)	Χρόνος υστέρησης $t_L$ (min)
<b>Ερασίνοσ</b>	5.05	303.24	3.03	181.95
<b>Άγιος Γεώργιος</b>	5.19	311.64	3.12	186.98

## 7.2 Μέθοδοι απωλειών

Ένα από τα βασικά στάδια που πρέπει να οριστεί στο μοντέλο της λεκάνης είναι ο τρόπος με τον οποίο θα υπολογιστούν οι απώλειες βροχής. Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης της λεκάνης του Ερασίνοου επιλέχθηκε η μέθοδος απωλειών SCS Curve Number.

### SCS Curve Number

Η υπηρεσία συντήρησης εδάφους (SCS) ανέπτυξε την εμπειρική μέθοδο «αριθμού καμπυλών» για να υπολογίσει τη συνολική περίσσεια κατακρήμνιση για μια καταιγίδα βασισμένη στη συσσωρευτική κατακρήμνιση, την εδαφολογική κάλυψη, τη χρήση του εδάφους και την προηγούμενη υγρασία. Η συνολική επιφανειακή ροή υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη συσσωρευτική κατακρήμνιση και τη συσσωρευμένη περίσσεια κατακρήμνιση στο τέλος κάθε πρότυπου χρονικού βήματος.

Απαραίτητες παράμετροι είναι ο αριθμός καμπυλών (κυμαίνεται μεταξύ 0 και 99 αλλά πρακτικά είναι πάνω από 40) και η παράμετρος impervious (στεγανότητα).

**Εικόνα 7.1: Καρτέλα επιλογής παραμέτρων της SCS**

### 7.3 Υπολογισμός του CN και στεγανότητας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο αριθμός καμπύλης CN αποτελεί μία παράμετρο η οποία εκφράζει τις συνολικές απώλειες για κάθε τύπο εδάφους και χρησιμοποιείται κατά την μέθοδο SCS για την εκτίμηση του περισσεύματος βροχής. Η SCS πινακοποίησε αυτούς τους αριθμούς CN ωστόσο επειδή για τις ελληνικές συνθήκες ο πίνακας αυτός δεν ήταν ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικός χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας (Wanielista, 1978) που δίδεται παρακάτω:

**Πίνακας 7.6: Συντελεστής CN ανάλογα με τις χρήσεις γης (Πηγή: Έκθεση DISMA)**

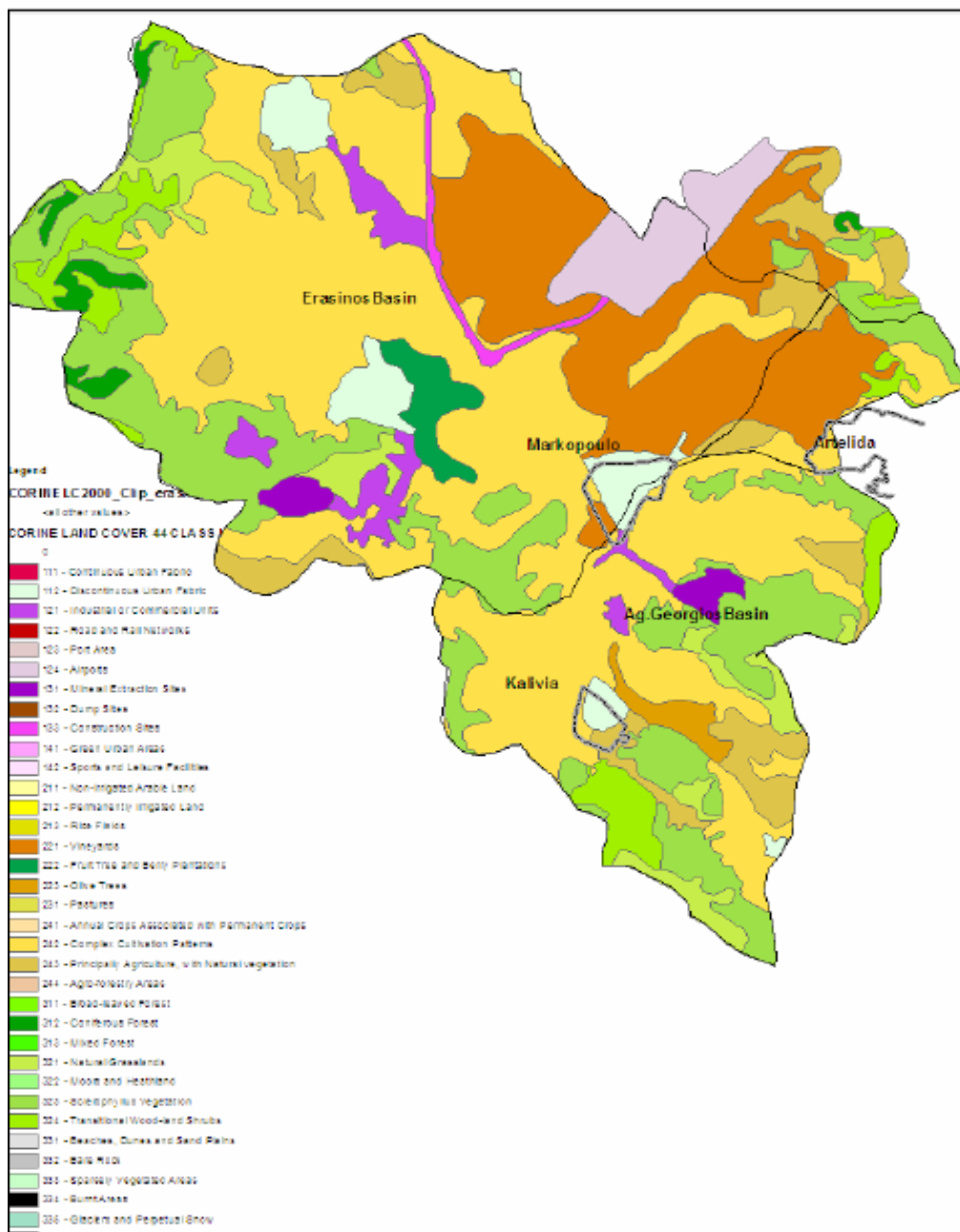
Χρήση γης	CNi
ασυνεχής αστικός ιστός	85
εμπορική ή βιομηχανική μονάδα	90
αεροδρόμια	98
τόποι εξόρυξης ορυκτών	85
αυτοκινητόδρομος	98
αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις	85
αμπελώνες	71
δενδρώνες οπωροφόρων δένδρων	71
ελιές	71
πολύπλοκα σχήματα καλλιέργειας	80
κυρίως αγροτική	80
κωνοφόρα δέντρα	66
φυσικά λιβάδια	71
σκληρόφυλλη βλάστηση	71
μετάβαση από δάση και θάμνους	70

Η εκτίμηση του δείκτη CN που χρησιμοποιήθηκε για τις δύο υπολεκάνες έγινε με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$CN = \sum \left[ \left( \frac{A_i}{A} \right) CN_i \right] \quad (7.4)$$

- όπου, CN ο συνθετικός αριθμός καμπύλης για την υπό μελέτη περιοχή  
 A<sub>i</sub> το εμβαδόν της περιοχής με έναν μόνο τύπο χρήσης γης(km<sup>2</sup>)  
 A το συνολικό εμβαδόν της περιοχής μελέτης(km<sup>2</sup>)  
 CN<sub>i</sub> ο αριθμός καμπύλης που αναφέρεται στην συγκεκριμένη χρήση γης

Ο χάρτης που ακολουθεί προέρχεται από την έκθεση DISMA(προέκυψε από το πρόγραμμα CORINE 2000) που είχε γίνει στην συγκεκριμένη περιοχή και δίνει τις επιμέρους χρήσεις γης για την λεκάνη του Ερασίνου και Αγίου Γεωργίου.



Χάρτης 7.2: Χρήσεις γης ευρύτερης λεκάνης Ερασίνου (Πηγή: Έκθεση DISMA)

Με βάση λοιπόν τον παραπάνω χάρτη, τον πίνακα του CN για κάθε χρήση γης και την σχέση που δίνει το συνθετικό αριθμό CN της λεκάνης για τις δύο υπολεκάνες προέκυψαν οι εξής αριθμοί CN:

**Πίνακας 7.7: Δείκτης CN κάθε υπολεκάνης**

Υπολεκάνη	Συνθετικό CN
<b>Ερασίνοσ ανάντη</b>	77
<b>Άγιος Γεώργιος</b>	73

Στην συνέχεια έπρεπε να υπολογιστεί το ποσοστό της στεγανότητας για να μπορούν υπολογιστούν οι απώλειες με την SCS. Το ποσοστό αυτό δείχνει τι ποσοστό της λεκάνης είναι αδιαπέραστο από το νερό. Τέτοια στοιχεία που δεν τα διαπερνά το νερό, σε μία περιοχή μπορεί να είναι δρόμοι, χώροι στάθμευσης, αεροδρόμια και γενικά ανθρώπινες κατασκευές από τσιμέντο. Όπως ήδη αναφέρθηκε η περιοχή είναι κυρίως αγροτική επομένως η παράμετρος αυτή είναι γύρω στο 5% - 10%. Στις συγκεκριμένες λεκάνες ως αρχική τιμή λήφθηκε το 5% για την λεκάνη του Ερασίνοσ και 4% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου. Η εισαγωγή του ποσοστού αδιαπερατότητας όπως και του CN που επιλέχθηκαν για την προσομοίωση στο HEC φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

**Εικόνα 7.2: Λεκάνη Ερασίνοσ ανάντη**

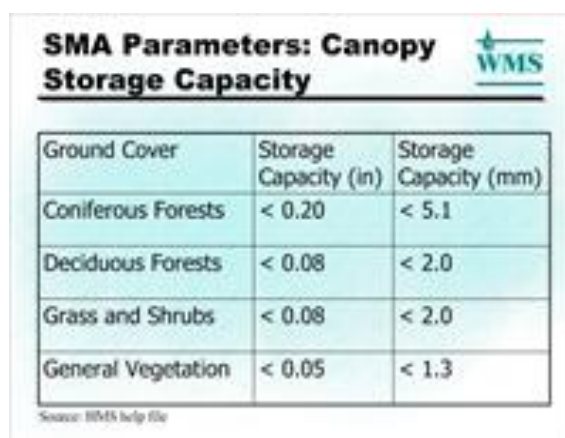
**Εικόνα 7.3: Λεκάνη Αγίου Γεωργίου**

## 7.4 Εκτίμηση παραμέτρων φυτοκάλυψης (Canopy)

Το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη την επιλογή να συμπεριλάβει στο μοντέλο την παρουσία φυτών στην περιοχή. Τα φυτά εμποδίζουν και δεσμεύουν ένα μέρος της βροχής μειώνοντας έτσι την ποσότητα της βροχής που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Η βροχή που πέφτει εμποδίζεται μέχρι η αποθηκευτική ικανότητα των φυτών να φτάσει στο μέγιστο σημείο της. Από εκεί και πέρα όλη η βροχή που πέφτει πηγαίνει κατευθείαν στο έδαφος ενώ η εμποδιζόμενη ποσότητα του νερού εξατμίζεται μεταξύ των γεγονότων βροχής.

Στο μοντέλο της απλής φυτοκάλυψης (simple canopy) που επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη περιοχή πρέπει για κάθε λεκάνη να οριστούν δύο παράμετροι. Η πρώτη είναι το ποσοστό της αρχικής αποθήκευσης (initial storage) δηλαδή το ποσοστό της αποθήκευσης που είναι γεμάτο με νερό στο ξεκίνημα της προσομοίωσης. Η παράμετρος αυτή και στις δύο λεκάνες θεωρήθηκε ίση με "0 %" δηλαδή ότι δεν έχει προηγηθεί της προσομοίωσης άλλο σημαντικό γεγονός βροχής. Η δεύτερη παράμετρος που πρέπει να οριστεί είναι η μέγιστη ποσότητα νερού (max storage) σε mm που μπορεί να κατακρατηθεί από τα φύλλα των φυτών προτού το νερό αρχίσει να πέφτει κατευθείαν στο έδαφος. Η εκτίμηση αυτής της παραμέτρου έγινε με βάση τον παρακάτω πίνακα που δίνεται από το WMS (Watershed Modeling System) για το HEC-HMS:

**Πίνακας 7.8: Τιμή παραμέτρου max storage αναλογά με την κάλυψη εδάφους (Πηγή: WMS)**



Ground Cover	Storage Capacity (in)	Storage Capacity (mm)
Coniferous Forests	< 0.20	< 5.1
Deciduous Forests	< 0.08	< 2.0
Grass and Shrubs	< 0.08	< 2.0
General Vegetation	< 0.05	< 1.3

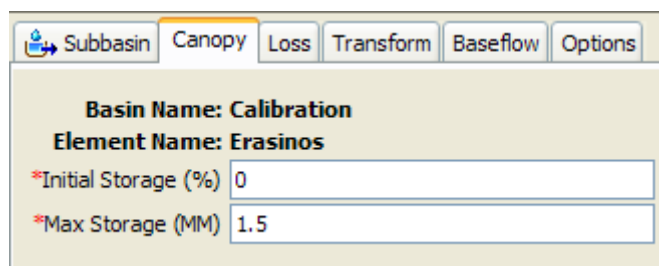
Source: WMS help file

Από την περιγραφή της περιοχής που έγινε στο αντίστοιχο κεφάλαιο αλλά και από το προηγούμενο υποκεφάλαιο όπου έγινε ο υπολογισμός του CN για τις δύο υπολεκάνες έγινε η επιλογή της κατηγορίας που ανήκει στον παραπάνω πίνακα. Για τον Ερασίνο παραπέμπει σε κυρίως αγροτική περιοχή (CN=77) επομένως ανήκει στην τρίτη κατηγορία ενώ ο Άγιος Γεώργιος (CN=73, κυρίως γενική βλάστηση) στην τελευταία. Η παράμετροι που επιλέχθηκαν λοιπόν για την περιγραφή της φυτοκάλυψης κάθε λεκάνης δίνονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

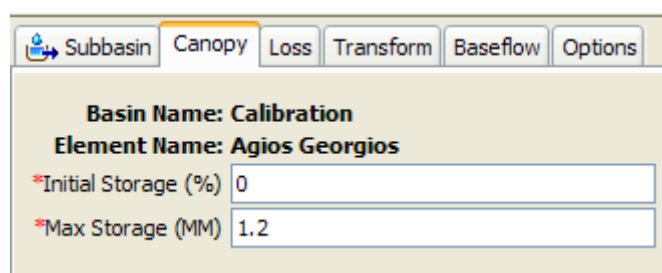
**Πίνακας 7.9 :Παράμετροι της φυτοκάλυψης που επιλέχθηκαν**

Υπό-λεκάνη	Initial Storage (%)	Max Storage (mm)
Ερασίνοσ ανάντη	0	1.5
Άγιος Γεώργιος	0	1.2

Η εισαγωγή τους στο HEC γίνεται όπως δείχνουν οι εικόνες:



**Εικόνα 7.4: Λεκάνη Ερασίνοσ ανάντη**

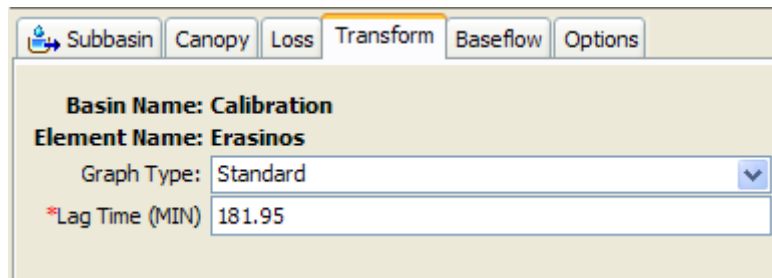


**Εικόνα 7.5: Λεκάνη Αγίου Γεωργίου**

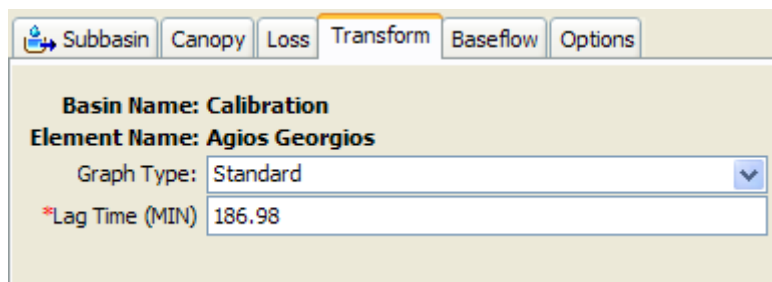
## 7.5 Μέθοδος Μετατροπής (Transform)

Επόμενη παράμετρος που πρέπει να εκτιμηθεί στο μοντέλο της λεκάνης είναι η μέθοδος μετατροπής. Το ποσοστό της κατακρήμνισης που δεν πηγαίνει στο υπέδαφος αποτελεί την περίσσεια κατακρήμνισης. Μία μέθοδος μετατροπής χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την άμεση απορροή από την περίσσεια κατακρήμνισης. Στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η SCS Unit Hydrograph.

Η SCS ανέπτυξε μια ειδική μονάδα υδρογραφήματος και είναι βασισμένη στα εμπειρικά στοιχεία από τους μικρούς γεωργικούς υδροκρίτες στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πρόκειται για την απλούστερη και πλέον εμπειρική μέθοδο όπου ζητείται μόνο ο χρόνος συγκέντρωσης σε λεπτά. Παρακάτω φαίνεται η εισαγωγή των χρόνων υστέρησης (που υπολογίστηκαν στο υποκεφάλαιο 7.1) όπως έγινε στο πρόγραμμα για κάθε λεκάνη:



Εικόνα 7.6: Καρτέλα επιλογής παραμέτρων μεθόδου μετασχηματισμού της λεκάνης του Ερασίνου



Εικόνα 7.7: Καρτέλα επιλογής παραμέτρων της μεθόδου μετασχηματισμού της λεκάνης του Α.Γεωργίου

## 7.6 Μέθοδοι Επιστροφής Ροής (Baseflow)

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

Το νερό επιστρέφει άμεσα από κάτω ή μπορεί να επιστρέψει στην επιφάνεια εδάφους κοντά στο ρέμα. Τα ρηχά υπόγεια νερά μπορούν να ταξιδέψουν αρκετά γρήγορα και συμβάλλουν στη ροή καναλιών κατά την διάρκεια των γεγονότων βροχόπτωσης. Η ροή υπογείων νερών που επιστρέφει στο κανάλι ρευμάτων καλείται baseflow. Μια μέθοδος baseflow χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την επιστροφή της κατακρήμνισης που έχει διεισδύσει στο κανάλι. Ουσιαστικά είναι το αντίθετο φαινόμενο από αυτό της απώλειας.

### Recession

Η “μέθοδος υποχώρησης” (που επιλέχθηκε) χρησιμοποιεί μια εκθετική κατανομή της πτώση του baseflow. Είναι κατάλληλη για τους υδροκρίτες όπου ο όγκος και ο λειτουργία του baseflow επηρεάζονται έντονα από τα γεγονότα βροχόπτωσης.

Οι παράμετροι που ορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δύο ποτάμια δεν έχουν μόνιμη ροή σε όλο τους το τμήμα είναι οι ακόλουθες:

**Πίνακας 7.10: Παράμετροι βασικής ροής που επιλέχθηκαν**

Υπολεκάνη	Initial Discharge(m/s <sup>2</sup> )	Recession Constant	Ratio(%)
Ερασίνοσ ανάντη	1.0	0.1	0
Άγιος Γεώργιος	0.5	0.1	0

Η είσοδος των παραμέτρων του παραπάνω πίνακα στο HEC φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.

Subbasin Canopy Loss Transform Baseflow Options

**Basin Name: Calibration**  
**Element Name: Erasinis**

Initial Type: Discharge

\*Initial Discharge (M3/S): 1

\*Recession Constant: 0.1

Threshold Type: Ratio To Peak

\*Ratio: 0.0

**Εικόνα 7.8: Λεκάνη Ερασίνοσ ανάντη**

Subbasin Canopy Loss Transform Baseflow Options

**Basin Name: Calibration**  
**Element Name: Agios Georgios**

Initial Type: Discharge

\*Initial Discharge (M3/S): 0.5

\*Recession Constant: 0.1

Threshold Type: Ratio To Peak

\*Ratio: 0

**Εικόνα 7.9: Λεκάνη Αγίου Γεωργίου**

Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει στο μοντέλο της λεκάνης και μέθοδο που να περιγράφει την επιφάνεια του εδάφους και τον τρόπο που αυτό απορροφά και αποθηκεύει το νερό μέχρις ότου αρχίσει η επιφανειακή απορροή. Επειδή ωστόσο ως μέθοδος απωλειών χρησιμοποιήθηκε η SCS που και αυτή λαμβάνει υπόψη τον τύπο εδάφους μέσω του CN και το ποσοστό των αδιαπέραστων από το νερό στοιχείων της λεκάνης



θεωρήθηκε ότι το να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της επιφάνειας εδάφους θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

## 7.7 Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorologic model)

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία του Meteorologic model. Στο στάδιο αυτό γίνεται η εισαγωγή του Υετογράμματος, της εξατμισοδιαπνοής, της τήξης του χιονιού. Ωστόσο επειδή μελετώνται γεγονότα ραγδαίας βροχής η επίδραση της εξατμισο-διαπνοής και της τήξης του χιονιού θεωρήθηκε αμελητέα. Στην περίπτωση της μελέτης της περιοχής του Ερασίνου επιλέχθηκε το μοντέλο Frequency Storm.

### Frequency Storm

Η μέθοδος Frequency Storm έχει ως σκοπό να παραγάγει μια τεχνητή καταιγίδα από τα στατιστικά στοιχεία κατακρήμνισης. Τα στοιχεία αυτά δίνονται υπό μορφή χαρτών, όπου κάθε χάρτης παρουσιάζει το αναμενόμενο ποσοστό κατακρήμνισης για μια καταιγίδα με συγκεκριμένη διάρκεια και πιθανότητα υπέρβασης. Αυτή η μέθοδος έχει ως σκοπό να χρησιμοποιήσει τα στοιχεία που συλλέγονται από τους χάρτες μαζί με άλλες πληροφορίες για να υπολογίσει ένα υετόγραμμα για κάθε υπολεκάνη. Στην παρούσα διπλωματική τα στοιχεία αυτά πάρθηκαν με βάση τις όμβριες καμπύλες που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 6.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τις ίδιες παραμέτρους για όλες τις υπολεκάνες στο meteorologic model. Κάθε καταιγίδα έχει μια ενιαία πιθανότητα υπέρβασης(διάρκειας) που πρέπει να επιλεχτεί από τον κατάλογο διαθέσιμων επιλογών. Οι επιλογές κυμαίνονται από 0,2 έως 50%. Η περίοδος επαναφοράς που επιλέχθηκε είναι  $T = 50$  έτη. Η εν λόγω περίοδος επαναφοράς είναι από τις συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες σε υδρολογικές μελέτες και σε μελέτες υδραυλικών έργων στον ελλαδικό και στον ευρύτερο χώρο.

Η διάρκεια έντασης καθορίζει το μικρότερο χρονικό διάστημα της καταιγίδας. Συνήθως η διάρκεια πρέπει να τεθεί ίση με το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Πρέπει να είναι λιγότερο από τη συνολική διάρκεια καταιγίδας. Ως χρονικά βήματα εκλέγονται αυτά της μία ώρας. Ο λόγος που επιλέχτηκαν αυτά τα χρονικά βήματα είναι ότι γενικά, στο μοναδιαίο υδρογράφημα, το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  δεν πρέπει να υπερβαίνει το  $1/5$  του χρόνου ανόδου, δηλαδή πρέπει να ισχύει η εμπειρική σχέση  $\Delta t < 0.2T_p$  (Nalbantis et al., 1995).

