



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια για χρήση τους στον υδρολογικό σχεδιασμό

Ποντικός Σταμάτιος

Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Οκτώβριος 2014

Πρόλογος

Τελειώνοντας την διπλωματική μου εργασία, και κατ' επέκταση τις σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών, θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους όσους συνεισέφεραν στην αίσια έκβασή τους, τόσο τους εργαζόμενους στη σχολή, διδακτικό και διοικητικό προσωπικό, όσο και τους συμφοιτητές μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Δ. Κουτσογιάννη, που μέσα από τα μαθήματά του κατάφερε να μας μεταδώσει την αγάπη του για το αντικείμενο του Υδραυλικού Μηχανικού, και που από τις ευκαιρίες που μας έδωσε αλλά και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε κερδίσαμε σημαντικές εμπειρίες.

Επίσης τον κ. Α. Ευστρατιάδη για την απεριόριστη βοήθεια και εξαιρετική καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τον κ. Α. Κουκουβίνο για την επίσης πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη κυρίως σε θέματα GIS. Η συνεργασία μου μαζί τους ήταν από τις πιο ευχάριστες και εποικοδομητικές εμπειρίες στη σχολή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους όλους τους φίλους συμφοιτητές και κυρίως στους Θοδωρή, Ελένη και Άννα. Χωρίς αυτούς η διεκπεραίωση των σπουδών μου θα ήταν πολύ πιο δύσκολη και αρκετά λιγότερο διασκεδαστική.

Τέλος να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου Δωροθέα και Δημήτρη που ανέχτηκαν την γκρίνια μου, κυρίως σε περιόδους εξεταστικής, και μου έφτιαχναν το κέφι όποτε χρειαζόταν.

Περίληψη

Στον υδρολογικό σχεδιασμό, η πιο διαδεδομένη διαδικασία εκτίμησης της ενεργού βροχόπτωσης που εφαρμόζεται στην Ελλάδα, αλλά και παγκοσμίως, βασίζεται στη μέθοδο του αριθμού καμπύλης απορροής, SCS-CN. Πρόκειται για μία εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της ενεργού βροχόπτωσης, η οποία έχει αναπτυχθεί από τη Soil Conservation Service ύστερα από πειράματα σε συγκεκριμένους τύπους λεκανών απορροής στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Συνεπώς, κατά την εφαρμογή της μεθόδου στις Ελληνικές λεκάνες, είναι πιθανό να εμφανιστούν αποκλίσεις από την πραγματικότητα ή και παραπλανητικά αποτελέσματα. Η αβεβαιότητα υπεισέρχεται στην επιλογή του κατάλληλου αριθμού καμπύλης απορροής, CN, που είναι η κύρια παράμετρος της μεθόδου. Σύμφωνα με την κλασική θεώρηση της SCS, ο αριθμός CN εξαρτάται από τον υδρολογικό τύπο εδάφους (ορίζονται ομάδες εδάφους με διαφορετικές κλάσεις διαπερατότητας και χρήσεων γης) και την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας, AMC (Antecedent Moisture Condition). Η προηγούμενη κατάσταση υγρασίας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, την ξηρή AMC1, την μέση AMC2, και την υγρή AMC3, και υπολογίζεται σε συνάρτηση με την βροχόπτωση των προηγούμενων ημερών. Κατά τον υδρολογικό σχεδιασμό στην Ελλάδα, κατά κανόνα λαμβάνεται ως προηγούμενη κατάσταση υγρασίας η μέση, AMC2. Στην εργασία επιχειρείται μια πιθανοτική διερεύνηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια, ώστε κατά την εφαρμογή της μεθόδου SCS-CN στις Ελληνικές λεκάνες να έχουμε σωστότερη αντιστοίχιση του αριθμού CN και κατά συνέπεια πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Στο πλαίσιο αυτό συλλέχτηκαν χρονοσειρές ύψους βροχής από 215 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα. Από την ανάλυση των δειγμάτων εκτιμήθηκαν οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε κατάστασης υγρασίας, τόσο σε συνεχή χρόνο (δηλαδή για κάθε τυχαία μέρα του έτους) όσο και κατά την ημέρα που παρατηρήθηκε η ετήσια μέγιστη βροχόπτωση. Ακόμη, έγιναν χωρικές επεξεργασίες, τα αποτελέσματα των οποίων αποτυπώθηκαν σε χάρτες για πρακτική χρήση τους σε μελέτες πλημμυρών. Τέλος, έγινε και μια εφαρμογή υδρολογικού σχεδιασμού λαμβάνοντας υπόψη την πιθανοτική θεώρηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας, δηλαδή υπολογίζοντας τα υδρολογικά μεγέθη σχεδιασμού συναρτήσει της συνδυασμένης πιθανότητας εμφάνισης κάθε τύπου υγρασίας. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από την θεώρηση κάθε ενός τύπου εδαφικής υγρασίας ξεχωριστά.

Abstract

In hydrological design, the most widely used, in Greece and worldwide, procedure for the estimation of active rainfall is based on the runoff curve number method (SCS-CN). This is an empirical estimation method of active rainfall, which has been developed by the Soil Conservation Service after experiments in specific types of watersheds in the United States of America. Therefore, when applying the method in Greek basins deviations from reality or misleading results may occur. The uncertainty is involved in selecting the appropriate curve number (CN), which is the main parameter of the method. According to the classical concept of SCS, CN depends on the hydrological soil type (defined groups with different classes of soil permeability and land use) and the antecedent moisture conditions, (AMC). The antecedent moisture conditions are classified into three categories, dry (AMC1), average (AMC2), and wet (AMC3), and is selected according to the antecedent precipitation. Most of the times in hydrological design in Greece, the soil moisture conditions are considered average (AMC2) . In this paper, we attempt a probabilistic approach of soil moisture conditions in Greece, in order to choose the most appropriate CN and therefore have more reliable results when applying the method in Greek basins. For this reason, we collected rainfall time series from 215 stations across Greece. From the analysis of the samples we assigned a probability of occurrence to each moisture condition, both in continuous time (i.e. for a random day of the year) and during the day of the annual maximum rainfall. We also made spatial analyses, the results of which are depicted on maps for practical use in flood studies. Finally, an application of hydrologic design was made considering the probabilistic approach of soil moisture conditions. The results are compared with those derived by considering each type of antecedent moisture condition separately.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	i
Περίληψη	ii
Abstract	iii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας.....	1
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή της μεθόδου SCS-CN	3
Κεφάλαιο 3: Ο ρόλος της εδαφικής υγρασίας στη μέθοδο SCS-CN	8
3.1 Ορισμός προηγούμενης κατάστασης υγρασίας	8
3.2 Περίοδος ανάπτυξης βλάστησης	9
3.3 Βροχόπτωση προηγούμενων ημερών.....	10
3.4 Άλλοι τρόποι υπολογισμού της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας.....	10
3.4.1 Δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης	10
3.4.2 Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας.....	11
3.4.3 Η προηγούμενη κατάσταση υγρασίας συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού	12
Κεφάλαιο 4: Πλαίσιο εφαρμογής μεθόδου SCS-CN	13
4.1 Η χρήση της μεθόδου SCS-CN στην Ελλάδα	13
4.1.1 Αρχικές απώλειες	14
4.1.2 Αριθμός καμπύλης απορροής.....	15
4.2 Πιθανοτική θεώρηση προηγούμενης κατάστασης υγρασίας.....	15
Κεφάλαιο 5: Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια	18
5.1 Μεθοδολογία και παραδοχές.....	18
5.2 Συλλογή δεδομένων βροχής από υδρομετεωρολογικούς σταθμούς.....	19
5.3 Αναλύσεις ευαισθησίας	23
5.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις προηγούμενες μέρες βροχόπτωσης.....	23
5.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το μέγεθος των χρονοσειρών	28
5.4 Επιλογή περιόδου ανάπτυξης και μεθοδολογία υπολογισμού προηγούμενης κατάστασης υγρασίας	28
5.5 Επεξεργασία δεδομένων με χρήση του προγράμματος MATLAB	29
5.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων	30
Κεφάλαιο 6: Χωρικές αναλύσεις σε περιβάλλον Σ.Γ.Π.	32
6.1 Επίδραση γεωγραφικού μήκους και υψομέτρου	32

6.1.1 Επίδραση γεωγραφικού μήκους	32
6.2 Επίδραση υψομέτρου	36
6.2 Δημιουργία χαρτών χωρικής κατανομής πιθανοτήτων υγρασίας.....	41
6.2.1 Χάρτες ημερήσιας πιθανότητας εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας	41
6.2.2 Χάρτες πιθανότητας εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας στη μέγιστη βροχή του υδρολογικού έτους	45
Κεφάλαιο 7: Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό	48
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και προτάσεις περαιτέρω έρευνα	55
8.1 Συμπεράσματα	55
8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	57
Κεφάλαιο 9: Αναφορές	58
Παράρτημα.....	62
Πίνακας 1: Παράδειγμα αρχείου .txt το οποίο διαβάζει το MATLAB.....	62
Πίνακας 2 : Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στο MATLAB.....	63
Πίνακας 3 : Οι 215 σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην πιθανοτική διερεύνηση με τα στοιχεία τους.	67

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της πιθανότητας εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια (ηπειρωτική Ελλάδα και Κρήτη), τόσο σε ημερήσια βάση όσο και την μέρα εκδήλωσης της μέγιστης καταιγίδας του υδρολογικού έτους. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης αυτής αποτυπώθηκαν σε ευανάγνωστους χάρτες, για χρήση τους σε μελέτες πλημμυρών και υδρολογικό σχεδιασμό.

Σκοπός της εργασίας είναι, η ένταξη της πιθανοτικής θεώρησης των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στον υδρολογικό σχεδιασμό. Η σωστή επιλογή τη προηγούμενης κατάστασης υγρασίας είναι καίριας σημασίας για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου SCS-CN. Αποτυπώνοντας λοιπόν την κατανομή της εδαφικής υγρασίας, γίνεται εύκολη η εφαρμογή της πιθανοτικής θεώρησης στις Ελληνικές λεκάνες, οδηγώντας σε αποτελέσματα πιο κοντά στην πραγματικότητα. Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται η εκτίμηση των πλημμυρικών μεγεθών σχεδιασμού ως συνδυασμένης πιθανότητας της πραγματοποίησης της βροχόπτωσης σχεδιασμού και της εμφάνισης κάθε τύπου υγρασίας. Με χρήση παραδειγμάτων σε υποθετικές λεκάνες αποδεικνύεται ότι σε μεγάλο τμήμα της Ελληνικής επικράτεια τα μεγέθη σχεδιασμού μπορεί να είναι έως και υποδιπλάσια των αντίστοιχων που έχουν υπολογιστεί με μέσες συνθήκες.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε οκτώ κεφάλαια και ένα παράρτημα.

Στο Κεφάλαιο 1 περιλαμβάνεται η εισαγωγή, το αντικείμενο και ο σκοπός της παρούσας εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται η περιγραφή της μεθόδου καμπύλης απορροής SCS-CN.

Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζεται ο ρόλος που παίζει η εδαφική υγρασία στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου SCS-CN. Ορίζεται η προηγούμενη κατάσταση υγρασίας και αναλύονται οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο υπολογισμού της. Επίσης

παρουσιάζονται ορισμένες εναλλακτικές μεθοδολογίες που έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στον πλαίσιο εφαρμογής της μεθόδου SCS-CN στην Ελλάδα και παρουσιάζεται η πιθανοτική θεώρηση της εδαφικής υγρασίας κατά τον υδρολογικό σχεδιασμό.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την πιθανοτική διερεύνηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελλάδα, η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων και η ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μια προσπάθεια κατανόησης της επίδρασης της γεωγραφίας στις καταστάσεις της εδαφικής υγρασίας, τόσο σε όρους γεωγραφικού μήκους, όσο και σε όρους υψομέτρου, ενώ στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες με την χωρική κατανομή των πιθανοτήτων των τύπων προηγούμενης κατάστασης υγρασίας σε ημερήσια βάση, άλλα και στη ετήσια μέγιστη βροχή.

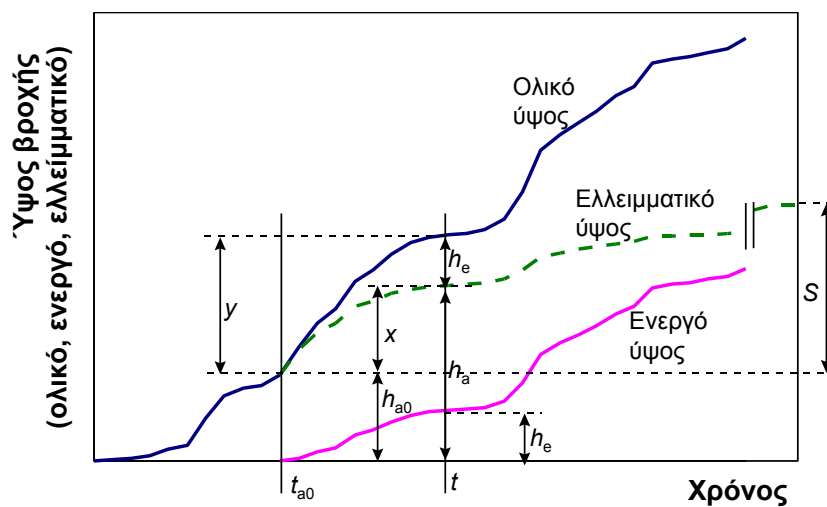
Στο Κεφάλαιο 7 εξετάζεται μια υποθετική εφαρμογή υδρολογικού σχεδιασμού, όπου τα υδρολογικά μεγέθη υπολογίζονται πρώτα θεωρώντας κάθε τύπο προηγούμενης κατάστασης υγρασίας ξεχωριστά και στην συνέχεια ως συνάρτηση των πιθανοτήτων εμφάνισης των τριών τύπων. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται και αξιολογούνται.

Στο Κεφάλαιο 8 καταγράφονται τα συμπεράσματα και αναφέρονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στο Παράρτημα δίνονται ο κώδικας που αναπτύχθηκε για τις πιθανοτικές αναλύσεις, σε περιβάλλον MATLAB, και οι πίνακες των αναλυτικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή της μεθόδου SCS-CN

Η μέθοδος του αριθμού καμπύλης απορροής (runoff curve number) είναι μια από τις μακροβιότερες μεθόδους εκτίμησης πλημμυρικής επιφανειακής απορροής από επεισόδια βροχής σε λεκάνες χωρίς υδρομετρήσεις. Αναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (SCS 1972) και είναι πλέον διαδεδομένη παγκοσμίως. Περιγράφει τη χρονική εξέλιξη των ελλειμμάτων, εφαρμόζοντας μια απλή αλλά ρεαλιστική εννοιολογική διαδικασία, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1 Διευκρινιστικό σκαρίφημα για τη μέθοδο εκτίμησης ελλειμμάτων της μεθόδου SCS-CN (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ.275)

Η μέθοδος βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές (U.S. Department of the Interior, 1977-βλ. και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 274-278):

- Για ένα αρχικό διάστημα t_{a0} , όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης h_{a0} μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, μετά το χρόνο t_{a0} , το μέγιστο ενεργό ύψος βροχής h_e δεν μπορεί να υπερβεί το δυνητικό μέγεθος $h-h_{a0}$, όπου h το ολικό ύψος βροχής.
- Το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a0} , ελλειμματικό ύψος κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης βροχόπτωσης δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή S , η οποία καλείται *μέγιστη δυνητική κατακράτηση* (potential maximum retention).
- Σε κάθε χρονική στιγμή $t > t_{a0}$, οι λόγοι του ενεργού (καθαρού) ύψους βροχής h_e και του ελλειμματικού μείον το αρχικό έλλειμμα (h_a-h_{a0}), προς τα αντίστοιχα δυνητικά μεγέθη ($h-h_{a0}$ και S , αντίστοιχα), είναι ίσοι.

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, προκύπτει η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (2.1)$$

Στη βιβλιογραφία, συστήνεται η επιπλέον παραδοχή ότι $h_{a0} = 0.2 S$, που έχει προκύψει από δεδομένα παρατηρήσεων. Με την υπόθεση αυτή, η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικώς μια μόνο παράμετρο, τη μέγιστη δυνητική κατακράτηση S , οπότε η (2.1) τελικά γράφεται:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h - 0.8S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (2.2)$$

Η σχέση (2.2) μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, οπότε προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος των ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά την τιμή $1.2 S$.

Εφόσον δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής, η τιμή της παραμέτρου S μπορεί να εκτιμηθεί συναρτήσει του αριθμού καμπύλης απορροής (CN) της λεκάνης. Ο αριθμός καμπύλης απορροής είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος που προτάθηκε από την Soil Conservation Service (SCS, 1972), η οποία συμπυκνώνει τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης σε μια μοναδική αντιπροσωπευτική τιμή. Εξαρτάται από τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, τις χρήσεις γης, καθώς και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Τα δύο μεγέθη συνδέονται με την εμπειρική σχέση:

$$S = 254(100/CN - 1) \quad (2.3)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100. Μια χαμηλή τιμή του CN δηλώνει περιοχές με μεγάλη δυνατότητα κατακράτησης βροχής (π.χ. δασώδεις εκτάσεις), ενώ υψηλές τιμές CN χαρακτηρίζουν λεκάνες με πολύ χαμηλούς ρυθμούς διήθησης (π.χ. αστικές περιοχές). Η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με την διαπερατότητα τους:

Ομάδα Α: Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

Ομάδα Β: Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης π.χ. αμμώδης πηλός.

Ομάδα C: Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

Ομάδα D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι, εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Επίσης, ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας:

Τύπος I: Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά, αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού) , που αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών είναι μικρότερη από 13 mm (ή μικρότερη από 35 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος II: Μέσες συνθήκες, που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεταξύ 13 και 38 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα), που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεγαλύτερη των 38 mm (ή μεγαλύτερη των 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Για τις συνήθεις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε υδρολογική ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης. Ένα υποσύνολο των πινάκων ακολουθεί στον Πίνακα 2.1. Για τις άλλες συνθήκες εδαφικής υγρασίας εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις αναγωγής:

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (2.4)$$

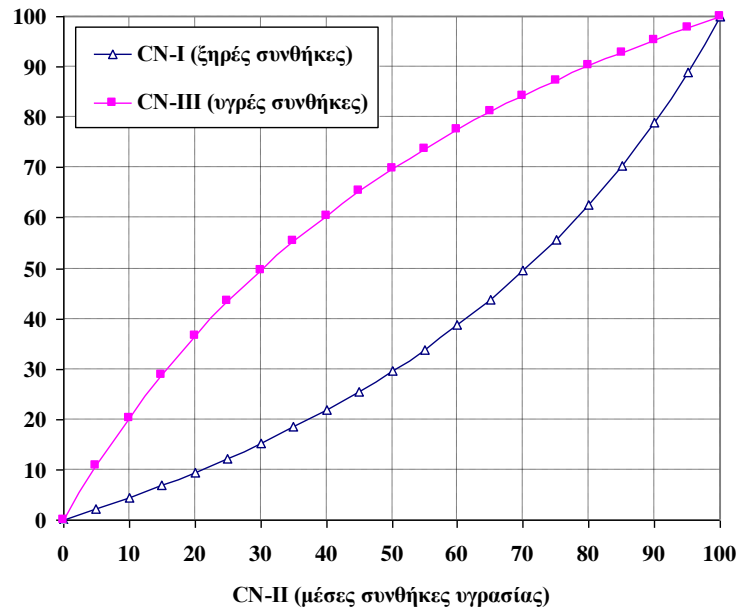
$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}} \quad (2.5)$$

Από αυτές τις σχέσεις γίνεται εμφανής η μεταβλητότητα της παραμέτρου CN, συναρτήσει των συνθηκών αρχικής υγρασίας (Σχήμα 2.2) και η σπουδαιότητα επιλογής σωστού τύπου εδαφικής υγρασίας. Η απόκλιση των καμπυλών μεγιστοποιείται για CN=50, που θα ήταν

μια εύλογη τιμή σχεδιασμού για ελληνικές λεκάνες υψηλής περατότητας (π.χ. ασβεστολιθικές), που κυριαρχούν στην Ανατολική Ελλάδα. Αυτό σημαίνει ότι στις περιοχές αυτές είναι εξαιρετικά κρίσιμη η σωστή επιλογή των συνθηκών υγρασίας.

Πίνακας 2.1 Τυπικές τιμές του αριθμού καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές, αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II (Πηγή: Κουτσογιάννης, 2011, σ. 126).

Περιγραφή χρήσης γης		Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις		62-72	71-81	78-88	81-91
Λιβάδια, βοσκότοποι		30-68	58-79	71-86	78-89
Δάση		25-45	55-66	70-77	77-83
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, νεκροταφεία κτλ.					
με κάλυψη από πράσινο > 75%		39	61	74	80
με κάλυψη από πράσινο < 75%		49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές		89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)		81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές					
Μέσο μέγεθος οικοπέδου (στρ.)	Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας(%)				
≤ 0.5	65	77	85	90	92
1.0	38	61	75	83	87
1.5	30	57	72	81	86
2.0	25	54	70	80	85
4.0	20	51	68	79	84
Δρόμοι					
με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων		98	98	98	98
Χαλικόστρωτοι		76	85	89	91
Χωματόδρομοι		72	82	87	89



Σχήμα 2.2 Μεταβολή του αριθμού καμπύλης απορροής για διάφορες καταστάσεις αρχικής υγρασίας του εδάφους.

Κεφάλαιο 3: Ο ρόλος της εδαφικής υγρασίας στη μέθοδο SCS-CN

3.1 Ορισμός προηγούμενης κατάστασης υγρασίας

Ο ακρίβεια του όγκου της επιφανειακής απορροής, που εκτιμάται με την μέθοδο SCS-CN, εξαρτάται από τρεις παράγοντες: (α) την χωρική και χρονική μεταβλητότητα της βροχής, (β) την ακρίβεια και τα τυχόν λάθη κατά την συλλογή δεδομένων βροχής και (γ) την επιλογή τύπου εδαφικής υγρασίας (Ponce and Hawkins, 1996). Ο τελευταίος παράγοντας είναι γνωστός ως AMC (antecedent moisture condition) και αναφέρεται στο πόσο κορεσμένο είναι το έδαφος και πόσο αυτό επηρεάζει την διηθητική του ικανότητα. Για τον υπολογισμό του, η συνηθέστερη τακτική είναι να λαμβάνεται υπόψη το συνολικό ύψος βροχής ενός αριθμού προηγούμενων ημερών, που κυμαίνεται από 5 έως 30 ημέρες (SCS, 1972) και το στάδιο ανάπτυξης της βλάστησης, δηλαδή αν βρισκόμαστε σε περίοδο ανάπτυξης ή μη ανάπτυξης. Η εδαφική υγρασία ταξινομείται σε τρεις τύπους, την AMC I (ξηρές συνθήκες) την AMC II (μέσες) και την AMC III (υγρές συνθήκες, πλήρως κορεσμένο). Στατιστικά κάθε τύπος αντιστοιχεί στο 90, 50, και 10% πιθανότητα υπέρβασης της εκτιμώμενης απορροής από μια δεδομένη βροχή (Hjelmfelt *et al*, 1982).

Όπως φάνηκε και στο Σχήμα 2.2 περνώντας από τον ένα τύπο AMC στο επόμενο πραγματοποιούνται μεγάλα άλματα στην παράμετρο CN. Επομένως γίνεται κατανοητό γιατί από πολλούς ερευνητές θεωρείται ότι η προηγούμενη κατάσταση υγρασίας είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την εκτίμηση της έκβασης ενός γεγονότος βροχής (Stephenson and Freeze· De Michele and Salvadori, 2002· Aronica and Candela 2004· Brocca *et al* 2005). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μια αλλαγή της τάξης του 10% μπορεί να εμφανιστεί, στην παράμετρο CN, αλλάζοντας ελάχιστα την βροχή των προηγούμενων πέντε ημερών, ενώ ένας ανακριβής CN δίνει πιο παραπλανητικά αποτελέσματα απ' ότι μια κακής ποιότητας συλλογή δεδομένων βροχής (Hawkins, 1975).

Η σημασία της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας στην εκτίμηση της απορροής αλλάζει ανάλογα με την ένταση της βροχής και τον ρυθμό διήθησης. Όταν η ένταση της βροχής είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή σε σχέση με το ρυθμό διήθησης τότε η υγρασία του εδάφους δεν είναι κρίσιμο μέγεθος. Αντίθετα όταν η ένταση της βροχής είναι του ίδιου μεγέθους με το ρυθμό διήθησης τότε η εκτίμηση της απορροής γίνεται εξαιρετικά ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας.

3.2 Περίοδος ανάπτυξης βλάστησης

Περίοδος ανάπτυξης ονομάζεται η περίοδος του έτους κατά την οποία οι συνθήκες ανάπτυξης για την τοπική βλάστηση και τις καλλιέργειες είναι πιο ευνοϊκές. Αυτή συνήθως γίνεται μικρότερη όσο αυξάνεται η απόσταση από τον Ισημερινό. Κοντά στον Ισημερινό και σε τροπικές περιοχές η περίοδος ανάπτυξης διαρκεί συνήθως όλο το χρόνο, ενώ σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, για παράδειγμα, στην τούνδρα, αυτό μπορεί να διαρκέσει μόλις δύο μήνες ή λιγότερο. Επίσης, η διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης ποικίλλει ανάλογα με το υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με μεγαλύτερα υψόμετρα να τείνουν να έχουν μικρότερη.

Το μήκος της περιόδου ανάπτυξης μετριέται με δύο τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο, η περίοδος ανάπτυξης ξεκινάει όταν η μέση θερμοκρασία είναι πάνω από το όριο στο οποίο καλλιέργειες θα βλαστήσουν και θα συνεχίσουν να αυξάνονται (μαζί με την τοπική βλάστηση). Η θερμοκρασία αυτή ποικίλλει ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας. Για παράδειγμα, το σιτάρι και πολλά άλλα φυτά απαιτούν μια μέση θερμοκρασία τουλάχιστον 5°C για να βλαστήσουν. Άλλοι, όπως καλαμπόκι (αραβόσιτος) απαιτούν μια ελάχιστη θερμοκρασία 10°C. Το ρύζι έχει ένα ακόμη υψηλότερο όριο, περίπου 20°C. Κανονικά στις εύκρατες ζώνες η μέση θερμοκρασία υπερβαίνει το όριο κατά το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου ανάπτυξης, η οποία αρχίζει όταν επιτευχθεί το όριο άνοιξη και τελειώνει όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από αυτό τον. Τα φυτά απαιτούν η μέση θερμοκρασία να υπερβαίνει το όριο κατά το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου, προκειμένου να αναπτυχθούν γρήγορα. Όταν λόγω του γεωγραφικού πλάτους ή το υψομέτρου η μέση θερμοκρασία παραμένει κοντά στο όριο καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου, τα φυτά αναπτύσσονται πιο αργά, απ' ό,τι σε πιο συμβατές θερμοκρασίες.

