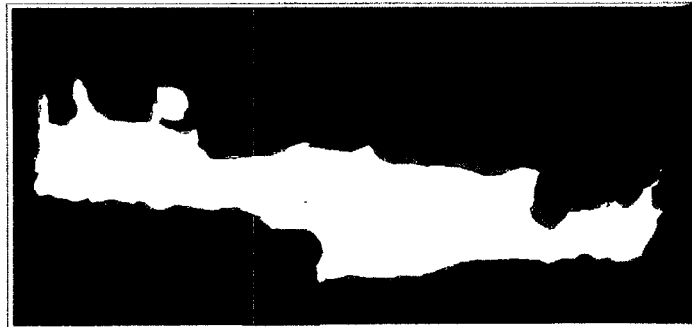


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων
Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης

Γεωγραφική κατανομή ισχυρών
βροχοπτώσεων στο χώρο της Κρήτης



Μιχάλης Ι. Κουράκης

Αθήνα, Ιούλιος 1996

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη του ανθρώπου να προσεγγίσει και να προβλέψει όσο γίνεται περισσότερο τα διάφορα φυσικά φαινόμενα οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων επιστημών. Η επιστήμη της υδρολογίας, ασχολείται μεταξύ άλλων με την πρόγνωση της εξέλιξης του υδρολογικού κύκλου. Στο αντικείμενο της υδρολογίας εξέχουσα θέση κατέχει η πρόγνωση των καταιγίδων και πλημμύρων μια πρόγνωση που εξακολουθεί να γίνεται πιο επιτακτική στις μέρες μας αφού οι συνέπειες των παραπάνω φαινομένων μπορεί να είναι καθοριστικές.

Στη παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης των μεγίστων βροχοπτώσεων στην περιοχή της Κρήτης.

Με την εργασία αυτή κλείνω τον κύκλο σπουδών μου στο Ε.Μ.Π και θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη που ήταν στην διάθεση μου κάθε στιγμή και πρόθυμα μου συμπαραστάθηκε και με βοήθησε. Επίσης ευχαριστώ το Νίκο Μαμάση που με εισήγαγε στο πεδίο εφαρμογών του GIS. Τέλος ευχαριστώ τις υπηρεσίες ΕΜΥ, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΥΕΒ Κρήτης και ιδιαίτερα ευχαριστώ την εταιρία CASA ΠΡΟΚΑΤ για της ευκολίες που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Μιχάλης Ι. Κουράκης
Αθήνα, Ιούλιος 1996

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ
1.1 Αντικείμενο - Στόχος.	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ
2.1 Εισαγωγή	
2.2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων	
2.3 Όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης	
2.4 Εξαγωγή μέγιστων υψών βροχής από βροχόμετρο	
2.5 Μέθοδος Ψηφιοποίησης μέγιστων υψών βροχής βροχογράφου	
2.6 Προβλήματα	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ
3.1 Εισαγωγή	
3.2 Κατανομή Gumbel	
3.3 Γενική έκφραση όμβριων καμπυλών	9
3.4 Μέθοδοι εκτίμησης των παραμέτρων	10
3.5 Διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων	12
3.6 Απλοποίηση των εξισώσεων	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ
4.2 Διαχωρισμός σε ζώνες	
4.3 Τελικές εξισώσεις όμβριων καμπυλών	20
4.4 Έλεγχος προσαρμογής συνάρτησης κατανομής	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΕ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥΣ
5.1 Εισαγωγή	
5.2 Επεξεργασία στοιχείων βροχομέτρου	
5.3 Σύγκριση ευθειών βροχογράφου και βροχομέτρου	26
5.4 Εντάσεις και ύψη βροχής για σταθμούς που διαθέτουν μόνο βροχόμετρο	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ
6.1 Εισαγωγή	
6.2 Κατανομή βροχομετρικών σταθμών σε υποπεριοχές	
6.3 Μέγιστα ύψη βροχόπτωσης	
6.4 Χάρτες ισοϋέτιων καμπυλών για μέγιστα ύψη βροχής	30
6.5 Προσδιορισμός των αγνώστων παραμέτρων με τη χρήση χαρτών	35
6.6 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
	38
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	39
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
1. ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
2. ΓΡΑΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL	
3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥΣ	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε προηγμένες χώρες το θέμα της κατάρτισης όμβριων καμπυλών έχει αντιμετωπιστεί μαζικά για εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές και κατασκευάστηκαν έτσι χάρτες που δίνουν έτοιμα στοιχεία για κάθε περιοχή, βάσει των οποίων μπορεί να καταρτιστούν εύκολα όμβριες καμπύλες σε οποιοδήποτε σημείο, χωρίς να απαιτείται να ανατρέξει κανείς στα πρωτογενή ιστορικά δεδομένα.