Η διάρκεια καταιγίδας καθορίζει πόση ώρα θα διαρκέσει η κατακρήμνιση. Πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια έντασης. Εάν η διάρκεια προσομοίωσης είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια καταιγίδας, όλα τα χρονικά διαστήματα μετά από τη διάρκεια καταιγίδας θα έχουν τιμές κατακρήμνισης. Όπως προαναφέρθηκε στα αντιπλημμυρικά έργα συνηθίζεται να λαμβάνεται ως περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη και ως διάρκεια ραγδαίας βροχής τις 12 ώρες (Τσακίρης, 1995).

Η θέση έντασης καθορίζει το σημείο στην καταιγίδα που θα εμφανιστεί η μέγιστη ένταση. Η αλλαγή του δεν αλλάζει το συνολικό βάρος της καταιγίδας, αλλάζει μόνο τον τρόπο με τον οποίο το συνολικό βάρος διανέμεται εγκαίρως κατά τη διάρκεια της. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής 25%, 33%, 50%, 67%, ή 75%. Η

συμμετρική κατανομή γύρω από τον άξονα 50% είναι η συνηθέστερη ενώ οι υπόλοιπες θεωρούνται δυσμενείς.

Τα υετογράμματα σχεδιασμού του περισσεύματος βροχής φαίνονται στα σχήματα 7.1 και 7.3 για χρονικά βήματα μίας ώρας. Ως στοιχεία εισόδου από τα οποία προκύπτει το υετόγραμμα είναι τα συνολικά ύψη βροχής ( $h_r$ ) από την όμβρια καμπύλη για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 7.11: Ύψη βροχής όμβριας καμπύλης για περίοδο  $T = 50$  έτη**

t (h)	$h_r$ (mm)
0	0
1	58.20
2	80.06
3	96.48
4	110.13
5	122.03
6	132.71
7	142.46
8	151.49
9	159.92
10	167.86
11	175.38
12	182.55

Όποτε προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία εισόδου στο πρόγραμμα για τον υπολογισμό του υετογράμματος:

Precipitation

**Met Name: Calibration**

Probability: 0.2 Percent

Input Type: Partial Duration

Output Type: Annual Duration

Intensity Duration: 1 Hour

Storm Duration: 12 Hours

Intensity Position: 50 Percent

Storm Area (KM2) 127

5 Minutes (MM)

15 Minutes (MM)

\*1 Hour (MM) 58.200

\*2 Hours (MM) 80.060

\*3 Hours (MM) 96.480

\*6 Hours (MM) 132.71

\*12 Hours (MM) 182.55

**Εικόνα 7.10: Εισαγωγή παραμέτρων μετεωρολογικού μοντέλου**

## 7.8 Πραγματοποίηση προσομοίωσης

Στην συνέχεια συμπληρώνονται οι ημερομηνίες, οι ώρες ελέγχου και το χρονικό βήμα της προσομοίωσης στο "control specifications" του προγράμματος και έπειτα γίνεται η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Το χρονικό διάστημα που επιλέχθηκε είναι μία υποθετική βροχή 17.5 ωρών με χρονικό βήμα αυτό των 30 λεπτών στο χρονικό διάστημα που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Εικόνα 7.11: Επιλογή παραμέτρων χρονικού βήματος

Ακολουθούν στο επόμενο υποκεφάλαιο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του προγράμματος για κάθε λεκάνη.

### 7.8.1 Προσομοίωση λεκάνης Ερασίνου ανάντη

Όπως ήδη αναλύθηκε με βάση τα μοναδιαία συνθετικά υδρογραφήματα που προκύπτουν από το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS και τα περισεύματα βροχόπτωσης που υπολογίστηκαν από τη βροχή σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς  $T = 50$  έτη, το τελικό στάδιο της εργασίας είναι η κατασκευή των υδρογραφημάτων άμεσης απορροής (ΥΑΑ).

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε περιγραφή του τρόπου με τον οποίο έγινε η εκτίμηση των παραμέτρων της κάθε λεκάνης που ήταν απαραίτητοι για να εκτιμηθεί το υδρογράφημα σχεδιασμού τους. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται η συγκεντρωτική παράθεση των παραμέτρων που επιλέχθηκαν για την λεκάνη του Ερασίνου ανάντη.

Πίνακας 7.12: Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων που επιλέχθηκαν για κάθε μέθοδο

Canopy(Φυτοκάλυψη)	Initial Storage(%)	0
	Max Storage(mm)	1.5
Loss(Απώλειες)	Curve Number	77
	Impervious(%)	5
Transform	Lag Time(min)	181.95
Baseflow(Βασική ροή)	Initial Discharge(m <sup>3</sup> /s)	1
	Recession Constant	0.1
	Ratio	0.0

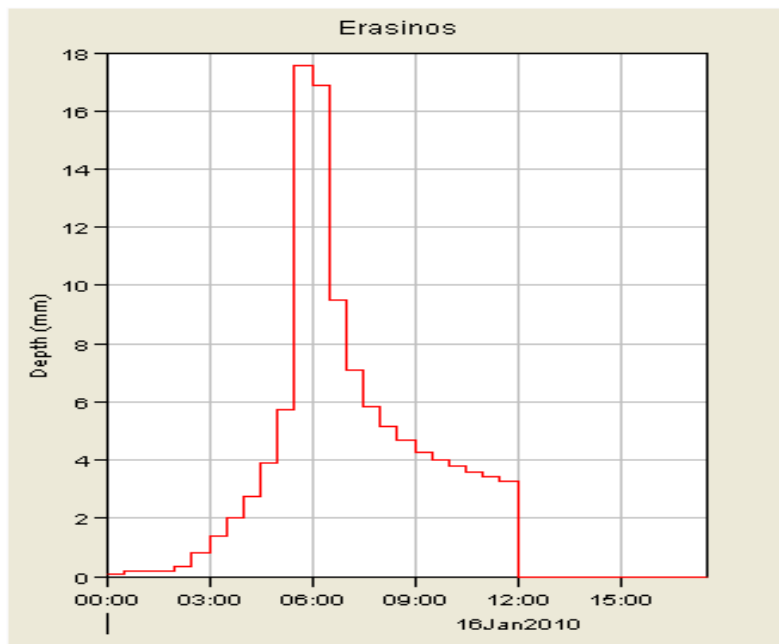
Εκτελώντας λοιπόν την προσομοίωση το HEC-HMS εξάγει τα αποτελέσματα που ακολουθούν. Αρχικά δίνεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με την αιχμή της πλημμύρας και τον όγκο της και στην συνέχεια ο πίνακας με τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για την λεκάνη μαζί με το υετόγραμμα περισσεύματος βροχής και το υδρογράφημα σχεδιασμού.

**Πίνακας 7.13: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων λεκάνης Ερασίνου**

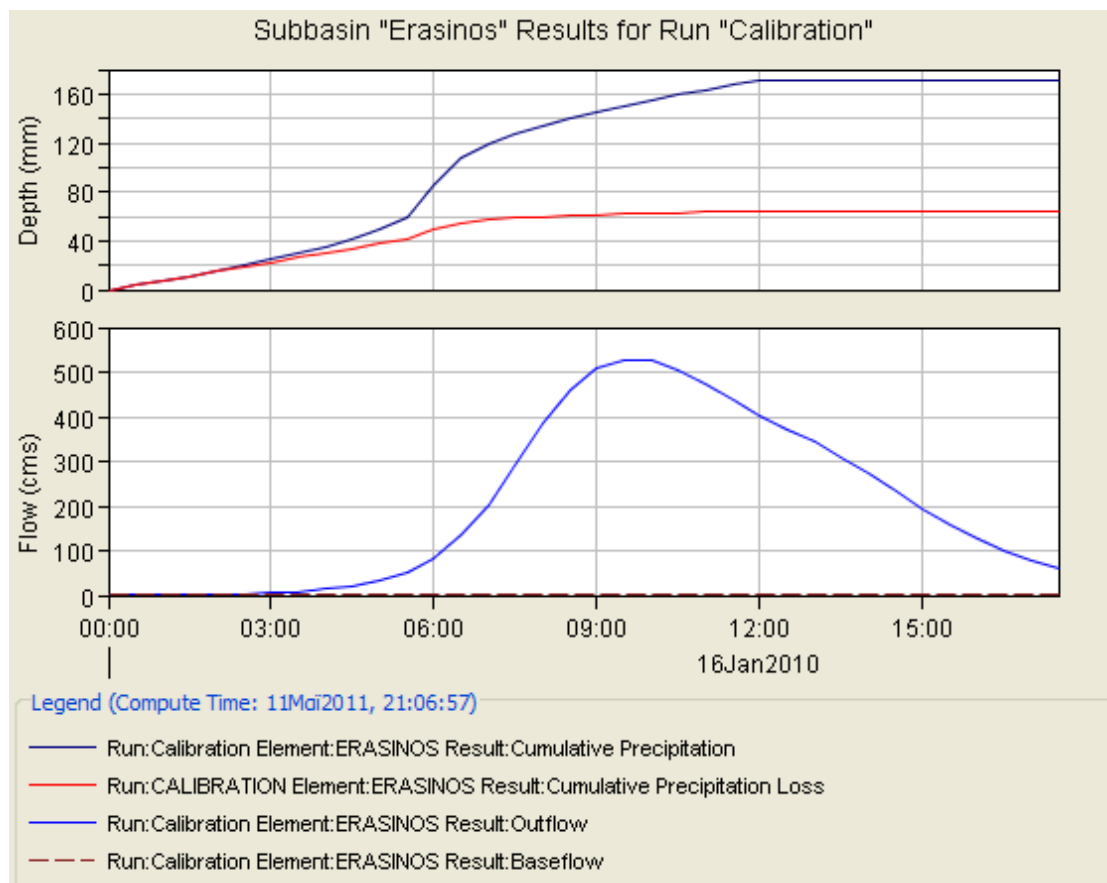
Project: Diplwmatiki		Simulation Run: Calibration		
Start of Run:	16Ιαν2010, 00:00	Basin Model:	Calibration	
End of Run:	16Ιαν2010, 17:30	Meteorologic Model:	Calibration	
Compute Time:	04Ιουν2011, 17:38:59	Control Specifications:	Control 1	
Show Elements:	<input type="button" value="Initial Selection"/>	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	
		Sorting:	<input type="button" value="Hydrologic"/>	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Erasinos	126.890	528.3	16Ιαν2010, 09:30	13138.7

**Πίνακας 7.14: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων του HEC-HMS Λεκάνης Ερασίνου**

Project: Diplwmatiki							
Simulation Run: Calibration Subbasin: Erasinios							
Start of Run: 16Jan2010, 00:00		Basin Model: Calibration		End of Run: 16Jan2010, 17:30		Meteorologic Model: Calibration	
Compute Time: 11Mai2011, 21:06:57		Control Specifications: Control 1					
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
16Jan2010	00:00				0.0	1.0	1.0
16Jan2010	00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0
16Jan2010	01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2
16Jan2010	01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6
16Jan2010	02:00	4.15	3.94	0.21	1.6	0.8	2.4
16Jan2010	02:30	4.41	4.07	0.34	2.9	0.8	3.7
16Jan2010	03:00	4.73	3.91	0.82	4.9	0.7	5.6
16Jan2010	03:30	5.17	3.80	1.37	8.0	0.7	8.7
16Jan2010	04:00	5.68	3.70	1.99	13.0	0.7	13.7
16Jan2010	04:30	6.40	3.66	2.73	21.2	0.6	21.8
16Jan2010	05:00	7.73	3.85	3.88	33.7	0.6	34.3
16Jan2010	05:30	9.94	4.21	5.73	52.0	0.6	52.6
16Jan2010	06:00	25.77	8.22	17.55	83.3	0.6	83.9
16Jan2010	06:30	21.83	4.97	16.86	133.3	0.5	133.9
16Jan2010	07:00	11.64	2.15	9.49	203.8	0.5	204.3
16Jan2010	07:30	8.52	1.40	7.11	292.6	0.5	293.1
16Jan2010	08:00	6.87	1.04	5.83	383.8	0.5	384.3
16Jan2010	08:30	6.01	0.85	5.16	458.4	0.4	458.8
16Jan2010	09:00	5.41	0.72	4.68	506.9	0.4	507.3
16Jan2010	09:30	4.92	0.63	4.29	527.9	0.4	528.3
16Jan2010	10:00	4.56	0.56	4.01	526.0	0.4	526.4
16Jan2010	10:30	4.28	0.50	3.78	505.9	0.4	506.2
16Jan2010	11:00	4.04	0.45	3.58	472.4	0.3	472.7
16Jan2010	11:30	3.83	0.42	3.42	436.3	0.3	436.6
16Jan2010	12:00	3.66	0.38	3.27	403.4	0.3	403.8
16Jan2010	12:30	0.00	0.00	0.00	373.0	0.3	373.3
16Jan2010	13:00	0.00	0.00	0.00	342.5	0.3	342.8
16Jan2010	13:30	0.00	0.00	0.00	309.5	0.3	309.7
16Jan2010	14:00	0.00	0.00	0.00	272.5	0.3	272.7
16Jan2010	14:30	0.00	0.00	0.00	233.2	0.2	233.5
16Jan2010	15:00	0.00	0.00	0.00	194.1	0.2	194.4
16Jan2010	15:30	0.00	0.00	0.00	157.5	0.2	157.8
16Jan2010	16:00	0.00	0.00	0.00	125.1	0.2	125.3
16Jan2010	16:30	0.00	0.00	0.00	97.6	0.2	97.8
16Jan2010	17:00	0.00	0.00	0.00	75.5	0.2	75.7
16Jan2010	17:30	0.00	0.00	0.00	58.9	0.2	59.1



Σχήμα 7.1: Υετόγραμμα περισσέυματος βροχόπτωσης λεκάνης Ερασίνου ανάντη



Σχήμα 7.2: Υδρογράφημα σχεδιασμού λεκάνης Ερασίνου ανάντη

Από τους πίνακες και τα γραφήματα που παρατέθηκαν παραπάνω φαίνεται ότι η παροχή αιχμής για την λεκάνη του Ερασίνου είναι 528.3m<sup>3</sup>/s ενώ το μέγιστο καθαρό ύψος βροχής είναι 17.55mm . Ο όγκος της πλημμύρας ανέρχεται στα 13.138 ·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

## 7.8.2 Προσομοίωση λεκάνης Αγίου Γεωργίου

Με τον ίδιο τρόπο έγινε και η προσομοίωση της λεκάνης του Αγίου Γεωργίου. Τα δεδομένα εισόδου της στο πρόγραμμα για την λεκάνη φαίνονται συγκεντρωτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 7.15: Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων που επιλέχθηκαν για κάθε μέθοδο**

Canopy(Φυτοκάλυψη)	Initial Storage(%)	0
	Max Storage(mm)	1.2
Loss(Απώλειες)	Curve Number	73
	Impervious(%)	4
Transform	Lag Time(min)	186.98
Baseflow(Βασική ροή)	Initial Discharge(m <sup>3</sup> /s)	0.5
	Recession Constant	0.1
	Ratio	0.0

Εκτελώντας λοιπόν την προσομοίωση για περίοδο επαναφοράς T=50 έτη το πρόγραμμα δίνει τα αποτελέσματα που παρατίθενται στην συνέχεια. Αρχικά δίνεται ο συγκεντρωτικός πίνακας με την αιχμή της πλημμύρας και τον όγκο της και στην συνέχεια ο πίνακας με τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης για την λεκάνη μαζί με το υετόγραμμα περισσεύματος βροχής και το υδρογράφημα σχεδιασμού.

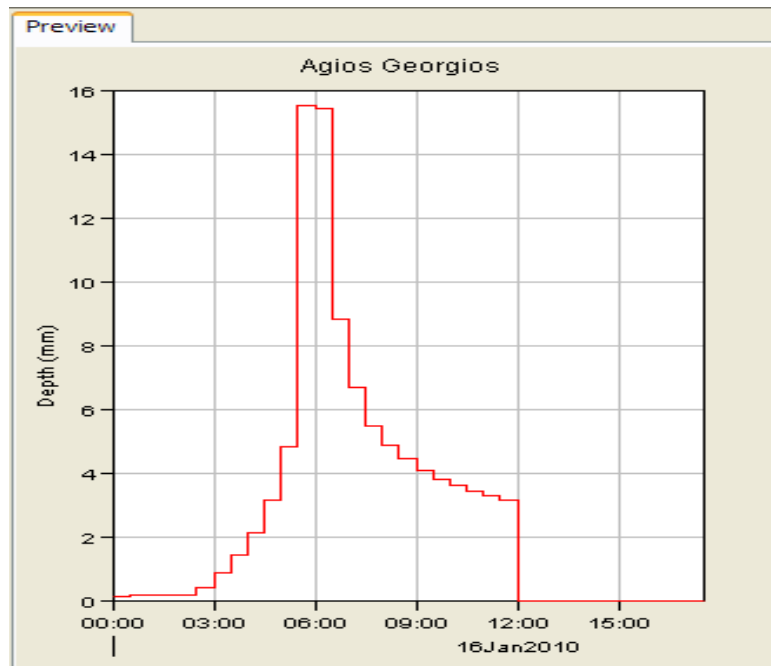
**Πίνακας 7.16: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

Project: Diplwmatiki		Simulation Run: Calibration		
Start of Run:	16Ιαν2010, 00:00	Basin Model:	Calibration	
End of Run:	16Ιαν2010, 17:30	Meteorologic Model:	Calibration	
Compute Time:	04Ιουν2011, 17:38:59	Control Specifications:	Control 1	
Show Elements:	Initial Selection	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Agios Georgios	66.775	247.4	16Ιαν2010, 10:00	6195.7

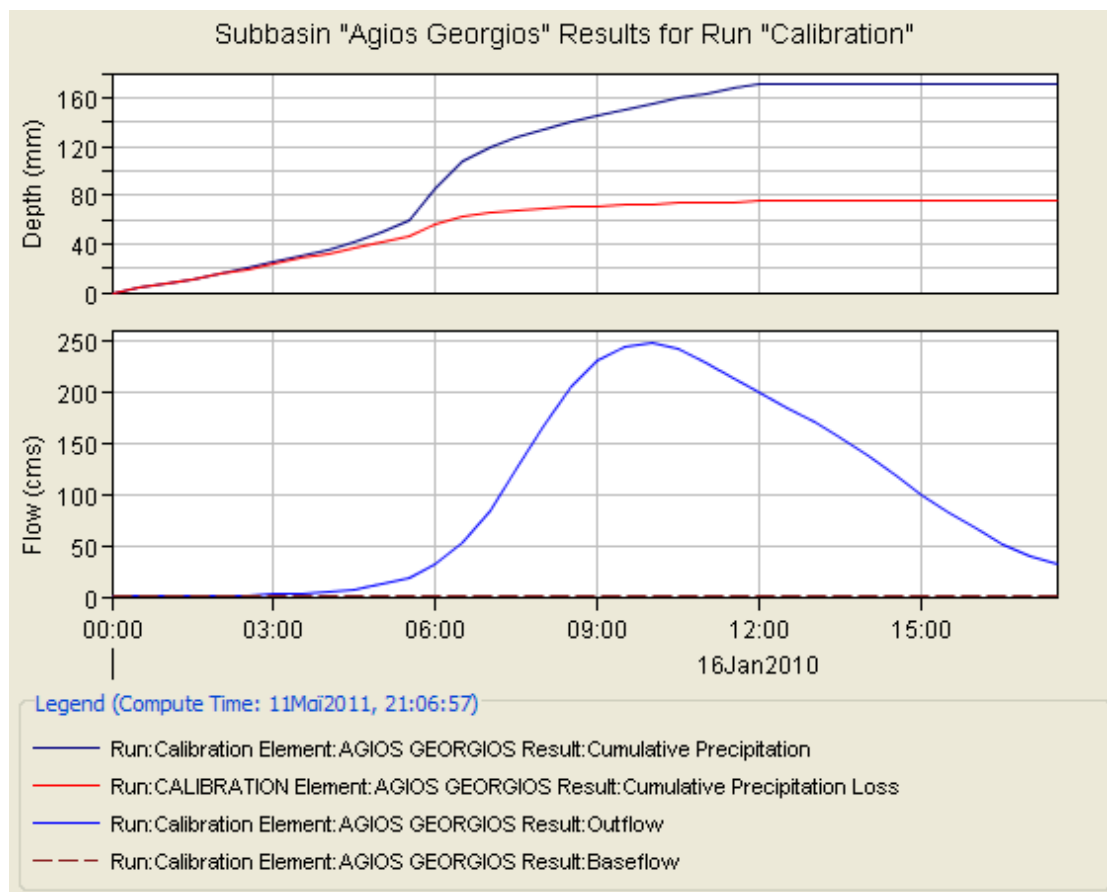
**Πίνακας 7.17: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων του HEC-HMS Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

Project: Diplwmatiki							
Simulation Run: Calibration Subbasin: Agios Georgios							
Start of Run: 16Jan2010, 00:00				Basin Model: Calibration			
End of Run: 16Jan2010, 17:30				Meteorologic Model: Calibration			
Compute Time: 11Mai2011, 21:06:57				Control Specifications: Control 1			
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
16Jan2010	00:00				0.0	0.5	0.5
16Jan2010	00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5
16Jan2010	01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6
16Jan2010	01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7
16Jan2010	02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1
16Jan2010	02:30	4.41	4.24	0.18	1.2	0.4	1.6
16Jan2010	03:00	4.73	4.34	0.39	1.8	0.4	2.2
16Jan2010	03:30	5.17	4.29	0.88	2.8	0.4	3.2
16Jan2010	04:00	5.68	4.25	1.44	4.4	0.3	4.7
16Jan2010	04:30	6.40	4.28	2.11	7.0	0.3	7.3
16Jan2010	05:00	7.73	4.58	3.15	11.3	0.3	11.6
16Jan2010	05:30	9.94	5.11	4.83	18.2	0.3	18.5
16Jan2010	06:00	25.77	10.28	15.49	31.0	0.3	31.2
16Jan2010	06:30	21.83	6.42	15.41	52.4	0.3	52.7
16Jan2010	07:00	11.64	2.83	8.81	83.5	0.3	83.8
16Jan2010	07:30	8.52	1.86	6.66	123.9	0.2	124.1
16Jan2010	08:00	6.87	1.39	5.48	167.0	0.2	167.2
16Jan2010	08:30	6.01	1.14	4.87	204.2	0.2	204.4
16Jan2010	09:00	5.41	0.98	4.43	230.2	0.2	230.4
16Jan2010	09:30	4.92	0.85	4.07	244.1	0.2	244.3
16Jan2010	10:00	4.56	0.75	3.81	247.2	0.2	247.4
16Jan2010	10:30	4.28	0.68	3.60	241.5	0.2	241.7
16Jan2010	11:00	4.04	0.62	3.42	228.8	0.2	229.0
16Jan2010	11:00	4.04	0.62	3.42	228.8	0.2	229.0
16Jan2010	11:30	3.83	0.57	3.27	213.2	0.2	213.4
16Jan2010	12:00	3.66	0.53	3.13	198.4	0.2	198.6
16Jan2010	12:30	0.00	0.00	0.00	184.4	0.2	184.6
16Jan2010	13:00	0.00	0.00	0.00	170.3	0.1	170.5
16Jan2010	13:30	0.00	0.00	0.00	154.9	0.1	155.0
16Jan2010	14:00	0.00	0.00	0.00	137.5	0.1	137.6
16Jan2010	14:30	0.00	0.00	0.00	118.7	0.1	118.9
16Jan2010	15:00	0.00	0.00	0.00	99.7	0.1	99.8
16Jan2010	15:30	0.00	0.00	0.00	81.7	0.1	81.8
16Jan2010	16:00	0.00	0.00	0.00	65.6	0.1	65.7
16Jan2010	16:30	0.00	0.00	0.00	51.7	0.1	51.8
16Jan2010	17:00	0.00	0.00	0.00	40.2	0.1	40.3
16Jan2010	17:30	0.00	0.00	0.00	31.5	0.1	31.6





Σχήμα 7.3: Υετόγραμμα περισσεύματος βροχόπτωσης λεκάνης Αγίου Γεωργίου



Σχήμα 7.4: Υδρογράφημα σχεδιασμού λεκάνης Αγίου Γεωργίου

## 7.9 Σχόλια

Από την πραγματοποίηση της προσομοίωσης που προηγήθηκε παρατηρούμε ότι για την λεκάνη του Ερασίνου η παροχή σχεδιασμού είναι 528.3 m<sup>3</sup>/s ενώ ο όγκος της πλημμύρας είναι 13.14 ·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου η παροχή αιχμής είναι 247.4 m<sup>3</sup>/s. Επίσης, ο όγκος της πλημμύρας που εκτιμάται είναι 6.20 ·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Όπως αναμενόταν τόσο η παροχή αιχμής όσο και ο όγκος της πλημμύρας της λεκάνης του Ερασίνου είναι μεγαλύτερα από αυτά της λεκάνης του Αγίου Γεωργίου. Αυτό οφείλεται αφενός στο μεγαλύτερο μέγεθος της λεκάνης του Ερασίνου (127 km<sup>2</sup> περίπου) από αυτό της λεκάνης του Αγίου Γεωργίου (67 km<sup>2</sup> περίπου) και αφετέρου στον διαφορετικό αριθμό καμπύλης CN της κάθε λεκάνης, που συνεπάγεται διαφορετικές απώλειες βροχής.