Ο άλλος τρόπος εκτίμησης της περιόδου ανάπτυξης αναφέρεται στο μέσο αριθμό των ημερών μεταξύ της τελευταίας ημέρας με παγετό την άνοιξη και το πρώτο σημαντικό παγετό του φθινόπωρου ή του χειμώνα. Οι περισσότερες καλλιέργειες απαιτούν μια περίοδο χωρίς παγετό τουλάχιστον 90 ημερών. Ορισμένες περιοχές της εύκρατης ζώνης, όπως είναι οι ορεινές, έχουν λιγότερες από 90 ημέρες χωρίς παγετό, όπως επίσης και περιοχές κοντά στον αρκτικό κύκλο. Οι περιοχές αυτές περιορίζονται σε καλλιέργειες που μπορούν να βλαστήσουν και να ωριμάσουν μέσα σε λιγότερο χρόνο. Ωστόσο, σε αυτά τα

υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη η πολύ αυξημένη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι αντισταθμίζει σημαντικά την μικρότερη περίοδο ανάπτυξης. Άλλες περιοχές μέσα στις εύκρατες ζώνες, όπου ζεστά ή άλλα θαλάσσια ρεύματα αέρα παρατείνουν σημαντικά την περίοδο ανάπτυξης αυτή μπορεί να κρατήσει 240 μέρες ή και παραπάνω.

Σε πολλά μέρη της Ευρώπης, η περίοδος ανάπτυξης ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των ημερών ανά έτος με μέση 24-ωρη θερμοκρασία τουλάχιστον 5 ως 6°C. Αυτό είναι συνήθως από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο ή το Νοέμβριο, αν και αυτό ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο. Η περίοδος ανάπτυξης διαρκεί σχεδόν όλο το χρόνο στο μεγαλύτερο μέρος της Πορτογαλίας και της Γαλικίας, και μπορεί να είναι μόνο από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο στη βόρεια Φινλανδία και στις Άλπεις. Οι χώρες που επηρεάζονται από το ρεύμα του Κόλπου μπορεί επίσης να έχουν παρατεταμένη περίοδο ανάπτυξης.

3.3 Βροχόπτωση προηγούμενων ημερών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συνηθέστερη τακτική για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας λαμβάνει υπόψη την προηγούμενη βροχόπτωση. Παρόλο που δεν υπάρχει σαφής οδηγία για το πόσες μέρες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, συνηθίζεται να λαμβάνεται υπόψη η βροχή των πέντε προηγούμενων ημερών. Ο τύπος της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων πέντε ημερών και την περίοδο ανάπτυξης της βλάστησης, φαίνεται στο υποκεφάλαιο 2.1, όπως δίνεται από την SCS. Παρόλα αυτά οι πέντε ημέρες δεν είναι πάντα αρκετές για περιοχές με συγκεκριμένο κλίμα, μορφολογία ή έδαφος ή για πολύ μεγάλες λεκάνες απορροής (Ponce and Hawkins, 1996).

3.4 Άλλοι τρόποι υπολογισμού της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας

Κατά καιρούς έχουν προταθεί και άλλοι τρόποι υπολογισμού της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας. Μερικοί από αυτούς αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

3.4.1 Δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης

Ο δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης (antecedent precipitation index, API) που αναπτύχθηκε από τους Kohler and Linsley (1951), συχνά χρησιμοποιείται για την επιλογή

της κατηγορίας AMC. Για παράδειγμα οι Perrone and Mardamootoo (1997) χρησιμοποιούν τον δείκτη API υπολογισμένο από την βροχή των προηγούμενων 15 ημερών σύμφωνα με τον τύπο (3.1).

$$API = \sum_{v=1}^{15} k^v P_v \quad (3.1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση το P αντιπροσωπεύει την βροχή της v -οστής μέρας πριν την ενδιαφερόμενη ενώ το k είναι μία μειούμενη σταθερά (<1). Ο δείκτης API χρησιμοποιείται συχνά επειδή εξαρτάται μόνο από δεδομένα βροχής που είναι εύκολα διαθέσιμα αλλά δεν υπάρχει φυσική συσχέτιση μεταξύ του API και της πραγματικής προηγούμενης κατάστασης εδαφικής υγρασίας (Singh, 1989). Επίσης η αντιστοιχία API και CN έχει γίνει για το αρκετά υγρό κλίμα του Καναδά, που σημαίνει ότι μπορεί να μην είναι αξιόπιστη μέθοδος για περιοχές με διαφορετικό κλίμα.

3.4.2 Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας

Η προηγμένη γνώση της εδαφικής υγρασίας θα βελτίωνε σημαντικά την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής μετά από ένα γεγονός βροχής (Michele and Salvadori, 2002). Επειδή η εδαφική υγρασία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό της παραμέτρου CN, ένας εναλλακτικός πιο έγκυρος τρόπος προσδιορισμού της προηγούμενης εδαφικής υγρασίας θα ήταν οι άμεσες μετρήσεις στο έδαφος, παρά η βροχόπτωση των προηγούμενων ημερών (Huang *et al.*, 2006). Ο Saxton (1992) πρότεινε μια έκφραση της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας AMC σαν βαθμιδωτή συνάρτηση της εδαφικής υγρασίας στα πρώτα 15 cm του εδάφους (SM_{15}). Ο πρώτος τύπος (AMC 1) αντιστοιχεί σε εδαφική υγρασία SM_{15} μικρότερο από 60% της ικανότητας του εδάφους (field capacity, FC). Ο δεύτερος τύπος (AMC 2) αντιστοιχεί σε SM_{15} από 60 έως 100% του FC. Τέλος ο τρίτος τύπος (AMC 3) αντιστοιχεί σε SM_{15} μεγαλύτερο του FC. Η απευθείας μέτρηση της εδαφικής υγρασίας έχει παρατηρηθεί ότι φέρνει καλύτερα αποτελέσματα απ' ό,τι η εκτίμησή της από την προηγούμενη βροχόπτωση ακριβώς επειδή είναι ανεξάρτητη από αυτή. Είναι γεγονός ότι η υγρασία στο έδαφος δεν εξαρτάται μόνο από την βροχή, αλλά και από την ατμοσφαιρική υγρασία, την εγγύτητα σε υδάτινα σώματα αλλά και από τον υπόγειο υδροφόρο.

3.4.3 Η προηγούμενη κατάσταση υγρασίας συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού

Σε κάποιες περιπτώσεις η επιλογή του τύπου AMC γίνεται και συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού (Ponce and Hawkins, 1996). Εφόσον η κατάσταση AMC 2 ανταποκρίνεται σε μια μέση κατάσταση και η AMC 1 και AMC 3 οδηγούν σε μικρότερο και μεγαλύτερο εκτιμώμενο όγκο απορροής αντίστοιχα, για καταιγίδες σχεδιασμού με μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς χρησιμοποιείται η AMC 3, ως δυσμενέστερη, και αναλόγως επιλέγονται οι AMC 2 και AMC 1. Για παράδειγμα το Εγχειρίδιο Υδρολογίας (1986) του Orange County, California, ορίζει την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας τύπου I για καταιγίδες 2 και 5 ετών, τύπου II για 10, 25 και 50 ετών και τύπου III για καταιγίδες περιόδου επαναφοράς 100 ετών. Αντίστοιχα το Εγχειρίδιο Υδρολογίας (1985) του San Diego County, California λαμβάνει υπόψη την περίοδο επαναφοράς ενώ ορίζει και τέσσερις κλιματικές περιοχές, ακτές, λόφοι, βουνά, έρημος. Επισημαίνεται ότι παρόλο που σε πολλά μέρη πραγματοποιείται αυτή η τακτική, δεν αναγνωρίζεται από την SCS.

Στην πραγματικότητα, η επιλογή τύπου AMC συχνά επαφίεται στην κρίση του μελετητή.

Κεφάλαιο 4: Πλαίσιο εφαρμογής μεθόδου SCS-CN

4.1 Η χρήση της μεθόδου SCS-CN στην Ελλάδα

Η χρήση της μεθόδου SCS-CN, για την εκτίμηση των υδρολογικών ελλειμμάτων, γίνεται σε συνδυασμό με την θεωρία μοναδιαίου υδρογραφήματος (MY), για τον μετασχηματισμό του επιφανειακού μεγέθους (ύψος ενεργού βροχόπτωσης ή, ισοδύναμα, επιφανειακής απορροής) σε σημειακό πλημμυρογράφημα. Η συνδυαστική αυτή μέθοδος αναφέρεται ως SCS-CN & MY. Με τον όρο μοναδιαίο υδρογράφημα (unit hydrograph), $U_d(t)$, διάρκειας βροχής d νοείται το καθαρό πλημμυρογράφημα μιας λεκάνης που παράγεται από ενεργό βροχόπτωση μοναδιαίου ύψους h_0 και έντασης $i = h_0/d$, ομοιόμορφα κατανεμημένης στο χώρο και το χρόνο (γενικά θεωρείται $h_0 = 10$ mm). Στην πράξη, το μοναδιαίο υδρογράφημα (MY) περιγράφει έναν χρονικό μετασχηματισμό της ενεργού βροχόπτωσης σε πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης, και αποτελεί σταθερό χαρακτηριστικό της λεκάνης. Συνεπώς, για κάθε διάρκεια ενεργού βροχής αντιστοιχεί ένα και μόνο MY. Αν A , είναι η έκταση της λεκάνης, τότε το εμβαδόν του MY, δηλαδή ο πλημμυρικός όγκος, ισούται με $V_0 = h_0 A$.

Η εφαρμογή του MY βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Η ένταση της βροχής είναι σταθερή για όλη τη διάρκεια του επεισοδίου και κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση της λεκάνης.
- Σε μια δεδομένη λεκάνη, δύο βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, παράγουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική διάρκεια, ανεξάρτητα από τις επιμέρους εντάσεις των επεισοδίων βροχής.
- Σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από ένα συγκεκριμένο επεισόδιο βροχής είναι ανεξάρτητη από τα προηγούμενα επεισόδια.
- Το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος δεδομένης διάρκειας βροχής αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, τα οποία θεωρούνται χρονικά αμετάβλητα.

Αν είναι γνωστή η ενεργός βροχόπτωση h_t , σε διακριτό χρόνο, και το MY της λεκάνης για διάρκεια ίση με την χρονική διακριτότητα της ενεργού βροχόπτωσης Δt , τότε ο υπολογισμός του πλημμυρογραφήματος γίνεται εύκολα, με βάση την αρχή της επαλληλίας. Συγκεκριμένα, από κάθε επιμέρους τμήμα του ενεργού υετογράμματος στο χρονικό

διάστημα $[t, t + \Delta t]$ παράγεται το επιμέρους υδρογράφημα, πολλαπλασιάζοντας το ύψος βροχής h_t με τις τεταγμένες του ΜΥ. Αν D είναι η συνολική διάρκεια βροχής, τότε παράγονται $N = D / \Delta t$ υδρογραφήματα, που αθροίζονται χρονικά ώστε να προκύψει το τελικό πλημμυρογράφημα

Το ΜΥ μιας δεδομένης διάρκειας βροχής αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος της λεκάνης, για την κατάρτιση του οποίου συνήθως εφαρμόζονται οι λεγόμενες συνθετικές προσεγγίσεις. Σύμφωνα με αυτές, η μαθηματική έκφραση ή τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ΜΥ εκτιμώνται συναρτήσει των φυσιολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης. Στη βιβλιογραφία διατίθεται ένα ευρύ φάσμα προσεγγίσεων για την κατάρτιση συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων (ΣΜΥ) σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις. Δύο από τις πλέον διαδεδομένα ΣΜΥ στην ελληνική πρακτική είναι αυτό του Snyder και του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας. (Ευστρατιάδης κ.α., 2014, σ. 68-69)

Δεδομένου ότι στη Ελλάδα δεν υπάρχουν πλημμυρικά στοιχεία για τις περισσότερες λεκάνες, η μέθοδος SCS-CN έχει καθιερωθεί για τον υπολογισμό της ενεργού βροχόπτωσης, αφού είναι αποτελεσματική για λεκάνες χωρίς μετρήσεις. Οι παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν είναι ο αριθμός CN αλλά και οι αρχικές απώλειες h_{a0} . Η επιλογή του αριθμού καμπύλης απορροής γίνεται βάση των πινάκων της SCS, των γεωλογικών χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) και την προσωπική θεώρηση του κάθε μελετητή, χωρίς να έχει υπάρξει κάποια συστηματοποιημένη προσπάθεια προσαρμογής της διεθνούς βιβλιογραφίας στις Ελληνικές συνθήκες, ενώ οι αρχικές απώλειες λαμβάνονται ως ποσοστό 20% της δυνητικής κατακράτησης.

4.1.1 Αρχικές απώλειες

Οι αρχικές απώλειες h_{a0} , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, συστήνεται συχνά στην βιβλιογραφία να λαμβάνονται ως το 20% της δυνητικής κατακράτησης S , $h_{a0} = 0,2 S$. Αυτή η υπόθεση είναι αποτέλεσμα παρατηρήσεων σε ένα μεγάλο δείγμα από λεκάνες απορροής στις ΗΠΑ. Στην πραγματικότητα το ποσοστό των αρχικών απωλειών παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος διακύμανσης με τυπική τιμή την προαναφερθείσα, 20%. Από αναλύσεις πλημμυρικών επεισοδίων σε λεκάνες απορροής στην Ελλάδα φάνηκε πως αυτή η τιμή είναι ιδιαίτερα υψηλή και δεν ανταποκρίνεται στην υδρολογική συμπεριφορά των λεκανών που εξετάστηκαν. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα το ποσοστό ήταν 5% ή και λιγότερο, κάτι που δηλώνει άμεση απόκριση της λεκάνης στην βροχόπτωση. Υποθέτοντας ότι οι αρχικές

απώλειες εξαρτώνται από την δυνατότητα κατακράτησης της βροχόπτωσης από την χλωρίδα και το ανάγλυφο και την διηθητικότητα του εδάφους, έχουν προταθεί για την εκτίμηση του ποσοστού των αρχικών απωλειών οι τιμές του Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Προτεινόμενες τιμές ποσοστού αρχικών απωλειών (%) (πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2014, σ. 123)

α (%)	Τύπος λεκάνης
5	Αστικές λεκάνες, λεκάνες με σημαντική κλίση, εδάφη χαμηλής διηθητικότητας
10	Μη αστικές λεκάνες μέτριας υδατοπερατότητας και βλάστησης
20	Αγροτικές και δασικές λεκάνες, λεκάνες με σημαντικά έργα ανάσχεσης

4.1.2 Αριθμός καμπύλης απορροής

Όσο αφορά την επιλογή του αριθμού CN, η συνήθης τακτική είναι να υπολογίζεται με βάση τις μέσες συνθήκες υγρασίας AMC 2 ή την εκτίμηση του εκάστοτε μελετητή. Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί ότι οι μέσες συνθήκες υγρασίας για πολλές περιοχές της Ελλάδας δεν είναι αντιπροσωπευτικές. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, το άλμα που πραγματοποιείται στον αριθμό CN μεταβαίνοντας από την μια κατάσταση εδαφικής υγρασίας στην άλλη μπορεί να είναι πολύ μεγάλο (βλ. Σχήμα 2.2). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα συχνά την υπερεκτίμηση υδρολογικών μεγεθών που οδηγούν σε υπερδιαστασιοποιημένα και πιο ακριβά έργα. Είναι λοιπόν εμφανές ότι το θέμα της εδαφικής υγρασίας στην επιλογή του αριθμού CN πρέπει να προσεγγιστεί με ιδιαίτερη προσοχή.

4.2 Πιθανοτική θεώρηση προηγούμενης κατάστασης υγρασίας

Μια απλή αλλά συνεπής προσέγγιση του θέματος, είναι αυτή που λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα εμφάνισης κάθε μίας από τις τρεις τυπικές συνθήκες υγρασίας της μεθόδου SCS-CN. Η πιθανότητα κάθε κατάστασης υγρασίας μπορεί να εκτιμηθεί με βάση ημερήσια δείγματα βροχής της περιοχής μελέτης, εντοπίζοντας τις επικρατούσες συνθήκες την ημέρα πραγματοποίησης του μεγαλύτερου ύψους βροχής κάθε έτους. Εφαρμόζοντας τις τιμές του CN που αναφέρονται σε κάθε κατάσταση υγρασίας, παράγεται το πλημμυρογράφημα και εκτιμώνται τα σχετικά μεγέθη ενδιαφέροντος (π.χ., παροχή αιχμής, όγκος πλημμύρας), ενώ τα τελικά μεγέθη σχεδιασμού εκτιμώνται σταθμίζοντας κάθε επιμέρους μέγεθος με την αντίστοιχη πιθανότητα. Για την εκτίμηση των πιθανοτήτων κατάστασης υγρασίας απαιτείται

η χρήση δειγμάτων ημερήσιων υψών βροχής ικανού μήκους, καθώς οι συνθήκες υγρασίας προσδιορίζονται με βάση την αθροιστική βροχόπτωση των πέντε προηγούμενων ημερών. Με συνάθροιση των ημερήσιων τιμών λαμβάνεται η χρονοσειρά αθροιστικών υψών βροχής πέντε ημερών, P_5 , και προσδιορίζεται η αντίστοιχη κατάσταση υγρασίας, σύμφωνα με τον ορισμό της SCS. Στη συνέχεια, καταμετράται το πλήθος των ημερών που αντιστοιχούν στις τρεις συνθήκες υγρασίας, που συμβολίζονται n_I , n_{II} και n_{III} , αντίστοιχα. Τότε, η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κατάστασης υγρασίας εκτιμάται εμπειρικά ως $p_I = n_I / n$, $p_{II} = n_{II} / n$, και $p_{III} = n_{III} / n$, όπου n το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή $n_I + n_{II} + n_{III}$.

Κατ' αντιστοιχία, μπορούν να εκτιμηθούν οι πιθανότητες που αναφέρονται στην ημέρα με το μεγαλύτερο ύψος βροχής κάθε έτους. Στην περίπτωση αυτή, το συνολικό δείγμα είναι ίσο με τον αριθμό των υδρολογικών ετών. Για κάθε έτος, εντοπίζεται η ημέρα με την υψηλότερη τιμή βροχόπτωσης, για την οποία εκτιμάται η αντίστοιχη κατάσταση υγρασίας. Από το δείγμα που προκύπτει εκτιμώνται οι αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης κάθε κατάστασης, που αφορούν στις ετήσιες μέγιστες βροχοπτώσεις

Τονίζεται για μία ακόμη φορά ότι η πραγματοποίηση της πλημμύρας εξαρτάται μερικώς και μόνο από το ύψος βροχής. Όπως έχει παρατηρηθεί πολύ ισχυρές καταιγίδες που πραγματοποιήθηκαν σε περιόδους ξηρών συνθηκών του εδάφους (π.χ. στις αρχές του φθινοπώρου), δίνουν πολύ χαμηλές πλημμυρικές παροχές, ενώ αντίθετα μετρίου μεγέθους καταιγίδες που έλαβαν χώρα σε συνθήκες υψηλής υγρασίας του εδάφους παρήγαγαν σημαντικές πλημμύρες.

Αν λοιπόν, q_{pI} , q_{pII} , και q_{pIII} είναι οι παροχές αιχμής που προκύπτουν για τις καταστάσεις αρχικής υγρασίας τύπου I, II και III, και p_I , p_{II} και p_{III} είναι οι αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης της κάθε κατάστασης την ημέρα που πραγματοποιείται η μέγιστη βροχόπτωση του έτους, τότε ως παροχή σχεδιασμού λαμβάνεται η ποσότητα:

$$q_p^* = p_I q_{pI} + p_{II} q_{pII} + p_{III} q_{pIII} \quad (4.1)$$

Κατ' αντιστοιχία με την παροχή αιχμής, αν V_I , V_{II} , και V_{III} είναι οι πλημμυρικοί όγκοι που προκύπτουν για τις καταστάσεις αρχικής υγρασίας τύπου I, II και III, τότε ως όγκος σχεδιασμού λαμβάνεται η ποσότητα:

$$V^* = p_I V_I + p_{II} V_{II} + p_{III} V_{III} \quad (4.2)$$

Είναι προφανές ότι η παραπάνω προσέγγιση ενδεχομένως οδηγεί σε πολύ διαφοροποιημένα μεγέθη σχεδιασμού, σε σχέση με την τυπική προσέγγιση στην οποία θεωρούνται οι μέσες συνθήκες υγρασίας. Η διαφοροποίηση αναμένεται να είναι πιο έντονη στην ενδιάμεση περιοχή των CN (40-60), όπου μεγιστοποιούνται οι αποκλίσεις μεταξύ των CN_I, CN_{II} και CN_{III}, και, συνακόλουθα, των εκτιμώμενων πλημμυρικών μεγεθών.

Κεφάλαιο 5: Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια

Για την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας στην δυσμενέστερη βροχή του έτους, σύμφωνα με την διαδικασία που συνοπτικά περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 4.2. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η πιθανοτική διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αφορά ολόκληρη την ηπειρωτική Ελλάδα και την Κρήτη.

5.1 Μεθοδολογία και παραδοχές

Για να γίνει η πιθανοτική διερεύνηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Συλλογή ημερήσιων δεδομένων βροχής, από 215 υδρομετεωρολογικούς σταθμούς, από την ηπειρωτική Ελλάδα και την Κρήτη.
- Υπολογισμός για κάθε ημέρα του δείγματος της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, αθροίζοντας τα ύψη βροχής των πέντε προηγούμενων ημερών.
- Εύρεση του μέγιστου ύψους βροχής κάθε υδρολογικού έτους, ξεκινώντας από 1^η Οκτώβρη, και αντιστοίχιση του με την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας της ημέρας εκείνης.
- Εκτίμηση πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας σε ημερήσια βάση, για κάθε σταθμό, με βάση τις χρονοσειρές των ημερήσιων υψών βροχής.
- Εκτίμηση πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, την μέρα που πραγματοποιείται η μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους για κάθε σταθμό.
- Ανάλυση αποτελεσμάτων.

Επίσης πριν ξεκινήσει η επεξεργασία θεωρήθηκε ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Οι ημερήσιες χρονοσειρές βροχής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 ετών, ώστε να έχουμε ένα ικανοποιητικό δείγμα για τις στατιστικές εκτιμήσεις.

- Η περίοδος ανάπτυξης θεωρήθηκε η περίοδος από τον Μάρτιο έως τον Οκτώβριο. Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε αυτή ως περίοδος ανάπτυξης παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 5.3.
- Ο υπολογισμός του τύπου της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας θα γίνεται με βάση τις πέντε προηγούμενες μέρες, σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1, για τους λόγους που παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 5.4.
- Οι μέρες για τις οποίες δεν έχουμε στοιχεία θα αφαιρούνται από το δείγμα.
- Οι μέρες για τις οποίες λείπουν τα στοιχεία των πέντε προηγούμενων ημερών θα αφαιρούνται από το δείγμα.
- Εάν στον υπολογισμό του μέγιστου ύψους βροχής ενός έτους λείπουν στοιχεία από του χειμερινούς μήνες δεν θα γίνεται εύρεση του μεγίστου, αφού είναι πολύ πιθανό να λείπει, και το έτος θα αφαιρείται από το δείγμα. Αντίθετα αν λείπουν στοιχεία από τους καλοκαιρινούς μήνες το μέγιστο θα βρίσκεται.

Πίνακας 5.1: Όρια διαχωρισμού περιόδων ανάπτυξης και μη ανάπτυξης για κάθε κατάσταση υγρασίας.

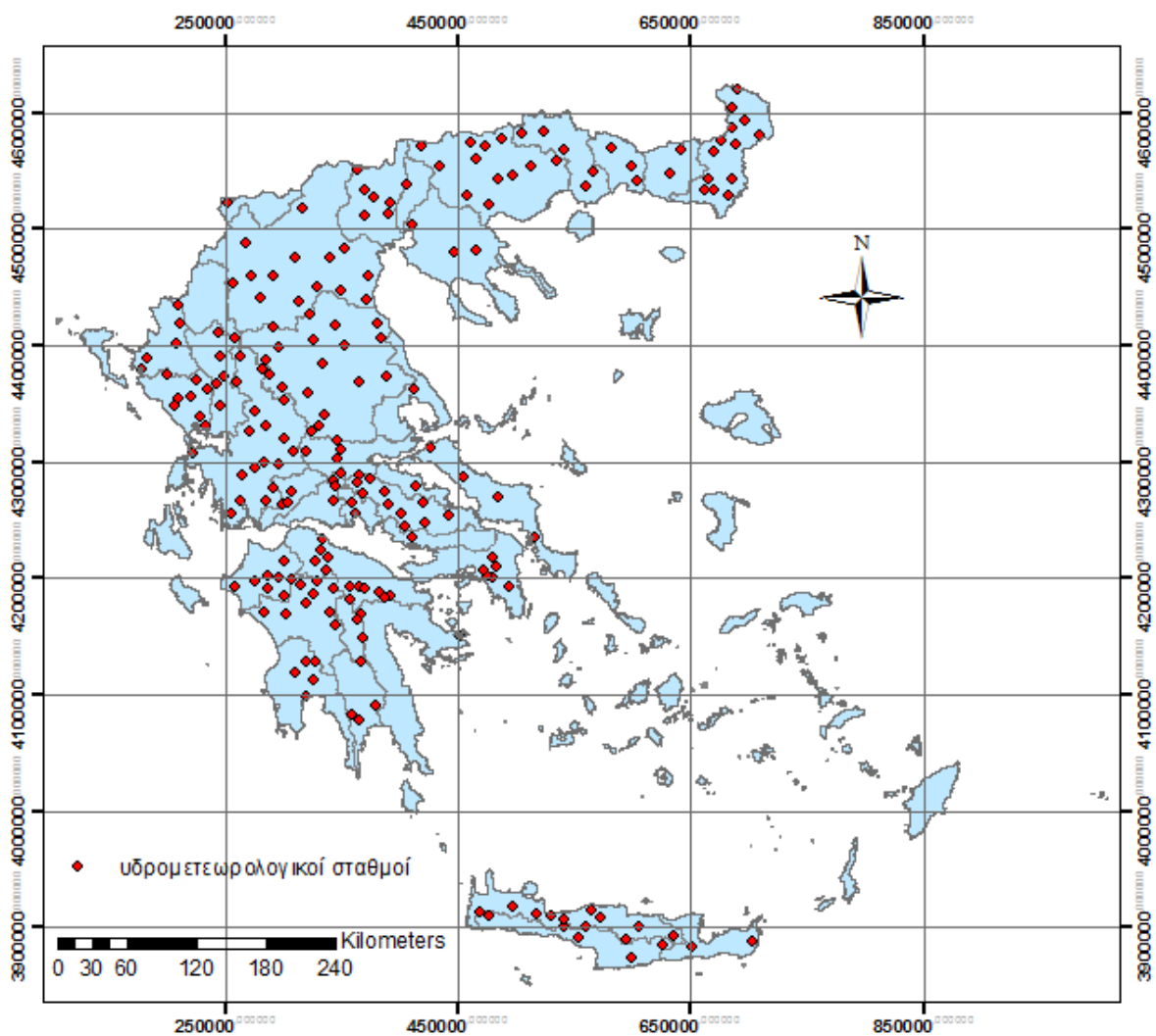
	Βροχή πέντε προηγούμενων ημερών (mm)	
AMC	Μη ανάπτυξη	Ανάπτυξη
1	<13	<35
2	13-38	35-53
3	>38	>53

5.2 Συλλογή δεδομένων βροχής από υδρομετεωρολογικούς σταθμούς

Αρχικά συγκεντρώθηκαν τα ημερήσια ύψη βροχής από διάφορους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στην ηπειρωτική Ελλάδα και την Κρήτη από την ιστοσελίδα hydroscope.gr. Επιλέχθηκαν όπου ήταν δυνατό χρονοσειρές με μήκος τριάντα ετών και παραπάνω και ελάχιστο όριο τα είκοσι έτη. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, στις οποίες υπήρχε μεγάλο γεωγραφικό κενό στην κατανομή των σταθμών, επιλέχθηκαν σταθμοί με μέγεθος χρονοσειράς έως και δεκαπέντε έτη. Τα στοιχεία συλλέχθηκαν από σταθμούς που είχαν ελεύθερη πρόσβαση στα δεδομένα τους και είναι υπό την εποπτεία του υπουργείου

Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Όλες οι χρονοσειρές κανονικοποιήθηκαν με την βοήθεια του λογισμικού Υδρογνώμων.