Στην Ελλάδα έχει γίνει μια πρώτη πιλοτική διερεύνηση προς την κατεύθυνση της κατασκευής ανάλογων χαρτών (Κοζώνης, 1995) με εφαρμογή στη Στερεά Ελλάδα.

Συνέχεια της προσπάθειας αυτής αποτελεί η παρούσα εργασία όπου αναφέρεται στην περιοχή της Κρήτης.

Στην περιοχή της Κρήτης αλλά και γενικά στις περισσότερες περιοχές του κόσμου η γενική κατάσταση των βροχομετρικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά αραιό δίκτυο σταθμών εξοπλισμένων με βροχογράφο και από ένα πολύ πυκνότερο δίκτυο σταθμών με βροχόμετρο. Η κατάσταση αυτή οδήγησε (Κουτσογιάννης, 1996) στην κατάρτιση κατάλληλης μεθοδολογίας για τις όμβριες καμπύλες που να αξιοποιεί στον υπολογισμό και το πυκνό δίκτυο των βροχομέτρων. Παράλληλα επιδιώκεται και η σταθεροποίηση ορισμένων παραμέτρων που παρουσιάζουν μια ομοιογένεια σε ευρύτερες περιοχές με σκοπό τον περιορισμό των παραμέτρων της όμβριας εξισώσεως καθώς και στην κατασκευή χαρτών για την έμμεση κατάρτιση όμβριων καμπυλών χωρίς αναδρομή στα πρωτογενή δεδομένα.

Ολόκληρη η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε στην περιοχή της Κρήτης με τελικό αποτέλεσμα την δημιουργία χαρακτηριστικών χαρτών ισοϋέτιων καμπυλών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο - Στόχος.

Οι όμβριες Καμπύλες ή καμπύλες έντασης - διάρκειας - περιόδου επαναφοράς βροχόπτωσης, αποτελούν ένα από τα βασικότερα εργαλεία του υδρολόγου μηχανικού για το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων. Πρόκειται για απλές αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής i συναρτήσει της διάρκειας d και της περιόδου επαναφοράς T . Για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών πρέπει να είναι διαθέσιμες ιστορικές σειρές μεγίστων εντάσεων βροχής για ένα σύνολο k διαρκειών d_j , $j=1\dots k$, ξεκινώντας από την ελάχιστη διάρκεια που επιτρέπει η ευκρίνεια των παρατηρήσεων (πχ 5 min - 1h) και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη διάρκεια βροχής που ενδιαφέρει στα τυπικά προβλήματα του μηχανικού (πχ 24 - 48 h).

Η χρησιμότητα των όμβριων καμπυλών είναι άμεση σε όλα τα προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού που αφορούν στην αντιπλημμυρική προστασία. Ουσιαστικά η χρήση τους συνίσταται στην πρόγνωση της έντασης βροχής i για δεδομένη διάρκεια d , η οποία έχει σχέση με τα χαρακτηριστικά του υδατορεύματος που μελετάται και για δεδομένη περίοδο επαναφοράς T , που έχει σχέση με τη σημασία του έργου που μελετάται. Οι όμβριες καμπύλες αποτελούν την βασική είσοδο σε όλα τα μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, ξεκινώντας από την απλή ορθολογική μέθοδο ($Q=CiA$) και φτάνοντας σε πιο σύνθετες μορφές, όπως αυτές του μοναδιαίου υδρογραφήματος. (Κουτσογιαννης 1996).