Για επιβεβαίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων έγινε η σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα της μελέτης DISMA (Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων, 2007). Όπως φαίνεται και από τον πίνακα που ακολουθεί τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε είναι λογικά καθώς δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις με αυτά της μελέτης. Επιβεβαιώνεται έτσι η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και αποτελέσματα θεωρούνται αξιόπιστα.

**Πίνακας 7.18: Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης με αποτελέσματα έκθεσης DISMA**

	Μελέτη DISMA		Αποτελέσματα Προσομοίωσης	
	Ερασίνος	Αγ.Γεώργιος	Ερασίνος	Αγ.Γεώργιος
Έκταση	132.4	65.7	126.89	66.77
Αριθμός CN	77	74	77	73
Παροχή Αιχμής	469.7	209.7	528.3	247.4

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### Ανάλυση Ευαισθησίας

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε ανάλυση ευαισθησίας των δύο λεκανών με βάση τον αριθμό καμπύλης CN. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει τον τύπο εδάφους από υδρολογική άποψη και την χρήση γης της περιοχής. Επομένως, η ανάλυση ευαισθησίας ουσιαστικά μελετά ποια είναι η επίδραση στην παροχή σχεδιασμού της λεκάνης επομένως και στο υδρογράφημα της.

Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε με βάση την προσομοίωση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Διατηρήθηκαν δηλαδή σταθερές οι υπόλοιπες παράμετροι που εκτιμήθηκαν και έγινε μεταβολή μόνο του CN. Μελετήθηκε τόσο η περίπτωση αύξησης του αριθμού καμπύλης όσο και η περίπτωση μείωσης του.

Από τον πίνακα του Wanielista παρακάτω προκύπτει ότι για ένα μέτριου τύπου εδάφους (τύπου Β) όπως αυτό της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης όσο περισσότερο αυξάνεται ο αριθμός καμπύλης εδάφους τόσο η περιοχή αυτή αστικοποιείται. Είναι χαρακτηριστικό ότι κατασκευές όπως δρόμοι, εμπορικές περιοχές και οικιστικές περιοχές μεγάλης επιφάνειας, κατασκευές δηλαδή που αποτελούν βασικά στοιχεία ενός κατεξοχήν αστικού ιστού, έχουν αριθμό CN γύρω στο 80 ή ακόμη και μεγαλύτερο. Στην συνέχεια μελετήθηκε η αντίθετη από την προηγούμενη περίπτωση δηλαδή η μείωση του αριθμού CN. Παρατηρώντας και πάλι τον πίνακα Wanielista προκύπτει ότι χρήσεις γης όπως λιβάδια, βοσκότοποι και καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν αριθμό καμπύλης μεταξύ 65 και 70. Αυτή η περίπτωση δηλαδή περιγράφει την αλλαγή των χρήσεων γης σε κυρίως αγροτικές χρήσεις με πιο μαλακά εδάφη και μεγαλύτερη διηθητικότητα.

Με άλλα λόγια παρατηρώντας τα αποτελέσματα της μεταβολής του CN στις απορροές και στον όγκο της πλημμύρας των λεκανών έμμεσα μελετάται η επίπτωση που θα έχει η μεταβολή των χρήσεων γης της περιοχής στην υδρολογική

συμπεριφορά της λεκάνης και την αύξηση ή όχι της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρων.

**Πίνακας 8.1: Αριθμός καμπύλης απορροής CN ανάλογα με την χρήση γης και την κατηγορία εδάφους (Wanielista, 1978)**

Χρήση γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις • Χωρίς έργα συντήρησης • Με έργα συντήρησης	72 62	81 71	88 78	91 81
Ορεινοί βοσκότοποι • Κακή κατάσταση • Καλή κατάσταση	68 39	79 61	86 74	89 80
Λιβαδικές εκτάσεις • Καλή κατάσταση	30	58	71	78
Δασικές εκτάσεις • Αραιή συστάδα • Πυκνή συστάδα	45 25	66 55	77 70	83 77
Ελεύθερες εκτάσεις, γήπεδα γκολφ, πάρκα • Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης • Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής	39 49	61 69	74 79	80 84
Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπέρατες )	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές ( 72% αδιαπέρατες )	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές Μέσο μέγεθος οικοπέδου				
		Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας		
< 500	77	65	90	92
1000	61	40	83	87
1500	57	30	81	86
2000	54	25	80	85
4000	51	20	79	84
Χώροι πάρκινγκ, στέγες κτλ.	98	98	98	98
Δρόμοι • με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίους • χαλικόστρωτοι • χωματόδρομοι	98 76 72	98 85 82	98 89 87	91 89
Αστικές συνθήκες • Γυμνό έδαφος • Κήποι ή θάμνοι • Μεγάλη κάλυψη με πράσινο ( 75% της διαπερατής περιοχής ) • Μέτρια κάλυψη πρασίνου ( 50-75% της διαπερατής περιοχής ) • Μικρή κάλυψη πρασίνου ( < 50% της διαπερατής περιοχής ) • Άλση	77 72 39 49 68 36	86 81 61 69 79 60	91 88 74 79 86 73	94 91 80 84 89 79

## 8.1 Μεθοδολογία της ανάλυσης ευαισθησίας

Ως βάση για την πραγματοποίηση της ανάλυσης ευαισθησίας αποτελούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά λοιπόν στο βασικό αυτό σενάριο θεωρήθηκε ότι παραμένουν σταθερές οι παράμετροι του μοντέλου που περιγράφουν την βασική ροή, την ποσότητα αποθήκευσης της φυτοκάλυψη αλλά και οι παράμετροι της μεθόδου υπολογισμού των απωλειών βροχής. Επίσης χρησιμοποιούνται τα ίδια μετεωρολογικά δεδομένα από τα οποία προκύπτει το υετόγραμμα σχεδιασμού για τις λεκάνες έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης με τις παροχές σχεδιασμού που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 7.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια οι απώλειες βροχής αλλά και το περίσσειμα βροχής υπολογίζονται με βάση τον αριθμό CN. Επομένως, η μεταβολή του θα προκαλέσει και διαφορετικές τιμές απωλειών βροχής σε σχέση με την αρχική προσομοίωση και διαφορετικό περίσσειμα βροχής. Το υετόγραμμα σχεδιασμού όμως όπως περιγράφεται από το κεφάλαιο 4.5 υπολογίζεται με βάση το περίσσειμα βροχής και για αυτόν τον λόγο προκύπτουν διαφορετικές τιμές απορροών για τις δύο λεκάνες.

Αφού λοιπόν σχεδιαστούν τα αντίστοιχα υετόγραμματα του περισσεύματος βροχής για τις δύο λεκάνες απορροής θα αποτελέσουν την βάση που μαζί με το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα της SCS θα προκύψει (όπως έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 4.5) το νέο υδρογράφημα σχεδιασμού για τις δύο λεκάνες.

## 8.2 Προσομοίωση με αύξηση του αριθμού CN

Αρχικά έγινε η μελέτη αύξησης του αριθμού καμπύλης των δύο λεκανών. Θεωρήθηκε ότι στην περιοχή οι χρήσεις μεταβάλλονται με ρυθμό που συνεπάγεται μεταβολή του CN κατά 5% κάθε φορά. Οι τιμές του αριθμού καμπύλης που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε προσομοίωση δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

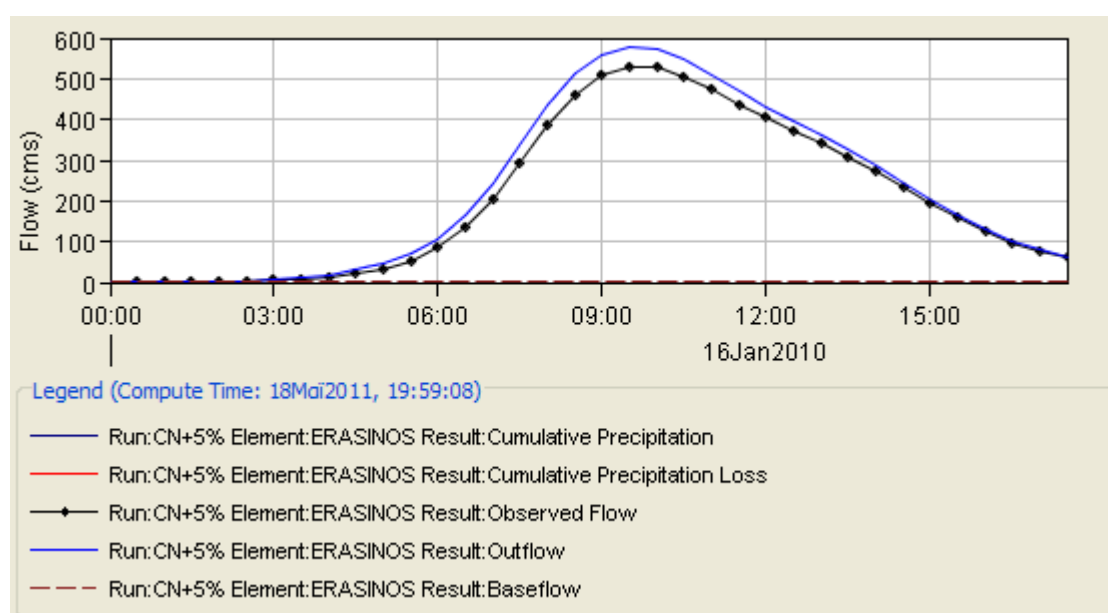
**Πίνακας 8.2: Τιμές του CN ανάλογα με την ποσοστιαία αύξηση του**

Υπολεκάνη	Αρχικό CN	+5%	+10%	+15%	+20%
Ερασίνοσ ανάντη	77	80.85	84.70	88.55	92.40
Άγιος Γεώργιος	73	76.65	80.30	83.95	87.60

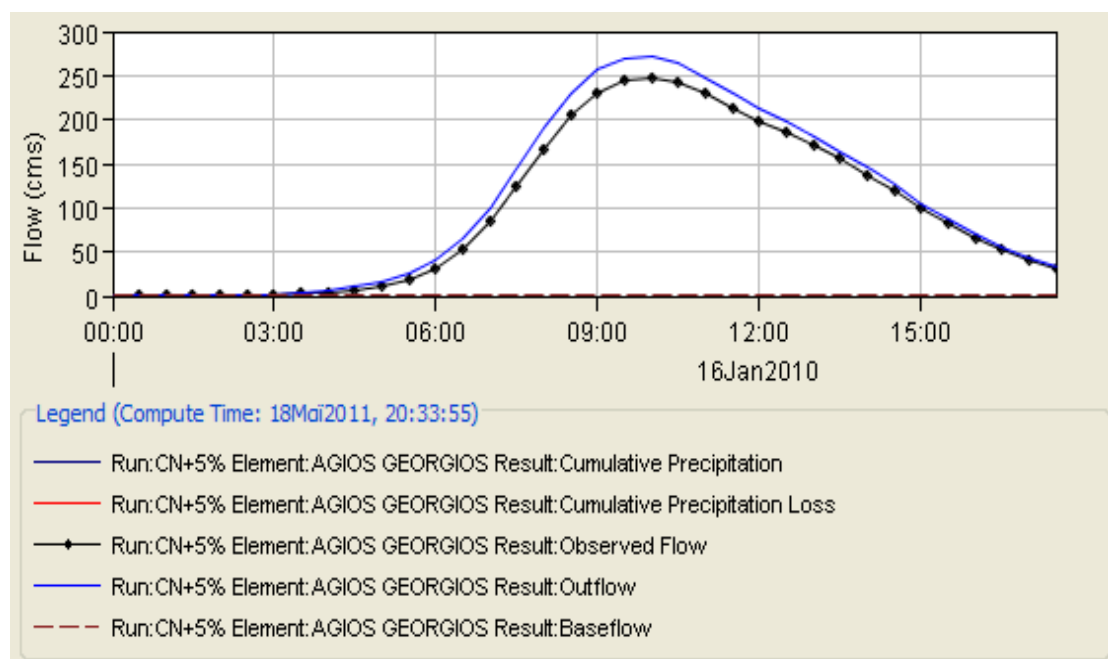
Αυξάνοντας λοιπόν σταδιακά τους αριθμούς CN κατά 5% κάθε φορά δίνονται πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες προσομοιώσεις που περιγράφονται στην συνέχεια.

## Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Αύξηση CN 5%

Αρχικά μελετάται η περίπτωση που το CN αυξάνεται 5% για τις δύο λεκάνες δηλαδή από τον παραπάνω πίνακα για την λεκάνη του Ερασίνου παίρνει την τιμή 80.85 και για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου την τιμή 76.65. Τα νέα υδρογραφήματα που προκύπτουν δίνονται σε ταυτόχρονη παράθεση με το αρχικό υδρογράφημα (με μαύρο χρώμα) ώστε να είναι δυνατή η σύγκρισή τους.



Σχήμα 8.1: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνου



Σχήμα 8.2: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου

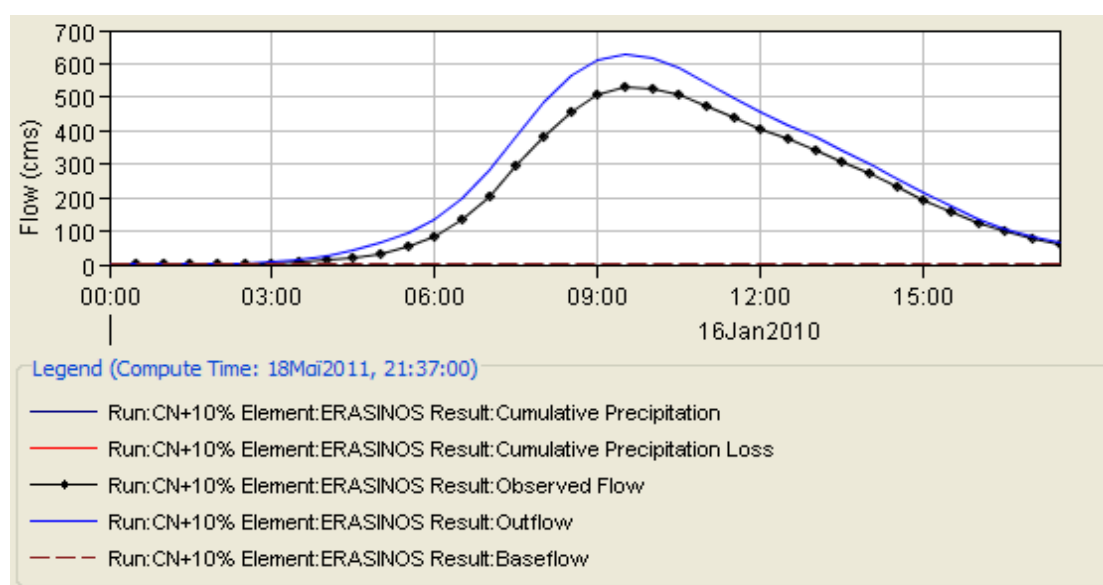
Από τα παραπάνω υδρογραφήματα γίνεται φανερό ότι η αύξηση του αριθμού καμπύλης προκαλεί και αύξηση στις απορροές της λεκάνης καθώς τα καινούργια υδρογραφήματα παρουσιάζονται μετατοπισμένα προς τα πάνω. Η λεκάνη του Ερασίνου έχει μέγιστη παροχή που φτάνει τα 560.1 m<sup>3</sup>/s ενώ η λεκάνη του Αγίου Γεωργίου εμφανίζει μέγιστη παροχή 271.3 m<sup>3</sup>/s. Το ίδιο συμβαίνει και για τον όγκο της πλημμύρας καθώς από τα 13.14·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> αυξάνεται στα 14.38·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> για τον Ερασίνο ενώ για τον Άγιο Γεώργιο από τα 6.20·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> στα 6.80·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα στοιχεία αυτά.

**Πίνακας 8.3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

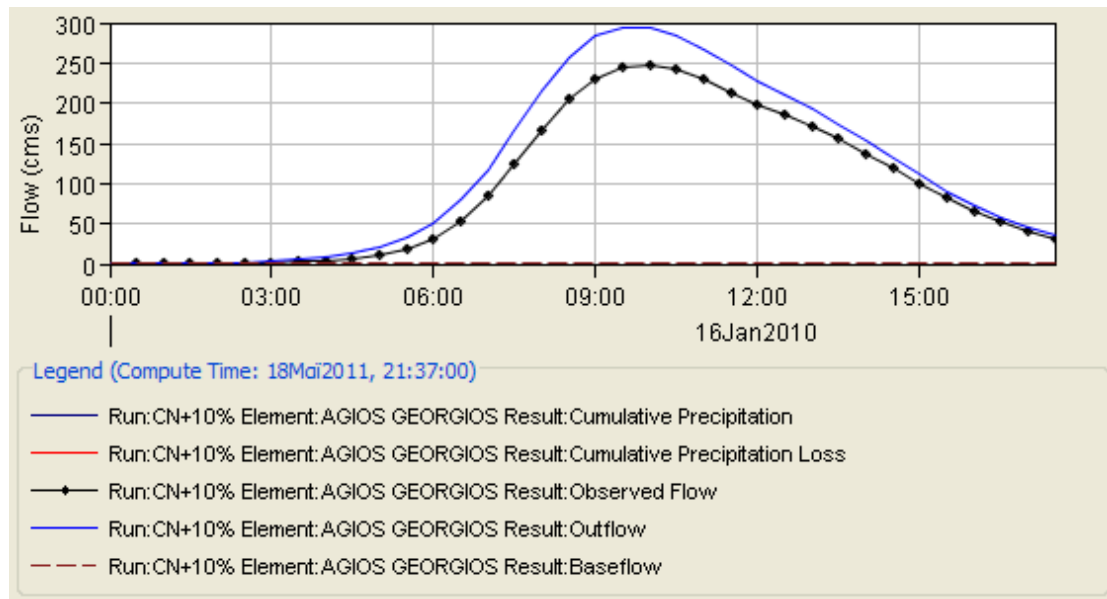
Λεκάνη	Αρχικό CN		Αύξηση CN 5%		Ποσοστιαία αύξηση παροχής (%)	Ποσοστιαία αύξηση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Όγκος πλημμύρας V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Παροχή αιχμής Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Όγκος πλημμύρας V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		
Ερασίνος	528.3	13.139	560.1	14.381	6.01	9.44
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	271.3	6.804	9.66	9.68

#### Περίπτωση 2<sup>η</sup>: Αύξηση CN 10%

Επόμενο σενάριο είναι η μελέτη της αύξησης του CN κατά 10%. Αυτό σημαίνει ότι για την λεκάνη του Ερασίνου ο αριθμός CN λαμβάνει τιμή 84.70 ενώ για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου 80.30. Τα νέα υδρογραφήματα που υπολογίζονται για την κάθε λεκάνη ακολουθούν στην συνέχεια.



**Σχήμα 8.3: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνου**



**Σχήμα 8.4: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

Από τα παραπάνω υδρογραφήματα αλλά και από τον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ότι η αύξηση του αριθμού CN προκαλεί νέα αύξηση στις απορροές της λεκάνης αλλά και τους όγκους της πλημμύρας. Συγκεκριμένα για την λεκάνη του Ερασίνου η παροχή αιχμής είναι  $628.0 \text{ m}^3/\text{s}$  ενώ για τον Άγιο Γεώργιο  $295.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ωστόσο εύκολα γίνεται αντιληπτό από τον πίνακα ότι αύξηση στην παροχή της κάθε λεκάνης δεν είναι αντίστοιχη της αύξηση του αριθμού καμπύλης.