Όσο συλλέγονταν τα στοιχεία των σταθμών, δημιουργήθηκε ένα αρχείο shapefile στο Arc-GIS για την απεικόνιση των σταθμών στον χάρτη της Ελλάδας, με τις ακριβείς συντεταγμένες και υψόμετρα όπως αυτά αναφέρονται στην ιστοσελίδα hydroscope.gr. Τελικά για να επιτευχθεί η απαιτούμενη γεωγραφική κάλυψη συγκεντρώθηκαν στοιχεία από 215 σταθμούς οι οποίοι απεικονίζονται στον χάρτη της Εικόνας 5.1. Στον Πίνακα 5.2 φαίνονται όλοι οι σταθμοί ανά λεκάνη απορροής



Εικόνα 5.1.Βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην διερεύνηση

Πίνακας 5.2 Οι λεκάνες απορροής της Ελλάδας με τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην διερεύνηση

1. Έβρος	2. Ρέματα Κομοτηνής	5. Στρυμόνας	6. Αξιός
Αβάς	Αρίσβη	Αηδονοχώριο	Ανθόφυτο
Αισύμη	Οργάνη	Αλίστρατη	Βαθύλακος
Διδυμότειχο	3. Ξηρόρεμα Ξάνθη	Άνω Βροντού	Γουμένισσα
Δικαία	Εχινός	Άνω Πορόια	Ευρωπός
Κυπρίνος	Ίασμος	Αχλαδοχώρι	Παραλίμνη
Λευκίμη	Πόρπη	Δράμα	Σκρα
Μεγάλο Δέρειο	4. Νέστος	Κάτω Νευροκόπι	7. Γαλλικός
Μεταξάδες	Μικροκλεισούρα	Νέα Ζίχνη	Κυκίς
Μικρό Δέρειο	Παρανέστι	Νιγρίτα	
Νίψα	Σκαλωτή	Ορεινή Σερρών	8. Χαλκιδική
Πρωτοχώρι	Τοξότες	Πλατανιά	Άγιος Πρόδρομος
Σιτοχώρι	Χρυσούπολη	Φράγμα Κερκίνης	Αρναία
Φέρες	10. Εριγώνας	13. Άραχθος	Ωραιόκαστρο
9. Αλιάκμονας	Κούλα Πρεσπών	Άγναντα	
Άγιος Δημήτριος	11. Καλαμάς	Ανατολική	14. Αχελώος
Άρνισσα	Βασιλικό	Γρεβενίτιο	Άγιος Βλάσιος
Γρεβενά	Βέλα Μονή	Κάτω Καλεντίνη	Άγιος Νικόλαος
Καστανιά Ημαθίας	Ηγουμενίτσα	Μέτσοβο	Ανάληψη
Καστοριά	Σουλόπουλο	Πλατανούσα	Βινιάνη
Κατερίνη	Φιλιάτες	15. Πηνεϊός	Γαβαλού
Λιτόχωρο	12. Αχέρωντας	Αγιόφυλλο	Γρανίτσα
Πεντάλοφος	Άγιοι Θεόδωροι	Ανάβρα	Θεοδώριανα
Ποντοκόμη	Ανέζα	Βερδικούσα	Θερμό
Σέρβια	Άνω Σκαφιδώτη	Γιαννωτά	Καλλιθέα
Σιάτιστα	Καναλλάκι	Ελασσόνα	Καρπενήσι
Τσοτύλιο	Κερασούντα	Ελάτη	Καταφύλιο
Φράγμα Αλιάκμονα	Νικολίτσι	Ζάππειο	Κατάφυτο
Φρούριο	Παραμυθία	Καρδίτσα	Λεπένου
16. Πήλιο	Πεντόλακκος	Λουτροπηγή	Λεσίλιο
Μακρυνίτσα		Μετέωρα	Μπεζούλα
17. Εύηνος	19. Σπερχειός	Μουζάκι- Παλιομονάστηρο	Περδικάκι
Πλάτανος	Άνω Υπάτη	Πυργέτος	Περτούλιο
Πόρος Ριγανίου	Ζηλευτό	Ρεντίνα	Σαργιάδα
	Τρίλοφο	Σπηλιά	Στάμνα
18. Μόρνος	Τυμφρηστός	Σωτήριο	Χελιδόνα
Αθανάσιος Διάκος		Τύρναβος	
Λιδωρίκι	20. Άμφισσα	Φαρκαδόνα	
Πυρά	Άμφισσα	Χρυσομηλιά	
Συκέα	Ιτέα		

21. Βοιωτ. Κηφισός	22. Καλλίδρομο	25. Αττική	26. Πείρος
Αγία Τριάδα			
Αλίαρτος	Αταλάντη	Αιγάλεω	Αστέρι
Γραβιά	23. Εύβοια	Βύρωνας	Γαστούνη
Δαύλεια	Αλμυροπόταμος	Μαρκόπουλο	Κέντρο Πηνειός
Δρυμαία	Ιστιαία	Περιστέρι	Κουμάνη
Επτάλοφος	Προκόπιον	Χαλάνδρι	Κρυόβρυση
Λειβαδιά	Στενή	Λόφος Νυμφών	Ξηροχώριο
Λίμνη Υλίκης	24. Ασωπός	Τατόι	Πόρτες
Μπράλος	Θίαβη		Σιμόπουλο
Παύλος	28. Αλφειός	29. Οροπέδιο Τρίπολης	31. Ευρώτας
Τιθορέα	Άνω Λούσοι		Άρνα
27. Β. Πελοπόννησος	Βασιλάκιο	Κανδήλα	Βρονταμάς
Άγιος Βασίλειος	Βυτίνα	Νεστάνη	Καρυές
Αίγιο	Δάφνη	Παρθένι	Πέτρινα
Άνω Ακράτα	Καστέλλιο		
Δρίζα	Λυκούρια		32. Πάμισος
Δροσάτο	Περδικονέρι	30. Αργολικός κόλπος	Ανάληψη Μεσσηνία
Καστανιά	Πιάνα		Κεντρικό
Κάτω Ζαχλώρου	Στρέφιο	Δερβενάκια	Κεφαληνός
Νεμέα	Τριπόταμα	Νεοχώριο	Πήδημα
Ψάρι	Τροπέα	Πόρος Τροιζηνίας	Σούλι
33. Κρήτη			
Άγιος Βασίλειος	Αρμένιοι	Ζάκρος	Πέραμα
Άγιος Γεώργιος	Ασώματος	Καλαμαύκα	Στέρνες
Άγιος Θωμάς	Έμπαρος	Κάλυβος	Στρόβλες
Ακούμια	Εμπρόσνερος	Κάνδαρος	
Άνω Αχαρνές	Επισκοπή	Μέσκλα	

5.3 Αναλύσεις ευαισθησίας

Στα πρώτα στάδια της διερεύνησης πραγματοποιήθηκαν δύο αναλύσεις ευαισθησίας. Η πρώτη αφορά την προηγούμενη βροχόπτωση κατά τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας και το πλήθος των ημερών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η δεύτερη διερευνά αν και πως άλλαξαν οι πιθανότητες εμφάνισης των τύπων της εδαφικής υγρασίας κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία βροχής από τον σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στον Λόφο Νυμφών στην Αθήνα, ο οποίος είναι και ο παλαιότερος μετεωρολογικός σταθμός της Ελλάδας.

5.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς τις προηγούμενες μέρες βροχόπτωσης

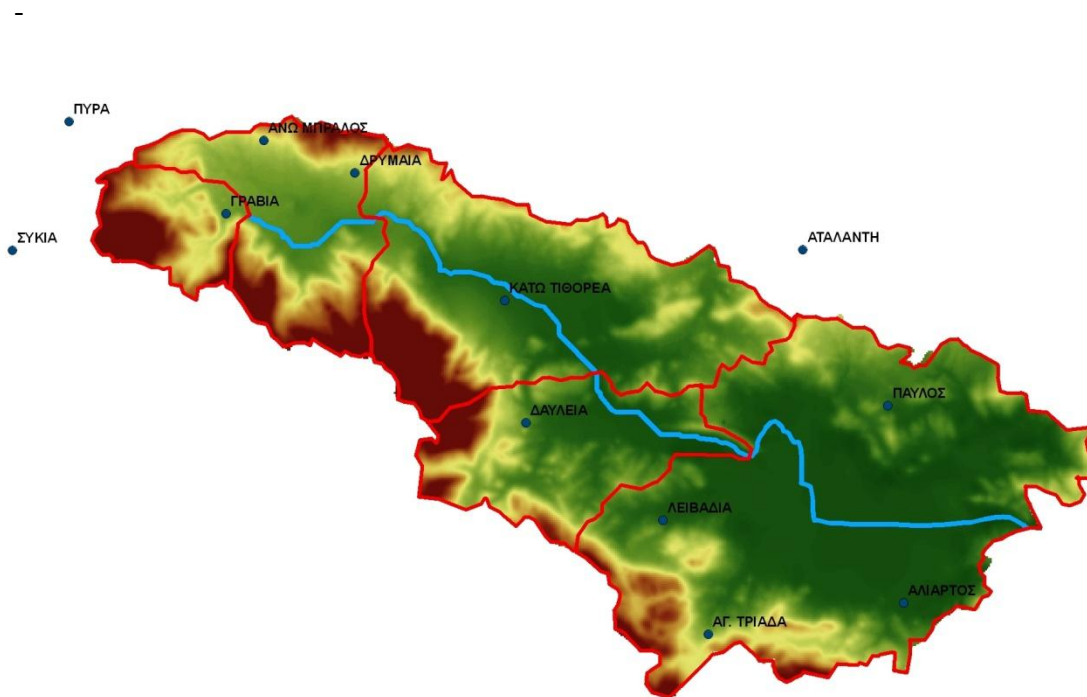
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι πέντε μέρες για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας δεν είναι μονόδρομος ενώ συχνά πιο ακριβές θεωρείται να λαμβάνονται υπόψη περισσότερες μέρες. Για να διαπιστωθεί κατά πόσο η αύξηση των ημερών επηρεάζει τα αποτελέσματα της διερεύνησης, έγινε μια ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ημερών στη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού. Στη λεκάνη διατίθενται δείγματα ημερήσιας βροχόπτωσης σε 13 σταθμούς, από το 1964 έως το 2006 (Εικόνα 5.2). Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού επιλέχθηκε γιατί υπάρχει αρκετά καλή γεωγραφική κάλυψη, ενώ δεν λείπει κανένα στοιχείο από τους εν λόγω σταθμούς. Επίσης μέσα από αυτό το στάδιο επεξεργασιών μελετήθηκε και η δομή του αλγορίθμου που στη συνέχεια κατασκευάστηκε στο MATLAB για την επεξεργασία όλων των δεδομένων.

Για τους δεκατρείς σταθμούς επαναλήφθηκε η διαδικασία υπολογισμού των ημερήσιων και ετήσιων πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Τα όρια βροχής αυξήθηκαν σε κάθε περίπτωση ανάλογα με την αύξηση των ημερών, όπως φαίνεται πριν από κάθε πίνακα αποτελεσμάτων. Από τα αποτελέσματα βγήκαν τα εξής συμπεράσματα.

- Στα ημερήσια ποσοστά δεν παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές αλλάζοντας τις μέρες για τον υπολογισμό της υγρασίας.
- Στα ετήσια ποσοστά στις υγρές περιοχές, δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση τις ορεινές, δεν παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές αλλάζοντας τις μέρες για τον υπολογισμό της υγρασίας

- Στα ετήσια ποσοστά στις πιο ξηρές πεδινές περιοχές η πιθανότητα εμφάνισης του τύπου 3 μηδενίζεται ή γίνεται πολύ μικρή, αφού η βροχή των δεκαπέντε ημερών πρέπει να ξεπερνά τα 100mm, φαινόμενο αρκετά σπάνιο για τα κλιματικά δεδομένα της χώρας μας.

Τα αναλυτικά τα αποτελέσματα από την διερεύνηση στον Βοιωτικό Κηφισό παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.3 έως 5.5.



Εικόνα 5.2 Η λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού και σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευαισθησίας

Πίνακας 5.3 Πιθανοτήτων εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας λαμβάνοντας υπόψη κατά τον υπολογισμό τις πέντε προηγούμενες μέρες

βροχή προηγούμενων 5 ημερών		
AMC	μη ανάπτυξη	ανάπτυξη
1	<13	<35
2	13-38	35-53
3	>38	>53

		Αγία Τριάδα	Αλίαρτος	Αταλάντη	Μπράλος	Δαύλεια	Δρυμαία	Επτάλοφος	Γραβιά	Λειβαδιά	Παύλος	Πυρά	Συκέα	Τιθορέα
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ημερήσια πιθανότητα	AMC 1	79,3	86,6	87,5	81,0	82,1	86,4	80,5	81,4	84,0	88,8	77,3	78,1	85,7
	AMC 2	11,6	9,1	8,4	9,6	10,1	8,9	11,1	11,3	9,7	7,3	12,5	10,2	9,4
	AMC 3	9,1	4,3	4,2	9,4	7,8	4,7	8,3	7,3	6,3	3,9	10,2	11,7	4,8
Πιθανότητα μέγιστου ετήσιου	AMC 1	44,2	58,1	67,4	53,5	46,5	58,1	67,4	53,5	65,1	72,1	51,2	34,9	55,8
	AMC 2	23,3	25,6	27,9	20,9	20,9	18,6	14,0	20,9	23,3	18,6	18,6	27,9	30,2
	AMC 3	32,6	16,3	4,7	25,6	32,6	23,3	18,6	25,6	11,6	9,3	30,2	37,2	14,0
	HM.	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706

Πίνακας 5.4 Πιθανότητες εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας λαμβάνοντας υπόψη κατά τον υπολογισμό τις 10 προηγούμενες μέρες

	βροχή προηγούμενων 10 ημερών	
AMC	μη ανάπτυξη	ανάπτυξη
1	<26	<70
2	26-76	70-106
3	>76	>106

		Αγία Τριάδα	Αλίσαρτος	Αταλάντη	Μπράλος	Δαύλεια	Δρυμαία	Επτάλοφος	Γραβιά	Λειβαδιά	Παύλος	Πυρά	Συκέα	Τιθορέα
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ημερήσια πιθανότητα	AMC 1	77,9	85,7	86,8	78,4	80,9	86,1	79,2	80,2	82,2	88,1	75,1	76,1	85,2
	AMC 2	14,3	11,3	10,9	13,6	13,1	10,2	13,7	14,4	13,2	9,2	15,8	13,1	11,5
	AMC 3	7,8	3,0	2,3	8,0	6,0	3,6	7,0	5,3	4,6	2,6	9,1	10,8	3,3
Πιθανότητα μέγιστου ετήσιου	AMC 1	39,5	67,4	69,8	51,2	51,2	60,5	62,8	51,2	65,1	76,7	48,8	37,2	53,5
	AMC 2	39,5	25,6	30,2	27,9	25,6	30,2	25,6	27,9	27,9	23,3	23,3	25,6	41,9
	AMC 3	20,9	7,0	0,0	20,9	23,3	9,3	11,6	20,9	7,0	0,0	27,9	37,2	4,7
	ΗΜ.	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706

Πίνακας 5.5 Πιθανοτήτων εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας λαμβάνοντας υπόψη κατά τον υπολογισμό τις 15 προηγούμενες μέρες

	βροχή προηγούμενων 15 ημερών	
AMC	μη ανάπτυξη	ανάπτυξη
1	<39	<105
2	39-114	105-159
3	>114	>159

		Αγία Τριάδα	Αλίσαρτος	Αταλάντη	Μπράλος	Δαύλεια	Δρυμαία	Επτάλοφος	Γραβιά	Λειβαδιά	Παύλος	Πυρά	Συκέα	Τιθορέα
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ημερήσια πιθανότητα	AMC 1	76,8	84,9	86,5	78,2	80,1	85,8	78,2	79,2	81,3	87,9	73,6	74,8	85,0
	AMC 2	16,3	13,3	12,0	13,9	15,0	11,2	16,0	16,2	15,2	10,3	18,0	14,5	12,5
	AMC 3	6,9	1,8	1,4	7,8	4,9	2,9	5,7	4,5	3,5	1,7	8,4	10,6	2,4
Πιθανότητα μέγιστου ετήσιου	AMC 1	41,9	65,1	72,1	55,8	51,2	60,5	62,8	48,8	72,1	76,7	46,5	39,5	60,5
	AMC 2	46,5	34,9	25,6	30,2	34,9	37,2	27,9	34,9	25,6	23,3	27,9	27,9	39,5
	AMC 3	11,6	0,0	2,3	14,0	14,0	2,3	9,3	16,3	2,3	0,0	25,6	32,6	0,0
	ΗΜ.	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706	15706

5.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το μέγεθος των χρονοσειρών

Η χρονοσειρά ημερήσιων βροχοπτώσεων του Λόφου Νυμφών είναι η μεγαλύτερη που χρησιμοποιήθηκε στην διερεύνηση. Καλύπτει μια περίοδο 82 ετών (1927-2009), δίνοντας έτσι την δυνατότητα να παρατηρήσουμε κατά πόσο η κατανομή των πιθανοτήτων σε μια περιοχή αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Το δείγμα χωρίστηκε σε τρεις υποπεριόδους (α) 1927-1954, (β) 1955-1981, (γ) 1982-2009. Για κάθε υποπερίοδο πραγματοποιήθηκε η διαδικασία υπολογισμού των πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου υγρασίας για το μέγιστο του έτους (Πίνακας 5.5).

Πίνακας 5.5 Πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας στη δυσμενέστερη βροχή του έτους στον Λόφο Νυμφών για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους

	1927-1954	1955-1981	1982-2009
AMC 1	87,0%	84,6%	95,7%
AMC 2	13,0%	11,5%	4,3%
AMC 3	0,0%	3,8%	0,0%

Από τα αποτελέσματα γίνεται φανερό ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρών συνθηκών. Αυτό μπορεί να μεταφράζεται σε έντονα φαινόμενα μικρής διάρκειας. Σε γενικές γραμμές πάντως μπορούμε να πούμε πως το υδροκλιματικό καθεστώς της περιοχής διαχρονικά μένει σχετικά σταθερά ξηρός.

5.4 Επιλογή περιόδου ανάπτυξης και μεθοδολογία υπολογισμού προηγούμενης κατάστασης υγρασίας

Για την επιλογή περιόδου ανάπτυξης δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία κάποιος κανόνας για τον Ελλαδικό χώρο. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότερες καλλιεργήσιμες εκτάσεις είναι σε αγρανάπαυση από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Φεβρουάριο και δεδομένου ότι αυτοί οι μήνες είναι οι παραδοσιακά κρύοι μήνες στην Ελλάδα, σύμφωνα με όσα διατυπώθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2, θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ως περίοδο μη ανάπτυξης αυτούς τους μήνες, δηλαδή Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο και περίοδο ανάπτυξης τους υπόλοιπους. Αξίζει να σημειωθεί ότι και οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις συμβαίνουν κατά αυτούς τους μήνες, οπότε η θεώρηση ύπαρξης περιόδου μη ανάπτυξης είναι υπέρ της ασφαλείας.

Όσον αφορά την επιλογή τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας δεν θα μπορούσε να γίνει με άλλο τρόπο παρά μόνο με την προηγούμενη βροχόπτωση. Αυτό συμβαίνει διότι ούτε απευθείας μετρήσεις εδαφικής υγρασίας υπάρχουν στην Ελλάδα (παρά μόνο σε ελάχιστες πειραματικές λεκάνες μικρής κλίμακας, που χρησιμοποιούνται σε γεωργικές κυρίως έρευνες), αλλά ούτε μπορεί να υπολογιστεί κατάλληλος δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης για κάθε σταθμό (βλ. υποκεφάλαιο 3.4). Λαμβάνοντας υπόψη αυτά αλλά και τα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας στην λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισού ο υπολογισμός έγινε με βάση την βροχή των προηγούμενων πέντε ημερών.

5.5 Επεξεργασία δεδομένων με χρήση του προγράμματος MATLAB

Η επεξεργασία των δεδομένων ξεκίνησε με την κανονικοποίηση του χρονικού βήματος όλων των χρονοσειρών με την βοήθεια του προγράμματος Υδρογνώμων ώστε να περιοριστούν τα προβλήματα από τυχόν κενά στα δείγματα, αλλά και από την διαφορά στην ώρα συλλογής των δεδομένων (το εικοσιτετράωρο που γίνεται η μέτρηση είναι 00:00 με 00:00 ή 8:00 με 8:00).

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος στο πρόγραμμα MATLAB, με δεδομένα εισόδου τις ημερήσιες χρονοσειρές βροχής των σταθμών ενδιαφέροντος και δεδομένα εξόδου:

- τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας σε ημερήσια βάση, για κάθε σταθμό.
- τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας την μέρα που παρατηρείται η μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους, για κάθε σταθμό.
- τις χρονοσειρές με τα μέγιστα ύψη βροχής κάθε υδρολογικού έτους και την αντίστοιχη προηγούμενη κατάσταση υγρασίας της μέρας που παρατηρήθηκε, για κάθε σταθμό.

Πιο αναλυτικά:

Αρχικά μορφοποιήθηκαν οι κανονικοποιημένες χρονοσειρές στο Excel, ώστε να είναι ευανάγνωστες από το MATLAB. Ύστερα δημιουργήθηκε ένα αρχείο εισόδου *.txt στο οποίο αντιγράφονταν κάθε φορά οι ενδιαφερόμενες χρονοσειρές. Εκτός από αυτό το αρχείο

εισόδου, στα δεδομένα εισόδου του αλγόριθμου συμπεριλαμβάνονται, κάθε φορά, τα όρια βροχής για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, η αρχή και το τέλος της περιόδου ανάπτυξης και ο αριθμός των σταθμών των οποίων τα δεδομένα βροχής είναι στο αρχείο *.txt. Έχοντας αυτά τα δεδομένα ο αλγόριθμος ξεκινά υπολογίζοντας το άθροισμα της βροχής των προηγούμενων πέντε ημερών για κάθε ημέρα, όπου αυτό είναι πραγματοποιήσιμο. Συγκρίνοντας αυτό το άθροισμα με τα όρια του Πίνακα 5.1 βρίσκει την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας. Έχοντας την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας για κάθε ημέρα και το πλήθος του δείγματος βγαίνουν οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου, σε ημερήσια βάση, σε κάθε σταθμό. Το αρχείο *.txt για δύο τυχαίους σταθμούς υπάρχει στο Παράρτημα (Πίνακας 1)

Έπειτα ο αλγόριθμος εντοπίζει την μέγιστη βροχόπτωση για κάθε υδρολογικό έτος, ξεκινώντας από 1^η Οκτωβρίου και την αντίστοιχη προηγούμενη κατάσταση υγρασίας της μέρας που αυτή παρατηρείται. Από αυτές τις ετήσιες πλέον χρονοσειρές υπολογίζει τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας την μέρα του έτους με την δυσμενέστερη βροχή.

Ο αλγόριθμος στο τέλος εμφανίζει τις ημερήσιες πιθανότητες, τις πιθανότητες για τη μέγιστη ετήσια βροχόπτωση και τις καινούριες ετήσιες χρονοσειρές.

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε στο MATLAB δίνεται στο Παράρτημα (Πίνακας 2).

5.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Σε αυτό το στάδιο συγκεντρώθηκαν σε ένα αρχείο excel όλα τα στοιχεία που εντοπίστηκαν για κάθε σταθμό (ονομασία, υψόμετρο, συντεταγμένες), και προστέθηκαν σε αυτά οι πιθανότητες που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του MATLAB, δηλαδή, οι τρεις πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας ημερησίως και στο μέγιστο του υδρολογικού έτους καθώς και το μέγεθος του δείγματος.