Στόχος επομένως της συγκεκριμένης εργασίας είναι η κατάρτιση χαρακτηριστικών εκφράσεων όμβριων καμπυλών για την περιοχή της Κρήτης μέσω δεδομένων από βροχογράφους καθώς και η αναλυτικότερη 'χαρτογράφηση' της περιοχής μέσω δεδομένων από βροχόμετρα ώστε να απλοποιηθεί κατά το δυνατόν το στάδιο του προσδιορισμού του κρίσιμου σημειακού ύψους βροχής μιας υδρολογικής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1 Εισαγωγή

Για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών επιλέχθηκαν 9 σταθμοί βροχογράφων και 35 σταθμοί βροχομέτρων από όπου συλλέχθηκαν χρονοσειρές μεγίστων υψών βροχής για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης. Τα δεδομένα χορηγήθηκαν από τους εξής δημόσιους φορείς :

- Υπουργείο περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ)
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
- Περιφερειακή Διεύθυνση Εγχειοβελτιώσεων Κρήτης (ΠΔΕΚ)

2.2 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Όλα τα δεδομένα χορηγήθηκαν από τις παραπάνω υπηρεσίες κατόπιν γραπτής αιτήσεως. Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσα στις Υπηρεσίες και σε χώρο που παραχωρήθηκε από τους αρμόδιους.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι ένα μεγάλο μέρος των βροχογραφικών στοιχείων προέρχεται από την ΕΜΥ και αυτό επειδή τα δεδομένα της ΕΜΥ ήταν ήδη επεξεργασμένα και πινακοποιημένα. Για τα υπόλοιπα βροχογραφικά στοιχεία ήταν απαραίτητη η ανάγνωση και καταγραφή των μεγίστων ετήσιων υψών βροχής διάρκειας 1,2,6,12,24 και 48 h για όλα τα έτη στα οποία υπήρχε σαφής, συνεπής και αναλυτική αναγραφή των υψών στις ταινίες του βροχογράφου. Σημειώνουμε επίσης, ότι από την ΠΔΕΚ προέρχονται εξολοκλήρου τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών με εξαίρεση το σταθμό Ηρακλείου που ανήκει στην ΕΜΥ.

Πρώτη και βασική λοιπόν προϋπόθεση για την εκλογή ενός σταθμού ήταν φυσικά η ύπαρξη και η λειτουργία βροχογράφου σε αυτόν, στη συνέχεια η συνεχής κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους λειτουργία του βροχογράφου, η ευανάγνωστη καταγραφή στις ταινίες, η ακριβής συμπλήρωση των ημερήσιων δελτίων από τους παρατηρητές και τέλος η μεγάλη χρονική περίοδος λειτουργίας κάθε σταθμού. Σημειώνουμε επίσης ότι δόθηκε σημασία στη γεωγραφική θέση του κάθε σταθμού, έτσι ώστε όλοι να καλύπτουν κατά το δυνατόν το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης.