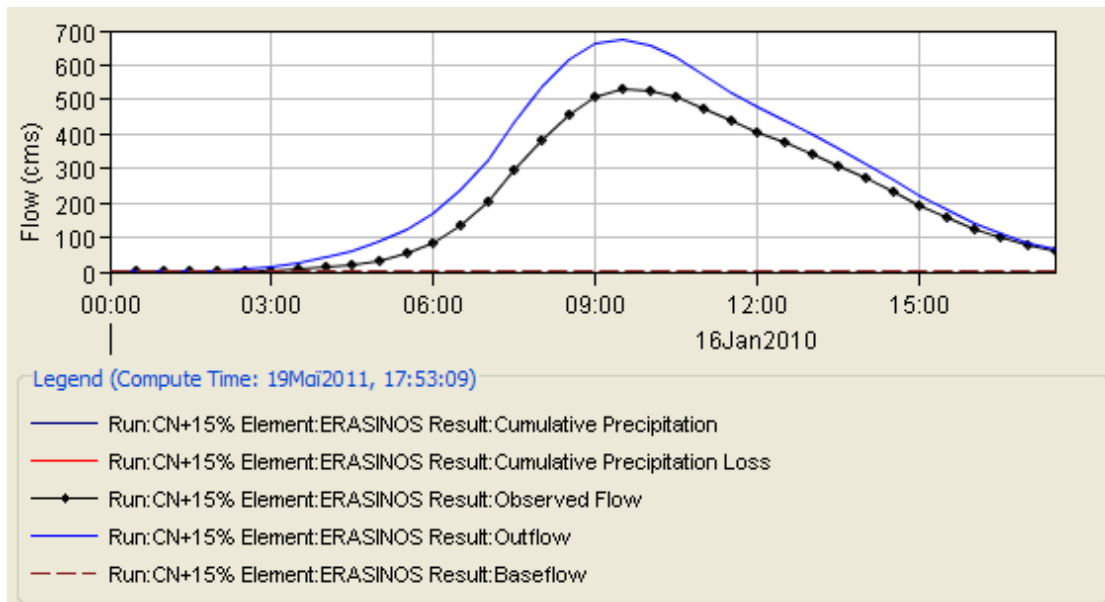
**Πίνακας 8.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

Λεκάνη	Αρχικό CN		Αύξηση CN 10%		Ποσοστιαία αύξηση παροχής (%)	Ποσοστιαία αύξηση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )		
<b>Ερασίνος</b>	528.3	13.139	628.0	15.654	18.87	19.10
<b>Άγιος Γεώργιος</b>	247.4	6.196	295.1	7.428	19.28	19.84

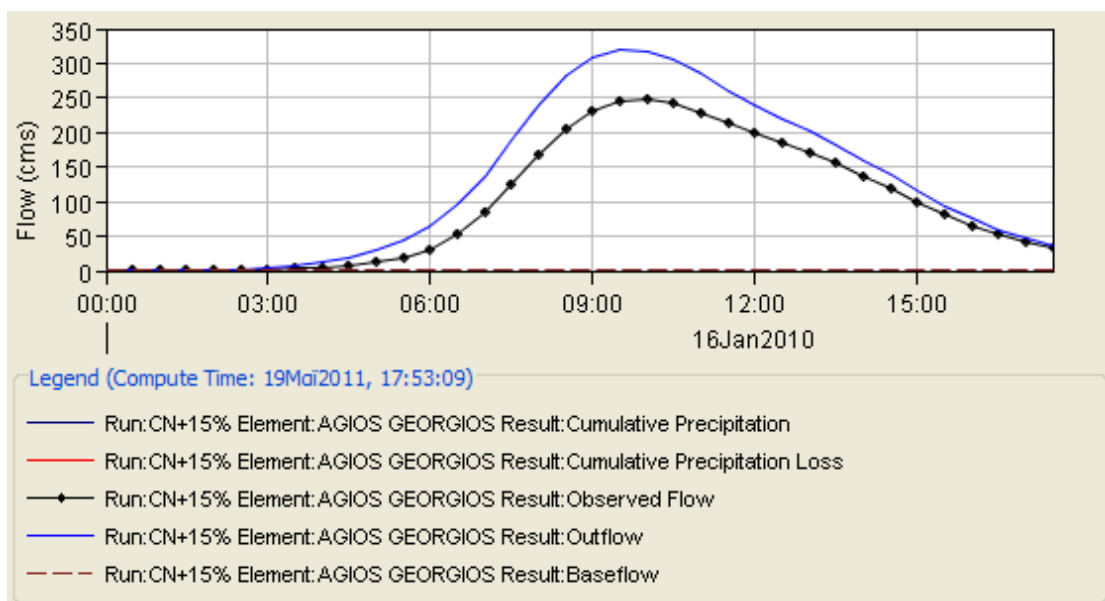
### Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Αύξηση CN 15%

Σε αυτήν την περίπτωση το CN αυξήθηκε κατά 15%. Αυτό συνεπάγεται ότι για την λεκάνη του Ερασίνου ο αριθμός CN λαμβάνει τιμή 88.55 ενώ για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου 83.95. Τα νέα υδρογραφήματα που υπολογίζονται για την κάθε λεκάνη είναι τα εξής.





**Σχήμα 8.5: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνου**



**Σχήμα 8.6: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

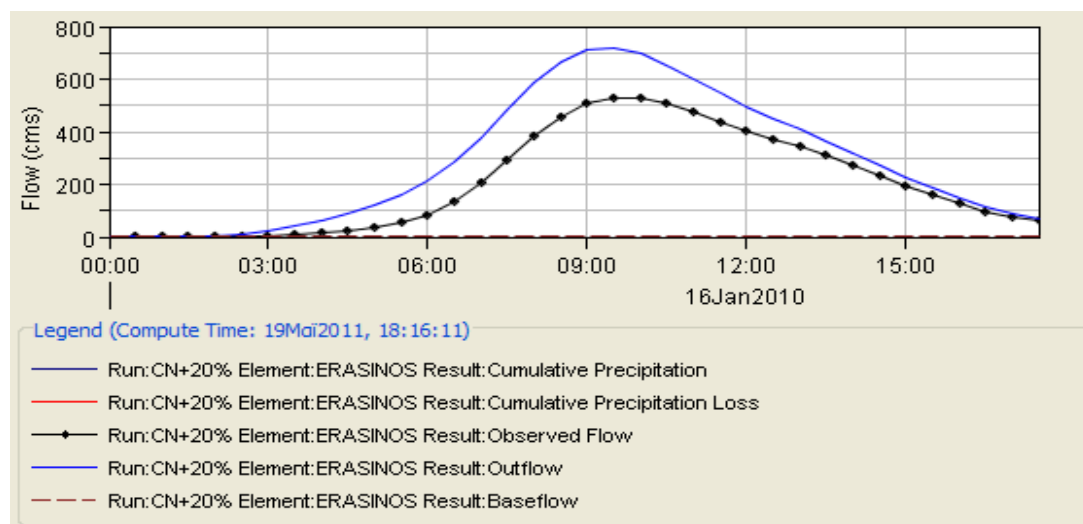
Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις η παροχή αιχμής αυξήθηκε λαμβάνοντας τιμή  $674.9 \text{ m}^3/\text{s}$  για την λεκάνη του Ερασίνου και  $320.0 \text{ m}^3/\text{s}$  για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου. Παρόμοια και για τον όγκο της πλημμύρας με τον Ερασίνο να έχει  $16.96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ενώ τον Άγιο Γεώργιο  $8.07 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις η ποσοστιαία αύξηση της παροχής και του όγκου δεν είναι αντίστοιχη της ποσοστιαίας αύξησης του αριθμού CN αλλά αρκετά μεγαλύτερη.

**Πίνακας 8.5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

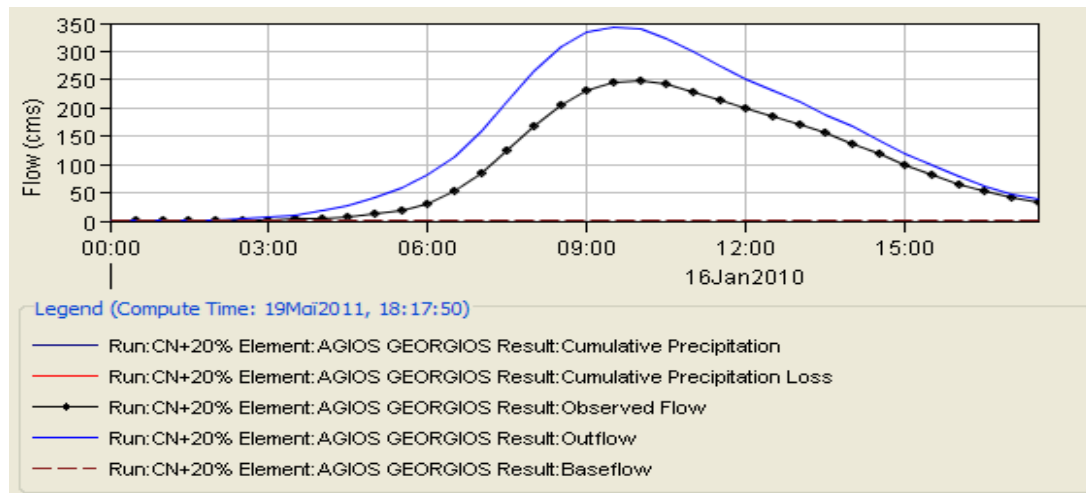
Λεκάνη	Αρχικό CN		Αύξηση CN 15%		Ποσοστιαία αύξηση παροχής (%)	Ποσοστιαία αύξηση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )		
Ερασίνο	528.3	13.139	674.9	16.958	27.75	29.07
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	320.0	8.066	29.35	30.16

#### Περίπτωση 4<sup>η</sup>: Αύξηση CN 20%

Σε αυτήν την περίπτωση μελετήθηκαν οι παροχές που προκύπτουν για τιμές του αριθμού καμπύλης ίση με 92.40 για τον Ερασίνο και 87.60 για τον Άγιο Γεώργιο.



**Σχήμα 8.7: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνο**



**Σχήμα 8.8: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

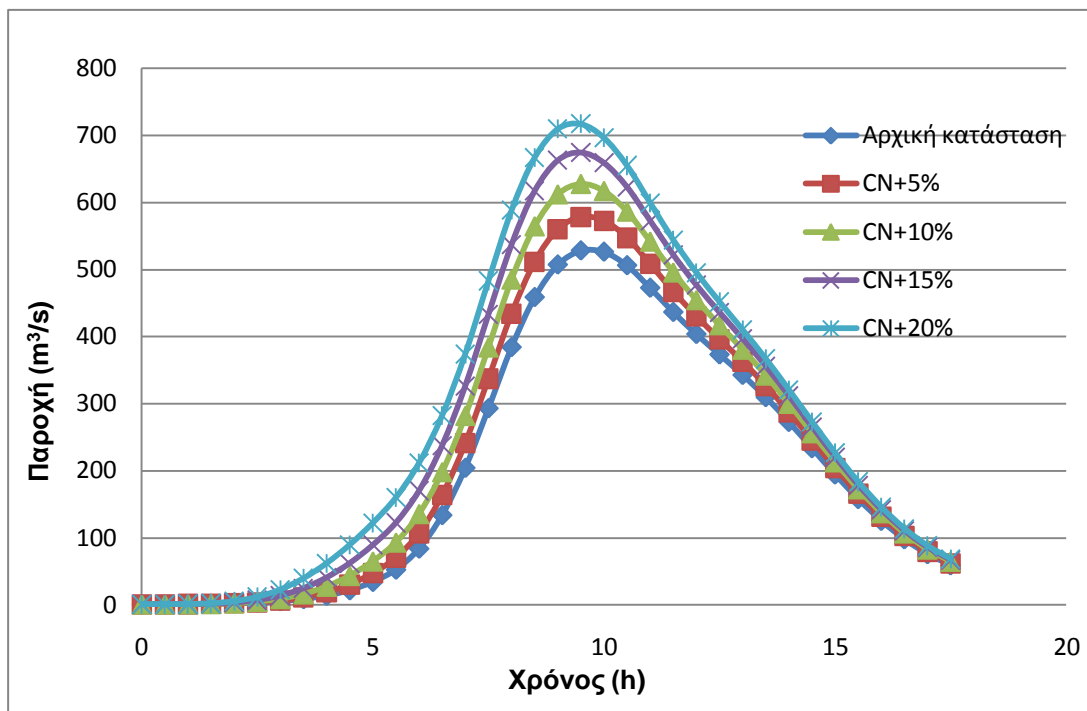
Όπως αναμενόταν οι αύξηση της παροχής και όγκου πλημμύρας είναι ακόμα μεγαλύτερη σε αυτήν την περίπτωση με το ποσοστό της αύξησης για την λεκάνη του Ερασίνου να φτάνει το 35.81% και 39.19% αντίστοιχα ενώ του Αγίου Γεωργίου 39.04% και 40.65% δηλαδή ουσιαστικά διπλάσια από την ποσοστιαία αύξηση του CN.

**Πίνακας 8.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

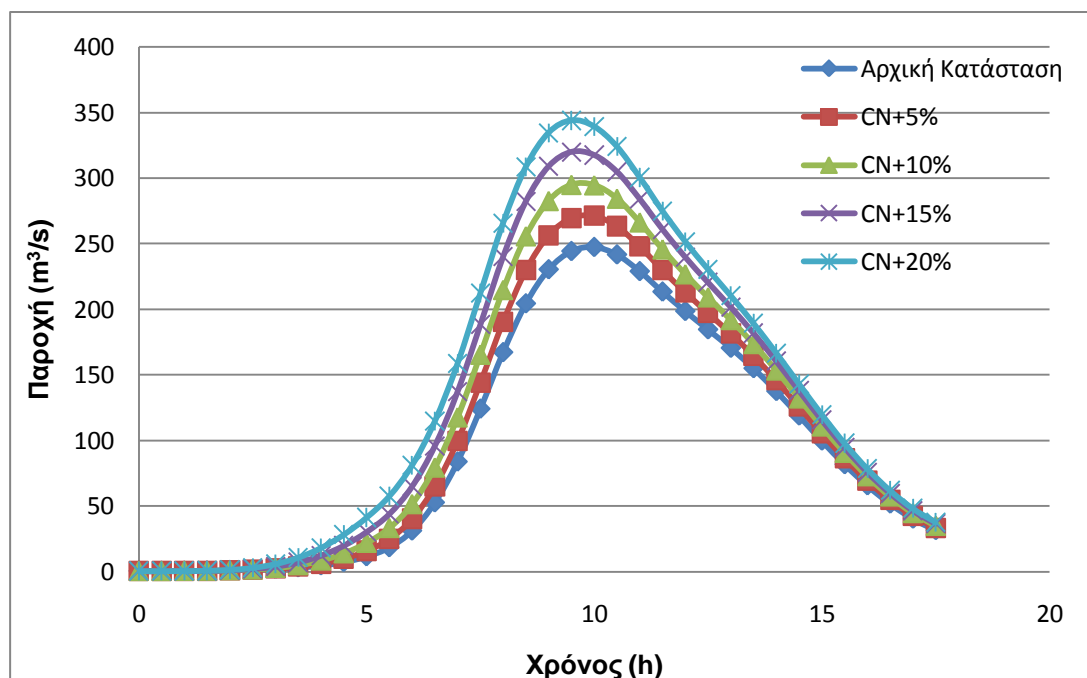
Λεκάνη	Αρχικό CN		Αύξηση CN 20%		Ποσοστιαία αύξηση παροχής (%)	Ποσοστιαία αύξηση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )		
Ερασίνο	528.3	13.139	717.5	18.293	35.81	39.19
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	344.0	8.720	39.05	40.65

### Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν είναι φανερό ότι αύξηση του αριθμού CN συνεπάγεται και αύξηση στην παροχή της κάθε λεκάνης απορροής και φυσικά και του όγκου της πλημμύρας. Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται συγκεντρωτικά τα υδρογραφήματα που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση και πως αυτά μετατοπίζονται προς τα πάνω δίνοντας μεγαλύτερες παροχές και όγκους πλημμύρας.



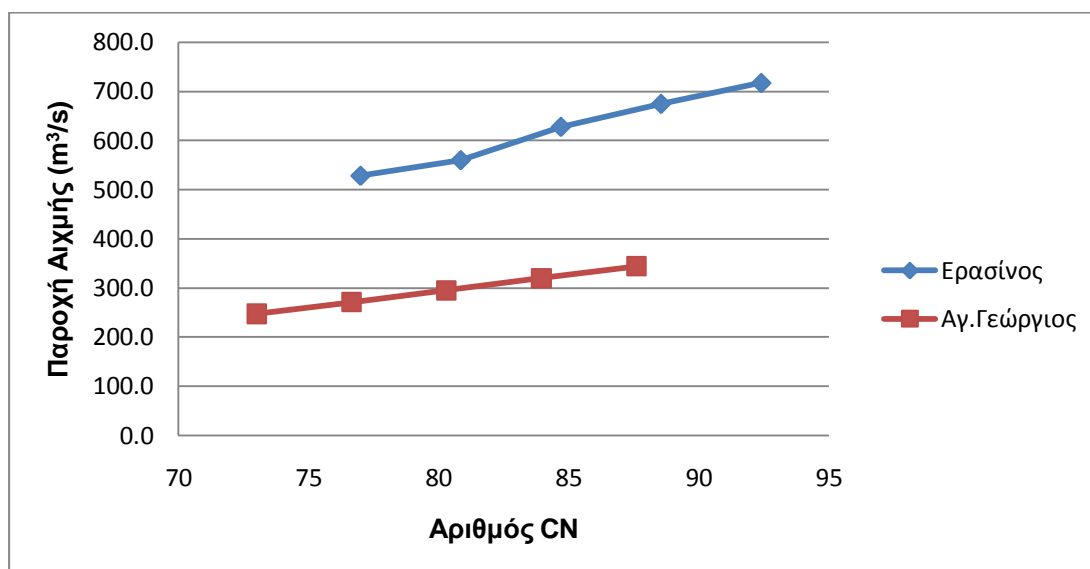
Σχήμα 8.9 : Λεκάνη Ερασίνου



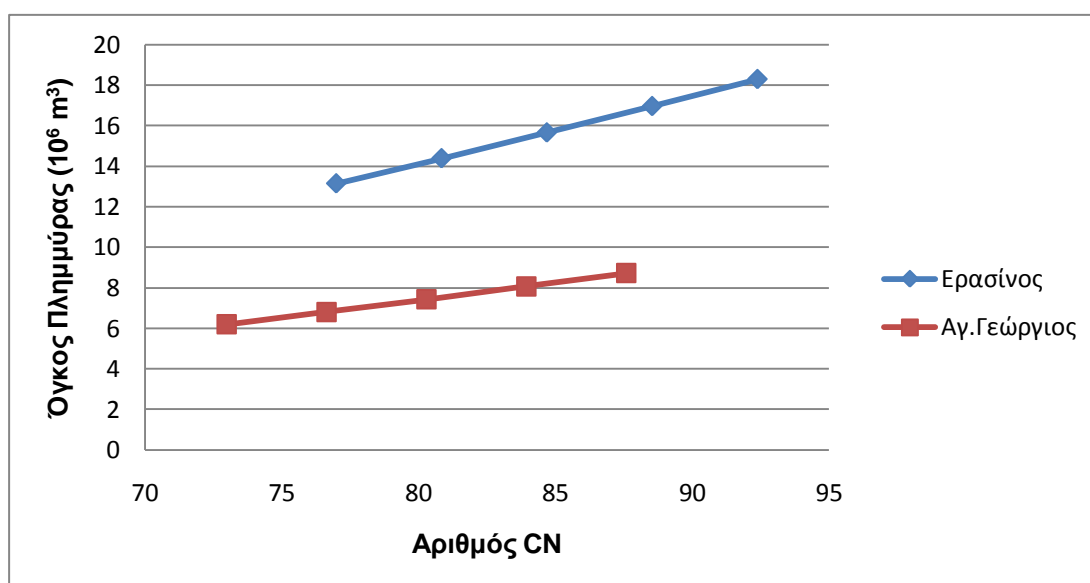
Σχήμα 8.10: Λεκάνη Αγίου Γεωργίου

Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί ότι η αύξηση της παροχής δεν είναι αντίστοιχη με αυτήν του αριθμού CN. Πιο συγκεκριμένα για την λεκάνη του Ερασίνου το ποσοστό αύξησης της παροχής είναι περίπου 1.5 φορές μεγαλύτερη από την αύξηση του αριθμού καμπύλης που την προκαλεί. Αντίστοιχα στην λεκάνη του Αγίου

Γεωργίου το ποσοστό αύξησης της παροχής είναι σχεδόν το διπλάσιο από το ποσοστό αύξησης του CN. Από αυτό προκύπτει ακόμα ότι οι δύο λεκάνες εμφανίζουν και διαφορετική συμπεριφορά η μία από την άλλη με την αύξηση του αριθμού καμπύλης. Αυτό βέβαια είναι αναμενόμενο διότι παρόλο που έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιες μέθοδοι εξαγωγής των υδρογραφημάτων (μέθοδος απωλειών βροχής, μετασχηματισμού και βασικής ροής) ωστόσο έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους αυτών των μεθόδων για κάθε λεκάνη. Αντίθετα η ποσοστιαία αύξηση του όγκου πλημμύρας είναι περίπου η ίδια και για τις δύο λεκάνες (περίπου διπλάσια από την ποσοστιαία αύξηση του CN). Τα διαγράμματα που ακολουθούν δείχνουν την σχέση μεταξύ της αύξησης της παροχής και της αύξησης του όγκου της πλημμύρας σε σχέση με την αύξηση του αριθμού CN για την κάθε λεκάνη.



Σχήμα 8.11 : Μεταβολή της παροχής αιχμής με βάση την μεταβολή του CN



Σχήμα 8.12 : Μεταβολή του όγκου πλημμύρας με βάση την μεταβολή του CN

### 8.3 Προσομοίωση με μείωση του αριθμού CN

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αντίστροφη διαδικασία, έγιναν δηλαδή προσομοιώσεις μειώνοντας σταδιακά τον αριθμό CN κατά 5%. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τις τιμές που έλαβε σε κάθε προσομοίωση ο αριθμός CN για κάθε μία από τις λεκάνες που μελετώνται.

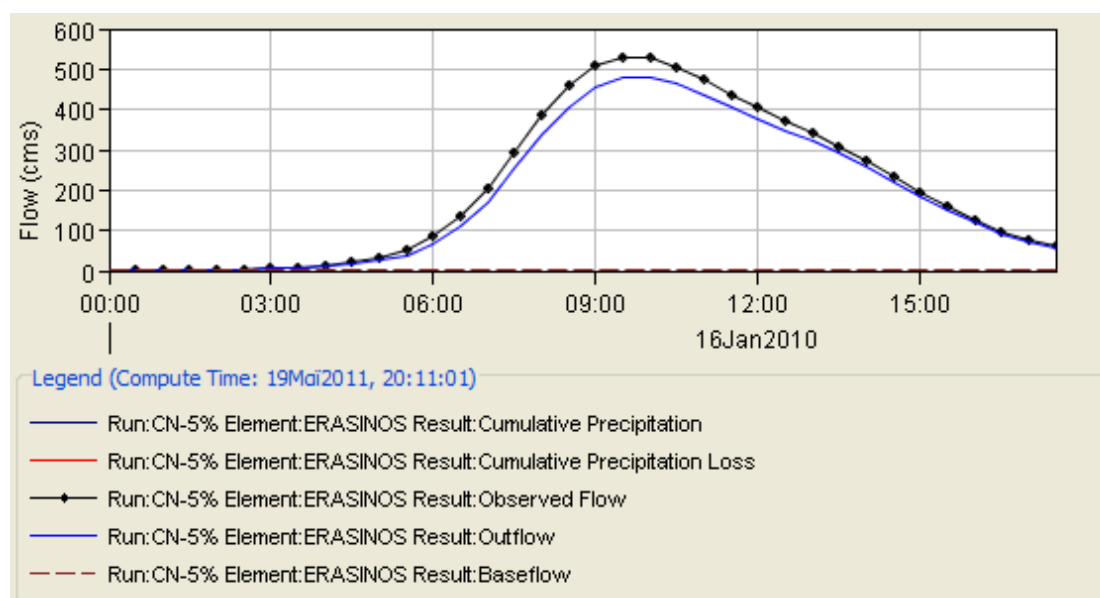
**Πίνακας 8.7: Τιμές του CN ανάλογα με την ποσοστιαία αύξηση του**

Υπολεκάνη	Αρχικό CN	-5%	-10%	-15%	-20%
Ερασίνοσ ανάντη	77	73.15	69.30	65.45	61.60
Άγιος Γεώργιος	73	69.35	65.70	62.05	58.40

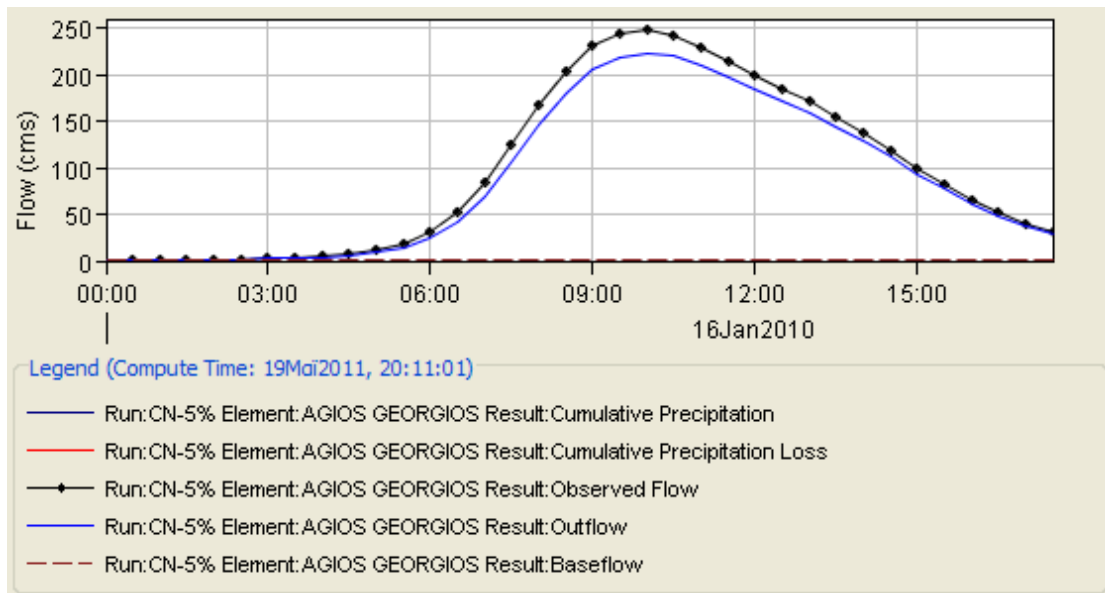
Σε αυτή την περίπτωση όπως έχει προαναφερθεί μελετάται η αλλαγή των χρήσεων γης της περιοχής σε περισσότερο αγροτικές χρήσεις και η επίδραση που θα έχει η αλλαγή αυτή στην πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρών.

#### Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Μείωση του CN 5%

Το πρώτο σενάριο μείωσης του CN που μελετήθηκε είναι αυτό της μείωσης του κατά 5%. Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα ο αριθμός καμπύλης για την λεκάνη του Ερασίνοσ έλαβε τιμή 73.15 ενώ για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου 69.35. Τα υδρογραφήματα που υπολογίζονται σε αυτήν την περίπτωση παρατίθενται στην συνέχεια.



**Σχήμα 8.13: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνοσ**



**Σχήμα 8.14: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

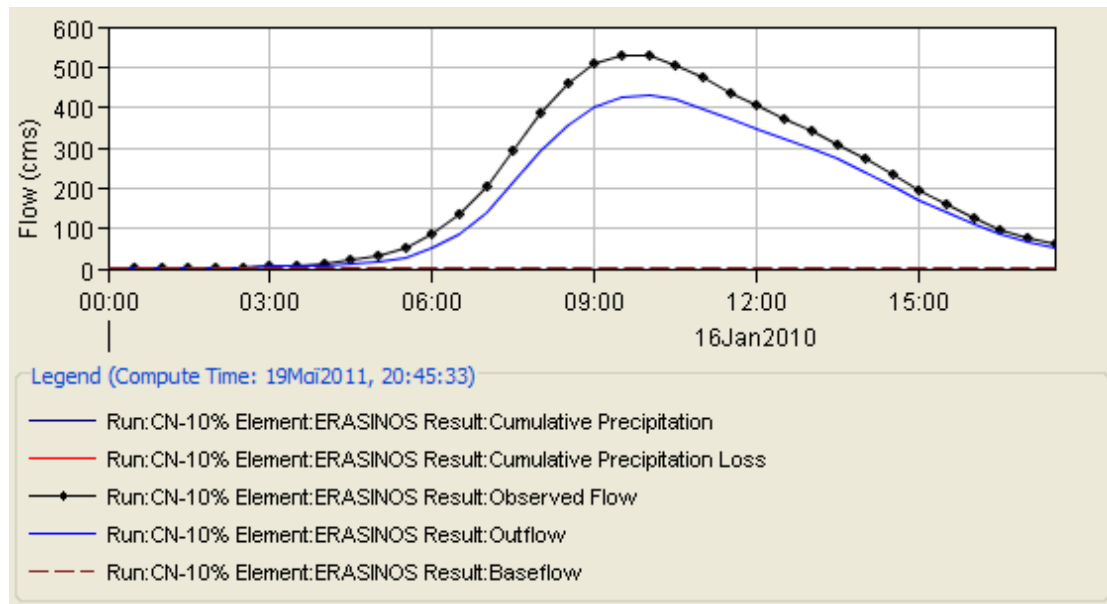
Αυτή την φορά η μετατόπιση του υδρογραφήματος είναι προς τα κάτω πράγμα που σημαίνει μικρότερες παροχές για τις δύο λεκάνες. Πιο συγκεκριμένα για την λεκάνη του Ερασίνου η παροχή αιχμής είναι  $479.2 \text{ m}^3/\text{s}$  που μεταφράζεται σε μείωση 9.29% και για τον Άγιο Γεώργιο  $223.4 \text{ m}^3/\text{s}$  δηλαδή μείωση 9.70%. Ο όγκος της πλημμύρας είναι και αυτός μικρότερος με τιμές  $11.93 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για την λεκάνη του Ερασίνου και  $5.60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα αυτά.

**Πίνακας 8.8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

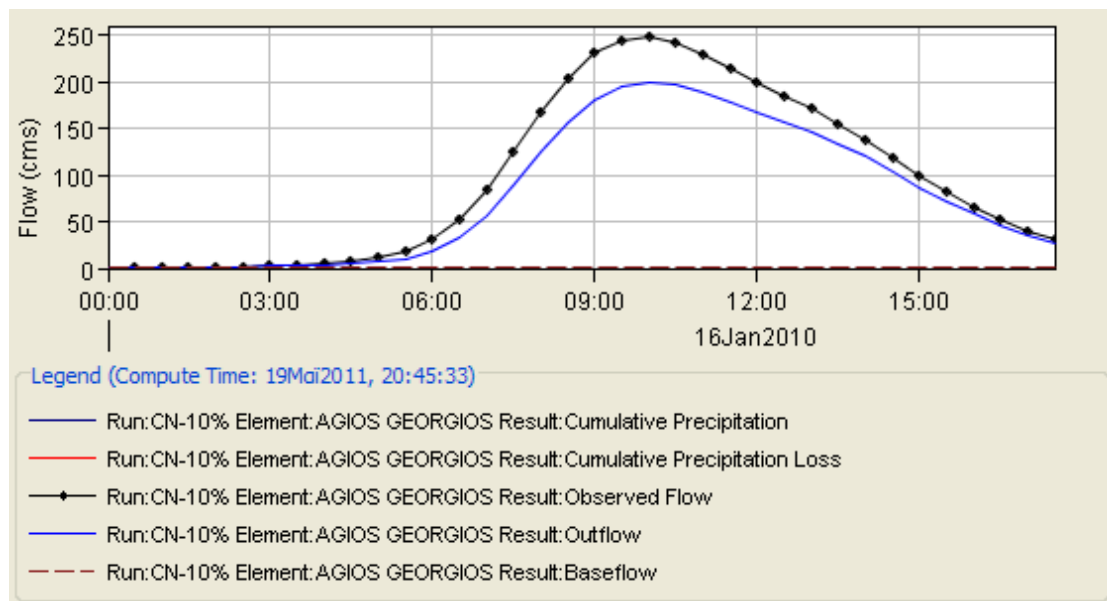
Λεκάνη	Αρχικό CN		Μείωση CN 5%		Ποσοστιαία μείωση παροχής (%)	Ποσοστιαία μείωση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )		
Ερασίνος	528.3	13.139	479.2	11.929	9.29	9.21
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	223.4	5.603	9.70	9.68

#### Περίπτωση 2<sup>η</sup>: Μείωση του CN 10%

Η τιμή που λαμβάνει ο αριθμός καμπύλης CN στην περίπτωση μείωσής του κατά 10% για την λεκάνη του Ερασίνου είναι 69.30 και για τον Άγιο Γεώργιο 65.70. Με αυτές τις τιμές CN τα υδρογραφήματα της κάθε λεκάνης μετατοπίζονται όπως φαίνεται παρακάτω:



**Σχήμα 8.15: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνου**



**Σχήμα 8.16: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

Η παροχή αιχμής σε αυτή την περίπτωση για την λεκάνη του Ερασίνου είναι  $431.7 \text{ m}^3/\text{s}$  ενώ για αυτή του Αγίου Γεωργίου  $199.5 \text{ m}^3/\text{s}$  όπως δείχνει και ο πίνακας που ακολουθεί. Στον πίνακα φαίνεται επίσης και η μείωση του όγκου πλημμύρας για τις δύο λεκάνες.

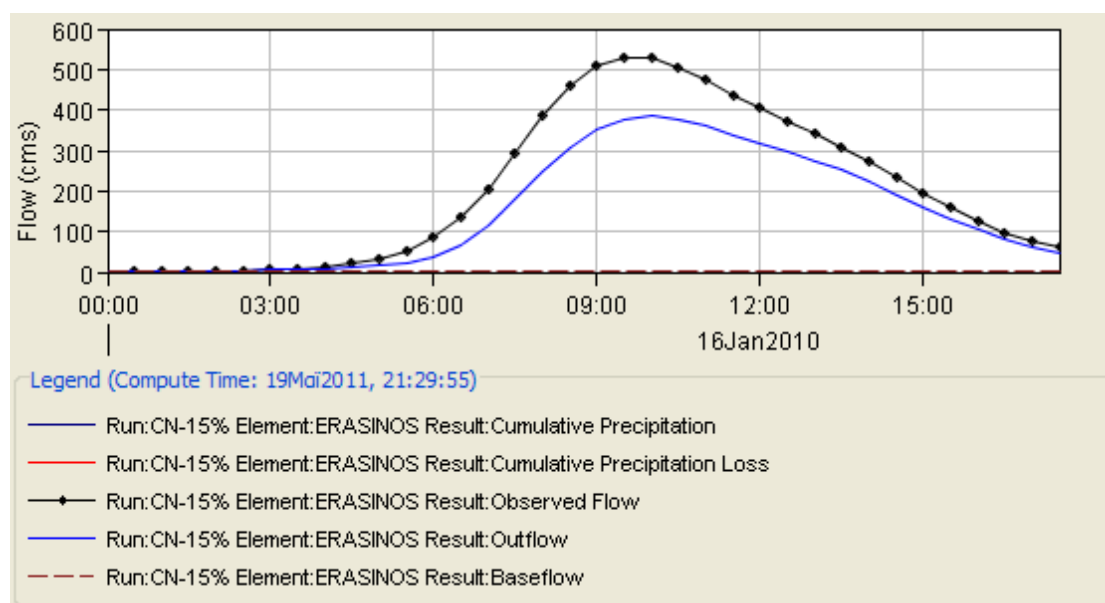


**Πίνακας 8.9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

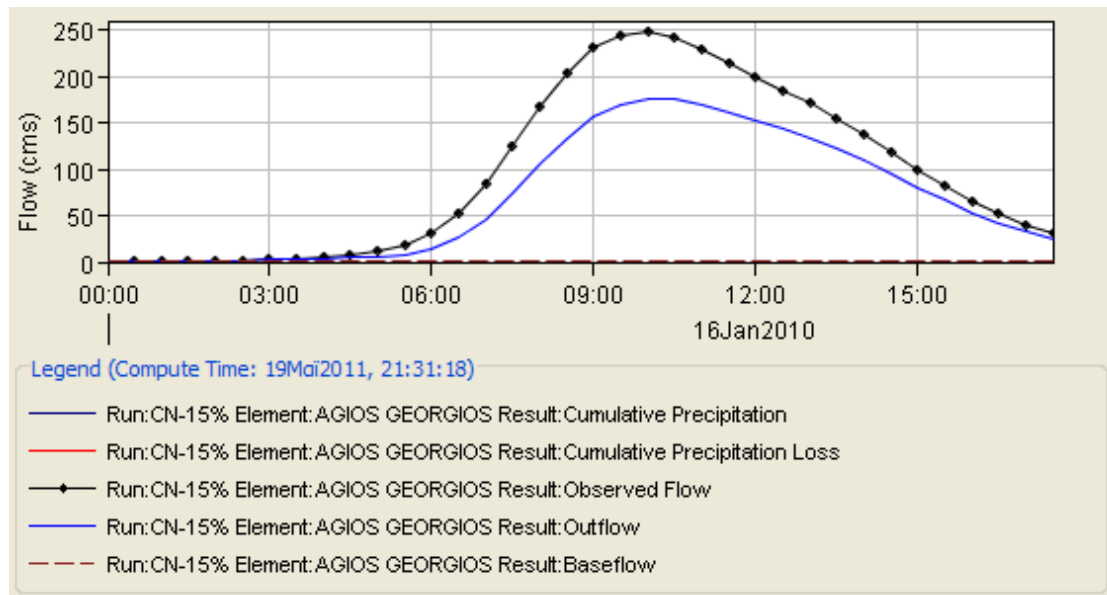
Λεκάνη	Αρχικό CN		Μείωση CN 10%		Ποσοστιαία μείωση παροχής (%)	Ποσοστιαία μείωση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )		
Ερασίνο	528.3	13138.7	431.7	10.752	18.29	18.19
Άγιος Γεώργιος	247.4	6195.7	199.5	5.027	19.36	18.87

### Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Μείωση του CN 15%

Ο αριθμός καμπύλης του Ερασίνο σε αυτή την περίπτωση διαμορφώνεται σε 65.45. Για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου διαμορφώνεται σε 62.05 οπότε τα νέα υδρογραφήματα που υπολογίζονται φαίνονται παρακάτω:



**Σχήμα 8.17: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνο**



**Σχήμα 8.18: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

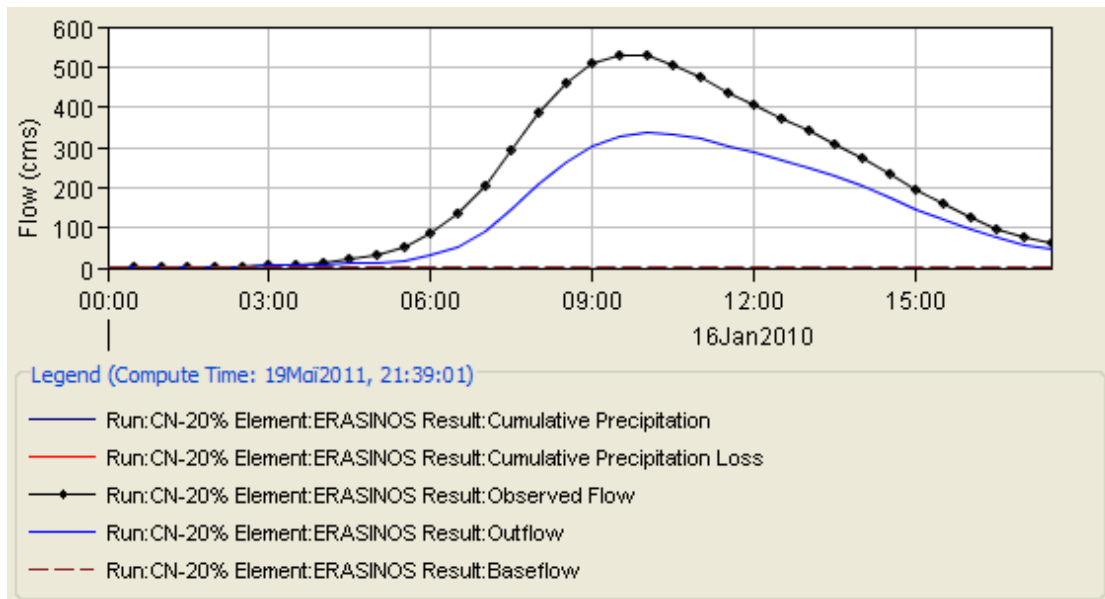
Η παροχή αιχμής μειώνεται ακόμα περισσότερο σε αυτή την περίπτωση καθώς για τον Ερασίνο φτάνει τα  $384.2 \text{ m}^3/\text{s}$  και για τον Άγιο Γεώργιο  $175.9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Αυτό σημαίνει μείωση της παροχής κατά 27.28% και 28.90 αντίστοιχα για κάθε λεκάνη. Όπως είναι αναμενόμενο το ίδιο συμβαίνει και για τον όγκο της πλημμύρας με τιμές  $9.61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και  $4.47 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  για τον Ερασίνο και τον Άγιο Γεώργιο αντίστοιχα.

**Πίνακας 8.10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη**

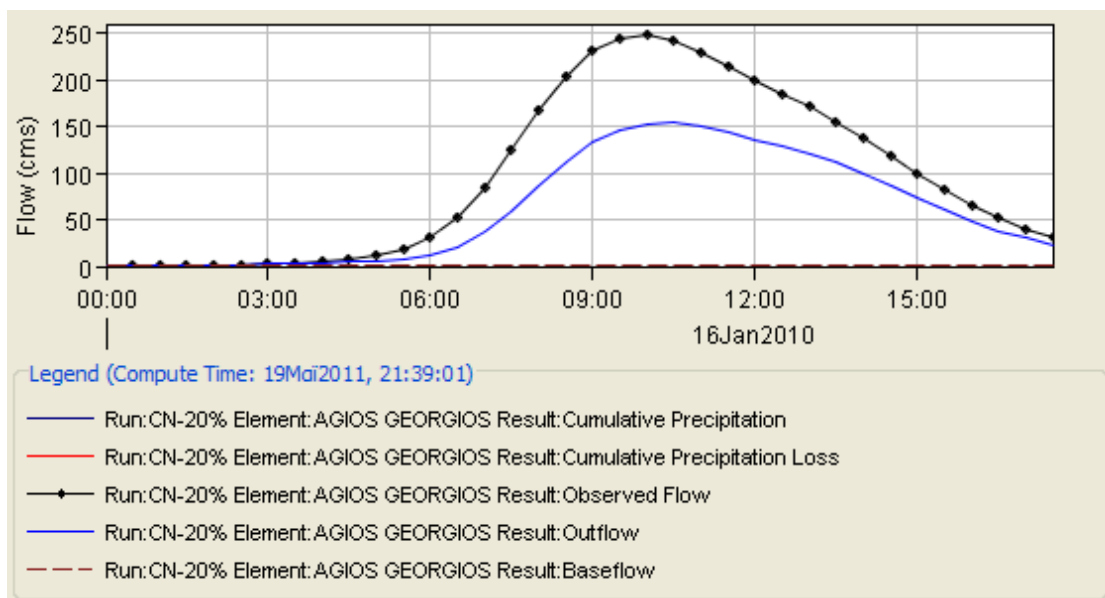
Λεκάνη	Αρχικό CN		Μείωση CN 15%		Ποσοστιαία μείωση παροχής (%)	Ποσοστιαία μείωση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )		
Ερασίνο	528.3	13.139	384.2	9.609	27.28	26.86
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	175.9	4.468	28.90	27.90

#### Περίπτωση 4<sup>η</sup>: Μείωση CN 20%

Στην τελευταία προσομοίωση ο αριθμός CN μειώθηκε 20% για κάθε λεκάνη. Έτσι για τον Ερασίνο πήρε τιμή 61.60 και για τον Άγιο Γεώργιο 58.40 με τα υδρογραφήματα που προκύπτουν να παρατίθενται στην συνέχεια:



**Σχήμα 8.19: Υδρογράφημα Λεκάνης Ερασίνου**



**Σχήμα 8.20: Υδρογράφημα Λεκάνης Αγίου Γεωργίου**

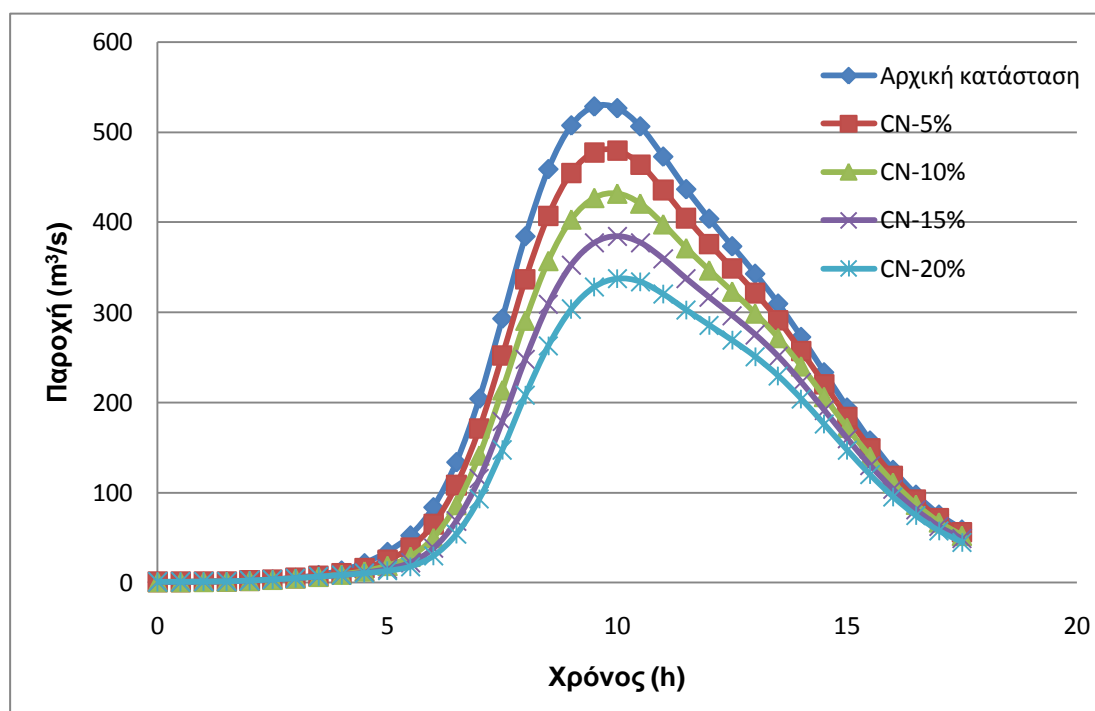
Το αποτέλεσμα ήταν ακόμα μικρότερες παροχές για τις δύο λεκάνες αφού τα υδρογραφήματα όπως φαίνονται παραπάνω να είναι πιο κάτω από αυτά της αρχικής προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα η παροχή αιχμής του Ερασίνου μειώθηκε κατά 36.15% και του Αγίου Γεωργίου 37.79%. Ο όγκος πλημμύρας παρουσιάζεται επίσης μειωμένος κατά 35.31% για τον Ερασίνο και 36.61% για τον Άγιο Γεώργιο. Ο ακόλουθος πίνακας δείχνει την συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα αυτά.

Πίνακας 8.11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα παροχής αιχμής και όγκου πλημμύρας για κάθε λεκάνη

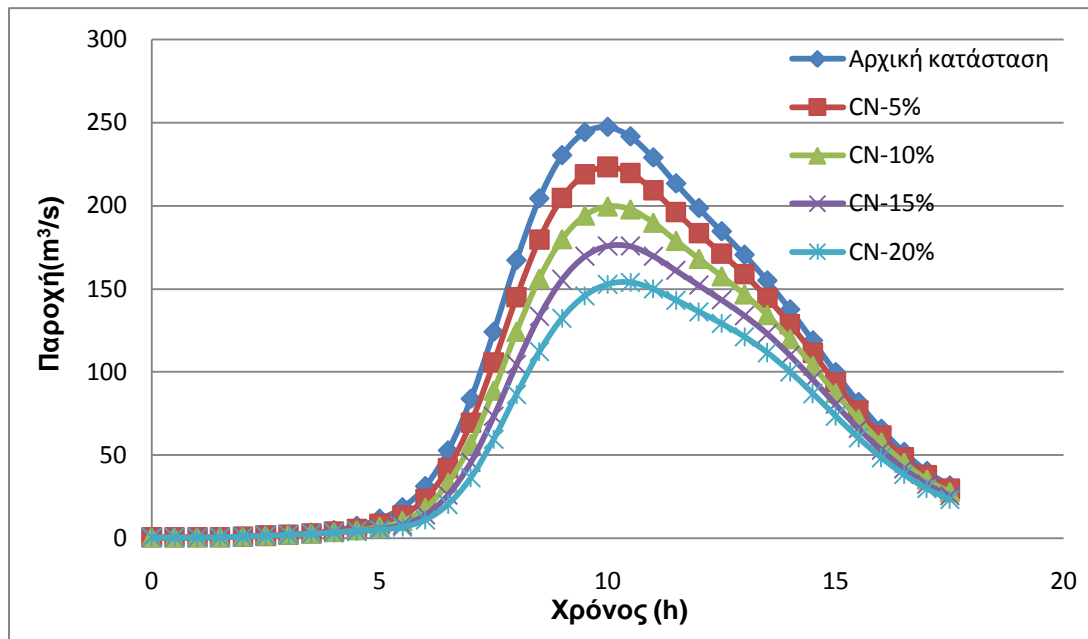
Λεκάνη	Αρχικό CN		Μείωση CN 20%		Ποσοστιαία μείωση παροχής (%)	Ποσοστιαία μείωση όγκου (%)
	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )	Παροχή αιχμής $Q_p$ ( $m^3/s$ )	Όγκος πλημμύρας $V$ ( $10^6 m^3$ )		
Ερασίνοσ	528.3	13.139	337.3	8.502	36.15	35.31
Άγιος Γεώργιος	247.4	6.196	153.9	3.928	37.79	36.61

### Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι (αντίθετα με την περίπτωση αύξησης του CN όπου παρουσιαζόταν αύξηση των παροχών) με την μείωση του αριθμού καμπύλης παρουσιάζεται μετατόπιση των υδρογραφημάτων δίνοντας μικρότερες παροχές επομένως και όγκους πλημμύρας. Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν το πώς μετατοπίζονται τα υδρογραφήματα σε σχέση με το αρχικό εξαιτίας της μείωσης του CN.