Από την πρώτη ανάγνωση των αποτελεσμάτων βγαίνουν κάποια πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Πρώτον διαπιστώνεται ότι στις ετήσιες πιθανότητες οι τιμές που αντιστοιχούν σε μέσες και υγρές συνθήκες είναι αυξημένες, σε σχέση με την προηγούμενη προσέγγιση, που αναφέρεται σε συνεχή χρόνο και συνεπώς λαμβάνει υπόψη περίοδοι με μηδενικές ή πολύ χαμηλές βροχοπτώσεις, κατά τις οποίες ωστόσο είναι εξαιρετικά σπάνιο

να πραγματοποιηθεί πλημμύρα αξιόλογου μεγέθους. Στη συνέχεια κοιτάζοντας τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές των πιθανοτήτων για κάθε κατηγορία γίνεται ξεκάθαρος ο διαχωρισμός Ανατολικής και Δυτικής Ελλάδας. Όλοι οι σταθμοί που παρουσιάζουν πιθανότητα εμφάνισης AMC 3 πάνω από 50% στο μέγιστο ετήσιο ανήκουν στην Δυτική Ελλάδα και κυρίως στην Ήπειρο. Αντίθετα στην Ανατολική και Βόρεια Ελλάδα οι πιθανότητες εμφάνισης ξηρών συνθηκών σπάνια πέφτουν κάτω από το 70%, με εξαίρεση την Εύβοια, η οποία λόγω της ορογραφίας παρουσιάζει πιο συχνά υγρές συνθήκες. Οι μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης ξηρών συνθηκών εδαφικής υγρασίας παρουσιάζονται στην Αττική και την Κεντρική Μακεδονία, δηλαδή στις περιοχές που συγκεντρώνουν σχεδόν το μισό πληθυσμό της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, στο Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης παρατηρείται η μέγιστη ημερήσια πιθανότητα εμφάνισης AMC 1 με 93,5%, ενώ ο Λόφος Νυμφών, στο κέντρο της Αθήνας, είναι πρώτος στην πιθανότητα εμφάνισης AMC 1 στην δυσμενέστερη βροχή του έτους, με 88,9%. Η πιθανότητα εμφάνισης υγρών συνθηκών, τόσο σε ημερήσια βάση όσο και στο μέγιστο ετήσιο, είναι κάτω από 2%, ενώ σε όλους τους σταθμούς του λεκανοπεδίου η ίδια πιθανότητα κυμαίνεται από 0 έως 5%.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα δίνονται στο Παράρτημα (Πίνακας 2).

Αυτό το αρχείο περιέχει όλη την πληροφορία που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή των συμπερασμάτων και την κατασκευή των χαρτών.

Κεφάλαιο 6: Χωρικές αναλύσεις σε περιβάλλον Σ.Γ.Π.

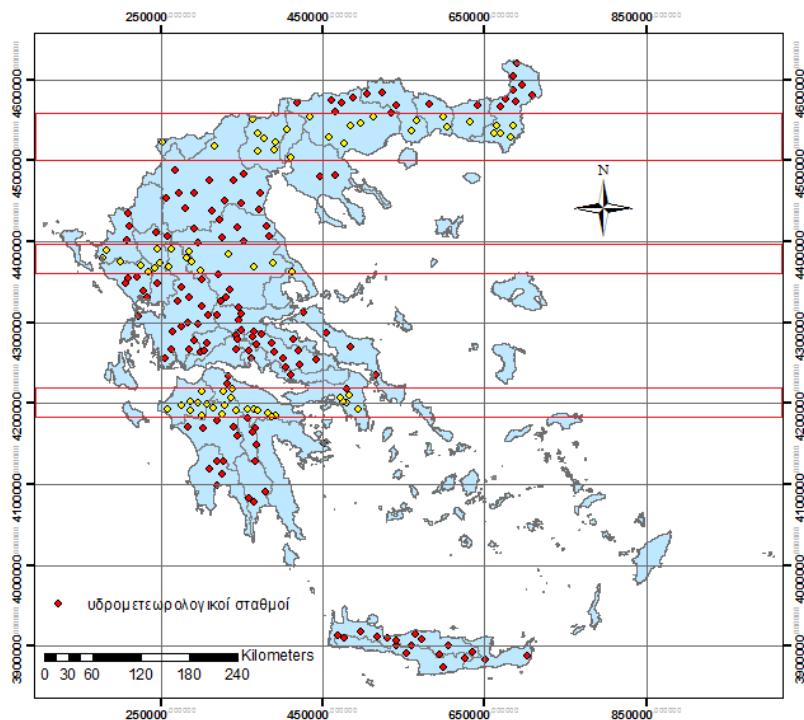
6.1 Επίδραση γεωγραφικού μήκους και υψομέτρου

Πριν από την κατάστρωση των χαρτών θεωρήθηκε χρήσιμο να μελετηθεί πιο διεξοδικά η επίδραση του γεωγραφικού μήκους και του υψομέτρου στην εμφάνιση του κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας κατά την μέγιστη βροχόπτωση του έτους, αφού η δυσμενέστερη κατάσταση είναι κρίσιμη κατά τον σχεδιασμό.

6.1.1 Επίδραση γεωγραφικού μήκους

Για να μελετηθεί η επίδραση του γεωγραφικού μήκους επιλέχθηκαν τρεις ζώνες με παρόμοιο γεωγραφικό πλάτος: (α) Βόρεια Ελλάδα (Δυτική Μακεδονία – Θράκη), (β) Κεντρική Ελλάδα (Ηπειρος – Θεσσαλία), και (γ) Νότια ηπειρωτική Ελλάδα (Πελοπόννησος - Αττική)

Για τις τρεις ζώνες συγκεντρώθηκαν οι σταθμοί που βρίσκονται μέσα στα γεωγραφικά τους όρια και ταξινομήθηκαν με βάση τον προσανατολισμό τους από τον πιο δυτικό στον πιο ανατολικό. Καταστρώθηκαν τα τρία διαγράμματα για κάθε ομάδα σταθμών.

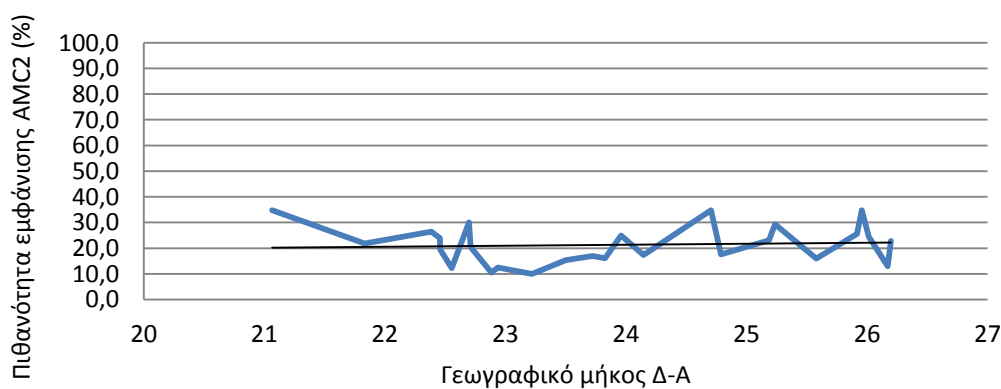


Εικόνα 6.1 Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν για την επίδραση του γεωγραφικού μήκους.

Βόρεια Ελλάδα



Διάγραμμα 6.1: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος , στην Βόρεια Ελλάδα.



Διάγραμμα 6.2: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος , στην Βόρεια Ελλάδα.

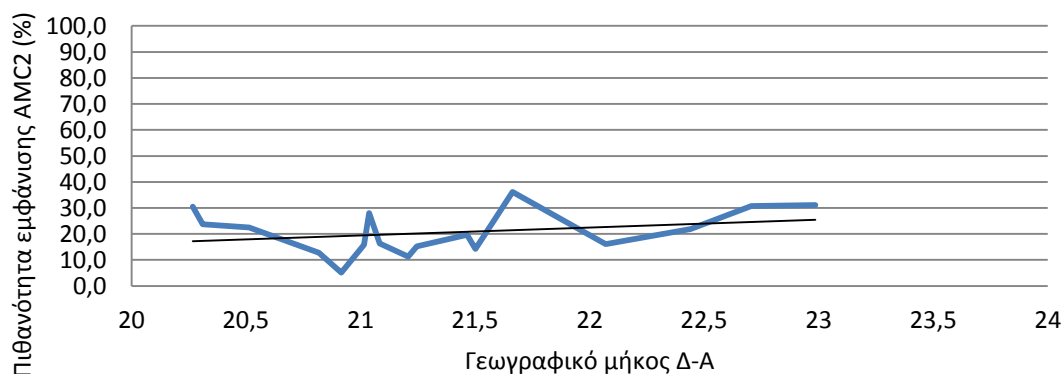


Διάγραμμα 6.3: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος , στην Βόρεια Ελλάδα.

Κεντρική Ελλάδα



Διάγραμμα 6.4: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στην κεντρική Ελλάδα.

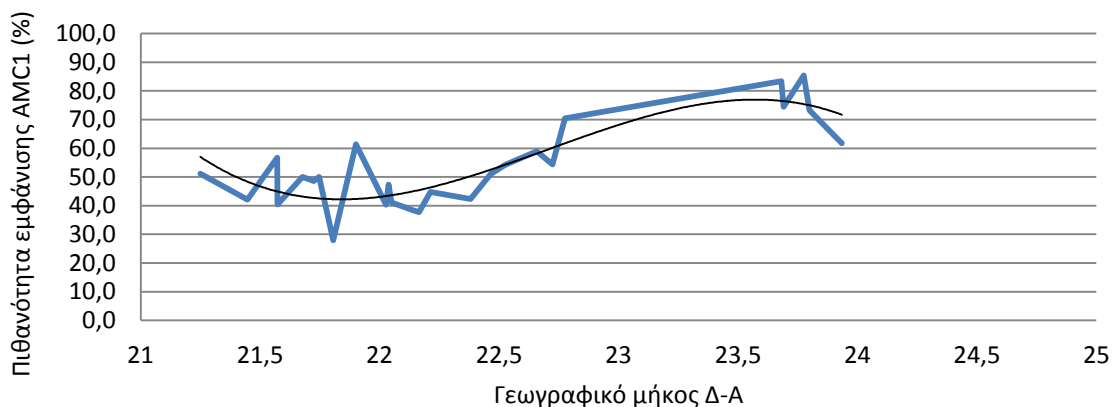


Διάγραμμα 6.5: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στην κεντρική Ελλάδα.

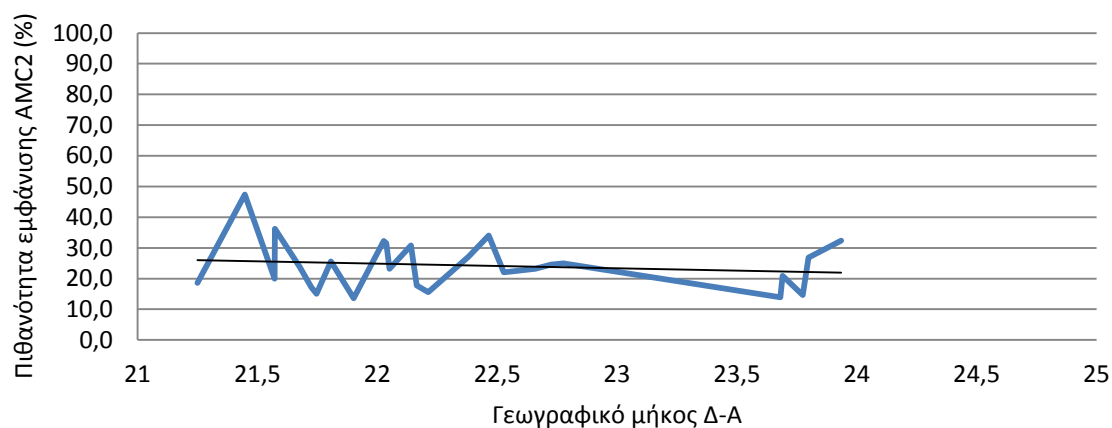


Διάγραμμα 6.6: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στην κεντρική Ελλάδα.

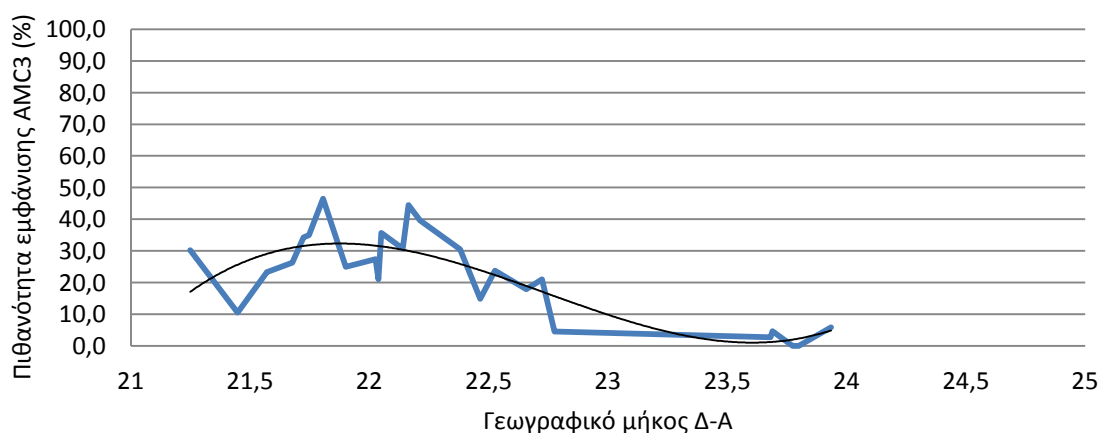
Νότια Ελλάδα



Διάγραμμα 6.7: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στη Νότια Ελλάδα.



Διάγραμμα 6.8: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στη Νότια Ελλάδα.

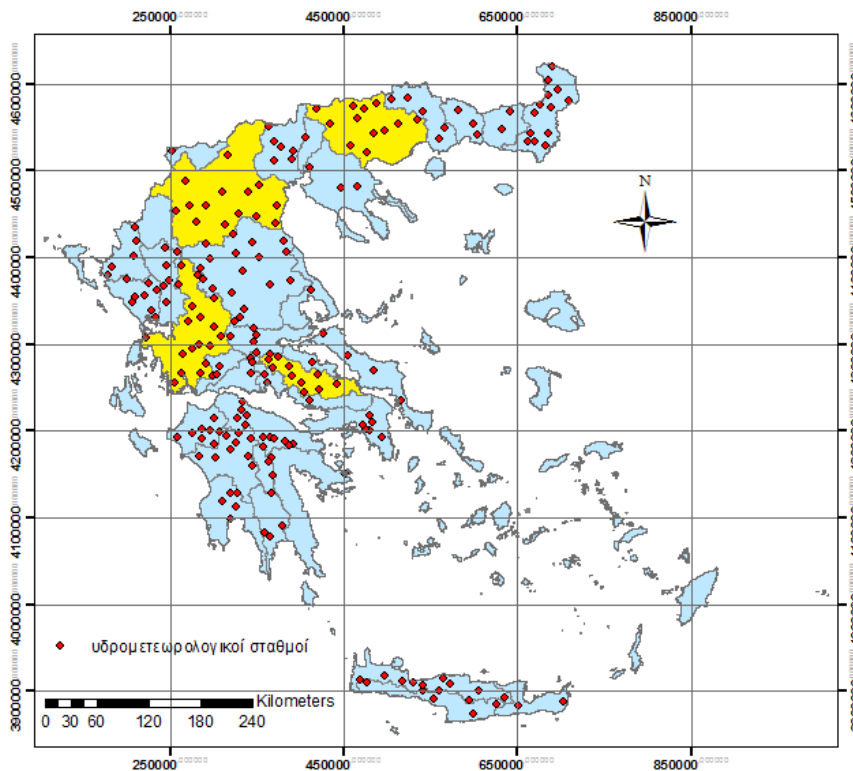


Διάγραμμα 6.9: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στη Νότια Ελλάδα.

Από την κατάστρωση και μελέτη αυτών των διαγραμμάτων διαπιστώνεται ότι για την Βόρεια Ελλάδα η επίδραση του γεωγραφικού μήκους δεν παρουσιάζει αξιόλογα αποτελέσματα, ενώ παρατηρούνται γενικά αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης AMC 3 σε σχέση με την υπόλοιπη Ελλάδα, ίσως ως αποτέλεσμα της αλλαγής του γεωγραφικού πλάτους. Για την κεντρική και νότια, όμως, Ελλάδα έγινε φανερή η επίδραση του ορεινού όγκου της Πίνδου. Οι πιθανότητες του AMC 1 και AMC 3 είναι αντιστρόφως ανάλογες στην δυτική και την ανατολική Ελλάδα με αυξημένες την AMC 1 στην ανατολική και την AMC 3 στην δυτική. Τέλος ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η πιθανότητα AMC2 με την οποία γίνεται ο σχεδιασμός παρουσιάζει σε όλη την Ελλάδα μια τιμή γύρω στο $20 \pm 10\%$.

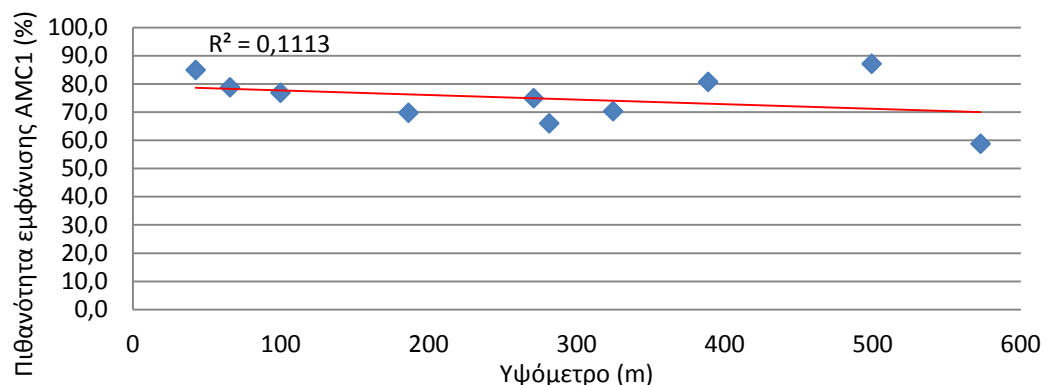
6.2 Επίδραση υψομέτρου

Για να μελετηθεί η επίδραση του υψομέτρου επιλέχθηκαν τέσσερις λεκάνες απορροής με έντονη υψομετρική διαβάθμιση (Στρυμόνα, Αλιάκμονα, Αχελώου και Βοιωτικού Κηφισού). Για τις τέσσερις λεκάνες απορροής συγκεντρώθηκαν οι σταθμοί που βρίσκονται μέσα στα γεωγραφικά τους όρια και ταξινομήθηκαν με βάση το υψόμετρό τους. Καταστρώθηκαν τα τρία διαγράμματα για κάθε μια ομάδα σταθμών.

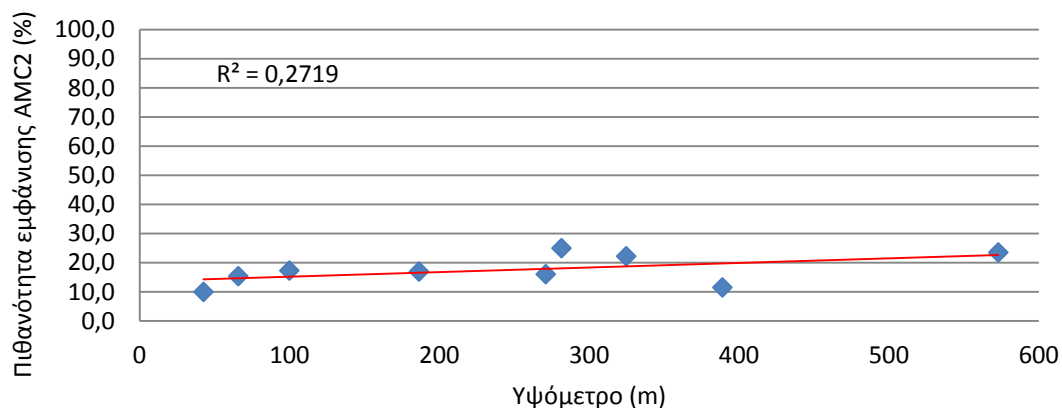


Εικόνα 6.2 Σταθμοί που επιλέχθηκαν για την επίδραση του υψομέτρου

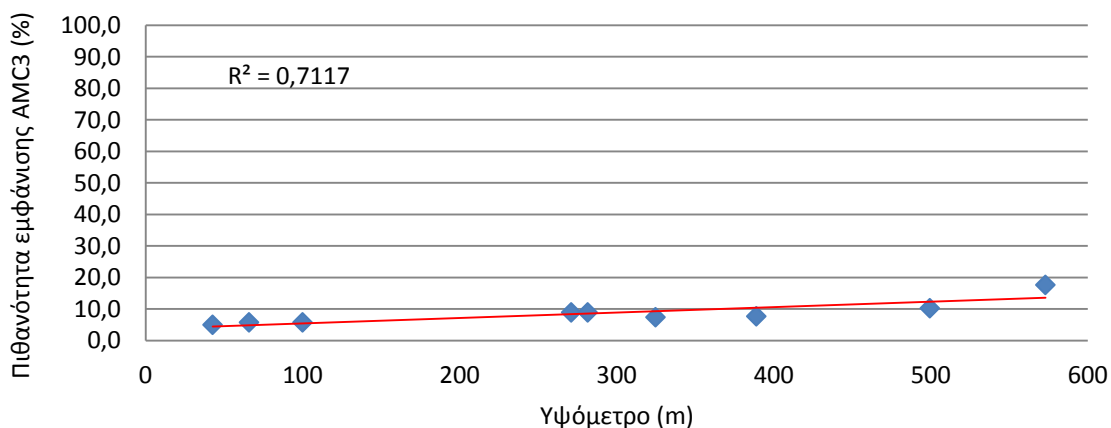
Λεκάνη απορροής Στρυμόνα



Διάγραμμα 6.10: Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα.

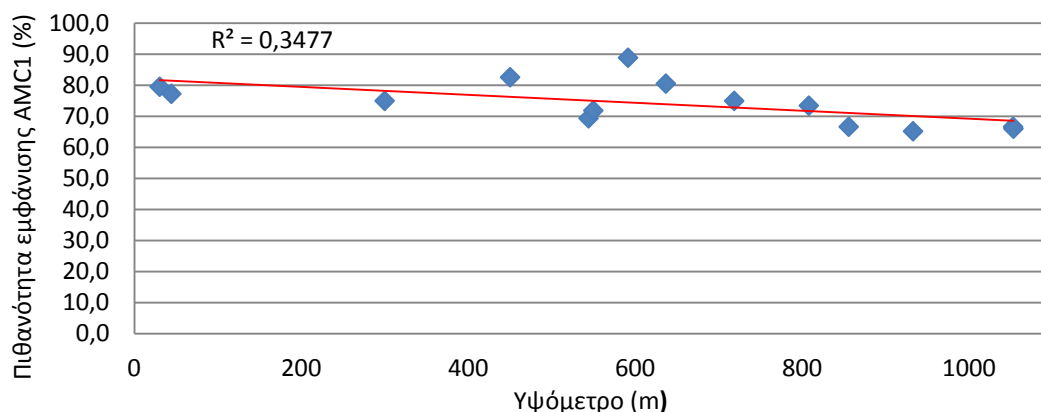


Διάγραμμα 6.11. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα.

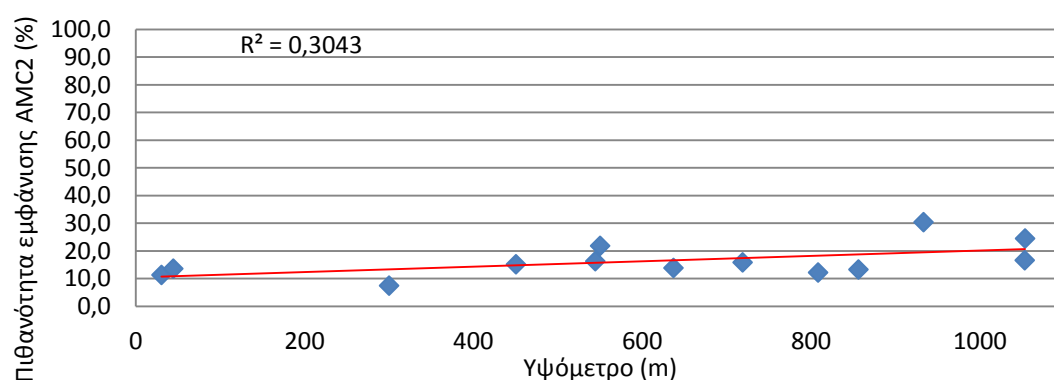


Διάγραμμα 6.12. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα.

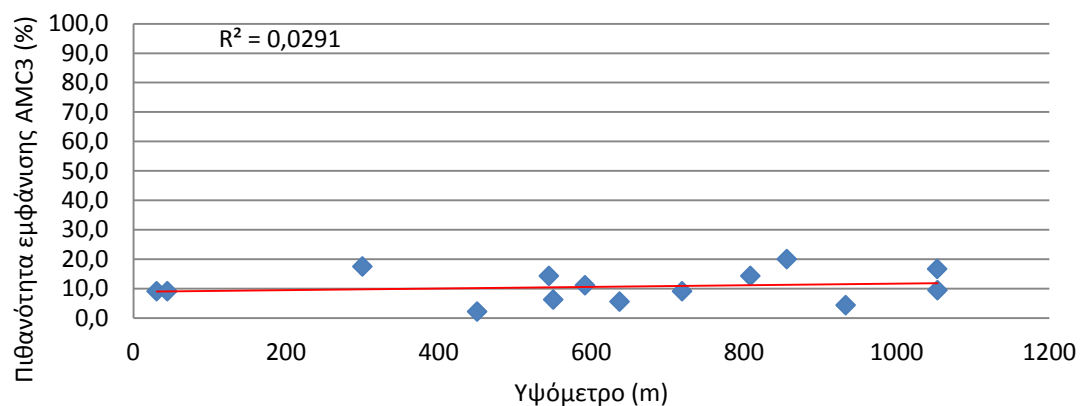
Λεκάνη απορροής Αλιάκμονα



Διάγραμμα 6.13. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα.