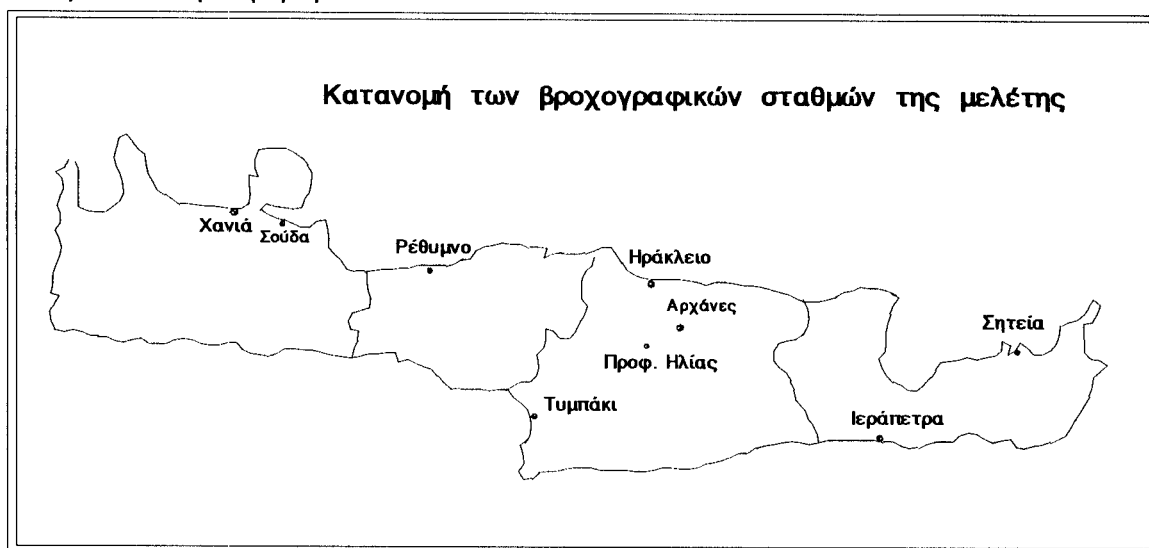
Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται όλοι οι σταθμοί βροχογράφων που επιλέχθηκαν καθώς και πληροφοριακά στοιχεία για αυτούς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.1 Επιλεγμένοι βροχογραφικοί σταθμοί

α/α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΦΟΡΕΑΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ	ΝΟΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
1	Χανιά	ΕΜΥ	Δυτική Κρήτη	Χανιά	62	10
2	Σούδα	ΕΜΥ	Δυτική Κρήτη	Χανιά	151	10
3	Ρέθυμνο	ΕΜΥ	Δυτική Κρήτη	Ρέθυμνο	5	10
4	Ηράκλειο	ΕΜΥ	Δυτική Κρήτη	Ηράκλειο	39	15
5	Τυμπάκι	ΥΠΓΕ	Δυτική Κρήτη	Ηράκλειο	7	15
6	Αρχάνες	ΥΠΔΕ	Κεν/κή Κρήτη	Ηράκλειο	380	22
7	Προφ.Ηλίας	ΥΠΓΕ	Κεν/κή Κρήτη	Ηράκλειο	380	9
8	Σητεία	ΕΜΥ	Ανα/κή Κρήτη	Λασιθί	11	12
9	Ιεράπετρα	ΕΜΥ	Ανα/κή Κρήτη	Λασιθί	1	9

Αναφορικά με τα βροχόμετρα τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής διάρκειας μίας και δύο ημερών συλλέχθηκαν από την ΠΔΕΚ.

Παραθέτουμε τους παρακάτω χάρτες γεωγραφικής κατανομής των σταθμών στη Κρήτη.



ΧΑΡΤΗΣ 2.2.1 Κατανομή των βροχογραφικών σταθμών της μελέτης



ΧΑΡΤΗΣ 2.2.2 Κατανομή των βροχομετρικών σταθμών της μελέτης

Στο χάρτη (2.2.2) παρατηρούμε ότι στα δυτικά η κατανομή των βροχομετρικών σταθμών είναι αραιή πράγμα που οφείλεται στην απουσία μετρήσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι δεν μπορούμε να έχουμε μια αντιπροσωπευτική εικόνα όσο αναφορά της βροχοπτώσεις.

2.3 Όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης

Τα όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης είναι κυλινδρικά δοχεία τοποθετημένα σε κατάλληλες θέσεις δίνοντας της αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Αυτά είναι :