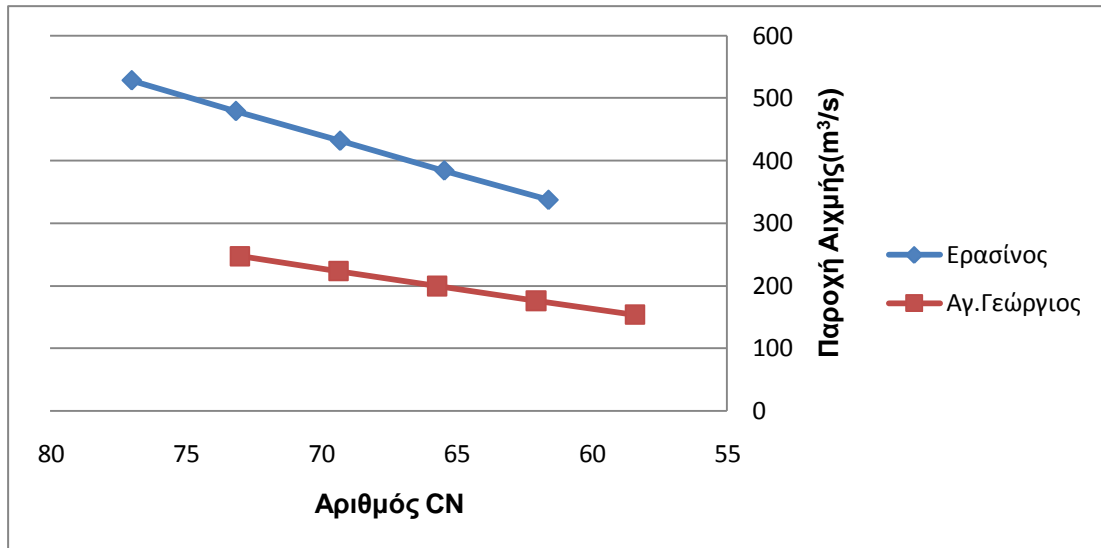
Σχήμα 8.21: Λεκάνη Ερασίνοσ



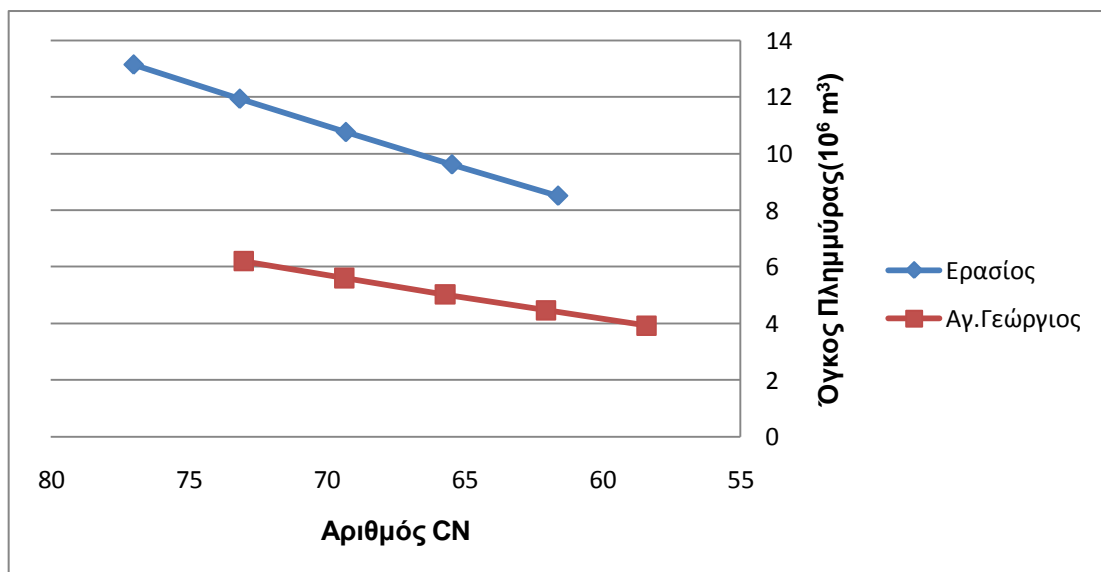
Σχήμα 8.22: Λεκάνη Αγίου Γεωργίου

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα γίνεται αντιληπτό ότι και στις δύο λεκάνες όσο μειώνεται ο αριθμός καμπύλης CN τόσο μειώνεται και η παροχή τους. Έτσι, το ποσοστό της μείωσης του CN είναι μικρότερο από το ποσοστό μείωσης της παροχής αιχμής. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνοντας τον αριθμό CN η λεκάνη ενισχύει τον αγροτικό της χαρακτήρα, γεγονός που σημαίνει μεγαλύτερες εκτάσεις που καλύπτονται από πράσινο, λιγότερες αδιαπέραστες από το νερό επιφάνειες και μεγαλύτερη διηθητικότητα εδάφους. Έτσι, οι απώλειες βροχής αυξάνονται με αποτέλεσμα να μειώνεται το περίσσειμα βροχής και επομένως και οι παροχές της λεκάνης.

Ωστόσο αυτή την φορά οι δύο λεκάνες εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά καθώς και στις δύο περιπτώσεις το ποσοστό μείωσης της παροχής αιχμής είναι σχεδόν διπλάσιο από το αντίστοιχο ποσοστό μείωσης του CN. Τα ίδιο ισχύει και για τον όγκο της πλημμύρας κάθε λεκάνης. Τα γραφήματα που ακολουθούν περιγράφουν γραφικά την σχέση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων για την κάθε λεκάνη.



Σχήμα 8.23: Μεταβολή της παροχής αιχμής με βάση την μεταβολή του CN



Σχήμα 8.24: Μεταβολή του όγκου πλημμύρας με βάση την μεταβολή του CN

## 8.4 Σχόλια

Από τις περιπτώσεις που αναλύθηκαν παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η μεταβολή του δείκτη CN έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μεταβολή στα πλημμυρικά μεγέθη των δύο υπολεκανών. Για να υπάρξει μία καλύτερη εκτίμηση αυτής της επίδρασης υπολογίστηκε για τις δύο λεκάνες η ελαστικότητα της παροχής αιχμής ως προς τον αριθμό CN. Η ελαστικότητα είναι ο λόγος της ποσοστιαίας μεταβολής της παροχής αιχμής ως προς την ποσοστιαία μεταβολή του αριθμού CN

και εκφράζει ουσιαστικά τον βαθμό ευαισθησίας της παροχής αιχμής ως προς τον αριθμό καμπύλης. Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος που δείχνει ποια είναι η επίδραση στην παροχή αιχμής όταν μεταβάλλεται το CN. Αν ο λόγος αυτός είναι μικρότερος από την μονάδα η παροχή αιχμής ως προς το CN είναι ανελαστική και η επίδραση στην παροχή είναι μικρή. Το αντίθετο συμβαίνει αν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 1, όπου η επίδραση της μεταβολής του αριθμού καμπύλης στην παροχή είναι μεγάλη.

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{\Delta CN} \cdot \frac{CN_0}{Q_0} \quad (8.1)$$

Από την σχέση (8.1) λοιπόν για την λεκάνη του Ερασίνου προκύπτει ότι η ελαστικότητα είναι 1.80, δηλαδή μεγαλύτερη από την μονάδα ( $\varepsilon > 1$ ) οπότε η παροχή αιχμής ως προς την μεταβολή του CN είναι ελαστική. Αυτό σημαίνει ότι αύξηση του CN κατά 1% θα προκαλέσει αύξηση της παροχής αιχμής κατά 1.8%. Η επίδραση της δηλαδή της μεταβολής του αριθμού καμπύλης στην παροχή σχεδιασμού είναι ιδιαίτερα σημαντική για την λεκάνη του Ερασίνου καθώς για παράδειγμα μία αύξηση του CN μπορεί να προκαλέσει σχεδόν την διπλάσια αύξηση στην παροχή αιχμής της λεκάνης.

Αντίστοιχα στην λεκάνη του Αγίου Γεωργίου η ελαστικότητα της παροχής αιχμής είναι επίσης ελαστική καθώς είναι ίση με 1.92. Επομένως, η “ευαισθησία” της λεκάνης στην μεταβολή του CN είναι αρκετά σημαντική καθώς μία αύξηση του αριθμού καμπύλης για παράδειγμα 5% θα προκαλέσει μεταβολή 9.6% στην παροχή αιχμής. Μάλιστα η ελαστικότητα της λεκάνης του Αγίου Γεωργίου είναι μεγαλύτερη από αυτής του Ερασίνου που σημαίνει ότι είναι περισσότερο “ευαίσθητη” στις μεταβολές του CN.

Όπως όμως έχει ήδη αναφερθεί η αύξηση του αριθμού CN σε μια λεκάνη απορροής αντιπροσωπεύει στην ουσία την αστικοποίηση της λεκάνης αυτής. Από την μελέτη των περιπτώσεων που αναλύθηκαν παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η αστικοποίηση οδηγεί σε σημαντικές αυξήσεις στην παροχή αιχμής και τον όγκο πλημμύρας. Ο υπολογισμός της ελαστικότητας των δύο λεκανών μάλιστα έδειξε ότι το ποσοστό αύξησης αυτών των μεγεθών δεν είναι αντίστοιχο της αστικοποίησης αλλά αρκετά μεγαλύτερο. Πιο συγκεκριμένα στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν το ποσοστό αύξησης της παροχής ήταν σχεδόν το διπλάσιο από αυτό της αύξησης του CN. Επίσης, οι δύο λεκάνες παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά καθώς η αύξηση των πλημμυρικών μεγεθών του Αγίου Γεωργίου ήταν μεγαλύτερη από αυτήν του Ερασίνου όπως φανερώνει η ελαστικότητα τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### Συμπεράσματα- Προτάσεις

#### 9.1 Σύνοψη

Για την διερεύνηση της υδρολογικής συμπεριφοράς μιας λεκάνης απορροής με σκοπό την προσομοίωση της αν μεταβληθούν οι παρούσες χρήσεις γης απαιτούνται μια σειρά εργασιών και επιστημονικών μεθόδων που θα προσομοιώσουν διάφορα σενάρια για την υπό μελέτη περιοχή.

Η εν λόγω περιοχή μελέτης στην παρούσα διπλωματική είναι η ευρύτερη λεκάνη απορροής του ποταμού Ερασίνου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται στην περιοχή των Μεσογείων στην ανατολική Αττική δίπλα στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών “Ελ. Βενιζέλος”. Ο Ερασίνος σχηματίζεται στην περιοχή της Παιανίας από συμβολή ρεμάτων που ρέουν από τον Υμητό. Στην συνέχεια ρέει ανατολικά και εκβάλλει στον Νότιο Ευβοϊκό κόλπο στην περιοχή της Βραυρώνας. Πρόκειται για μία λεκάνη απορροής συνολικής επιφάνειας περίπου 194 km<sup>2</sup> που για την συγκεκριμένη διπλωματική χωρίστηκε σε δύο υπολεκάνες. Η πρώτη ήταν η λεκάνη του Ερασίνου εμβαδού 127 km<sup>2</sup> και η δεύτερη του κυριότερου παραποτάμου του, του Αγίου Γεωργίου εμβαδού 67 km<sup>2</sup>.

Αρχικά έγινε ανάλυση βροχομετρικών της περιοχής με τη συσχέτιση των μεγεθών της έντασης, διάρκειας και περιόδου επαναφοράς μέσω του σχεδιασμού των όμβριων καμπυλών που είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στον υδρολογικό σχεδιασμό



έργων αξιοποίησης και προστασίας των υδατικών πόρων. Θεωρώντας ότι τα ετήσια μέγιστα ύψη για την περίοδο 1962-1996 από τον βροχογράφο Μαρκόπουλου ακολουθούν την κατανομή ακραίων τύπου Gumbel και με την βοήθεια της γραμμικής παλινδρόμησης κατασκευάστηκαν οι όμβριες καμπύλες της περιοχής.

Στην συνέχεια με βάση τα γεωμετρικά και γεωλογικά δεδομένα της περιοχής που υπολογίστηκαν έγινε η εκτίμηση των παραμέτρων της λεκάνης ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση και να γίνει η εξαγωγή των υδρογραφημάτων της κάθε λεκάνης για το μηδενικό σενάριο. Οι περισσότερες από αυτές τις παραμέτρους εκτιμήθηκαν με βάση την έκθεση DISMA που πραγματοποιήθηκε από το ΕΜΠ το 2007 (Disaster Management GIS). Οι υπολογισμοί των υδρογραφημάτων έγιναν με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS. Τέλος, μεταβάλλοντας τον αριθμό CN και διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους έγινε ανάλυση ευαισθησίας της λεκάνης μελετώντας έτσι την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης εξαιτίας της αλλαγής των χρήσεων γης της περιοχής.

## **9.2 Συμπεράσματα**

### **9.2.1 Συμπεράσματα για τις χρήσεις γης της περιοχής**

Από τον υπολογισμό του αριθμού καμπύλης CN για τις δύο υπολεκάνες προέκυψε ότι η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης έχει χαμηλό βαθμό αστικοποίησης και πρόκειται κυρίως για αγροτικές περιοχές που αποτελούνται κυρίως από καλλιεργήσιμες και δασικές εκτάσεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι και στις δύο λεκάνες ο αριθμός CN είναι αρκετά κάτω από 80.

### **9.2.2 Συμπεράσματα από την ανάλυση ευαισθησίας των δύο λεκανών**

Το τελικό στάδιο της εργασίας αφορούσε την προσομοίωση των δύο λεκανών απορροής και την πραγματοποίηση της ανάλυσης ευαισθησίας για κάθε μία από αυτές. Η προσομοίωση αυτή στηρίχτηκε στον προσδιορισμό πολλών υδρολογικών και υδραυλικών παραμέτρων για την όσο το δυνατόν καλύτερη απεικόνιση του μοντέλου της λεκάνης. Οι περισσότερες από αυτές τις παραμέτρους εκτιμήθηκαν κατά το δυνατόν από διαθέσιμα στοιχεία, ωστόσο η εκτίμηση είναι προσεγγιστική και μπορεί να απέχει από τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων. Για τον ακριβή προσδιορισμό αυτών των τιμών χρειάζονται εργαστηριακές μετρήσεις ή μετρήσεις πεδίου που δεν ήταν διαθέσιμες στην παρούσα φάση. Ακόμη όμως και να υπήρχε αυτή η δυνατότητα οι φυσικές συνθήκες και οι διεργασίες είναι δύσκολο να προσομοιωθούν εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους.

Τέτοιες παραδοχές έγιναν στην περίπτωση του προσδιορισμού της μέγιστης ποσότητας κατακράτησης του νερού από τα φύλλα των φυτών της λεκάνης, στην

αρχική απορροή στο μοντέλο που περιγράφει την βασική ροή και στο ποσοστό των αδιαπέραστων από νερό επιφανειών στην λεκάνη.

Για τα διάφορα σενάρια που προσομοιώθηκαν με βάση τις παραδοχές και τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα έγινε η ανάλυση ευαισθησίας των δύο λεκανών. Αρχικά η περίπτωση αύξησης του αριθμού καμπύλης κατά 5% κάθε φορά σε καθεμία λεκάνη οδήγησε και σε αύξηση της παροχής αιχμής της κάθε λεκάνης. Αύξηση του αριθμού καμπύλης υποδηλώνει όμως μεταβολή στην κατανομή των χρήσεων γης της λεκάνης σε περισσότερες αστικές χρήσεις. Έτσι λοιπόν η αστικοποίηση των δύο λεκανών οδηγεί σε μεγαλύτερες παροχές αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο πλημμυρών. Επίσης η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αιχμής είναι σχεδόν δύο φορές μεγαλύτερη από την ποσοστιαία μεταβολή του αριθμού CN πράγμα που δείχνει τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει η αστικοποίηση και η μεταβολή του υδρολογικού τύπου του εδάφους της λεκάνης στην παροχή αιχμής της.

Πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι μία ακόμη επίδραση της αστικοποίησης είναι η μεταβολή του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης. Πολλά υδρολογικά μοντέλα θεωρούν ότι η αστικοποίηση μιας λεκάνης διαφοροποιεί και τον χρόνο συγκέντρωσής της. Ωστόσο, επειδή στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάται αγροτική λεκάνη ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίστηκε με την εξίσωση του Giandotti όπως συνηθίζεται σε τέτοιες περιπτώσεις. Η εξίσωση όμως αυτή δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση αυτή της αστικοποίησης στον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης και για αυτό το λόγο δεν μελετήθηκε στην παρούσα εργασία.

Αντίθετα με την πρώτη περίπτωση κατά την μείωση του αριθμού καμπύλης των δύο υπολεκανών κατά 5% κάθε φορά υπήρξε μείωση των παροχών αιχμής. Δηλαδή η διατήρηση του αγροτικού χαρακτήρα των λεκανών με τις καλλιεργήσιμες και δασικές εκτάσεις και η κατασκευή έργων συντήρησης συνεισφέρει στην μείωση των παροχών και μείωση της πιθανότητας πλημμύρας σε αυτές.

Συμπερασματικά η μεταβολή στις χρήσεις γης της λεκάνης και η διαφοροποίηση του υδρολογικού της τύπου είναι ικανή να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην απόκριση της λεκάνης. Για αυτό τον λόγο το γεγονός αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στον σχεδιασμό και την κατασκευή των διάφορων έργων υποδομής έτσι ώστε να μην αυξηθεί η διακινδύνευση πλημμύρας.

### **9.3 Προτάσεις-μέτρα προστασίας**

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Πλημμύρα συμβαίνει λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων, από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών ή από το λιώσιμο χιονιού. Συμβαίνει επίσης από υποχώρηση φραγμάτων και στην περίπτωση αυτή οι συνέπειες είναι πολύ μεγάλες.

Η πλημμύρα από φυσικά αίτια είτε παρουσιάζει βραδεία εξέλιξη είτε ανήκει στην κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας, που είναι και το πιο συνηθισμένο φαινόμενο στην Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση υφέσεων.

Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα λίγων ωρών ή λιγότερο και έχουν ως αποτέλεσμα ταχεία ύψωση νερού, το οποίο στο πέρασμα

του μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε κατασκευές, όπως κτίρια, γέφυρες κλπ, να παρασύρει αυτοκίνητα, να ξεριζώσει δέντρα κ.α. Οι πλημμύρες, που έχουν ως αίτιο τις βροχοπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις εδαφών. Τα περισσότερα θύματα εξαιτίας πλημμυρών προέρχονται από τις ξαφνικές πλημμύρες.

Πολλοί παράγοντες συνηγορούν σε μία ξαφνική πλημμύρα, όπως: η ένταση της βροχής και η διάρκεια της, η τοπογραφία, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, το φράξιμο ρεμάτων, ο μη καθαρισμός των υπονόμων, η καταστροφή των δασών καθώς και η αστικοποίηση. Ειδικότερα στην περιοχή των Μεσογείων όπου βρίσκεται και η λεκάνη μελέτης, η ραγδαία οικιστική ανάπτυξη και τα μεγάλα έργα έχουν αλλάξει τα δεδομένα, με αποτέλεσμα οι πλημμύρες να είναι συχνότερες και εντονότερες. Η εικόνα έχει αντιστραφεί και έτσι το 80% των νερών της βροχής πρέπει να βρει αποδέκτες και να καταλήξει στη θάλασσα, ενώ μόλις το 20% απορροφάται από το ελάχιστο χώμα που έχει απομείνει.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την προστασία της περιοχής από τις πλημμύρες. Τα μέτρα αυτά θα μπορούσαν να είναι:

- Συνολική θεώρηση των έργων σε επίπεδο λεκάνης απορροής όπως ορίζει η ευρωπαϊκή οδηγία 2007/60/EK.
- Κατασκευή δικτύου ομβρίων για την συλλογή του νερού της βροχής.
- Εκτίμηση επάρκειας υφιστάμενων δικτύων–ρεμάτων και τροποποιήσεις.
- Πρόγραμμα ιεράρχησης έργων και μέτρων ανάσχεσης πλημμυρών.
- Καταγραφή των ρεμάτων και της γενικότερης περιοχής μελέτης αλλά και του δικτύου ομβρίων με GIS, ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν χάρτες κινδύνου και διακινδύνευσης όπως ορίζει η οδηγία 2007/60/EK.
- Υδρολογική μελέτη για τα κύρια ρέματα που να περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής που μελετώνται, τις αντίστοιχες παροχές αιχμής και τον πλημμυρικό όγκο για διάφορες περιόδους επαναφοράς.
- Εκτίμηση ζωνών κινδύνου δηλαδή των περιοχών με κατάκλυση ίσης πλημμυρικής διακινδύνευσης.
- Μελέτη όμβριων καμπυλών που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον υδρολογικό σχεδιασμό έργων προστασίας των υδατικών πόρων .
- Προτάσεις για κατασκευαστικά και μη κατασκευαστικά μέτρα που να συμβάλλουν στην αντιπλημμυρική θωράκιση.
- Εγκατάσταση αυτοματοποιημένου τηλεμετρικού δικτύου παρακολούθησης βροχής– απορροής σε κρίσιμες θέσεις ώστε να υπάρχει δυνατότητα συνεχής παρακολούθησης των σημείων που μπορεί να εμφανιστεί πρόβλημα.
- Ανάπτυξη λογισμικού συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων βροχής τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό των έργων υποδομής για την προστασία από τις πλημμύρες.
- Ρύθμιση μοντέλου βροχής– απορροής για την λεκάνη απορροής που να προσομοιώνει την συμπεριφορά της λεκάνης με βάση γεγονός ραγδαίας βροχής, όπως έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

- Εξαγωγή συμπερασμάτων από εφαρμογή μοντέλου στις κρίσιμες θέσεις ώστε να μελετηθούν που πρέπει να κατασκευαστούν για την προστασία από τις πλημμύρες.
- Σύστημα πρόγνωσης και παρακολούθησης ισχυρών καταιγίδων και πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο(ραντάρ, δορυφόρος και δίκτυο επίγειων σταθμών).
- Σύστημα προειδοποίησης πλημμυρικής διακινδύνευσης και κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης της διακινδύνευσης στα πλαίσια της πρόληψης όπως ορίζει η κοινοτική οδηγία 2007/60/EK αλλά και σχεδίων έκτακτης ανάγκης.
- Επιχειρησιακή οργάνωση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης και των υπόλοιπων αρμόδιων φορέων για πρόληψη και αντιμετώπιση πλημμυρικών καταστροφών.
- Απαγόρευση μπαζώματος ρεμάτων και μετατροπή τους σε οδούς προσπέλασης ή ανοικοδόμηση κτιρίων στις θέσεις αυτές, καθώς διευκολύνεται η επιφανειακή απορροή δημιουργώντας μεγαλύτερες παροχές. Ταυτόχρονα παρεμποδίζεται η φυσική δίοδος του νερού προς την θάλασσα δημιουργώντας προβλήματα πλημμύρας.
- Η εφαρμογή ενός σχεδιασμού για τον τρόπο με τον οποίο επεκτείνεται ο αστικός ιστός ώστε να μην επιτρέπεται η αυθαίρετη δόμηση σε ρέματα αυξάνοντας έτσι την διακινδύνευση πλημμύρας.
- Πλήρης ενσωμάτωση της Οδηγίας 2007/60/EK που ορίζει τους τρόπους πρόληψης και προστασίας από τις πλημμύρες.