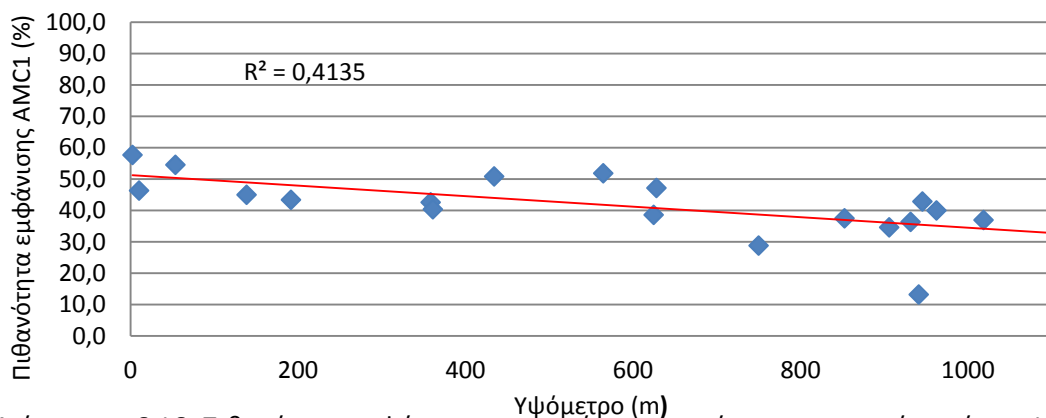


Διάγραμμα 6.14. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα

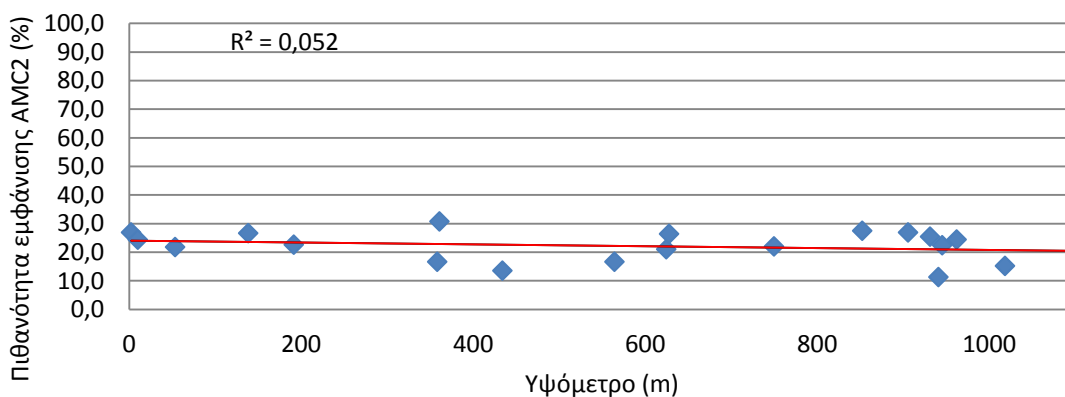


Διάγραμμα 6.15. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αλιάκμονα

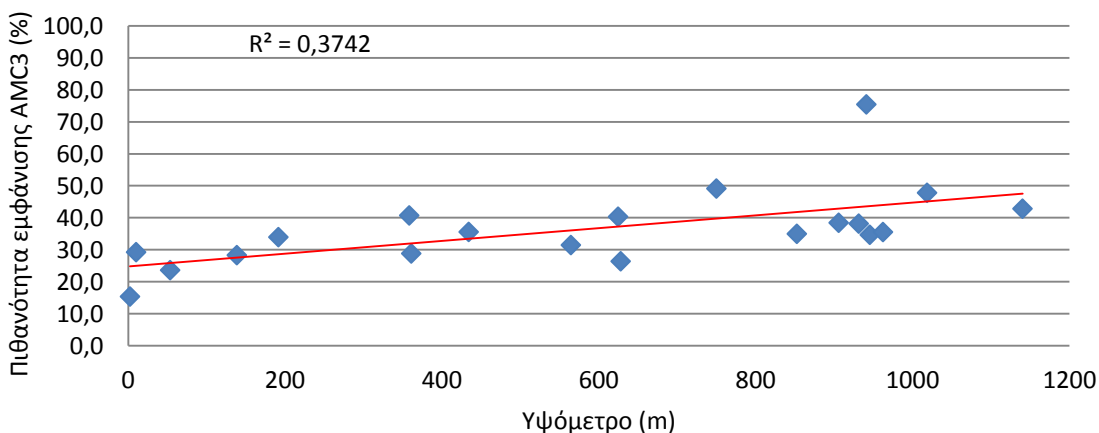
Λεκάνη απορροής Αχελώου



Διάγραμμα 6.16. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αχελώου.

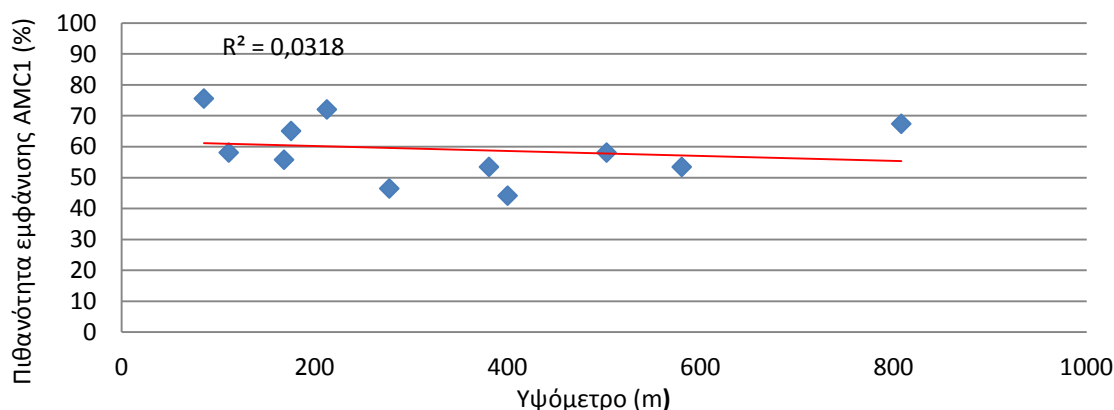


Διάγραμμα 6.17. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αχελώου.

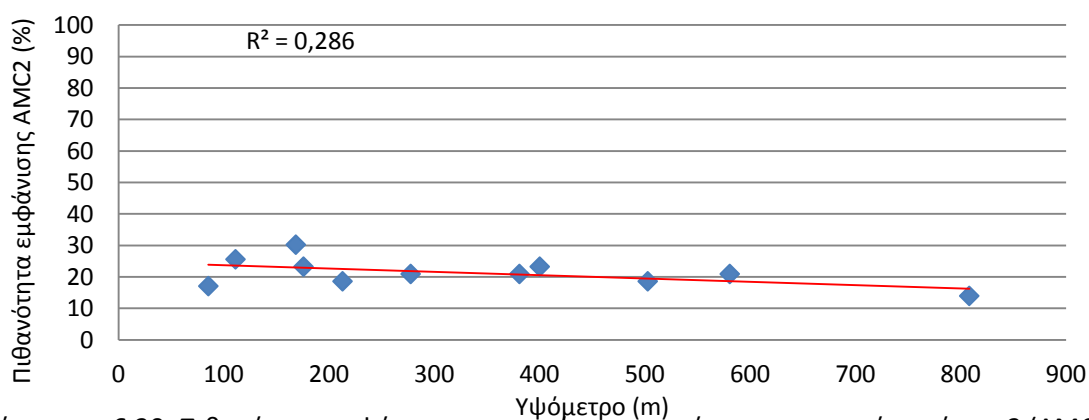


Διάγραμμα 6.18. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Αχελώου.

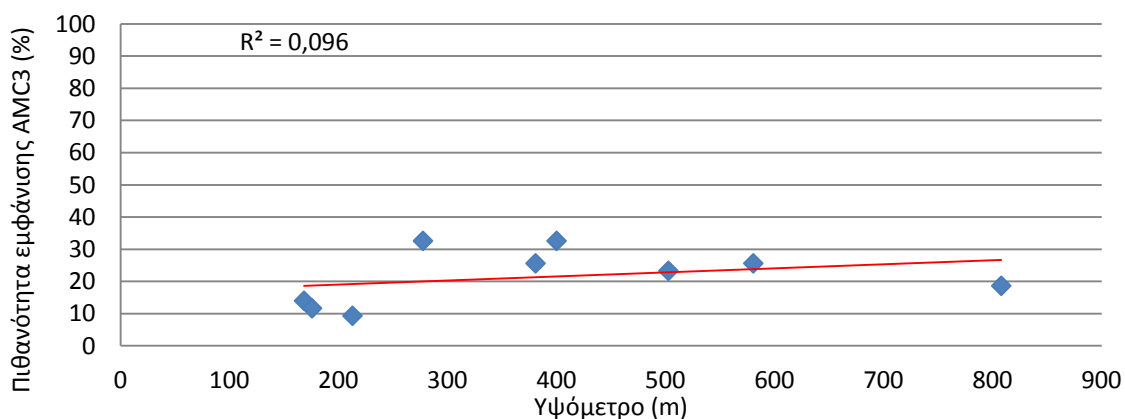
Λεκάνη απορροής Βοιωτικού Κηφισού



Διάγραμμα 6.19. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 1 (AMC1) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Βοιωτικού Κηφισού



Διάγραμμα 6.20. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 2 (AMC2) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Βοιωτικού Κηφισού



Διάγραμμα 6.21. Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Βοιωτικού Κηφισού

Από την κατάσταση και μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων διαπιστώνεται ότι, γενικά, το υψόμετρο δεν επιδρά στην εμφάνιση διαφορετικού τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τόσο έντονα όσο το γεωγραφικό μήκος. Παρόλα αυτά, σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχει μια εμφανής καθοδική τάση στην πιθανότητα εμφάνισης AMC1 και αντίστοιχα ανοδική τάση της AMC3 όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Επίσης και σε αυτές τις περιπτώσεις η πιθανότητα εμφάνισης της AMC2 είναι γύρω στο 15 - 20% με αυξητική τάση όσο αυξάνεται το υψόμετρο.

6.2 Δημιουργία χαρτών χωρικής κατανομής πιθανοτήτων υγρασίας

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων αλλά και για την εύκολη χρήση τους στο μέλλον δημιουργήθηκαν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν σε κάθε μέρος της Ελληνικής επικράτειας την πιθανότητα εμφάνισης κάθε ενός τύπου εδαφικής υγρασίας τόσο σε καθημερινή βάση όσο και κατά την εκδήλωση της μεγαλύτερης βροχής του υδρολογικού έτους.

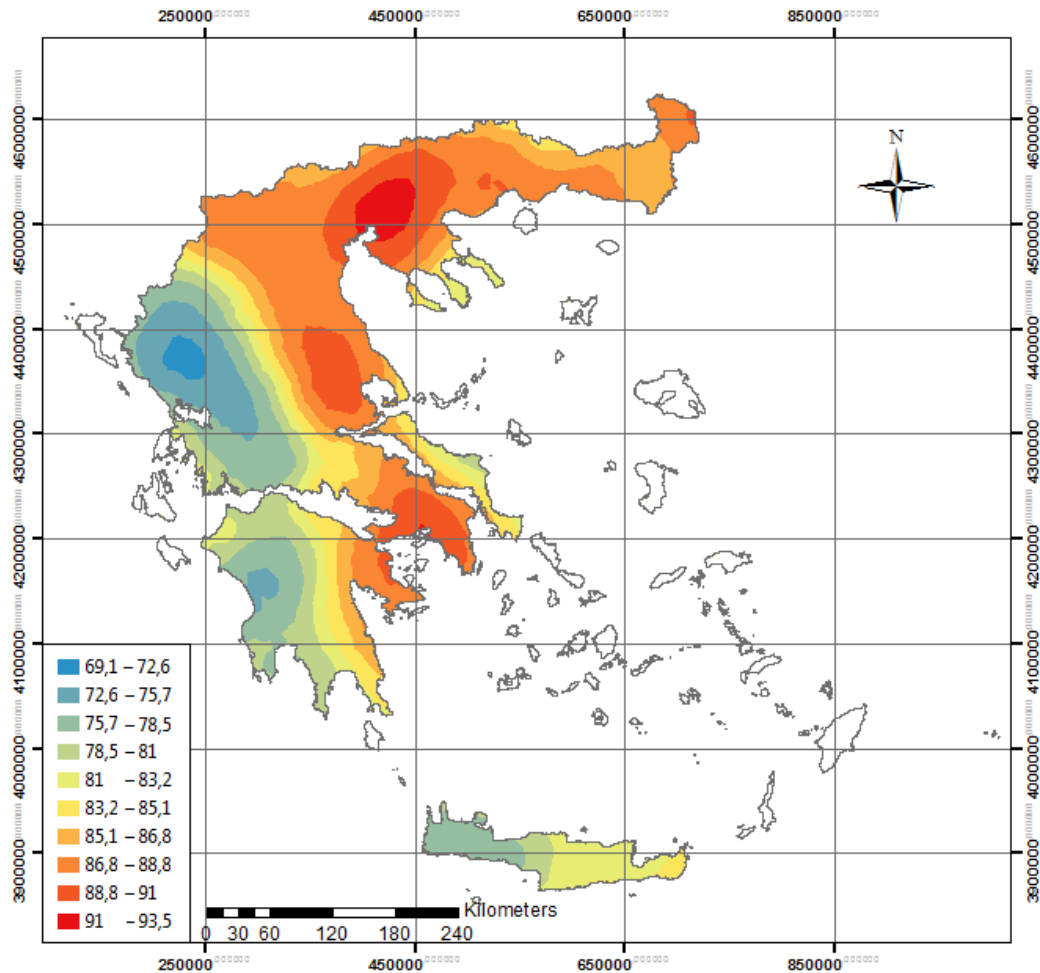
Ο σχεδιασμός των χαρτών έγινε με την χρήση του προγράμματος Arc-GIS. Στα πλαίσια της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η δίμηνη δοκιμαστική δωρεάν έκδοση του προγράμματος. Τα στοιχεία όλων των σταθμών όπως αυτά εμφανίζονται στον Πίνακα 2 του παραρτήματος περάστηκαν σε κατάλληλο αρχείο. Στην συνέχεια για κάθε μια από τις έξι κατηγορίες πιθανοτήτων, κάνοντας παρεμβολή με την μέθοδο Kriging, κατασκευάστηκαν οι χάρτες που παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Να σημειωθεί ότι σε όλους τους χάρτες ο χρωματισμός παραπέμπει σε ξηρές (θερμά χρώματα) και υγρές συνθήκες (ψυχρά χρώματα) και όχι σε αύξηση της πιθανότητας. Δηλαδή το έντονο μπλε χρώμα στον χάρτη ημερήσιας πιθανότητας εμφάνισης AMC 1 θα αντιστοιχεί σε μια χαμηλή πιθανότητα ενώ στους χάρτες AMC 2 και AMC 3 μια υψηλή.

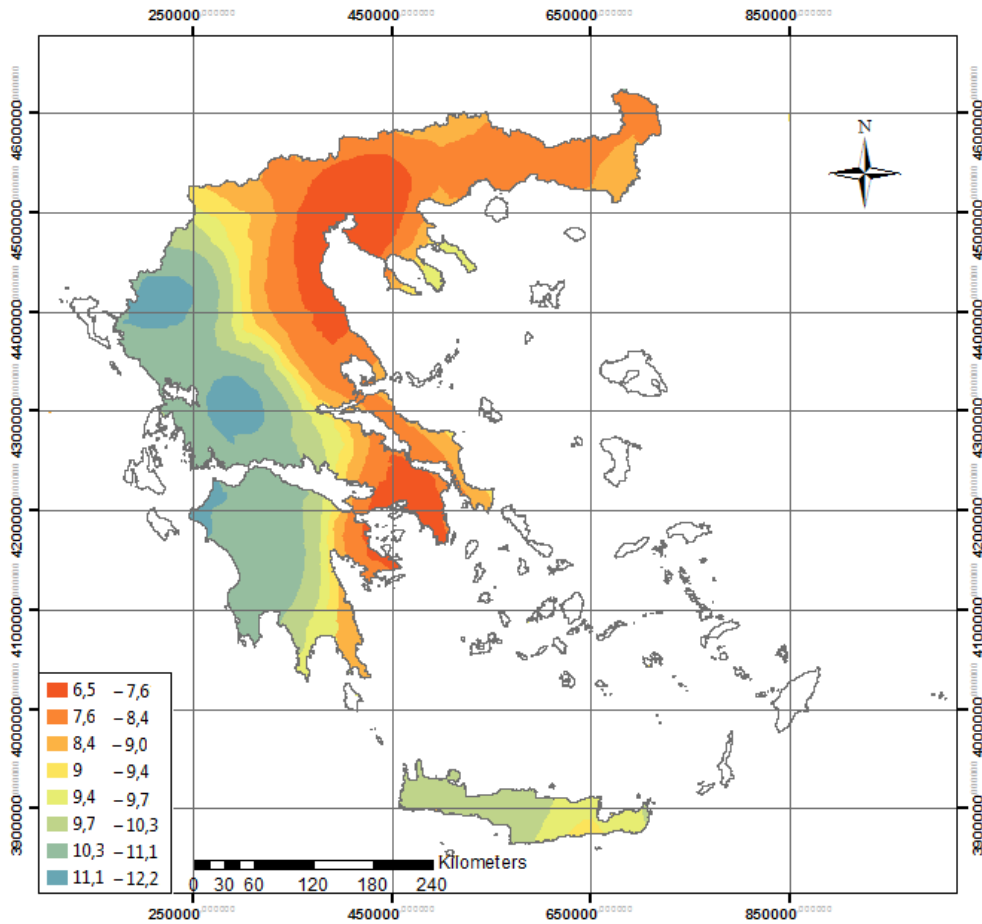
6.2.1 Χάρτες ημερήσιας πιθανότητας εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας

Όπως ήταν αναμενόμενο στις ημερήσιες πιθανότητες εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 1 (Εικόνα 6.1), οι τιμές είναι σε όλη την Ελλάδα πολύ υψηλές (μεγαλύτερες από 70%). Αυτό συμβαίνει διότι στον υπολογισμό συμμετέχουν και οι μέρες με ελάχιστη η καθόλου βροχόπτωση, που αποτελούν ένα πολύ μεγάλο κομμάτι του δείγματος. Παρόλο που οι ημερήσιες πιθανότητες δεν χρησιμεύουν στον σχεδιασμό είναι ενδεικτικές των ξηρών

συνθηκών που επικρατούν στην χώρα. Επίσης γίνεται αμέσως εμφανής η επίδραση του ορεινού όγκου της οροσειράς της Πίνδου και της συνέχειάς της στην Πελοπόννησο ακόμα και στην Κρήτη.

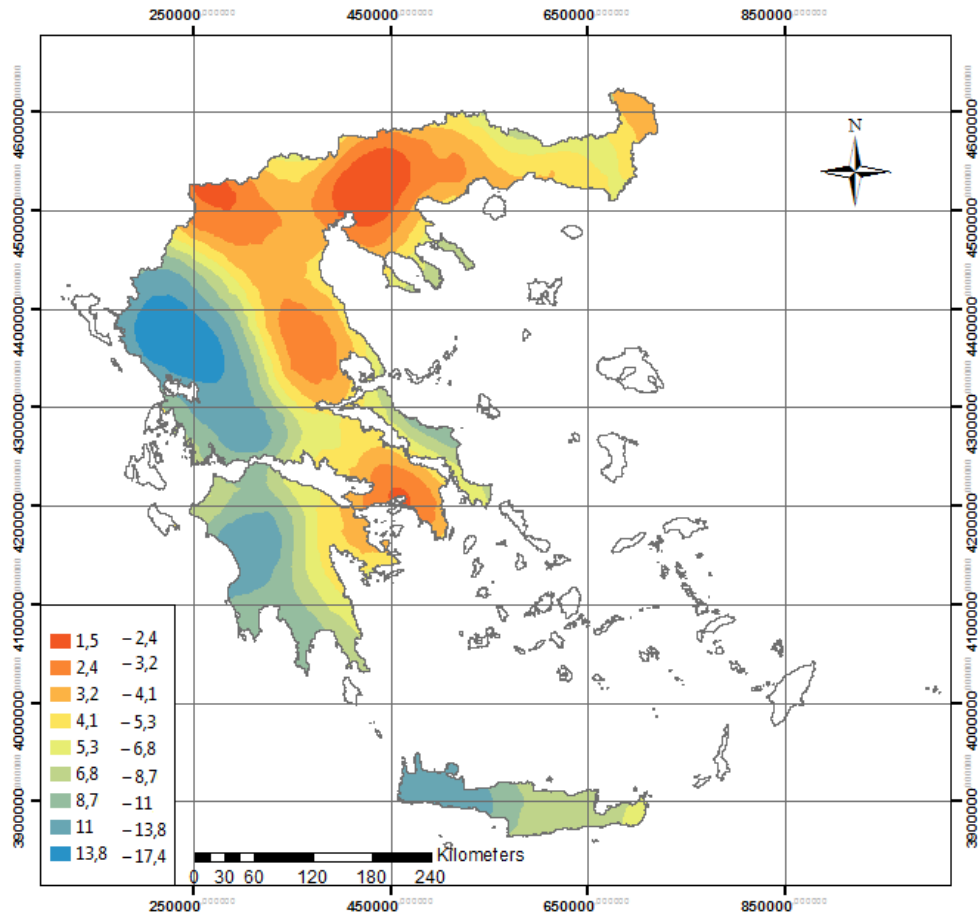


Εικόνα 6.1 Ημερήσια πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 1 (AMC1)



Εικόνα 6.2 Ημερήσια πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 2 (AMC 2)

Η ίδια εικόνα όσον αφορά τον διαχωρισμό Ανατολικής και Δυτικής Ελλάδας συνεχίζεται και στον χάρτη πιθανότητας εμφάνισης συνθηκών υγρασίας τύπου 2 (Εικόνα 6.2), με αντιστραμμένη την χρωματική κλίμακα αυτή την φορά, και με πολύ μικρές πιθανότητες σε όλη την Ελλάδα. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η πιθανότητα εμφάνισης τύπου 2 έχει πολύ μικρό εύρος με μια μέση τιμή γύρω στο 9%.



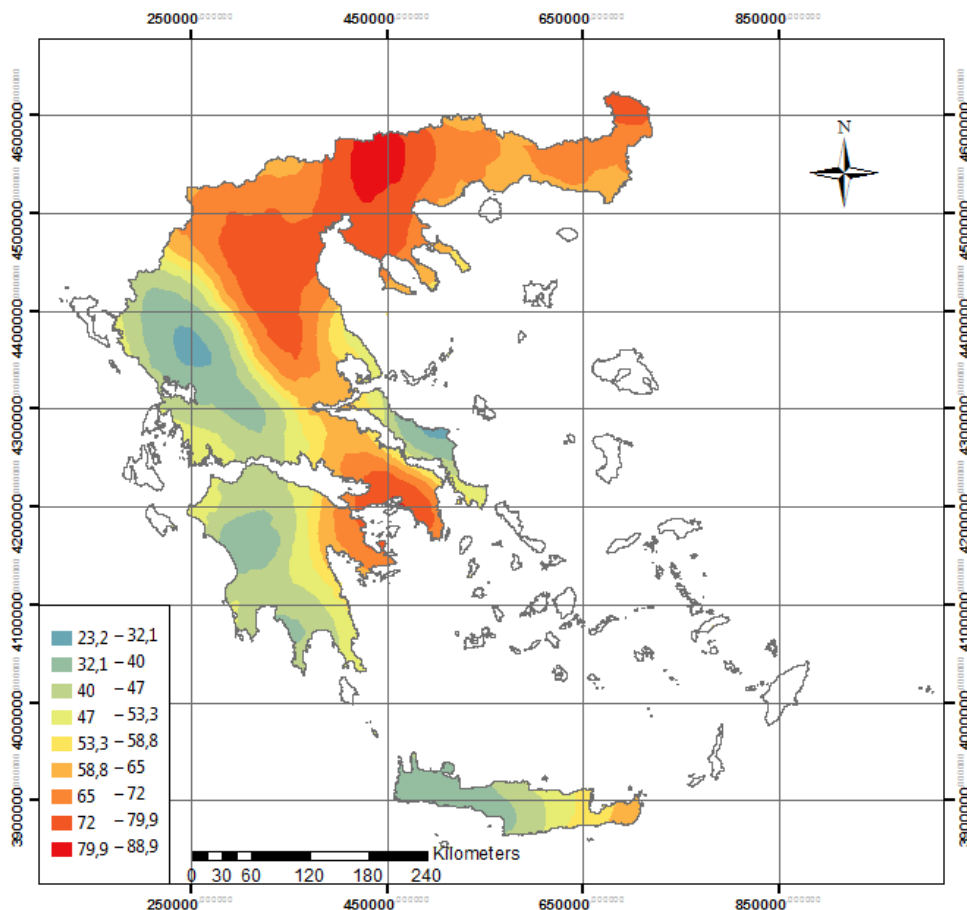
Εικόνα 6.3 Ημερήσια πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 3 (AMC 3)

Οι ημερήσιες πιθανότητες εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 3 (Εικόνα 6.3) είναι χαμηλές σε όλη την χώρα με εξαίρεση τα ορεινά της Ηπείρου. Έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι δύο πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές της Ελλάδας Αττική και Θεσσαλονίκη ανήκουν στις ξηρότερες περιοχές.

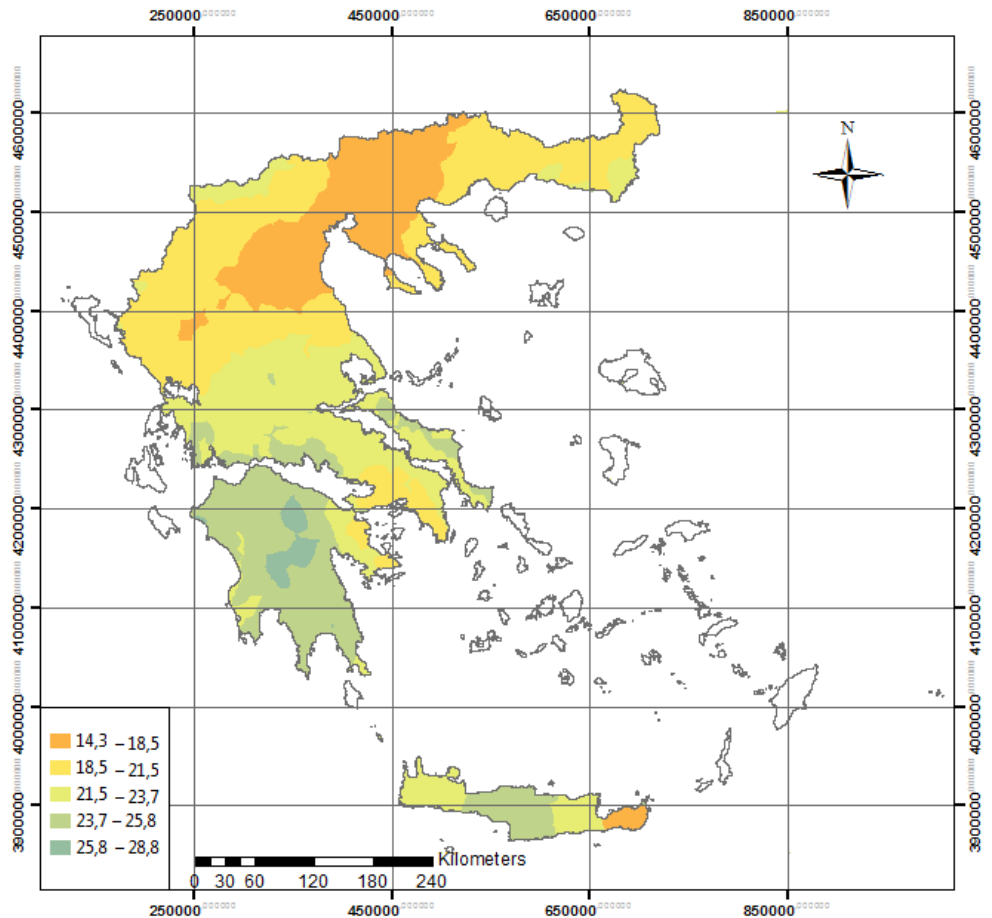
6.2.2 Χάρτες πιθανότητας εμφάνισης τύπων εδαφικής υγρασίας στη μέγιστη βροχή του υδρολογικού έτους

Οι χάρτες αυτοί αποτυπώνουν τις πιθανότητες εμφάνισης των τύπων εδαφικής υγρασίας κατά την δυσμενέρη βροχή του έτους. Αυτές οι πιθανότητες για κάθε περιοχή της Ελλάδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον υδρολογικό σχεδιασμό.