- Οι βροχογράφοι. Οι βροχογράφοι καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη σχέση ύψους βροχής - χρόνου αναλύοντας έτσι τη σημειακή χρονική διανομή των βροχοπτώσεων. Αποτελούνται από τη διάταξη συλλογής του νερού και από το γραφικό του σύστημα. Σε αυτούς, από το σωλήνα του δοχείου υποδοχής το νερό διαβιβάζεται σε άλλο δοχείο μικρότερης διαμέτρου το οποίο περιέχει εντός του ελαφρύ μεταλλικό πλωτήρα. Η κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα μεταβιβάζεται μέσω κατάλληλης διάταξης στην γραφίδα του οργάνου η οποία εφάπτεται συνεχώς της ταινίας που περιβάλλει το ωρολογιακά περιστρεφόμενο τύμπανο σταθερής γωνιακής ταχύτητας (πχ μια στροφή ανά εβδομάδα). Όταν η γραφίδα φθάσει στο ανώτατο άκρο της ταινίας πραγματοποιείται αυτόματη εκκένωση των δοχείων και έτσι αυτή και ο πλωτήρας επανέρχονται εντός ολίγων δευτερολέπτων στην κατώτατη θέση τους.
- Τα βροχόμετρα. Τα βροχόμετρα δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο ύψος νερού μιας χιονόπτωσης ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα με την ανάγνωση της ένδειξης του παρατηρητή. Αποτελούνται από δύο κύρια τμήματα : το μεταλλικό δοχείο υποδοχής της βροχής και το μετρικό σύστημα, δηλαδή ένα κύλινδρο συλλογής της βροχής με χιλιοστομετρική κλίμακα και διάμετρο συνήθως υποπολλαπλάσια της διαμέτρου του δοχείου υποδοχής για να πολλαπλασιάζεται η ευαισθησία της μέτρησης (Ξανθόπουλος 1990).

2.4 Εξαγωγή μέγιστων υψών βροχής από βροχόμετρο

Από το βροχόμετρο παίρνουμε τα μηνιαία βροχομετρικά δελτία όπου μέσα σε αυτά αναγράφονται οι ημερήσιες τιμές. Οι τιμές προκύπτουν από ανάγνωση που κάνει ο παρατηρητής του σταθμού.

Στη συνέχεια εντοπίζουμε τις πιο ισχυρές ημερήσιες βροχοπτώσεις αρχίζοντας από τον Οκτώβριο. Η ζητούμενη τιμή του ύψους βροχής για το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος διάρκειας 24ωρών είναι η μέγιστη των παραπάνω τιμών.

Ανάλογα δουλεύουμε για τον καθορισμό του μέγιστου ύψους βροχής διάρκειας 48ωρών για το συγκεκριμένο υδρολογικό έτος, δηλαδή εντοπίζουμε τις πιο ισχυρές 48ωρες βροχοπτώσεις και εξάγουμε τη μέγιστη τιμή από τις παραπάνω τιμές.

Η όλη διαδικασία εφαρμόζεται για όλα τα έτη των παρατηρήσεων του κάθε σταθμού.

2.5 Μέθοδος Ψηφιοποίησης μέγιστων υψών βροχής βροχογράφου

Για την εξαγωγή των μέγιστων ετήσιων υψών βροχής για διάφορες διάρκειες απαιτείται η ανάγνωση ταινιών βροχογράφου. Όταν εννοούμε εδώ έτος αναφερόμαστε σε υδρολογικό, δηλαδή έτος με έναρξη την 1η Οκτωβρίου και πέρας την 30η Σεπτεμβρίου. Όπως προαναφέραμε τα βροχογραφικά δεδομένα της ΕΜΥ ήταν ήδη επεξεργασμένα δηλαδή για κάθε διάρκεια είχαν εξαχθεί τα μέγιστα μηνιαία ύψη βροχής για κάθε έτος, όπως επίσης και η μέγιστη ετήσια που αναφερόταν όμως, σε ημερολογιακό έτος. Έπρεπε έτσι να ανατρέξουμε στις μηνιαίες τιμές και

να εξάγουμε διαφορετικές μέγιστες ετήσιες τιμές για κάθε υδρολογικό έτος. Η εργασία αυτή έγινε για της διάρκειες 1,2,6,12 και 24 ωρών.

Όλες οι ταινίες βροχογράφου που ψηφιοποιήσαμε είναι εβδομαδιαίες δηλαδή ξεκινούν ημέρα Δευτέρα και ώρα 8.00 πμ και λήγουν την ίδια ακριβώς ώρα της επομένης Δευτέρας. Στον οριζόντιο άξονα οι υποδιαιρέσεις είναι ανά μία ή δύο ώρες ενώ στο κατακόρυφο άξονα σε δέκατα του mm με κατώτατο άκρο το μηδέν και ανώτερο τα 10 mm.