Η εφαρμογή των παραπάνω μέτρων έγκειται κυρίως στην δραστηριοποίηση κρατικών μηχανισμών και δημόσιων φορέων. Δεν θα πρέπει να λησμονηθεί ωστόσο και η σημασία της ενημέρωσης και της ευαισθητοποίησης του κοινού από την οποία μπορούν να αποκομιστούν επιπρόσθετα οφέλη. Εξάλλου η ενημέρωση του κοινού είναι από τους βασικούς άξονες πάνω στους οποίους κινείται και η ευρωπαϊκή οδηγία 2007/60ΕΚ. Τέλος, ένας ακόμη βασικός άξονας της οδηγίας αυτής είναι η πρόληψη που μπορεί να αποτελέσει την καλύτερη προστασία. Τα μέτρα λοιπόν που προαναφέρθηκαν επικεντρώνονται στο να προληφθούν οι πλημμύρες μειώνοντας έτσι τις καταστροφικές τους συνέπειες για την ανθρώπινη ζωή σε πρώτο βαθμό και τις οικονομικές, περιβαλλοντικές και πολιτιστικές αρνητικές συνέπειες σε δεύτερο βαθμό.

## Βιβλιογραφία

1. Γκικόκας Α., Μεταπτυχιακή Εργασία, *Κατάρτιση Μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση Χαρτών πλημμύρας, Εφαρμογή στο Ν. Αρκαδίας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009
2. DISMA, Technical Report: Volume I, *Flood Damage Estimation Methodology within Eastern Attica Prefecture*, Centre for the Assessment of Natural Hazard & Proactive Planning, 202 p., NTUA, 2007
3. European Council, *EU Directive of the European Parliament and the European Council on the assessment and management of flood risks*, 2007 (2007/60/EU)
4. Θεουλάκης Κ., Μεταπτυχιακή Εργασία, *Δημιουργία Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας και Χαρτών Διακινδύνευσης Πλημμύρας, με βάση την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2007/60 για τα νερά*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010
5. Μπενσασσών Α., Παπαλεξόπουλος Β., *Αντιπλημμυρική προστασία λεκανοπεδίου ρέματος Ερασίνου*, ΤΕΕ Ελλάδα, Ημερίδα «Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής», Αθήνα 2004
6. Ναλμπάντης Ι., *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα 2007
7. Πιστρίκα Α, Διδακτορική Διατριβή, *Εκτίμηση άμεσης Πλημμυρικής Ζημιάς Σε Δομημένο Περιβάλλον*, Τόμος Ι, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010
8. Τερζίδης Γ, *Εφαρμοσμένη Υδραυλική*, Ζήτη Θεσσαλονίκη 1997
9. Thywissen K, *Components of Risk, a Compactive Glossary*, United Nations University- Institute for Environment and Human Security, 2006
10. Τσακίρης Γ. , *Αντιπλημμυρική προστασία στις παράκτιες περιοχές: Συστημική Προσέγγιση*
11. Tsakiris G, Nalbantis I, Pistrika, *Critical Issues on the EU Flood Directive*, European water, 51 p., 2009
12. Τσακίρης Γ, *Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα 1991
13. Tsakiris G, *Practical Application of Risk and Hazard*, European water, 56 p., 2007

14. Τσακίρης Γ , *Υδραυλικά Έργα: Σχεδιασμός και Διαχείριση*, Συμμετρία, Αθήνα 2006
15. Τσακίρης Γ , *Υδατικοί Πόροι Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Συμμετρία, Αθήνα 1995
16. Τσακίρης Γ , *Υδατικοί Πόροι ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας*, Συμμετρία, Αθήνα 2009
17. US Army Corps of Engineers, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*, Hydrologic Engineering Center, 2010
18. US Army Corps of Engineers, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, Hydrologic Engineering Center, 2000

## Διαδικτυακές Πηγές

- Δήμος Μαρκόπουλου [www.markopoulo.gr/](http://www.markopoulo.gr/)
- Δήμος Σπάτων [www.spata.gr/](http://www.spata.gr/)
- Δήμος Παιανίας [www.paiania.gov.gr/](http://www.paiania.gov.gr/)
- Δήμος Κορωπίου [www.koropi.gr/](http://www.koropi.gr/)
- Νομαρχία Ανατολικής Αττικής [www.atticaeast.gr/](http://www.atticaeast.gr/)
- Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60 [eur-lex.europa.eu/LexUriServ/](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/)
- <http://www.itia.ntua.gr/el/>
- <http://el.wikipedia.org/wiki/>
- <http://maps.google.com/maps>
- <http://www.statistics.gr/>
- [www.ornithologiki.gr/](http://www.ornithologiki.gr/)
- [www.ewra.net/](http://www.ewra.net/)
- <http://openarchives.gr/>
- <http://www.waterinfo.gr>

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**  
**Πίνακες Δεδομένων**

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται πίνακες με όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Τα στοιχεία από τα οποία κατασκευάστηκαν οι όμβριες καμπύλες του κεφαλαίου 5 δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 1: Μέγιστα ύψη βροχής σταθμού Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Μαρκόπουλου**

Υδρολ. έτος	30'	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
1962-63	10.9	20.7	21.7	29.5	30.6	43.1
1963-64	10.6	17.2	27.2	44.6	52.2	52.3
1964-65	10.2	14.9	19.8	27.2	39.1	41.1
1965-66	9.4	9.4	9.8	18.5	18.7	33.3
1966-67	16.1	19.8	25.2	39.1	39.8	56.7
1967-68	14.2	24.3	25.8	31.4	39.7	57.3
1968-69	9.5	16.9	20.7	25.3	33.1	45.5
1969-70	8.7	8.7	12.2	19.9	20.9	29.8
1970-71	23.3	33.7	41.1	49.8	64.6	71.4
1971-72	10.4	16.7	25.8	50.1	71.3	103.1
1972-73	23.3	33.7	41.1	50.4	77.1	78.8
1973-74	12.3	14.9	19.1	42.6	68.8	93.1
1974-75	7.5	11.5	20.8	29.0	29.0	29.0
1975-76	12.1	18.5	26.2	42.5	59.5	69.4
1976-77	17.3	24.1	33.3	44.0	45.9	48.1
1977-78	9.9	19.1	34.5	40.0	55.0	56.9
1978-79	11.5	21.9	23.2	32.8	36.1	38.9
1979-80	9.0	13.5	26.1	27.1	40.7	49.9
1980-81	10.1	14.8	20.0	27.3	33.4	55.0
1981-82	16.2	19.5	25.5	44.1	85.5	111.3
1982-83	13.5	19.0	26.4	41.1	56.0	63.9
1983-84	15.8	16.5	16.5	27.4	41.6	47.4
1985-86	23.3	33.7	41.1	49.8	64.6	71.4
1986-87	11.0	14.5	17.0	38.2	62.3	68.8
1987-88	7.5	12.2	20.6	37.8	42.1	42.2
1988-89	3.4	4.7	6.0	6.0	8.9	12.4
1989-90	7.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
1990-91	6.0	8.9	10.6	18.0	32.2	42.7
1991-92	9.5	14.6	14.9	23.2	31.6	37.4
1992-93	7.6	10.8	15.7	32.7	39.2	39.2
1993-94	14.7	17.5	19.8	23.8	26.5	36.2
1994-95	9.7	9.7	19.3	25.5	41.9	47.9
1995-96	11.7	14.8	22.1	24.5	31.7	37.3



Ο πίνακας που παρατίθενται στην συνέχεια δείχνει τα στοιχεία που υπολογίστηκαν από τον χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:500.000 με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCad 2009 και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση των προσομοιώσεων της λεκάνης από το HEC-HMS.

**Πίνακας 2: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών**

	<b>Ερασίνοσ ανάντη</b>	<b>Άγιος Γεώργιος</b>
Εμβαδόν Λεκάνης A(m)	126,890,058.345	66,775,471.330
Εμβαδόν Λεκάνης A(km)	126.890	66.775
Μήκος Κύριου Ρέματος L(m)	6912.097	16029.280
Μήκος Κύριου Ρέματος L(km)	6.912	16.029
Περίμετροσ Λεκάνης P(m)	53,877.224	69,795.290
Περίμετροσ Λεκάνης P(km)	53.877	69.795
Μέση Κλίση $S_L$	0.029	0.012
Μέση Κλίση $S_L$ (%)	2.893	1.154
Μέσο Υψόμετρο $H_m$ (m)	187.92	186.4
Υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης $H_{εξ}$ (m)	0	0

Τα στοιχεία που εισήχθησαν για τον υπολογισμό του υετογράμματος σχεδιασμού κάθε λεκάνης ήταν τα συνολικά ύψη βροχής που προέκυψαν από την αντίστοιχη όμβρια καμπύλη του κεφαλαίου 6 για περίοδο επαναφοράς  $T=50$  έτη .

**Πίνακας 3: Συνολικά ύψη βροχής**

<b>t (h)</b>	<b><math>h_r</math>(mm)</b>
<b>0</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>58.20</b>
<b>2</b>	<b>80.06</b>
<b>3</b>	<b>96.48</b>
<b>4</b>	<b>110.13</b>
<b>5</b>	<b>122.03</b>
<b>6</b>	<b>132.71</b>
<b>7</b>	<b>142.46</b>
<b>8</b>	<b>151.49</b>
<b>9</b>	<b>159.92</b>
<b>10</b>	<b>167.86</b>
<b>11</b>	<b>175.38</b>
<b>12</b>	<b>182.55</b>

Οι τιμές των παραμέτρων ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης των δύο λεκανών δίνονται στους πίνακες που ακολουθούν:

**Πίνακας 4: Τιμές παραμέτρων ανάλογα με την μέθοδο για την λεκάνη του Ερασίνου**

Canopy(Φυτοκάλυψη)	Initial Storage(%)	0
	Max Storage(mm)	1.5
Loss(Απώλειες)	Curve Number	77
	Impervious(%)	5
Transform	Lag Time(min)	181.95
Baseflow(Βασική ροή)	Initial Discharge(m <sup>3</sup> /s)	1
	Recession Constant	0.1
	Ratio	0.0

**Πίνακας 5: Τιμές παραμέτρων ανάλογα με την μέθοδο για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου**

Canopy(Φυτοκάλυψη)	Initial Storage(%)	0
	Max Storage(mm)	1.2
Loss(Απώλειες)	Curve Number	73
	Impervious(%)	4
Transform	Lag Time(min)	186.98
Baseflow(Βασική ροή)	Initial Discharge(m <sup>3</sup> /s)	0.5
	Recession Constant	0.1
	Ratio	0.0

Οι παρακάτω πίνακες δείχνουν τις τιμές που έλαβε ο αριθμός καμπύλης CN κατά την εκτέλεση των σεναρίων αύξησης και μείωσης του.

**Πίνακας 6: Τιμές του CN κατά την μελέτη αύξησής του**

Υπολεκάνη	Αρχικό CN	+5%	+10%	+15%	+20%
Ερασίνοσ ανάντη	77	80.85	84.70	88.55	92.40
Άγιος Γεώργιος	73	76.65	80.30	83.95	87.60

**Πίνακας 7: Τιμές του CN κατά την μελέτη μείωσής του**

<b>Υπολεκάνη</b>	<b>Αρχικό CN</b>	<b>-5%</b>	<b>-10%</b>	<b>-15%</b>	<b>-20%</b>
Ερασίνος ανάπτυξη	77	73.15	69.30	65.45	61.60
Άγιος Γεώργιος	73	69.35	65.70	62.05	58.40

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

### **Πίνακες Αποτελεσμάτων**

## Λεκάνη Ερασίνου

Πίνακας 1: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +5% για την λεκάνη του Ερασίνου

Αύξηση CN 5%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.89	0.26	1.6	0.8	2.4	2.4
02:30	4.41	3.68	0.73	3.2	0.8	4.0	3.7
03:00	4.73	3.44	1.29	5.9	0.7	6.7	5.6
03:30	5.17	3.27	1.90	10.5	0.7	11.3	8.7
04:00	5.68	3.12	2.56	18.2	0.7	18.9	13.7
04:30	6.40	3.03	3.36	29.9	0.6	30.5	21.8
05:00	7.73	3.13	4.61	46.6	0.6	47.3	34.3
05:30	9.94	3.35	6.59	69.8	0.6	70.4	52.6
06:00	25.77	6.33	19.43	106.7	0.6	107.3	83.9
06:30	21.83	3.70	18.12	163.2	0.5	163.8	133.9
07:00	11.64	1.57	10.06	240.8	0.5	241.3	204.3
07:30	8.52	1.02	7.50	336.8	0.5	337.3	293.1
08:00	6.87	0.75	6.12	433.7	0.5	434.1	384.3
08:30	6.01	0.61	5.40	511.2	0.4	511.7	458.8
09:00	5.41	0.52	4.89	559.7	0.4	560.1	507.3
09:30	4.92	0.45	4.47	578.3	0.4	578.7	528.3
10:00	4.56	0.39	4.17	572.4	0.4	572.8	526.4
10:30	4.28	0.35	3.92	547.1	0.4	547.5	506.2
11:00	4.04	0.32	3.72	508.1	0.3	508.4	472.7
11:30	3.83	0.29	3.54	467.0	0.3	467.3	436.6
12:00	3.66	0.27	3.39	429.9	0.3	430.3	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	395.9	0.3	396.2	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	362.4	0.3	362.7	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	326.6	0.3	326.8	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	286.9	0.3	287.2	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	245.3	0.2	245.5	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	204.0	0.2	204.2	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	165.4	0.2	165.6	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	131.3	0.2	131.6	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	102.5	0.2	102.7	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	79.3	0.2	79.5	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	61.9	0.2	62.0	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	14.381						

Πίνακας 2: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +10% για την λεκάνη του Ερασίνου

Αύξηση CN 10%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.53	0.62	1.8	0.8	2.6	2.4
02:30	4.41	3.17	1.24	4.1	0.8	4.8	3.7
03:00	4.73	2.88	1.85	8.2	0.7	9.0	5.6
03:30	5.17	2.66	2.50	15.4	0.7	16.1	8.7
04:00	5.68	2.48	3.20	26.7	0.7	27.4	13.7
04:30	6.40	2.35	4.04	42.8	0.6	43.5	21.8
05:00	7.73	2.37	5.36	64.5	0.6	65.1	34.3
05:30	9.94	2.48	7.47	92.7	0.6	93.3	52.6
06:00	25.77	4.52	21.25	135.2	0.6	135.8	83.9
06:30	21.83	2.55	19.28	197.8	0.5	198.3	133.9
07:00	11.64	1.06	10.57	281.6	0.5	282.1	204.3
07:30	8.52	0.68	7.84	383.7	0.5	384.2	293.1
08:00	6.87	0.50	6.37	485.1	0.5	485.5	384.3
08:30	6.01	0.40	5.60	564.5	0.4	564.9	458.8
09:00	5.41	0.34	5.07	612.1	0.4	612.5	507.3
09:30	4.92	0.29	4.62	627.6	0.4	628.0	528.3
10:00	4.56	0.26	4.30	617.1	0.4	617.5	526.4
10:30	4.28	0.23	4.04	586.4	0.4	586.8	506.2
11:00	4.04	0.21	3.83	541.7	0.3	542.1	472.7
11:30	3.83	0.19	3.64	495.6	0.3	496.0	436.6
12:00	3.66	0.18	3.48	454.5	0.3	454.8	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	417.1	0.3	417.4	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	380.6	0.3	380.9	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	342.0	0.3	342.3	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	300.0	0.3	300.2	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	256.0	0.2	256.3	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	212.7	0.2	213.0	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	172.4	0.2	172.7	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	136.9	0.2	137.1	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	106.8	0.2	107.0	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	82.7	0.2	82.9	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	64.5	0.2	64.7	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	15.654						

Πίνακας 3: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +15% για την λεκάνη του Ερασίνου

Αύξηση CN 15%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.47	0.46	0.9	0.9	1.7	1.6
02:00	4.15	2.94	1.21	2.5	0.8	3.4	2.4
02:30	4.41	2.52	1.89	6.2	0.8	7.0	3.7
03:00	4.73	2.20	2.53	12.9	0.7	13.7	5.6
03:30	5.17	1.97	3.20	24.0	0.7	24.7	8.7
04:00	5.68	1.78	3.91	40.1	0.7	40.8	13.7
04:30	6.40	1.64	4.76	61.6	0.6	62.2	21.8
05:00	7.73	1.60	6.13	88.6	0.6	89.3	34.3
05:30	9.94	1.63	8.32	122.0	0.6	122.6	52.6
06:00	25.77	2.85	22.92	169.7	0.6	170.2	83.9
06:30	21.83	1.54	20.28	237.4	0.5	237.9	133.9
07:00	11.64	0.63	11.01	326.2	0.5	326.7	204.3
07:30	8.52	0.40	8.12	432.8	0.5	433.3	293.1
08:00	6.87	0.29	6.58	537.2	0.5	537.7	384.3
08:30	6.01	0.24	5.77	617.1	0.4	617.6	458.8
09:00	5.41	0.20	5.21	662.8	0.4	663.2	507.3
09:30	4.92	0.17	4.75	674.5	0.4	674.9	528.3
10:00	4.56	0.15	4.41	659.0	0.4	659.4	526.4
10:30	4.28	0.13	4.14	622.8	0.4	623.2	506.2
11:00	4.04	0.12	3.92	572.6	0.3	572.9	472.7
11:30	3.83	0.11	3.72	521.7	0.3	522.0	436.6
12:00	3.66	0.10	3.56	476.6	0.3	476.9	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	435.9	0.3	436.2	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	396.6	0.3	396.9	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	355.6	0.3	355.9	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	311.3	0.3	311.6	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	265.4	0.2	265.6	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	220.3	0.2	220.6	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	178.5	0.2	178.7	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	141.7	0.2	141.9	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	110.5	0.2	110.7	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	85.6	0.2	85.8	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	66.7	0.2	66.9	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	16.958						

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +20% για την λεκάνη του Ερασίνου

Αύξηση CN 20%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.44	0.30	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	2.73	1.20	1.5	0.9	2.3	1.6
02:00	4.15	2.12	2.03	4.5	0.8	5.3	2.4
02:30	4.41	1.71	2.71	10.9	0.8	11.7	3.7
03:00	4.73	1.41	3.32	22.0	0.7	22.8	5.6
03:30	5.17	1.20	3.97	38.8	0.7	39.6	8.7
04:00	5.68	1.04	4.65	61.3	0.7	62.0	13.7
04:30	6.40	0.92	5.48	89.0	0.6	89.6	21.8
05:00	7.73	0.87	6.87	121.6	0.6	122.2	34.3
05:30	9.94	0.85	9.09	159.6	0.6	160.2	52.6
06:00	25.77	1.42	24.34	211.3	0.6	211.8	83.9
06:30	21.83	0.74	21.09	282.3	0.5	282.8	133.9
07:00	11.64	0.29	11.34	374.0	0.5	374.5	204.3
07:30	8.52	0.19	8.33	483.0	0.5	483.5	293.1
08:00	6.87	0.13	6.74	588.3	0.5	588.8	384.3
08:30	6.01	0.11	5.90	667.2	0.4	667.6	458.8
09:00	5.41	0.09	5.32	709.8	0.4	710.2	507.3
09:30	4.92	0.08	4.84	717.1	0.4	717.5	528.3
10:00	4.56	0.07	4.50	696.5	0.4	696.9	526.4
10:30	4.28	0.06	4.22	654.9	0.4	655.3	506.2
11:00	4.04	0.05	3.98	599.4	0.3	599.8	472.7
11:30	3.83	0.05	3.78	544.0	0.3	544.4	436.6
12:00	3.66	0.04	3.61	495.3	0.3	495.7	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	451.7	0.3	452.0	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	410.0	0.3	410.3	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	366.8	0.3	367.0	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	320.6	0.3	320.8	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	273.0	0.2	273.2	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	226.5	0.2	226.7	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	183.4	0.2	183.6	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	145.5	0.2	145.7	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	113.5	0.2	113.7	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	87.9	0.2	88.1	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	68.5	0.2	68.7	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	18.293						



Πίνακας 5: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -5% για την λεκάνη του Ερασίνου

Μείωση CN 5%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.94	0.21	1.6	0.8	2.4	2.4
02:30	4.41	4.19	0.22	2.8	0.8	3.6	3.7
03:00	4.73	4.30	0.42	4.5	0.7	5.2	5.6
03:30	5.17	4.25	0.92	6.7	0.7	7.4	8.7
04:00	5.68	4.21	1.48	10.1	0.7	10.8	13.7
04:30	6.40	4.24	2.16	15.6	0.6	16.2	21.8
05:00	7.73	4.53	3.20	24.5	0.6	25.1	34.3
05:30	9.94	5.05	4.89	38.5	0.6	39.1	52.6
06:00	25.77	10.14	15.63	64.3	0.6	64.9	83.9
06:30	21.83	6.32	15.51	107.7	0.5	108.2	133.9
07:00	11.64	2.78	8.86	170.5	0.5	171.0	204.3
07:30	8.52	1.83	6.69	251.4	0.5	251.8	293.1
08:00	6.87	1.37	5.50	336.0	0.5	336.4	384.3
08:30	6.01	1.12	4.89	406.7	0.4	407.1	458.8
09:00	5.41	0.96	4.45	454.3	0.4	454.7	507.3
09:30	4.92	0.83	4.09	477.1	0.4	477.5	528.3
10:00	4.56	0.74	3.82	478.8	0.4	479.2	526.4
10:30	4.28	0.67	3.61	463.4	0.4	463.8	506.2
11:00	4.04	0.61	3.43	435.3	0.3	435.7	472.7
11:30	3.83	0.56	3.28	404.1	0.3	404.5	436.6
12:00	3.66	0.52	3.14	375.4	0.3	375.8	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	348.5	0.3	348.8	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	321.2	0.3	321.4	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	291.0	0.3	291.3	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	256.8	0.3	257.0	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	220.1	0.2	220.4	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	183.4	0.2	183.7	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	148.9	0.2	149.1	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	118.3	0.2	118.5	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	92.3	0.2	92.5	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	71.4	0.2	71.6	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	55.7	0.2	55.9	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	11.929						

Πίνακας 6: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -10% για την λεκάνη του Ερασίνου