Όπως είναι λογικό, η κατανομή των πιθανοτήτων σε αυτούς τους χάρτες είναι πιο εξομαλυμένη αφού εδώ το δείγμα αποτελούν μόνο οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις κάθε έτους. Παρόλα αυτά οι συνθήκες τύπου 1 (Εικόνα 6.4) έχουν πολύ υψηλά ποσοστά στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, ανατολικά του ορεινού άξονα της Πίνδου.

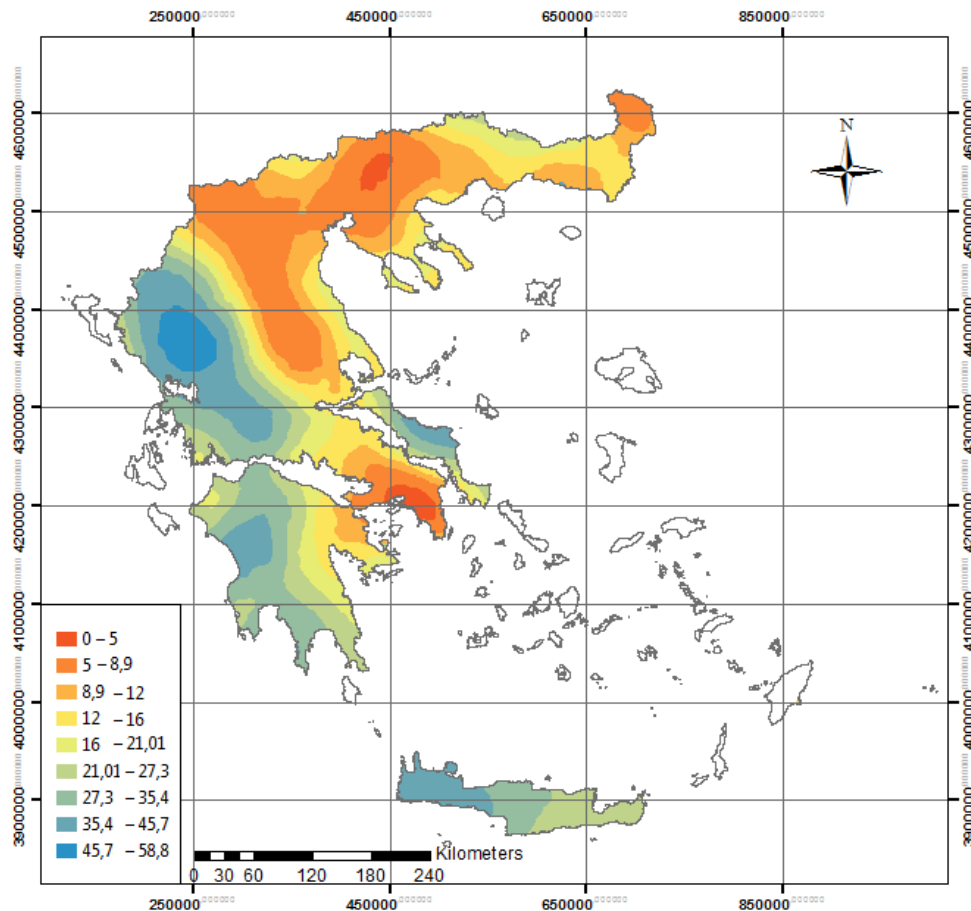


Εικόνα 6.4 Πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 1 (AMC 1) την μέρα με την μεγαλύτερη βροχή του υδρολογικού έτους



Εικόνα 6.5 Πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 2 (AMC 2) την μέρα με την μεγαλύτερη βροχή του υδρολογικού έτους

Στον χάρτη για την πιθανότητα εμφάνισης συνθηκών τύπου 2 (Εικόνα 6.5) παρατηρείται ότι δεν έχει καμία συσχέτιση ούτε με το υψόμετρο, ούτε με το γεωγραφικό μήκος. Αυτή η διαπίστωση είχε γίνει ήδη από το υποκεφάλαιο 6.1. Οι μέσες συνθήκες υγρασίας έχουν περιορισμένο εύρος πιθανότητας εμφάνισης στην δυσμενέστερη βροχή του έτους, με ένα μέσο όρο γύρω στο 22%.



Εικόνα 6.6 Πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 3 (AMC 3) την μέρα με την μεγαλύτερη βροχή του υδρολογικού έτους

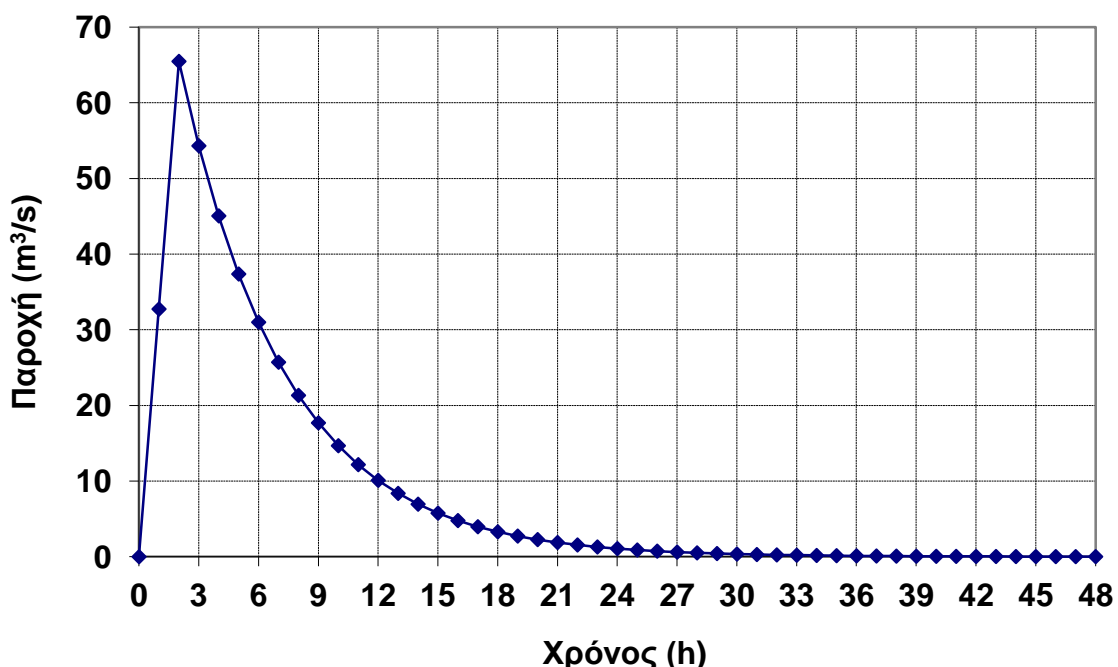
Στον τελευταίο χάρτη με την πιθανότητα εμφάνισης συνθηκών εδαφικής υγρασίας τύπου 3 (Εικόνα 6.6), φαίνεται ότι οι πιθανότητες για εμφάνιση υγρών συνθηκών είναι πολύ μικρές στο μεγαλύτερο μέρος της Ελληνικής επικράτειας με εξαίρεση τα ορεινά της Ηπείρου. Γίνεται όμως και εμφανές, πως η επίδραση του ορεινού άξονα της Πίνδου σχεδόν μηδενίζει τις πιθανότητες εμφάνισης AMC 3 στην Ανατολική Ελλάδα.

Έχει και πάλι ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι περιοχές που εμφανίζουν μηδενική πιθανότητα είναι η Κεντρική Μακεδονία και η Αττική. Δηλαδή η δυσμενέστερη κατάσταση, κατά την οποία μια καταιγίδα συμβαίνει με υγρές εδαφικές συνθήκες, είναι πολύ μικρή στις περιοχές που συγκεντρώνουν από πολύ παλιά μεγάλους πληθυσμούς.

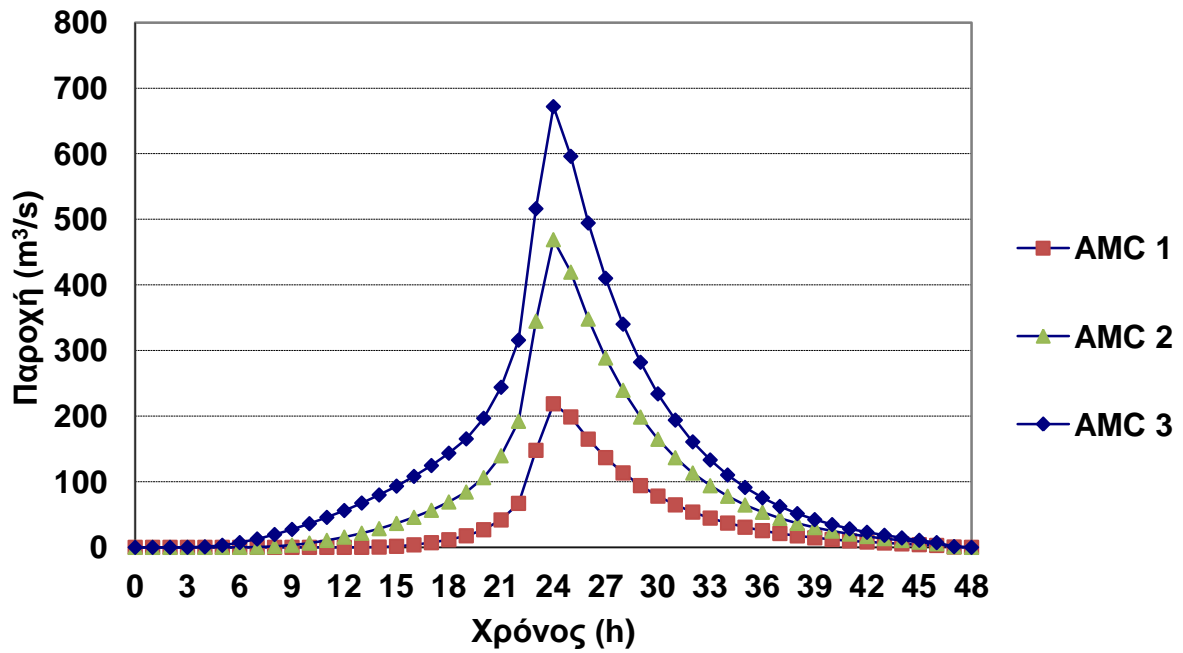
Κεφάλαιο 7: Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εφαρμογή της πιθανοτικής προσέγγισης των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στον υδρολογικό σχεδιασμό. Η εφαρμογή γίνεται σε δύο υποθετικές λεκάνες με ίδια γεωγραφικά χαρακτηριστικά: (α) έκταση $A = 150 \text{ km}^2$, (β) μήκος κύριου υδατορεύματος $L = 30 \text{ km}$, (γ) διαφορά μέσου υψομέτρου από το ελάχιστο $dh = 600 \text{ m}$. Συνεπώς, ο χρόνος συγκέντρωσης t_c κατά Giandotti είναι και στις δύο περιπτώσεις ίσος με 4,8 ώρες. Οι δύο λεκάνες διαφοροποιούνται μόνο ως προς τον αριθμό καμπύλης αποροής. Η πρώτη λεκάνη έχει $CN = 50$ που είναι μια τυπική τιμή για υψηλής περατότητας λεκάνες αποροής στην Ελλάδα, κυρίως την Ανατολική, ενώ η δεύτερη έχει $CN = 75$ που αντιστοιχεί σε λεκάνες της Δυτικής κυρίως Ελλάδας, που έχουν πλούσιο επιφανειακό υδατικό δυναμικό λόγω της κυριαρχίας των αδιαπέρατων σχηματισμών (π.χ. φλύσχης).

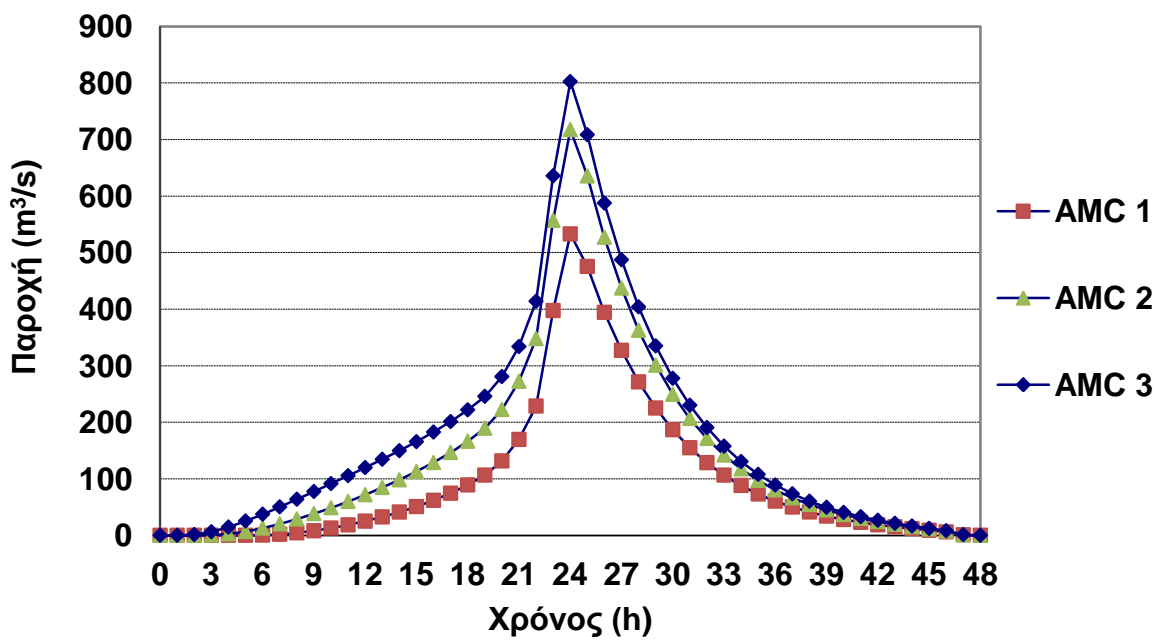
Για τις δύο λεκάνες έγινε ο υπολογισμός παροχή αιχμής και ο όγκος πλημμύρας με τη συνδυαστική μέθοδο SCS-CN, θεωρώντας ποσοστό αρχικών απωλειών 10%, και συνθετικού ΜΥ, θεωρώντας τα υετογραφήματα σχεδιασμού των Διαγραμμάτων 7.1 και 7.2, για διάρκεια βροχής 24 ώρες, και το συνθετικό ΜΥ του Σχήματος 7.1.



Σχήμα 7.1 : Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στην εφαρμογή.



Διάγραμμα 7.1 : Υετογραφήματα σχεδιασμού για την υποθετική λεκάνη με CN=50 για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας.



Διάγραμμα 7.2 : Υετογραφήματα σχεδιασμού για την υποθετική λεκάνη με CN=75 για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας.

Το υετογράφημα σχεδιασμού καταρτίστηκε με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης, με βάση μια υποθετική όμβρια καμπύλη που δίνεται από τη γενικευμένη σχέση:

$$i(T, d) = \lambda (T^{\kappa} - \psi) / (1 + d/\theta)^{\eta} \quad (7.1)$$

Στην παραπάνω σχέση, δόθηκαν οι ακόλουθες τιμές παραμέτρων: $\lambda = 400$, $\kappa = 0.15$, $\psi = 0.50$, $\theta = 0.050$, $\eta = 0.65$. Οι τιμές αυτές είναι εύλογες για το κλιματικό καθεστώς της Ελλάδας. Για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη, προέκυψαν οι τιμές εντάσεων και αντίστοιχων υψών βροχής του Πίνακα 7.1, που απομειώθηκαν για κάθε χρονική κλίμακα, με εφαρμογή κατάλληλου συντελεστή επιφανειακής αναγωγής, ARF.

Το συνθετικό ΜΥ περιλαμβάνει έναν γραμμικό ανοδικό κλάδο και έναν μη γραμμικό καθοδικό κλάδο, που δίνεται από μια σχέση εκθετικής μορφής (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014). Περιλαμβάνει δύο παραμέτρους, β και γ , που αναφέρονται στον χρόνο ανόδου και τον χρόνο βάσης, αντίστοιχα. Για τις δύο, λεκάνες θεωρήθηκαν κοινές τιμές παραμέτρων, συγκεκριμένα $\beta = 0.30$ και $\gamma = 10$, που είναι αντιπροσωπευτικές των ορεινών λεκανών απορροής στις οποίες υπάρχει σημαντική συνεισφορά της υποδερμικής ροής στην παραγωγή της πλημμύρας.

Πίνακας 7.1 Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή

T	d (h)	i (mm/h)	h (mm)	ARF	areal h
100	1	82,7	82,7	0,773	63,9
100	2	53,5	107,0	0,822	88,0
100	3	41,3	124,0	0,846	104,9
100	6	26,5	158,9	0,879	139,7
100	12	16,9	203,1	0,905	183,8
100	24	10,8	259,2	0,925	239,9

Αρχικά, υπολογίστηκε με την μέθοδο της SCS-CN η ενεργός βροχόπτωση για τις δύο λεκάνες επιλέγοντας κάθε φορά διαφορετικό τύπο εδαφικής υγρασίας. Στη συνέχεια, με χρήση του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος του Σχήματος 7.1, καταρτίστηκε το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού, για κάθε περίπτωση. Από το πλημμυρογράφημα βρέθηκε η παροχή αιχμής και ο όγκος πλημμύρας. Έτσι, στο τέλος της διαδικασίας για κάθε λεκάνη έχουμε τα δυο αυτά υδρολογικά μεγέθη για κάθε τύπο εδαφικής υγρασίας (Πίνακας 7.2). Ο

υπολογισμός των υδρολογικών μεγεθών επαναλήφθηκε για κάθε τύπο προηγούμενης κατάστασης υγρασίας.

Πίνακας 7.2 Υδρολογικά μεγέθη σχεδιασμού για τις δύο λεκάνες και για κάθε τύπο εδαφικής υγρασίας

Υποθετική λεκάνη με CN = 50			
	AMC 1	AMC 2	AMC 3
παροχή αιχμής (m ³ /s)	218,8	469,0	671,8
όγκος πλημμύρας (hm ³)	6,1	14,5	22,9
Υποθετική λεκάνη με CN = 75			
	AMC 1	AMC 2	AMC 3
παροχή αιχμής (m ³ /s)	532,9	717,3	802,4
όγκος πλημμύρας (hm ³)	17,0	25,1	30,3

Από τα αποτελέσματα, γίνεται εμφανές ότι τα μεγέθη σχεδιασμού είναι εξαιρετικά ευπαθή στην αλλαγή της εδαφικής υγρασίας. Στην λεκάνη με CN = 50, η παροχή αιχμής διπλασιάζεται και τριπλασιάζεται πηγαίνοντας από συνθήκες τύπου I, σε τύπου II και III αντίστοιχα, ενώ ο όγκος πλημμύρας υπερδιπλασιάζεται για συνθήκες τύπου II και σχεδόν τετραπλασιάζεται για συνθήκες τύπου III. Στην λεκάνη με CN = 75 παρατηρείται πάλι αύξηση των μεγεθών μεταβαίνοντας από τον ένα τύπο στον άλλο, αλλά όχι τόσο εντυπωσιακή όπως στην πρώτη λεκάνη.

Στη συνέχεια, τα μεγέθη υπολογίστηκαν εφαρμόζοντας την πιθανοτική προσέγγιση, η οποία παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 4.2., σύμφωνα με τους τύπους (4.1) και (4.2).

$$q_p^* = \rho_I q_{pI} + \rho_{II} q_{pII} + \rho_{III} q_{pIII} \quad (4.1)$$

$$V^* = \rho_I V_I + \rho_{II} V_{II} + \rho_{III} V_{III} \quad (4.2)$$

Ο υπολογισμός έγινε χρησιμοποιώντας τις πιθανότητες εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας την δυσμενέστερη μέρα του έτους, τριών διαφορετικών σταθμών από την πιθανοτική διερεύνηση του Κεφαλαίου 6. Επιλέχθηκαν οι εξής σταθμοί, (α) ο Λόφος Νυμφών στο κέντρο της Αθήνας ο οποίος είχε την μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης ξηρών συνθηκών (88,9%), (β) ο σταθμός στο φράγμα Πηνειού στο Κέντρο Ηλείας, που εμφάνισε την υψηλότερη πιθανότητα εμφάνισης μέσω συνθηκών (47,4%), και (γ) ο σταθμός στα Θεοδώριανα της Άρτας, που εμφανίζει την μεγαλύτερη πιθανότητα υγρών

συνθηκών (75,5%). Στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζονται για κάθε σταθμό η παροχή αιχμής και ο όγκος πλημμύρας, υπολογισμένα λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας. Η διαδικασία πραγματοποιείται και για τις δύο υποθετικές λεκάνες.

Πίνακας 7.3 Τα υδρολογικά μεγέθη σχεδιασμού υπολογισμένα, για τις δύο υποθετικές λεκάνες, συναρτήσει της συνδυασμένης πιθανότητας εμφάνισης κάθε τύπου εδαφικής υγρασίας, για τρεις χαρακτηριστικούς σταθμούς

Υποθετική λεκάνη με CN = 50						
				συνδυασμένη πιθανότητα		
	AMC 1	AMC 2	AMC 3	Λόφος Νυμφών	Κέντρο- Πηνειού	Θεοδώριανα
				AMC1=88,9% AMC2=9,7% AMC3=1,4%	AMC1=42,1% AMC2=47,4% AMC3=10,5%	AMC1=13,2% AMC2=11,3% AMC3=75,5%
παροχή αιχμής (m3/s)	218,8	469,0	671,8	249,4	384,9	589,1
όγκος πλημμύρας (hm3)	6,1	14,5	22,9	7,1	11,9	19,7
Υποθετική λεκάνη με CN = 75						
				συνδυασμένη πιθανότητα		
	AMC 1	AMC 2	AMC 3	Λόφος Νυμφών	Κέντρο- Πηνειού	Θεοδώριανα
				AMC1=88,9% AMC2=9,7% AMC3=1,4%	AMC1=42,1% AMC2=47,4% AMC3=10,5%	AMC1=13,2% AMC2=11,3% AMC3=75,5%
παροχή αιχμής (m3/s)	532,9	717,3	802,4	554,5	648,6	757,2
όγκος πλημμύρας (hm3)	17,0	25,1	30,3	17,9	22,2	27,9

Οι δύο πρώτοι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εφαρμογή είναι αντιπροσωπευτικοί των δύο ακραίων καταστάσεων που επικρατούν στην Ελλάδα με την πλειοψηφία να βρίσκεται σε μία ενδιάμεση κατάσταση και πιο κοντά σε αυτή του Λόφου Νυμφών. Σταθμοί με συνθήκες παρόμοιες του σταθμού στα Θεοδώριανα είναι ελάχιστοι και περιορίζονται σε λίγες ορεινές περιοχές της δυτικής Ελλάδας. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, εξάγεται το συμπέρασμα ότι επιλέγοντας αυθαίρετα μέσες συνθήκες υγρασίας κατά τον σχεδιασμό στην Ελλάδα, κατά κανόνα γίνεται υπερεκτίμηση των υδρολογικών μεγεθών.

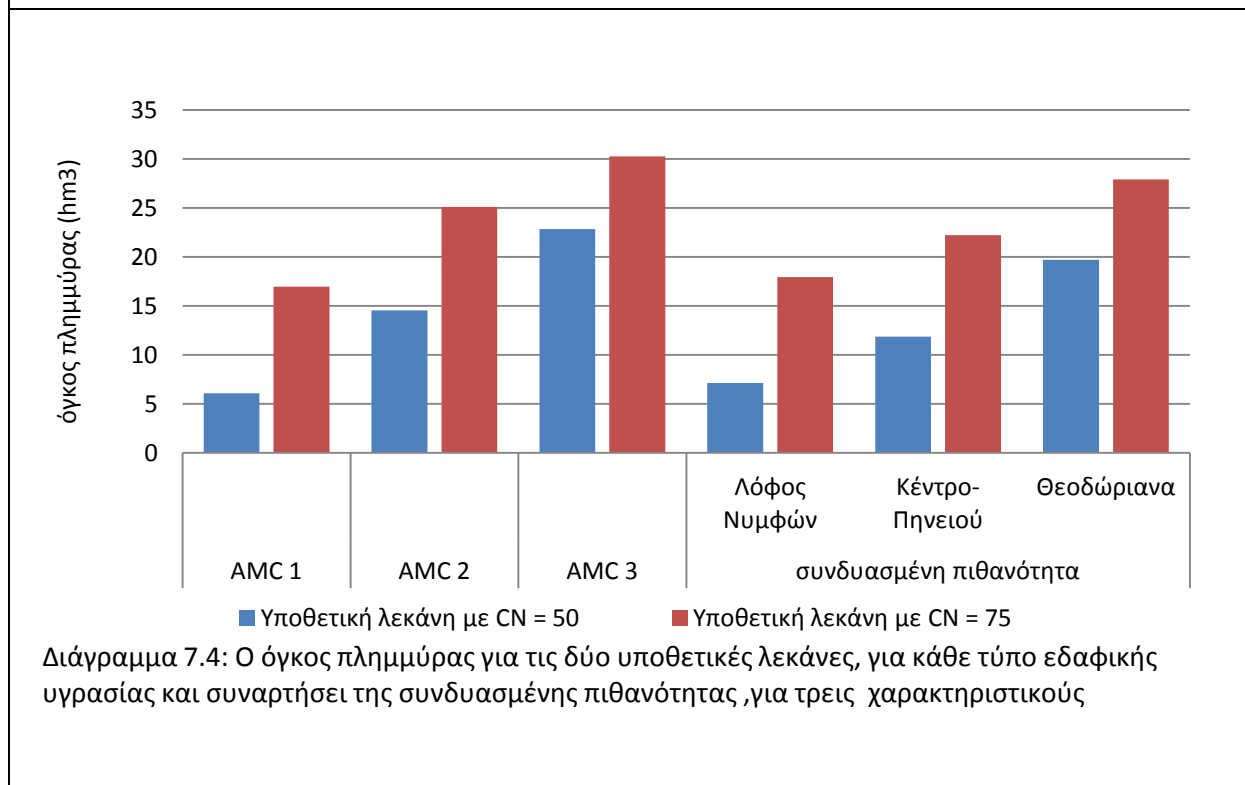
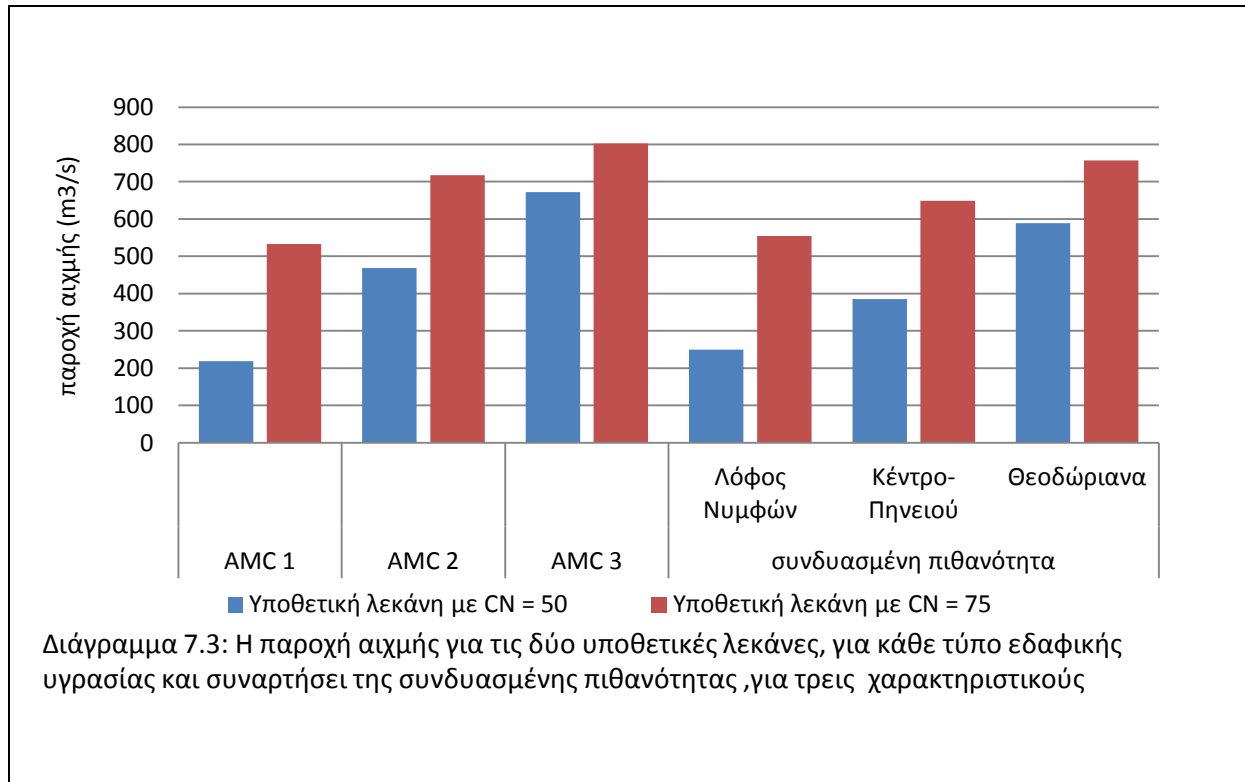
Αν σκεφτούμε και ότι σημαντικό ποσοστό των λεκανών απορροής στην Ελληνική επικράτεια πλησιάζουν πιο πολύ την πρώτη περίπτωση με CN = 50 τότε αυτή η υπερεκτίμηση φτάνει να είναι διπλάσια για την παροχή αιχμής ή και υπερδιπλάσια για τον όγκο πλημμύρας (Πίνακας 7.4).

Από την άλλη πλευρά, λεκάνες της Δυτικής Ελλάδας, όπου έχουν κατασκευαστεί σημαντικά υδραυλικά έργα, όπως υδροηλεκτρικοί ταμιευτήρες, χαρακτηρίζονται από μεγάλη συχνότητα εμφάνισης υγρών συνθηκών. Αν τα έργα αυτά (και κυρίως οι υπερχειλιστές) έχουν σχεδιαστεί για μέσες συνθήκες υγρασίας, τότε η πραγματική πιθανότητα υδρολογικής αστοχίας τους υπερβαίνει την περίοδο επαναφοράς με την οποία έχει γίνει ο σχεδιασμός.

Πίνακας 7.4 Οι διαφορές στα υδρολογικά μεγέθη σχεδιασμού που έχουν υπολογιστεί με ξηρές και υγρές συνθήκες και με συνδυασμένη πιθανότητα, σε σχέση με τις μέσες συνθήκες, εκφρασμένες ως λόγοι

Υποθετική λεκάνη με CN = 50						
παροχή αιχμής (m ³ /s)		AMC 1	AMC 3	Συνδυασμένη πιθανότητα		
				Λ. Νυμφών	Κέντρο Π.	Θεοδώριανα
		218,8	671,8	249,4	384,9	589,1
AMC 2	469,0	2,1	0,7	1,9	1,2	0,8
όγκος πλημμύρας (hm ³)		AMC 1	AMC 3	Συνδυασμένη πιθανότητα		
				Λ. Νυμφών	Κέντρο Π.	Θεοδώριανα
		6,1	22,9	7,1	11,9	19,7
AMC 2	14,5	2,4	0,6	2,0	1,2	0,7
Υποθετική λεκάνη με CN = 75						
παροχή αιχμής (m ³ /s)		AMC 1	AMC 3	Συνδυασμένη πιθανότητα		
				Λ. Νυμφών	Κέντρο Π.	Θεοδώριανα
		532,9	802,4	554,5	648,6	757,2
AMC 2	717,3	1,3	0,9	1,3	1,1	0,9
όγκος πλημμύρας (hm ³)		AMC 1	AMC 3	Συνδυασμένη πιθανότητα		
				Λ. Νυμφών	Κέντρο Π.	Θεοδώριανα
		17,0	30,3	17,9	22,2	27,9
AMC 2	25,1	1,5	0,8	1,4	1,1	0,9

Στα διαγράμματα που ακολουθούν γίνεται εύκολα αντιληπτές οι διαφορές που προκύπτουν από κάθε θεώρηση στον υπολογισμό της παροχής αιχμής (Διάγραμμα 7.3) και στον υπολογισμό του όγκου πλημμύρας (Διάγραμμα 7.4).



Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα και προτάσεις περαιτέρω έρευνα

8.1 Συμπεράσματα

Η μέθοδος SCS-CN αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής σε λεκάνες που δεν έχουν μετρήσεις.

Η εξάρτησή της από μία και μόνο παράμετρο, τον αριθμό καμπύλης απορροής (CN), κάνει την εφαρμογή της πολύ απλή αλλά ταυτόχρονα απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την εκτίμηση του. Ο σωστός προσδιορισμός της προηγούμενης κατάστασης εδαφικής υγρασίας είναι θεμελιώδους σημασίας για τον σωστό υπολογισμό του CN και κατ' επέκταση, της επιφανειακής απορροής.

Στην Ελλάδα η μέθοδος είναι πολύ δημοφιλής, αλλά δεν υπάρχει σύγχρονο πλαίσιο οδηγιών που να την προσαρμόζει στα Ελληνικά δεδομένα. Οι υποθέσεις και οι εκτιμήσεις που συνίστανται από την διεθνή βιβλιογραφία δεν ανταποκρίνονται στις λεκάνες απορροής της Ελλάδας, με αποτέλεσμα, τα αποτελέσματα να παραπλανητικά. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη επαναπροσδιορισμού του τρόπου επιλογής μεγεθών όπως οι αρχικές απώλειες και η προηγούμενη κατάσταση εδαφικής υγρασίας. Όσον αφορά την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας επιχειρήθηκε μια πιθανοτική προσέγγισή της.

Η πιθανότητα εμφάνισης κάθε τύπου υγρασίας εκτιμήθηκε από τα ημερήσια δείγματα βροχής, εξετάζοντας τις επικρατούσες συνθήκες την ημέρα πραγματοποίησης του μεγαλύτερου ύψους βροχής κάθε έτους. Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι μόνο στη Δυτική Ελλάδα και τις ορεινές περιοχές, οι συνθήκες II μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές της μέσης κατάστασης υγρασίας του εδάφους. Αντίθετα, στις σχετικά ξηρές περιοχές της ελληνικής επικράτειας (π.χ. Ανατολική Ελλάδα, Μακεδονία), η πιθανότητα εμφάνισης ακόμα και μέσων συνθηκών (τύπου II) είναι μικρή, ενώ η εμφάνιση συνθηκών τύπου III είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Σε ημερήσια βάση, η πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 1 (AMC1) κυμαίνεται από 70 έως 94%, ενώ την μέρα με την χειρότερη βροχή του έτους η πιθανότητα κυμαίνεται από 13 έως 90%. Στην εμφάνιση των ξηρών συνθηκών παρατηρείται μεγάλος γεωγραφικός διαχωρισμός Δυτικής και Ανατολικής Ελλάδας. Είναι χαρακτηριστικό πως

ανατολικά της Πίνδου η πιθανότητα εμφάνισης ξηρών συνθηκών την δυσμενέστερη μέρα του έτους είναι μεγαλύτερη από 60%, με εξαίρεση το Πήλιο και την Εύβοια.

Σε ημερήσια βάση, η πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 2 (AMC2) κυμαίνεται στο 7 - 12%, ενώ την μέρα με την χειρότερη βροχή του έτους η πιθανότητα κυμαίνεται στο 14 – 29%. Μάλιστα στο μεγαλύτερο μέρος της χώρα η πιθανότητα αυτή δεν ξεπερνάει το 22%. Γίνεται λοιπόν σαφές πως η συνθήκη τακτική της υπόθεσης μέσω συνθηκών υγρασίας κατά τον υδρολογικό σχεδιασμό, σε αυτές τις περιοχές, οδηγεί σε υπερεκτίμηση υδρολογικών μεγεθών και κατά συνέπεια σε υπερδιαστασιοποιημένα και πιο ακριβά έργα.

Σε ημερήσια βάση, η πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας τύπου 3 (AMC3) κυμαίνεται από 1,5 έως 22%, ενώ την μέρα με την χειρότερη βροχή του έτους η πιθανότητα κυμαίνεται από 0 έως 60%. Στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας ανατολικά της Πίνδου η πιθανότητα δεν ξεπερνάει το 10%. Γενικά, η πιθανότητα εμφάνισης υγρών συνθηκών θεωρείται χαμηλή, σε όλη την επικράτεια, και παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 50% μόνο σε ορισμένες περιοχές της Ηπείρου. Παρόλα αυτά σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν μεγάλα υδραυλικά έργα στα οποία η θεώρηση μέσω συνθηκών υγρασίας είναι κατά της ασφαλείας.

Βλέποντας τους χάρτες γίνεται έντονα φανερό η επίδραση του ορεινού όγκου της Πίνδου στην πιθανότητα εμφάνισης κάθε τύπου υγρασίας ως συνέπεια της κατανομής των βροχοπτώσεων στη χώρα.

Η Εύβοια παρουσιάζει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης μέσω και υγρών συνθηκών υγρασίας ξεφεύγοντας από την επίδραση που έχει ο όγκος της Πίνδου στην υπόλοιπη Ανατολική Ελλάδα.

Στην Κρήτη, παρά την περιορισμένη έκταση της, συνεχίζεται ο διαχωρισμός Ανατολής και Δύσης, με την έντονα ορεινή Δυτική Κρήτη να ακολουθεί τις συνθήκες της Δυτικής Ελλάδας και την Ανατολική εμφανώς πιο ξηρή.

Από την εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό διαπιστώθηκε η μεγάλη απόκλιση των υπολογιζόμενων υδραυλικών μεγεθών σχεδιασμού ανάμεσα στην κλασική και την

πιθανοτική θεώρησή τους. Η χρήση συνθηκών τύπου 2 μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα υπερεκτιμημένα μεγέθη ακόμα και σε υγρές περιοχές.

Η πιθανοτική διερεύνηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας δημιουργεί μια πληρέστερη και πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για την εκάστοτε περιοχή μελέτη, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για επιτυχή σχεδιασμό.

8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Οι προηγούμενες συνθήκες υγρασίας στα πλαίσια της εργασίας αυτής υπολογίζονται αποκλειστικά από την προηγούμενη βροχόπτωση. Θα είχε ενδιαφέρον μια λεπτομερέστερη προσέγγιση της εδαφικής υγρασίας ακόμα και ανεξάρτητης της βροχόπτωσης. Μερικές προτάσεις είναι η επαλήθευση της υπολογισμένης, με την προηγούμενη βροχόπτωση, υγρασίας με μετρήσεις υγρασίας στο έδαφος, η διερεύνηση του πλήθους ημερών ή η αλλαγή των συνθηκών ανάπτυξης. Για παράδειγμα διαφορετικές περιόδους ανάπτυξης μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών ή μεταξύ καλλιεργήσιμων και δασικών εκτάσεων.

Κεφάλαιο 9: Αναφορές

- Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ε. Μιχαηλίδη, Ε. Γαλιούνα, Κ. Τζούκα, Α. Δ. Κούσης, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Τεχνική έκθεση περιγραφής περιοχικών σχέσεων εκτίμησης χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών, ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων, Ανάδοχοι: ΕΤΜΕ: Πέππας & Συν/τες Ε.Ε., Γραφείο Μαχαίρα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 146 σελίδες, Σεπτέμβριος 2014.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ., Ξανθόποθλος, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Μιχαηλίδη, Ε.-Μ., Διερεύνηση προσομοίωσης πλημμύρας για το σχεδιασμό σε λεκάνες χειμαρρικής δίαιτας. Εφαρμογή στη λεκάνη Σαρανταπόταμου., Διπλωματική εργασία, σελ. 140, 2013
- Μπαλούτσος, Γ., Δ., Κουτσογιάννης, Α., Οικονόμου, Π., Καλλίρης, Διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης απορροής Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα της 11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS, Ερευνητική εργασία – σελ. 77-90, Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα-τομος ΙΙ-τευχος 1, 2000.
- Beck, H. E., R.A.M., de Jeu, J., Schellekens, A. I. J. M., van Dijk, and L. A., Bruijnzeel: Improving Curve Number Based Storm Runoff Estimates Using Soil Moisture Proxies, Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE J. Select. Topics Appl. Earth Observ. Rem. S., 2, 250-259, doi:10.1109/JSTARS.2009.2031227, 2009.
- Brocca, L., F., Melone, and T., Moramarco: Antecedent Wetness Conditions based on ERS scatterometer data in support to rainfall-runoff modeling, J. Hydrol., 364, 73-86, 2009b.
- Brocca, L., F., Melone, T., Moramarco, and V.P., Singh,: Assimilation of Observed Soil Moisture Data in Storm Rainfall-Runoff Modeling, J. Hydrol. Eng., 2, 153-165, 2009a.
- Coustau, M., C., Bouvier, V., Borrell-Estupina, and H., Jourde: Flood modelling with a distributed event-based parsimonious rainfall-runoff model: case of the karstic Lez river

- catchment, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 1119-1133, doi:10.5194/nhess-12-1119-2012, 2012.
- Gabellani, S., F., Silvestro, R., Rudari, and G., Boni: General calibration methodology for a combined Horton-SCS infiltration scheme in flash flood modeling, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1317-1327, doi:10.5194/nhess-8-1317-2008, 2008.
- Massari, C., L., Brocca, S., Barbetta, C., Papathanasiou, M., Mimikou, T., Moramarco: Using globally available soil moisture indicators for flood modelling in Mediterranean catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 839-853, doi:10.5194/hess-18-839-2014, 2014.
- Michel, C., V., Andréassian, and C., Perrin: Soil Conservation Service Curve Number method: How to mend a wrong soil moisture accounting procedure? *Water Resour. Res.*, 41, W02011, doi:10.1029/2004WR003191, 2005.
- Ponce, V. M., and R. H., Hawkins: Runoff curve number: Has it reached maturity? *J. Hydrol. Eng.*, 1(1), 11–18, 1996.
- Sahu, R. K., S. K., Mishra, T. I., Eldho, and M. K., Jain: An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method, *Hydrol. Process.*, 21(21), 2872–2881, 2007.
- Tramblay, Y., R., Bouaicha, L., Brocca, W., Dorigo, C., Bouvier, S., Camici, and E., Servat: Estimation of antecedent wetness conditions for flood modelling in northern Morocco, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 4375–4386, doi:10.5194/hess-16-4375-2012, 2012.
- Tramblay, Y., C., Bouvier, C., Martin, J.-F., Didon-Lescot, D., Todorovik, and J.-M., Domergue: Assessment of initial soil moisture conditions for event-based rainfall–runoff modelling, *J. Hydrol.*, 387, 176-187, 2010.
- Ati., O.F., C. J., Stigter, and E.O., Oladipo: A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria, *Int. J. Climatol.* 22: 731-742, 2002.
- Joseph, A., Van, Mullem, E., Donald: Woodward, Richard, H., Hawkins, Allen, T., Hjelmfelt, Jr.: Runoff curve number method: beyond the handbook, .

- Huang, M., J.Gallichand, C. Dong, Z. Wang and M. Shao: Use of soil moisture data and curve number method for estimating runoff in the Loess Plateau of China, *Hydrological Processes*, Vol 21, Is 11, 1471–1481, 2007.
- Nayak, T., M.K., Verma, and H., Bindu: SCS curve number method in Narmada basin, *Int. J. of Geomatics and Geosciences*, 3(1), 2012.
- Mishra, S.K., and V.P., Singh: A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria, *Hydrol. Process.* 20, 2755-2768, 2006.
- Silveira, L., F., Charbonnier, and J.L., Genta, The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure, *Hydrological Sciences Journal*, 45:1, 3-12, 2009.
- Richards H. Hawkins: The importance of accurate curve numbers in the estimation of storm runoff, *water resources bulletin*, American water resources association, vol.11, No.5, 1975.
- Sahu, R. K., S. K., Mishra, and T. I., Eldho: Performance evaluation of modified versions of SCS curve number method for two watersheds of Maharashtra, India, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 18:1, 27-36, 2012.
- Sahu, R. K., S. K., Mishra, and T. I., Eldho: An improved AMC-coupled runoffcurve number model, *Hydrol. Process.*, 24, 2834-2839, 2010
- Mishra, S. K., M. K., Jain, and V. P., Singh: Evaluation of the SCS-CN based model incorporating antecedent moisture, *Water Resources Management*, 18: 567-589, 2004.
- Baltas, E. A., N. A., Dervos, and M. A., Mimikou: Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1825–1829, 2007.
- Soulis, K. X., J. D., Valiantzas, N., Dercas, and P. A., Londra: Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN methd applicability to a partial area experimental watershed, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 605-615, 2009.

Soulis, K. X., and J. D., Valiantzas: SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogenous watersheds – the two – CN system approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1001-1015, 2012.

Mishra, S. K., V.P., Singh: Another look at SCS-CN method, *Journal of Hydrologic Engineering*, 1999.

Παράρτημα

Πίνακας 1: Παράδειγμα αρχείου .txt το οποίο διαβάζει το MATLAB

Τα δεδομένα χωρίζονται σε πέντε στήλες, (από αριστερά προς τα δεξιά) έτος – μήνας – ημέρα – ώρα μέτρησης – ύψος μετρούμενης βροχής (mm), και επαναλαμβάνονται με την ίδια σειρά για τον επόμενο σταθμό.

Κιλκίς					Άγιος Πρόδρομος				
1967	1	1	8:00	0.00	1966	6	1	8:00	0.00
1967	1	2	8:00	0.00	1966	6	2	8:00	0.00
1967	1	3	8:00	0.00	1966	6	3	8:00	0.00
1967	1	4	8:00	0.00	1966	6	4	8:00	0.00
1967	1	5	8:00	2.00	1966	6	5	8:00	0.00
1967	1	6	8:00	4.70	1966	6	6	8:00	0.00
1967	1	7	8:00	0.70	1966	6	7	8:00	0.00
1967	1	8	8:00	0.70	1966	6	8	8:00	0.00
1967	1	9	8:00	0.00	1966	6	9	8:00	0.00
1967	1	10	8:00	1.50	1966	6	10	8:00	0.00
1967	1	11	8:00	1.80	1966	6	11	8:00	0.00
1967	1	12	8:00	1.00	1966	6	12	8:00	0.00
1967	1	13	8:00	11.40	1966	6	13	8:00	0.00
1967	1	14	8:00	0.00	1966	6	14	8:00	0.00
1967	1	15	8:00	0.50	1966	6	15	8:00	0.00
1967	1	16	8:00	0.00	1966	6	16	8:00	0.00
1967	1	17	8:00	0.00	1966	6	17	8:00	0.00
1967	1	18	8:00	0.00	1966	6	18	8:00	0.00
1967	1	19	8:00	0.00	1966	6	19	8:00	0.00
1967	1	20	8:00	0.00	1966	6	20	8:00	0.00
1967	1	21	8:00	0.00	1966	6	21	8:00	0.00
1967	1	22	8:00	0.70	1966	6	22	8:00	0.00
1967	1	23	8:00	0.90	1966	6	23	8:00	0.00
1967	1	24	8:00	0.00	1966	6	24	8:00	0.00
1967	1	25	8:00	0.00	1966	6	25	8:00	0.00
1967	1	26	8:00	0.00	1966	6	26	8:00	0.00
1967	1	27	8:00	0.00	1966	6	27	8:00	0.00
1967	1	28	8:00	0.00	1966	6	28	8:00	0.00

Πίνακας 2 : Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στο MATLAB

```
clc
clear all
st=9;
dor1=13;
dor2=38;
gr1=35;
gr2=53;
startgr=3;
finishgr=10;
load vroxes.txt
Z=vroxes;
N=size(Z);
station=0;
n=N(1,1);
results=zeros(8,st);
resultmax=zeros(100,4*st);
for j=1:5:(st*5-4);
station=station+1;
m=sum(Z(:,j)~=0);
A=zeros(m,1);
maxyear=0;
amcyear=0;
for i=1:m
A(i,1)=Z(i,j+4);
year(i,1)=Z(i,j);
month(i,1)=Z(i,j+1);
day(i,1)=Z(i,j+2);
end
B=zeros(m,1);
for i=6:m
if      isnan(A(i-5,1)) || isnan(A(i-4,1)) || isnan(A(i-3,1)) || isnan(A(i-
2,1)) || isnan(A(i-1,1))
B(i,1)=NaN;
else
B(i,1)=sum(A(i-5:i-1));
end
```

```

end
amc=zeros(m,1);
for i=6:m
if isnan(B(i,1))
amc(i,1)=NaN;
else
if month(i,1)<startgr || month(i,1)>finishgr
if B(i,1)<dor1
amc(i,1)=1;
elseif B(i,1)>dor2
amc(i,1)=3;
else
amc(i,1)=2;
end
else
if B(i,1)<gr1
amc(i,1)=1;
elseif B(i,1)>gr2
amc(i,1)=3;
else
amc(i,1)=2;
end
end
end
end
amc1=sum(amc(:,1)==1);
amc2=sum(amc(:,1)==2);
amc3=sum(amc(:,1)==3);
s=amc1+amc2+amc3;
results(2,station)=amc1*100/(s);
results(3,station)=amc2*100/(s);
results(4,station)=amc3*100/(s);
c=0;
for i=1:m
if day(i,1)==1 && month(i,1)==10
c=c+1;
if mod((year(i,1)+1),4)==0

```



```

n=sum(isnan(A(i+32:min(i+152,m))));
if n>0
maxyear(c,1)=nan;
else
maxyear(c,1)=max(A(i:min(i+366,m)));
end
for k=i:min(i+366,m)
if maxyear(c,1)==A(k,1);
amcyear(c,1)=amc(k,1);
elseif isnan(maxyear(c,1));
amcyear(c,1)=nan;
end
end
else
n=sum(isnan(A(i+32:min(i+151,m))));
if n>0
maxyear(c,1)=nan;
else
maxyear(c,1)=max(A(i:min(i+365,m)));
end
for k=i:min(i+365,m)
if maxyear(c,1)==A(k,1);
amcyear(c,1)=amc(k,1);
elseif isnan(maxyear(c,1));
amcyear(c,1)=nan;
end
end
end
resultmax(c,4*station-1)=maxyear(c,1);
resultmax(c,4*station-3)=year(i,1);
resultmax(c,4*station-2)=year(i,1)+1;
resultmax(c,4*station)=amcyear(c,1);

end
end
amcy1=sum(amcyear(:,1)==1);
amcy2=sum(amcyear(:,1)==2);

```

```
amcy3=sum(amcyear(:,1)==3);  
p=amcy1+amcy2+amcy3;  
results(5,station)=amcy1*100/p;  
results(6,station)=amcy2*100/p;  
results(7,station)=amcy3*100/p;  
results(1,station)=station;  
results(8,station)=s;  
end
```

Πίνακας 3 : Οι 215 σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην πιθανοτική διερεύνηση με τα στοιχεία τους.