Μείωση CN 10%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.94	0.21	1.6	0.8	2.4	2.4
02:30	4.41	4.19	0.22	2.8	0.8	3.6	3.7
03:00	4.73	4.49	0.24	4.4	0.7	5.1	5.6
03:30	5.17	4.65	0.52	6.2	0.7	6.9	8.7
04:00	5.68	4.67	1.02	8.6	0.7	9.3	13.7
04:30	6.40	4.76	1.63	12.3	0.6	12.9	21.8
05:00	7.73	5.17	2.56	18.3	0.6	19.0	34.3
05:30	9.94	5.85	4.09	28.5	0.6	29.1	52.6
06:00	25.77	12.05	13.71	49.2	0.6	49.8	83.9
06:30	21.83	7.73	14.10	85.9	0.5	86.5	133.9
07:00	11.64	3.45	8.18	140.9	0.5	141.4	204.3
07:30	8.52	2.29	6.23	213.2	0.5	213.7	293.1
08:00	6.87	1.72	5.15	290.5	0.5	290.9	384.3
08:30	6.01	1.42	4.59	356.5	0.4	357.0	458.8
09:00	5.41	1.22	4.19	402.6	0.4	403.0	507.3
09:30	4.92	1.06	3.86	426.5	0.4	426.9	528.3
10:00	4.56	0.94	3.62	431.3	0.4	431.7	526.4
10:30	4.28	0.85	3.42	420.3	0.4	420.7	506.2
11:00	4.04	0.78	3.26	397.3	0.3	397.7	472.7
11:30	3.83	0.72	3.12	370.9	0.3	371.2	436.6
12:00	3.66	0.66	2.99	346.3	0.3	346.6	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	322.8	0.3	323.1	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	298.6	0.3	298.8	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	271.4	0.3	271.6	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	240.0	0.3	240.2	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	206.1	0.2	206.3	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	171.9	0.2	172.1	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	139.6	0.2	139.9	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	111.0	0.2	111.2	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	86.6	0.2	86.8	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	67.0	0.2	67.2	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	52.2	0.2	52.4	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	10.752						

Πίνακας 7: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -15% για την λεκάνη του Ερασίνου

Μείωση CN 15%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.94	0.21	1.6	0.8	2.4	2.4
02:30	4.41	4.19	0.22	2.8	0.8	3.6	3.7
03:00	4.73	4.49	0.24	4.4	0.7	5.1	5.6
03:30	5.17	4.90	0.27	6.1	0.7	6.8	8.7
04:00	5.68	5.08	0.61	8.0	0.7	8.7	13.7
04:30	6.40	5.24	1.15	10.6	0.6	11.2	21.8
05:00	7.73	5.76	1.97	14.6	0.6	15.2	34.3
05:30	9.94	6.62	3.33	21.7	0.6	22.3	52.6
06:00	25.77	13.94	11.82	37.6	0.6	38.2	83.9
06:30	21.83	9.17	12.66	67.8	0.5	68.4	133.9
07:00	11.64	4.16	7.48	114.9	0.5	115.4	204.3
07:30	8.52	2.78	5.74	178.3	0.5	178.8	293.1
08:00	6.87	2.10	4.77	247.6	0.5	248.0	384.3
08:30	6.01	1.74	4.27	308.3	0.4	308.7	458.8
09:00	5.41	1.49	3.91	352.1	0.4	352.5	507.3
09:30	4.92	1.30	3.61	376.5	0.4	376.9	528.3
10:00	4.56	1.17	3.40	383.9	0.4	384.2	526.4
10:30	4.28	1.06	3.22	376.9	0.4	377.2	506.2
11:00	4.04	0.97	3.07	358.7	0.3	359.1	472.7
11:30	3.83	0.89	2.94	336.9	0.3	337.2	436.6
12:00	3.66	0.83	2.83	316.2	0.3	316.5	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	296.1	0.3	296.4	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	275.0	0.3	275.2	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	250.7	0.3	251.0	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	222.3	0.3	222.5	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	191.2	0.2	191.4	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	159.7	0.2	159.9	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	129.8	0.2	130.0	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	103.2	0.2	103.4	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	80.5	0.2	80.7	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	62.2	0.2	62.4	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	48.6	0.2	48.7	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	9.609						

Πίνακας 8: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -20% για την λεκάνη του Ερασίνου

Μείωση CN 20%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	1.0	1.0	1.0
00:30	3.58	3.48	0.10	0.1	1.0	1.0	1.0
01:00	3.74	3.56	0.19	0.3	0.9	1.2	1.2
01:30	3.93	3.73	0.20	0.7	0.9	1.6	1.6
02:00	4.15	3.94	0.21	1.6	0.8	2.4	2.4
02:30	4.41	4.19	0.22	2.8	0.8	3.6	3.7
03:00	4.73	4.49	0.24	4.4	0.7	5.1	5.6
03:30	5.17	4.91	0.26	6.1	0.7	6.8	8.7
04:00	5.68	5.37	0.31	7.8	0.7	8.5	13.7
04:30	6.40	5.68	0.71	9.8	0.6	10.5	21.8
05:00	7.73	6.32	1.42	12.6	0.6	13.2	34.3
05:30	9.94	7.34	2.60	17.3	0.6	17.9	52.6
06:00	25.77	15.80	9.97	29.1	0.6	29.7	83.9
06:30	21.83	10.64	11.19	53.2	0.5	53.8	133.9
07:00	11.64	4.89	6.74	92.4	0.5	92.9	204.3
07:30	8.52	3.30	5.22	146.8	0.5	147.3	293.1
08:00	6.87	2.50	4.37	207.6	0.5	208.1	384.3
08:30	6.01	2.08	3.93	262.3	0.4	262.8	458.8
09:00	5.41	1.79	3.61	303.2	0.4	303.6	507.3
09:30	4.92	1.57	3.35	327.6	0.4	328.0	528.3
10:00	4.56	1.41	3.16	336.9	0.4	337.3	526.4
10:30	4.28	1.28	3.00	333.5	0.4	333.9	506.2
11:00	4.04	1.17	2.86	319.9	0.3	320.2	472.7
11:30	3.83	1.08	2.75	302.4	0.3	302.7	436.6
12:00	3.66	1.01	2.65	285.4	0.3	285.7	403.8
12:30	0.00	0.00	0.00	268.6	0.3	268.9	373.3
13:00	0.00	0.00	0.00	250.5	0.3	250.8	342.8
13:30	0.00	0.00	0.00	229.2	0.3	229.5	309.7
14:00	0.00	0.00	0.00	203.8	0.3	204.0	272.7
14:30	0.00	0.00	0.00	175.6	0.2	175.8	233.5
15:00	0.00	0.00	0.00	146.8	0.2	147.1	194.4
15:30	0.00	0.00	0.00	119.5	0.2	119.7	157.8
16:00	0.00	0.00	0.00	95.0	0.2	95.2	125.3
16:30	0.00	0.00	0.00	74.1	0.2	74.3	97.8
17:00	0.00	0.00	0.00	57.3	0.2	57.5	75.7
17:30	0.00	0.00	0.00	44.7	0.2	44.9	59.1
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	8.502						

## Λεκάνη Αγίου Γεωργίου

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +5% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Αύξηση CN 5%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	4.12	0.29	1.2	0.4	1.6	1.6
03:00	4.73	3.96	0.77	2.0	0.4	2.4	2.2
03:30	5.17	3.85	1.31	3.4	0.4	3.8	3.2
04:00	5.68	3.76	1.92	5.7	0.3	6.1	4.7
04:30	6.40	3.73	2.66	9.6	0.3	9.9	7.3
05:00	7.73	3.93	3.80	15.6	0.3	15.9	11.6
05:30	9.94	4.31	5.63	24.6	0.3	24.9	18.5
06:00	25.77	8.44	17.32	40.1	0.3	40.3	31.2
06:30	21.83	5.12	16.70	64.8	0.3	65.0	52.7
07:00	11.64	2.22	9.41	99.6	0.3	99.8	83.8
07:30	8.52	1.45	7.07	143.9	0.2	144.1	124.1
08:00	6.87	1.08	5.79	190.3	0.2	190.5	167.2
08:30	6.01	0.88	5.13	229.6	0.2	229.9	204.4
09:00	5.41	0.75	4.66	256.3	0.2	256.5	230.4
09:30	4.92	0.65	4.27	269.5	0.2	269.7	244.3
10:00	4.56	0.58	3.99	271.1	0.2	271.3	247.4
10:30	4.28	0.52	3.76	263.2	0.2	263.4	241.7
11:00	4.04	0.47	3.57	247.9	0.2	248.1	229.0
11:30	3.83	0.43	3.40	229.8	0.2	230.0	213.4
12:00	3.66	0.40	3.26	212.9	0.2	213.1	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	197.1	0.2	197.3	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	181.4	0.1	181.6	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	164.6	0.1	164.7	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	145.7	0.1	145.9	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	125.7	0.1	125.8	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	105.4	0.1	105.5	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	86.3	0.1	86.5	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	69.3	0.1	69.4	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	54.6	0.1	54.7	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	42.5	0.1	42.6	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	33.3	0.1	33.4	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	6.804						

Πίνακας 10: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +10% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Αύξηση CN 10%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.94	0.21	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	3.75	0.66	1.3	0.4	1.7	1.6
03:00	4.73	3.52	1.21	2.5	0.4	2.9	2.2
03:30	5.17	3.36	1.81	4.6	0.4	4.9	3.2
04:00	5.68	3.22	2.47	8.1	0.3	8.5	4.7
04:30	6.40	3.14	3.26	13.6	0.3	14.0	7.3
05:00	7.73	3.25	4.49	21.7	0.3	22.0	11.6
05:30	9.94	3.49	6.45	33.0	0.3	33.3	18.5
06:00	25.77	6.63	19.13	51.2	0.3	51.5	31.2
06:30	21.83	3.90	17.92	79.1	0.3	79.4	52.7
07:00	11.64	1.66	9.97	117.4	0.3	117.7	83.8
07:30	8.52	1.08	7.44	165.3	0.2	165.5	124.1
08:00	6.87	0.80	6.07	214.7	0.2	214.9	167.2
08:30	6.01	0.65	5.36	255.7	0.2	255.9	204.4
09:00	5.41	0.55	4.86	282.6	0.2	282.8	230.4
09:30	4.92	0.47	4.44	294.9	0.2	295.1	244.3
10:00	4.56	0.42	4.14	294.6	0.2	294.8	247.4
10:30	4.28	0.38	3.90	284.4	0.2	284.6	241.7
11:00	4.04	0.34	3.70	266.4	0.2	266.5	229.0
11:30	3.83	0.31	3.52	245.8	0.2	245.9	213.4
12:00	3.66	0.29	3.37	226.7	0.2	226.9	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	209.1	0.2	209.3	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	191.9	0.1	192.0	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	173.6	0.1	173.7	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	153.4	0.1	153.5	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	132.1	0.1	132.2	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	110.7	0.1	110.8	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	90.6	0.1	90.7	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	72.7	0.1	72.8	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	57.3	0.1	57.4	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	44.6	0.1	44.7	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	34.9	0.1	35.0	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	7.428						

Πίνακας 11: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +15% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Αύξηση CN 15%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.62	0.53	0.8	0.4	1.2	1.1
02:30	4.41	3.28	1.14	1.7	0.4	2.1	1.6
03:00	4.73	3.00	1.73	3.5	0.4	3.9	2.2
03:30	5.17	2.79	2.38	6.7	0.4	7.1	3.2
04:00	5.68	2.62	3.07	11.9	0.3	12.3	4.7
04:30	6.40	2.50	3.90	19.6	0.3	19.9	7.3
05:00	7.73	2.53	5.21	30.0	0.3	30.3	11.6
05:30	9.94	2.66	7.29	43.7	0.3	44.0	18.5
06:00	25.77	4.89	20.88	64.7	0.3	65.0	31.2
06:30	21.83	2.78	19.05	95.6	0.3	95.9	52.7
07:00	11.64	1.16	10.47	137.1	0.3	137.3	83.8
07:30	8.52	0.75	7.77	188.1	0.2	188.3	124.1
08:00	6.87	0.55	6.32	239.9	0.2	240.1	167.2
08:30	6.01	0.45	5.56	282.1	0.2	282.3	204.4
09:00	5.41	0.38	5.03	308.8	0.2	309.0	230.4
09:30	4.92	0.32	4.59	319.8	0.2	320.0	244.3
10:00	4.56	0.29	4.28	317.4	0.2	317.6	247.4
10:30	4.28	0.26	4.02	304.7	0.2	304.9	241.7
11:00	4.04	0.23	3.81	284.0	0.2	284.1	229.0
11:30	3.83	0.21	3.62	260.8	0.2	261.0	213.4
12:00	3.66	0.19	3.46	239.6	0.2	239.8	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	220.3	0.2	220.5	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	201.5	0.1	201.7	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	181.8	0.1	181.9	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	160.4	0.1	160.5	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	137.9	0.1	138.0	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	115.4	0.1	115.6	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	94.4	0.1	94.6	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	75.7	0.1	75.8	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	59.7	0.1	59.8	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	46.5	0.1	46.6	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	36.4	0.1	36.5	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	8.066						

Πίνακας 12: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά +20% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Αύξηση CN 20%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.57	0.36	0.4	0.4	0.8	0.7
02:00	4.15	3.09	1.06	1.0	0.4	1.5	1.1
02:30	4.41	2.69	1.72	2.6	0.4	3.0	1.6
03:00	4.73	2.38	2.35	5.5	0.4	5.9	2.2
03:30	5.17	2.15	3.02	10.5	0.4	10.8	3.2
04:00	5.68	1.96	3.73	17.9	0.3	18.2	4.7
04:30	6.40	1.82	4.58	28.0	0.3	28.3	7.3
05:00	7.73	1.80	5.94	41.0	0.3	41.3	11.6
05:30	9.94	1.84	8.11	57.3	0.3	57.6	18.5
06:00	25.77	3.26	22.51	80.9	0.3	81.2	31.2
06:30	21.83	1.78	20.04	114.5	0.3	114.7	52.7
07:00	11.64	0.73	10.90	158.6	0.3	158.8	83.8
07:30	8.52	0.47	8.05	212.0	0.2	212.3	124.1
08:00	6.87	0.34	6.53	265.6	0.2	265.8	167.2
08:30	6.01	0.28	5.73	308.4	0.2	308.6	204.4
09:00	5.41	0.23	5.18	334.4	0.2	334.6	230.4
09:30	4.92	0.20	4.72	343.8	0.2	344.0	244.3
10:00	4.56	0.17	4.39	339.1	0.2	339.3	247.4
10:30	4.28	0.16	4.12	323.8	0.2	324.0	241.7
11:00	4.04	0.14	3.90	300.3	0.2	300.5	229.0
11:30	3.83	0.13	3.71	274.7	0.2	274.9	213.4
12:00	3.66	0.12	3.54	251.5	0.2	251.6	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	230.4	0.2	230.5	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	210.1	0.1	210.3	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	189.1	0.1	189.3	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	166.6	0.1	166.7	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	143.0	0.1	143.1	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	119.6	0.1	119.8	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	97.8	0.1	97.9	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	78.4	0.1	78.5	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	61.8	0.1	61.9	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	48.1	0.1	48.2	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	37.7	0.1	37.8	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	8.720						



Πίνακας 13: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -5% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Μείωση CN 5%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	4.24	0.18	1.2	0.4	1.6	1.6
03:00	4.73	4.53	0.20	1.8	0.4	2.2	2.2
03:30	5.17	4.67	0.50	2.6	0.4	2.9	3.2
04:00	5.68	4.69	1.00	3.6	0.3	4.0	4.7
04:30	6.40	4.79	1.61	5.4	0.3	5.7	7.3
05:00	7.73	5.19	2.54	8.3	0.3	8.6	11.6
05:30	9.94	5.88	4.06	13.4	0.3	13.7	18.5
06:00	25.77	12.11	13.66	23.6	0.3	23.9	31.2
06:30	21.83	7.76	14.06	41.9	0.3	42.1	52.7
07:00	11.64	3.47	8.17	69.2	0.3	69.5	83.8
07:30	8.52	2.30	6.22	105.4	0.2	105.6	124.1
08:00	6.87	1.73	5.14	144.8	0.2	145.0	167.2
08:30	6.01	1.43	4.58	179.6	0.2	179.8	204.4
09:00	5.41	1.22	4.19	204.6	0.2	204.8	230.4
09:30	4.92	1.06	3.85	218.8	0.2	219.0	244.3
10:00	4.56	0.95	3.61	223.2	0.2	223.4	247.4
10:30	4.28	0.86	3.42	219.6	0.2	219.8	241.7
11:00	4.04	0.78	3.25	209.3	0.2	209.4	229.0
11:30	3.83	0.72	3.11	196.1	0.2	196.2	213.4
12:00	3.66	0.67	2.99	183.3	0.2	183.5	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	171.1	0.2	171.3	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	158.6	0.1	158.8	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	144.7	0.1	144.8	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	128.7	0.1	128.9	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	111.3	0.1	111.5	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	93.6	0.1	93.7	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	76.8	0.1	76.9	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	61.6	0.1	61.7	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	48.6	0.1	48.7	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	37.8	0.1	37.9	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	29.6	0.1	29.7	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	5.603						

Πίνακας 14: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -10% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Μείωση CN 10%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	4.24	0.18	1.2	0.4	1.6	1.6
03:00	4.73	4.54	0.19	1.8	0.4	2.2	2.2
03:30	5.17	4.93	0.24	2.5	0.4	2.8	3.2
04:00	5.68	5.08	0.60	3.3	0.3	3.7	4.7
04:30	6.40	5.25	1.15	4.5	0.3	4.8	7.3
05:00	7.73	5.76	1.97	6.5	0.3	6.8	11.6
05:30	9.94	6.61	3.33	10.0	0.3	10.3	18.5
06:00	25.77	13.92	11.85	18.0	0.3	18.2	31.2
06:30	21.83	9.14	12.68	33.1	0.3	33.3	52.7
07:00	11.64	4.15	7.49	56.6	0.3	56.8	83.8
07:30	8.52	2.77	5.75	88.4	0.2	88.7	124.1
08:00	6.87	2.09	4.78	123.9	0.2	124.1	167.2
08:30	6.01	1.73	4.28	155.8	0.2	156.1	204.4
09:00	5.41	1.49	3.92	179.6	0.2	179.8	230.4
09:30	4.92	1.30	3.62	193.8	0.2	194.0	244.3
10:00	4.56	1.16	3.40	199.3	0.2	199.5	247.4
10:30	4.28	1.05	3.22	197.5	0.2	197.7	241.7
11:00	4.04	0.96	3.07	189.5	0.2	189.7	229.0
11:30	3.83	0.89	2.95	178.6	0.2	178.8	213.4
12:00	3.66	0.82	2.84	167.9	0.2	168.0	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	157.4	0.2	157.5	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	146.5	0.1	146.6	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	134.0	0.1	134.2	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	119.5	0.1	119.7	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	103.6	0.1	103.7	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	87.2	0.1	87.3	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	71.6	0.1	71.7	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	57.5	0.1	57.6	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	45.3	0.1	45.4	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	35.2	0.1	35.3	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	27.6	0.1	27.7	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	5.027						

Πίνακας 15: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -15% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Μείωση CN 15%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	4.24	0.18	1.2	0.4	1.6	1.6
03:00	4.73	4.54	0.19	1.8	0.4	2.2	2.2
03:30	5.17	4.96	0.21	2.5	0.4	2.8	3.2
04:00	5.68	5.40	0.29	3.2	0.3	3.6	4.7
04:30	6.40	5.67	0.72	4.1	0.3	4.4	7.3
05:00	7.73	6.30	1.44	5.4	0.3	5.7	11.6
05:30	9.94	7.31	2.63	7.8	0.3	8.1	18.5
06:00	25.77	15.70	10.07	13.7	0.3	14.0	31.2
06:30	21.83	10.55	11.28	25.9	0.3	26.2	52.7
07:00	11.64	4.85	6.79	45.6	0.3	45.8	83.8
07:30	8.52	3.26	5.26	73.1	0.2	73.3	124.1
08:00	6.87	2.47	4.40	104.4	0.2	104.6	167.2
08:30	6.01	2.06	3.95	133.2	0.2	133.5	204.4
09:00	5.41	1.77	3.64	155.4	0.2	155.6	230.4
09:30	4.92	1.55	3.37	169.4	0.2	169.6	244.3
10:00	4.56	1.39	3.17	175.7	0.2	175.9	247.4
10:30	4.28	1.26	3.01	175.5	0.2	175.7	241.7
11:00	4.04	1.16	2.88	169.6	0.2	169.8	229.0
11:30	3.83	1.07	2.77	160.9	0.2	161.1	213.4
12:00	3.66	0.99	2.66	152.1	0.2	152.2	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	143.3	0.2	143.4	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	133.9	0.1	134.0	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	123.0	0.1	123.1	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	109.9	0.1	110.1	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	95.4	0.1	95.6	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	80.4	0.1	80.6	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	66.1	0.1	66.2	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	53.1	0.1	53.2	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	41.8	0.1	41.9	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	32.6	0.1	32.6	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	25.5	0.1	25.6	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	4.468						

Πίνακας 16: Αποτελέσματα μεταβολής CN κατά -20% για την λεκάνη του Αγίου Γεωργίου

Μείωση CN 20%							
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct flow (m <sup>3</sup> /s)	Baseflow (m <sup>3</sup> /s)	Total flow (m <sup>3</sup> /s)	Initial Total flow (m <sup>3</sup> /s)
00:00				0.0	0.5	0.5	0.5
00:30	3.58	3.48	0.10	0.0	0.5	0.5	0.5
01:00	3.74	3.59	0.15	0.1	0.5	0.6	0.6
01:30	3.93	3.77	0.16	0.3	0.4	0.7	0.7
02:00	4.15	3.99	0.17	0.7	0.4	1.1	1.1
02:30	4.41	4.24	0.18	1.2	0.4	1.6	1.6
03:00	4.73	4.54	0.19	1.8	0.4	2.2	2.2
03:30	5.17	4.96	0.21	2.5	0.4	2.8	3.2
04:00	5.68	5.46	0.23	3.2	0.3	3.5	4.7
04:30	6.40	6.04	0.36	4.0	0.3	4.3	7.3
05:00	7.73	6.79	0.94	4.9	0.3	5.2	11.6
05:30	9.94	7.97	1.97	6.5	0.3	6.8	18.5
06:00	25.77	17.43	8.33	10.8	0.3	11.1	31.2
06:30	21.83	11.96	9.86	20.2	0.3	20.5	52.7
07:00	11.64	5.56	6.07	36.3	0.3	36.5	83.8
07:30	8.52	3.77	4.75	59.4	0.2	59.6	124.1
08:00	6.87	2.87	4.00	86.4	0.2	86.6	167.2
08:30	6.01	2.40	3.61	111.9	0.2	112.2	204.4
09:00	5.41	2.07	3.33	132.2	0.2	132.4	230.4
09:30	4.92	1.82	3.10	145.6	0.2	145.8	244.3
10:00	4.56	1.63	2.93	152.5	0.2	152.7	247.4
10:30	4.28	1.49	2.79	153.7	0.2	153.9	241.7
11:00	4.04	1.37	2.67	149.7	0.2	149.9	229.0
11:30	3.83	1.26	2.57	143.1	0.2	143.2	213.4
12:00	3.66	1.18	2.48	136.1	0.2	136.3	198.6
12:30	0.00	0.00	0.00	128.9	0.2	129.1	184.6
13:00	0.00	0.00	0.00	121.0	0.1	121.2	170.5
13:30	0.00	0.00	0.00	111.6	0.1	111.7	155.0
14:00	0.00	0.00	0.00	100.0	0.1	100.2	137.6
14:30	0.00	0.00	0.00	87.0	0.1	87.1	118.9
15:00	0.00	0.00	0.00	73.4	0.1	73.6	99.8
15:30	0.00	0.00	0.00	60.4	0.1	60.5	81.8
16:00	0.00	0.00	0.00	48.5	0.1	48.6	65.7
16:30	0.00	0.00	0.00	38.2	0.1	38.4	51.8
17:00	0.00	0.00	0.00	29.8	0.1	29.9	40.3
17:30	0.00	0.00	0.00	23.3	0.1	23.4	31.6
<b>Όγκος Πλημμύρας (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	3.928						