		Elev.	Lon.	Lat.	x	y	AMC 1	AMC2	AMC3	AMC 4	AMC5	AMC6	days
1	Avas	114	25,91658	40,932	661209,5	4532691	84,5	9,3	6,2	70,2	25,5	4,3	17989
2	agia triada	400	22,91608	38,34894	405136	4244800	79,3	11,6	9,1	44,2	23,3	32,6	15701
3	Agioi_Theodoroi	697,7	20,91567	39,36698	234131,9	4361754	71,3	11,3	17,3	44,8	5,2	50	21118
4	agios vasilios	226,2	22,77544	37,80121	392045,1	4184177	88,2	8	3,8	70,5	25	4,5	16808
5	agios vlasios	852,4	21,51309	38,81464	283927,9	4298858	73,3	12,5	14,3	37,5	27,5	35	15574
6	Agios_Dimitrios	808,2	22,23164	40,15646	349244,1	4446336	87,5	8	4,6	73,5	12,2	14,3	18562
7	agios nikolaos	10	20,80366	38,86975	222534,6	4306892	82,5	9,4	8,1	46,3	24,4	29,3	16008
8	agios prodromos	420	23,38273	40,46565	447520	4479339	90	7,8	2,2	83,8	10,8	5,4	14128
9	Agiofilo	584,1	22,12158	39,86354	291301,1	4415170	84,9	9,9	5,1	66,1	21,4	12,5	21043
10	Agnanta	660	21,08268	39,47395	248907	4373150	73,1	11,5	15,5	36,1	16,4	47,5	22341
11	Aidonochorio	186,3	23,72348	40,84406	476540,7	4521198	88,7	7,4	3,8	69,8	17	13,2	20029
12	athanasios diakos	846,1	22,19244	38,68742	342637,8	4283354	78,9	10	11,1	38,3	21,3	40,4	17584
13	Aigaleo	67,2	23,68099	38,00632	471844,5	4206276	91,6	6,5	1,9	83,3	13,9	2,8	14226
14	aigio	37,2	22,09343	38,2412	333000,6	4234009	84	10,4	5,6	54,8	25,8	19,4	12082
15	esimi	325,1	25,95647	41,0168	664356,5	4542171	81,8	9,6	8,6	50	34,8	15,2	17544
16	aliartos	111	23,11023	38,37533	422129,9	4247546	86,6	9,1	4,3	58,1	25,6	16,3	15701
17	Alistrati	281,4	23,95892	41,06303	496399,9	4545470	85,6	10,3	4,1	66,1	25	8,9	20829
18	Almyropotamos	153,7	24,18951	38,27006	516428,2	4235509	83,9	9,5	6,6	40,4	34,6	25	18706
19	Amfissa	199,6	22,3749	38,52722	358194,2	4265278	83,1	9,7	7,2	44,4	38,9	16,7	20551
20	Anavra	196,3	22,08919	39,1937	334835,8	4339725	85	9,4	5,6	70,2	17,5	12,3	21016
21	Analipsi	564,3	21,7043	38,49483	299643,6	4262930	75,3	11,6	13,1	51,9	16,7	31,5	21978
22	analipsi mesinias	34,2	21,96882	37,02055	319161,4	4098792	81,3	10,8	7,9	39,4	36,4	24,2	13332
23	Anatoliki	797,1	21,03753	39,62666	245580,8	4390229	74,9	11,7	13,4	40	28	32	20746
24	Aneza	3,5	20,92421	39,08673	233810,8	4330619	78,2	11,2	10,6	39,7	25,9	34,5	22148

25	anthofuto	47,9	22,71129	40,85099	391222,5	4522729	89,6	7,6	2,8	66,7	20,5	12,8	16089
26	ano akrata	112,9	22,31666	38,15417	332362	4223972	82,9	10,5	6,6	42,2	33,3	24,4	16775
27	ano vrontou	1037,6	23,68787	41,29515	473716,9	4571284	89,3	7,3	3,4	88,6	6,8	4,5	16114
28	ano lousoi	1082,3	22,13929	38,00095	336479,3	4207266	81,4	10,7	7,9	38,5	30,8	30,8	21632
29	ano mpralos	580,5	22,45474	38,73054	365533,5	4287721	81	9,6	9,4	53,5	20,9	25,6	15701
30	Ano_Poroia	388,8	23,03091	41,28718	418702,9	4570806	84,9	10,2	4,9	80,8	11,5	7,7	19813
31	Ano_Skafidoti	643,1	20,63968	39,28696	210019	4353720	71,6	11,3	17,1	28,3	20,8	50,9	21811
32	ano ypati	286	22,23273	38,86562	346524	4303061	84	10,6	5,4	59,3	18,6	22	21598
33	Arisvi	41,3	25,57965	41,0653	632574,6	4546923	89,6	7,2	3,2	77,3	15,9	6,8	18190
34	Arna	779,2	22,41291	36,88001	358411	4082450	75,5	9,7	14,7	32,1	20,8	47,2	19577
35	Arnaia	595	23,60097	40,49109	466035,1	4482056	85,9	9,2	4,9	71,1	13,3	15,6	19367
36	arnissa	550	21,8327	40,79899	317017	4518417	88,2	8,8	3	71,9	21,9	6,3	12427
37	asteri	214,3	21,72425	38,05388	300178	4213950	83	10,2	6,8	48,6	17,1	34,3	13415
38	atalanti	78,1	23,00625	38,65085	413376,8	4278213	87,5	8,4	4,2	67,4	27,9	4,7	15701
39	achladoxori	499,3	23,53666	41,3195	461070,9	4574044	89,9	7,8	2,3	87,2	2,6	10,3	14738
40	vathylakos	100	22,69938	40,76565	390078	4513270	91,2	6,5	2,4	65	30	5	8281
41	Vasilakio	256,9	21,7595	37,64723	302188,5	4168750	71	10,8	18,3	16	14	70	19681
42	vasiliko	746,8	20,59495	40,00916	209203,7	4434043	76,9	11,4	11,7	46,3	19,5	34,1	15628
43	Vela_Moni	440,7	20,62457	39,87266	211159,4	4418793	74,9	10,9	14,2	29,3	20,7	50	21881
44	Verdikousa	914,6	21,97488	39,78111	326428,8	4405138	85,8	8,6	5,6	74,5	16,4	9,1	20897
45	viniani	360,8	21,70784	39,00145	301360,5	4319150	76,8	11,5	11,7	40,4	30,8	28,8	19384
46	vrontamas	140,6	22,65345	36,96117	379975,4	4091123	86,1	8,6	5,4	45,6	40,4	14	21716
47	byronas	226,4	23,77452	37,95667	480042,4	4200744	90,7	6,5	2,8	85,4	14,6	0	17687
48	vytina	1010,9	22,18811	37,67063	340054,8	4170528	78,6	10,6	10,8	32	36	32	19419
49	Gavalou	53,4	21,53921	38,52713	285339,8	4266887	79,5	9,8	10,7	54,5	21,8	23,6	21210
50	Gastouni	10	21,24937	37,84892	257834	4192331	79,5	11,9	8,6	51,2	18,6	30,2	16899
51	Gianota	554	21,92332	39,97903	322524,2	4427209	88	8,9	3,1	75,9	20,4	3,7	20804

52	Goumenissa	212	22,45871	40,93827	370102,5	4532763	85	9,1	5,8	63,9	19,4	16,7	18657
53	Gravia	380,7	22,43033	38,67258	363302	4281325	81,4	11,3	7,3	53,5	20,9	25,6	15701
54	Granitsa	905,7	21,50857	39,10359	284413,4	4330940	75,3	12,8	12	34,6	26,9	38,5	20231
55	grevena	544,3	21,4223	40,08452	280076	4440037	85,9	10	4,1	69,4	16,3	14,3	19033
56	Grevenitio	1005,6	21,0054	39,8057	243487,2	4410197	72,2	12,3	15,5	35	16,7	48,3	22499
57	dayleia	277,4	22,73627	38,51262	389672,3	4263163	82,1	10,1	7,8	46,5	20,9	32,6	15701
58	Dafni	582,7	22,02613	37,80487	326082,8	4185713	76,5	11	12,4	40,3	32,3	27,4	23306
59	Dervenakia	265,3	22,72385	37,78959	387486,7	4182950	86,4	8,8	4,8	54,4	24,6	21,1	21124
60	Didymoticho	24,7	26,49871	41,35404	708877,9	4580788	89,4	7,5	3,2	74,5	17	8,5	19930
61	Dikaia	50,4	26,29212	41,70558	690559,4	4619342	88,7	7,8	3,5	83	15,1	1,9	20279
62	Drama	99,8	24,14636	41,14206	512133,8	4554253	89,9	7,3	2,8	76,9	17,3	5,8	19763
63	Driza	628,9	22,46437	37,86996	364784,2	4192211	85,1	9,8	5,1	51,1	34	14,9	19236
64	Drosato	888,7	22,03728	38,06748	327678,2	4214833	81,9	11,8	6,3	47,4	31,6	21,1	21145
65	drymaia	502,6	22,55821	38,70607	374485,2	4284859	86,4	8,9	4,7	58,1	18,6	23,3	15701
66	Elasona	276,3	22,19084	39,88816	345164,9	4416624	89,5	8,1	2,4	80,7	12,3	7	21197
67	Elati	908,9	21,5388	39,50149	288230,3	4375036	76,2	9,6	14,2	38,5	19,2	42,3	21039
68	eptalofos	808	22,49394	38,59674	368697	4272816	80,5	11,1	8,3	67,4	14	18,6	15701
69	europos	81,4	22,55418	40,89471	378059,1	4527789	90,2	7	2,7	80,5	12,2	7,3	15815
70	Echinos	329,8	24,97012	41,27783	581097	4569768	81,3	7,7	11	66,7	8,9	24,4	17346
71	Zapio	172,3	22,43973	39,46158	365623,2	4368876	90	7,6	2,4	72,7	21,8	5,5	20817
72	Zileuto	97,2	22,25904	38,93192	348948,3	4310376	90,1	7,3	2,5	69,2	21,2	9,6	19522
73	igoumnitsa	15,3	20,26721	39,5025	178874,3	4378911	78,1	10,9	11	52,2	30,4	17,4	17401
74	theodoriana	941	21,20739	39,4342	259498,4	4368397	69,1	9	21,9	13,2	11,3	75,5	21474
75	Thermo	358,2	21,66816	38,57041	296703,69	4271397	76,7	11,3	12,1	42,6	16,7	40,7	20806
76	Thisvi	166,8	22,97567	38,25717	410231,1	4234558	89,1	7,7	3,2	79,6	16,7	3,7	20774
77	iasmos	22,2	25,18762	41,1283	599538,8	4553394	86,2	9	4,8	64,1	23,1	12,8	15490
78	Istiaia	42,3	23,15186	38,95313	426359,8	4311631	87,1	8,1	4,8	66,7	17,6	15,7	18248

79	Itea	8	22,42844	38,43402	362684,9	4254854	89,9	7,8	2,3	66,7	29,6	3,7	20165
80	kalithea	627,8	21,60713	38,62503	291543,8	4277596	77,8	11,3	10,9	47,2	26,4	26,4	21192
81	Kanalaki	24,4	20,6004	39,23543	206415,4	4348126	76,2	11,2	12,7	54,2	18,6	27,1	22250
82	Kandila	762,3	22,37821	37,7732	357019,2	4181602	80,8	11,5	7,7	50	35,2	14,8	19339
83	Karditsa	106,7	21,93046	39,3669	321566,5	4359249	87,3	9	3,7	80,7	14	5,3	21137
84	karpenisi	962,2	21,79335	38,91478	308532,4	4309348	79	11,8	9,2	40	24,4	35,6	16607
85	Karies	917,8	22,50098	37,29266	366982,5	4128104	84,3	9,7	6	50	25	25	19185
86	kastania	987,2	22,38063	37,86675	357411,4	4191979	78,8	11,9	9,3	42,4	27,1	30,5	21646
87	kastania im	1053,4	22,12133	40,40842	340441,6	4474498	85,7	9,7	4,6	66	24,5	9,4	20325
88	Kastellio	791,7	22,04996	37,90784	328419,5	4197095	76,9	11,6	11,5	41,1	23,2	35,7	21471
89	kastoria	636,9	21,25242	40,51055	267058,5	4487767	88,6	9	2,4	80,6	13,9	5,6	15087
90	katafulio	945,4	21,40782	39,21036	276038,1	4343035	76,9	10,5	12,6	42,9	22,4	34,7	19933
91	katafuto	1018,4	21,24561	39,63526	263471,8	4390615	80	9,8	10,2	37	15,2	47,8	18776
92	Katerini	30,4	22,51263	40,27724	373401,6	4459304	89,7	6,2	4,1	79,5	11,4	9,1	17324
93	Kato_Zachlorou	610,8	22,16442	38,09292	338888,4	4217429	77,6	10,9	11,5	37,8	17,8	44,4	18499
94	Kato_Kalentini	165,2	21,06004	39,25311	246160,2	4348698	74,7	10,6	14,7	40	23,6	36,4	22194
95	Kato_Nevrokopi	572,9	23,86072	41,34422	488198,2	4576694	86,7	9,4	3,9	58,8	23,5	17,6	20213
96	Kentriko	81,1	21,97129	37,27997	319997,4	4127573	79,8	10,7	9,5	51,7	24,1	24,1	22338
97	kentro fr. Piniou	59,1	21,44676	37,90026	275359,9	4197534	81,5	11	7,5	42,1	47,4	10,5	14824
98	Kerasouda	24,9	20,8581	39,15529	228354,4	4338425	74,9	10	15	31	15,5	53,4	22499
99	Kefalinos	455,3	21,85879	37,19639	309813,1	4118519	74,1	10,5	15,4	41,7	16,7	41,7	22781
100	kilkis	261,5	22,88417	40,99158	405994,2	4538136	91,5	6,9	1,6	86,8	10,5	2,6	15353
101	koula pr	855	21,06602	40,81565	252394	4522150	88,8	9,1	2	58,7	34,8	6,5	17616
102	koumani	658,8	21,74642	37,7913	301418,8	4184763	74,3	8,7	16,9	50	15	35	15329
103	kruobrisi	1011,9	21,80594	37,92079	306998	4199008	72	12,1	15,9	27,9	25,6	46,5	15778
104	kyprinos	70,1	26,22247	41,57577	685134,3	4604777	87,9	8,7	3,4	75,6	15,6	8,9	17610
105	Livadia	175,6	22,87009	38,43818	401239,5	4254752	84	9,7	6,3	65,1	23,3	11,6	15701

106	Lepenou	191,4	21,28999	38,7097	264210,2	4287762	77,4	10,4	12,2	43,4	22,6	34	20709
107	Lesinio	2,2	21,19437	38,42059	254913,6	4255923	81,2	11,4	7,5	57,7	26,9	15,4	19143
108	leykimi	135,5	26,19936	41,0217	684767,3	4543211	84,9	9,8	5,3	62,9	22,9	14,3	12676
109	Lidoriki	547,6	22,20285	38,53099	343204,1	4265975	81,3	10,4	8,3	45,8	27,1	27,1	22371
110	L_Ylikis	85,2	23,344	38,42698	442591,2	4253108	91,1	6,5	2,4	75,6	17,1	7,3	15524
111	litochoro	300	22,49939	40,09898	371941	4439535	86,7	7,3	6	75	7,5	17,5	14896
112	loutropigi	722,1	22,04425	39,11708	330770,5	4331303	83,9	10,5	5,6	67,6	21,6	10,8	14438
113	Lofos Nymfon	109,2	23,71838	37,97183	475115,4	4202439	91,6	6,6	1,8	88,9	9,7	1,4	28668
114	Likouria	758,1	22,21242	37,86074	342603	4191582	79,7	9,4	10,9	44,8	15,5	39,7	21071
115	Makrinitsa	685,4	22,98561	39,40308	412512,8	4361713	86,1	8,5	5,5	44,4	31,1	24,4	20517
116	markopoulo	83,6	23,93447	37,87894	494087,2	4192098	89	7,5	3,4	61,8	32,4	5,9	12556
117	megalo dereio	381,6	26,02239	41,23206	669344,5	4566205	85,8	8,1	6,1	67,6	11,8	20,6	12934
118	Metaxades	138,7	26,22528	41,41757	685821,9	4587217	85,7	9,4	4,9	60	29,1	10,9	20459
119	Meteora	241,8	21,62821	39,70808	296524,4	4397761	84,5	9,1	6,4	64,9	21,1	14	22673
120	metsovo	1149,5	21,18392	39,76952	258645,2	4405683	74,8	13	12,2	39	26,8	34,1	15421
121	Mikro_Derio	116,2	26,10253	41,31599	675836,7	4575683	86,1	8,5	5,4	73,5	16,3	10,2	19923
122	Mikroklisoura mouzaki	457,4	24,05661	41,38673	504584	4581406	85,9	9	5,1	57,9	22,8	19,3	21242
123	paliomonastiro	225,3	21,66335	39,40859	298672,5	4364438	82,7	9,8	7,5	44,4	36,1	19,4	15342
124	mpezoula	931,3	21,68932	39,30541	300615,9	4352928	76,9	10,4	12,7	36,4	25,5	38,2	20910
125	Nea_Zichni	270,9	23,8262	41,03258	485241,3	4542103	90,4	7,7	1,9	75	16,1	8,9	20397
126	Nemea	305,6	22,65779	37,82641	381728,2	4187116	85,9	8,9	5,2	58,9	23,2	17,9	21410
127	Neochorio	703,5	22,48391	37,66605	366136,4	4169557	84,9	9,8	5,3	63,5	25	11,5	19135
128	Nestani	647,5	22,46045	37,6121	363968,7	4163605	84,5	9,9	5,6	55	28,3	16,7	21851
129	Nigrita	65,7	23,4994	40,91015	457692,6	4528618	90,9	7	2,1	78,8	15,4	5,8	19652
130	Nikolitsi	255,1	20,76676	39,31194	221081,8	4356093	71,8	9,8	18,5	29,5	14,8	55,7	22107
131	Nipsa	174,7	26,01671	40,93175	669640,5	4532854	86,7	8	5,3	59,2	24,5	16,3	18277

132	xirochorio	290,9	21,67702	37,93711	295710	4201095	81,8	11,6	6,5	50	23,7	26,3	15141
133	organi	400,4	25,68536	41,25299	641052,4	4567926	85,7	7,6	6,7	61,1	11,1	27,8	13338
134	oreini serron	796,2	23,58981	41,20016	465457,5	4560772	87,8	9,3	2,9	84,1	15,9	0	15934
135	Paralimni	4,1	22,45596	40,7428	369487,9	4511067	89,6	7,6	2,8	70	24	6	20125
136	Paramithia	285,2	20,51342	39,46603	199894,6	4374013	73,4	10,9	15,7	51	22,4	26,5	19053
137	Paranesti	122,4	24,49991	41,26727	541724,2	4568262	88,9	7,6	3,5	70,2	12,8	17	18058
138	Partheni	681,5	22,51485	37,47276	368526,1	4148067	83,6	11,3	5,1	56,9	31,4	11,8	17883
139	paylos	212,7	23,09265	38,52984	420762,6	4264707	88,8	7,3	3,9	72,1	18,6	9,3	15701
140	pentalofos	1053	21,14179	40,1943	256548,8	4452955	83	11	6,1	66,7	16,7	16,7	11616
141	Pentolakkos	890,2	20,81775	39,44194	225987,4	4370368	69,2	10,6	20,2	27,7	12,8	59,6	21113
142	Perdikaki	749,8	21,36182	39,05042	271550,2	4325398	70,1	11,2	18,7	28,8	22	49,2	21580
143	Perdikoneri	836,6	21,9933	37,73568	323026,69	4178096	74,1	12	13,9	33,9	28,8	37,3	21865
144	peristeri	75,4	23,6902	38,01636	472656,7	4207388	89,7	7,6	2,7	74,4	20,9	4,7	16421
145	pertoulio	1140,1	21,46454	39,53901	281961,6	4379386	77,9	10,2	11,9	37,5	19,6	42,9	20695
146	Petrina	240,2	22,49457	36,84338	365625,1	4078268	80,3	10,1	9,6	40	24	36	19621
147	Pidima	36,3	22,04471	37,14473	326197,3	4112430	79,7	11,1	9,2	46,6	34,5	19	21668
148	Piana	997,7	22,24073	37,57345	344494,2	4159657	76,2	10,9	12,9	34,7	26,5	38,8	18646
149	Platania	324,6	24,40872	41,18509	534128,9	4559099	88,9	8	3,1	70,4	22,2	7,4	21247
150	Platanos	856,9	21,7934	38,59988	307694,6	4274399	73,5	10,8	15,6	32,1	16,1	51,8	21556
151	Platanousa	454,7	21,01518	39,41953	242899	4367299	70,5	9,8	19,8	24,6	15,8	59,6	21548
152	pontokomi	718,8	21,76159	40,408	309913	4475163	88,2	9,4	2,4	75	15,9	9,1	16995
153	Poros_Riganiou	181,8	21,74962	38,50779	303631	4264270	75,5	10,8	13,7	42,6	19,1	38,3	18055
154	poros trizinias	38,9	23,45646	37,50191	451807,9	4150404	88,6	6,9	4,5	73,7	7,9	18,4	14445
155	porpi	32,1	25,2364	41,01712	603808,4	4541108	88,7	7,9	3,4	61	29,3	9,8	15450
156	portes	395,3	21,57198	37,93958	286484,9	4201604	80	11,7	8,3	40,4	36,2	23,4	17112
157	Prokopion	69,6	23,48858	38,7344	455400,7	4287140	79,4	9,7	10,9	29,4	29,4	41,2	18606
158	protokklisi	50,2	26,25555	41,29128	688716	4573261	85,6	9,3	5,1	61,2	32,7	6,1	18126

159	pyra	1137,1	22,27196	38,74262	349670,2	4289345	77,3	12,5	10,2	51,2	18,6	30,2	15701
160	pirgetos	95,6	22,60006	39,91577	380202	4419060	86,1	8,7	5,3	58,5	22	19,5	16394
161	Rentina	884,9	21,97413	39,06577	324581,4	4325742	73,5	13,9	12,5	37	25,9	37	20916
162	Sargiada	434	21,41305	38,76902	275097,9	4294037	77,4	11,3	11,3	50,8	13,6	35,6	21887
163	serbia	450,3	22,00143	40,18111	329697,6	4449488	90,4	7,5	2,2	82,6	15,2	2,2	18684
164	siatista	933,1	21,55118	40,26201	291609,1	4459429	86,5	10,3	3,2	65,2	30,4	4,3	17158
165	simopoulo	201,4	21,57144	37,84754	286171,9	4191391	83,9	9,7	6,4	56,7	20	23,3	16476
166	sitochori	130,7	26,35397	41,46074	696446,6	4592295	88,9	7,5	3,6	73	18,9	8,1	14595
167	skaloti	968,3	24,28194	41,41078	523414,2	4584112	86,5	9,3	4,1	67,5	17,5	15	15836
168	skra	523	22,3847	41,09391	364190,4	4550154	86,9	7,4	5,7	55,9	26,5	17,6	12727
169	Souli	592,9	22,05182	37,28467	327148,1	4127944	78,1	10,9	11	56,5	12,9	30,6	22769
170	Soulopoulo	242,3	20,59699	39,71763	208145	4401670	75,6	11,3	13,1	38,5	13,5	48,1	22018
171	spilia	809	22,64675	39,79703	383993,6	4405819	88,4	6,7	4,8	60,4	15,1	24,5	19549
172	Stamna	138,4	21,28169	38,51473	262847,3	4266143	79	11	9,9	45	26,7	28,3	22051
173	Steni	331,8	23,8261	38,57109	484702,3	4268909	83	7,7	9,3	25	27,3	47,7	18568
174	Strefio	19,3	21,55518	37,65772	284191,1	4170364	77,4	11,8	10,9	41,5	30,2	28,3	20430
175	sykea	707,8	22,21793	38,64107	344754,6	4278166	78,1	10,2	11,7	34,9	27,9	37,2	15701
176	sotirio	52,4	22,70569	39,50507	388572,8	4373340	91	6,9	2,1	64,1	30,8	5,1	17205
177	Tatoi	273,9	23,77973	38,10813	480539,6	4217548	89,7	7,5	2,9	74,1	20,4	5,6	19791
178	tithorea	168,3	22,70929	38,60838	387469	4273822	85,7	9,4	4,8	55,8	30,2	14	15701
179	Toxotes	75,4	24,78913	41,08741	566131,2	4548475	87,1	8	4,9	64,9	17,5	17,5	21228
180	Trilofo	575,3	22,22209	38,99834	345889,2	4317809	88,6	8,3	3,1	51,8	28,6	19,6	21763
181	tripotama	570,5	21,90099	37,87626	315242,2	4193875	81,9	10,3	7,8	61,4	13,6	25	17763
182	Tropea	727,6	21,95936	37,73155	320026,9	4177703	78,6	10,6	10,8	32	36	32	19419
183	tsotulio	856	21,32475	40,26024	272345,7	4459789	85,6	8,8	5,6	66,7	13,3	20	16821
184	Tymfristos	847,9	21,91575	38,90961	319133,4	4308524	78,9	11	10,1	22,8	31,6	45,6	21264
185	tirnavos	97,1	22,28789	39,73713	353141,5	4399696	89,3	8,2	2,5	69,8	22,6	7,5	20334

186	Farkadona	86,2	22,07029	39,58797	334139	4383520	88,3	8,8	2,9	80,4	16,1	3,6	21137
187	Ferres	43,2	26,1723	40,89619	682839,2	4529220	87,9	8	4,1	68,5	13	18,5	20395
188	Filiates	207,3	20,31068	39,5997	183057,6	4389549	74,6	11,6	13,8	44,1	23,7	32,2	21622
189	fr. Aliakmona	44,4	22,25492	40,48957	351955,3	4483273	87,8	8,1	4,1	77,3	13,6	9,1	8589
190	fr. Kerkinis	42,5	23,2217	41,13804	434530,6	4554088	92,1	6,4	1,5	85	10	5	16075
191	frourio	591,6	21,81053	40,06649	313130,3	4437144	84,8	7,3	7,9	88,9	0	11,1	4296
192	chalandri	189,3	23,79903	38,04167	482215,8	4210170	89,6	7,2	3,3	73,2	26,8	0	16977
193	Chelidona	624,5	21,65047	38,80775	295837,9	4297778	75,7	12,3	12	38,6	21,1	40,4	21828
194	Chrisomilia	911,1	21,50097	39,60826	285306,9	4386977	80,4	8	11,6	57,1	14,3	28,6	17094
195	chrisoupoli	20,4	24,70687	40,98499	559313,1	4537046	88	8,1	3,9	54,3	34,8	10,9	17055
196	Psari	811,1	22,5267	37,86525	370258,7	4191600	84,6	10,4	5	54,2	22	23,7	22091
197	oreokastro	71,5	22,93811	40,68622	410120,6	4504181	93,5	4,9	1,6	81,3	12,5	6,3	12709
198	Agios Basilios kr	298,6	24,45425	35,24414	541178,4	3899924	75,9	10,5	13,6	31,7	22,0	46,3	15411
199	Agios georgios kr	836,4	25,48357	35,16758	634957,7	3892346	80,5	9,3	10,2	45,7	19,6	34,8	16881
200	Agios Thomas	563,6	25,034	35,14504	594039,8	3889328	80,2	10,8	9,0	39,0	29,3	31,7	15500
201	Akoymia	511,7	24,58291	35,1644	552935,5	3891141	78,7	10,2	11,1	31,0	28,6	40,5	15786
202	Ano acharnes	392,3	25,16082	35,23747	605473,1	3899707	82,2	10,0	7,9	54,3	22,9	22,9	12802
203	Armenoi	373,3	24,4597	35,30145	541644,9	3906282	77,8	10,6	11,6	39,4	39,4	21,2	12395
204	Asomatos	332,2	24,66241	35,24278	560118	3899879	78,5	10,6	10,9	30,2	27,9	41,9	15379
205	Emparos	438,6	25,38611	35,09526	626193,2	3884197	84,0	8,1	7,9	43,5	30,4	26,1	11081
206	Emprosneros	271,7	24,18705	35,34493	516846,8	3911023	77,6	9,4	13,0	30,3	27,3	42,4	12332
207	Episkopi	100	24,3328	35,33222	530096	3909648	76,6	9,5	13,9	36,7	16,7	46,7	11816
208	Zakros	224,1	26,21945	35,11235	702119,7	3887467	84,2	10,1	5,6	61,0	14,6	24,4	15675
209	Kalamayka	502,2	25,65611	35,0762	650840,9	3882459	83,0	9,5	7,4	65,9	15,9	18,2	16054
210	Kalybos	551,5	24,79503	35,31258	572122,7	3907709	80,5	10,2	9,3	36,4	21,2	42,4	12459
211	Kandanos	436,6	23,74697	35,33133	476854,3	3909528	77,7	11,2	11,1	31,7	31,7	36,6	16022
212	Meskla	200	23,96612	35,3989	496774	3916992	77,3	9,3	13,4	34,9	7,0	58,1	15537

213	Perama	53,7	24,70429	35,37428	563825,2	3914489	82,8	10,4	6,9	60,0	26,7	13,3	12093
214	Sternes	322,4	25,08788	35,00749	599115	3874126	84,6	9,4	6,0	48,8	31,7	19,5	15402
215	Strobes	515,2	23,66429	35,36214	469352	3912967	76,3	10,2	13,5	34,9	20,9	44,2	15640