Οι ταινίες του βροχογράφου συνοδεύονται πάντα από μηνιαία βροχομετρικά δελτία. Μέσα σε αυτά αναγράφονται οι ημερήσιες τιμές ύψους βροχής του αντίστοιχου μήνα, όπως επίσης η διάρκεια της βροχόπτωσης και ο χαρακτηρισμός της από πλευράς έντασης (ασθενής, ισχυρή, ραγδαία). Οι ημερήσιες τιμές προκύπτουν από ανάγνωση που κάνει ο παρατηρητής του σταθμού.

Η εύρεση των μέγιστων τιμών του ύψους βροχόπτωσης για δεδομένη διάρκεια κάθε υδρολογικού έτους γίνεται ως εξής : Ανατρέχουμε στα μηνιαία βροχομετρικά δελτία αρχίζοντας από τον Οκτώβριο και εντοπίζουμε τις πιο ισχυρές ημερήσιες βροχοπτώσεις. Στη συνέχεια ανατρέχουμε στις ταινίες των βροχογράφων και εντοπίζουμε τις ημερομηνίες κατά τις οποίες είχαμε μεγάλες εντάσεις βροχής για τις οποίες και μετράμε τα μέγιστα των υψών για τη δεδομένη διάρκεια αρχίζοντας και πάλι από τον Οκτώβριο και φθάνοντας μέχρι το Σεπτέμβριο. Μεγάλη σημασία δίνουμε στις ημερομηνίες που σύμφωνα με το βροχόμετρο έχουμε τις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις χωρίς όμως να αποκλείουμε και άλλες ημερομηνίες που έχουν καταγραφεί μεγάλες εντάσεις βροχής. Το ζητούμενο είναι το μέγιστο όλων των υψών βροχής της δεδομένης διάρκειας. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα έτη για τα οποία υπάρχουν ταινίες και δελτία.

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε πως για όλους τους σταθμούς έγινε έλεγχος για να εντοπίσουμε τυχόν σφάλμα μέσω των παρακάτω δύο ανισώσεων :

$$h_A \leq h_B \text{ και } j_A \geq j_B$$

Όπου A, B διάρκειες βροχοπτώσεις με $A < B$, h τα μέγιστα ύψη βροχόπτωσης για της διάρκειες A και B και j οι αντίστοιχες εντάσεις.

2.6 Προβλήματα

Κατά τη συλλογή των στοιχείων από τους σταθμούς της ΕΜΥ δεν προέκυψαν ιδιαίτερα προβλήματα και αυτό γιατί τα αποτελέσματα ήταν ήδη επεξεργασμένα. Το μόνο πρόβλημα ήταν στο σταθμό του Τυμπακίου που δεν είχαμε μετρήσεις για τα έτη 81-82,83-84,84-85. Το χαρακτηριστικό όμως γνώρισμα των σταθμών της ΕΜΥ είναι το μικρό χρονικό διάστημα λειτουργίας.

Τα περισσότερα προβλήματα παρουσιάστηκαν στους σταθμούς του ΥΠΕΧΩΔΕ που συνοπτικά είναι :

- Απουσία ταινιών για μεγάλα διαστήματα της τάξης μηνών ή ακόμα και ετών.
- Ασυμφωνία βροχογράφου και βροχομέτρου
- Μη λειτουργία του βροχογράφου λόγω κακής συντήρησης
- Προβλήματα κατά την ανάγνωση ταινιών. Σε πολλές ταινίες είχε χυθεί μελάνι ή ήταν γραμμένες με το χέρι και όχι από το βροχογράφο.

Στους σταθμούς της ΠΔΕΚ το μόνο πρόβλημα ήταν η αδυναμία της υπηρεσίας να χορηγήσει τις μετρήσεις για όλα τα χρόνια των παρατηρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Για τον υπολογισμό των μεγίστων πλημμυρικών παροχών εξετάζονται οι μέγιστες βροχοπτώσεις που χαρακτηρίζονται από το ολικό ύψος βροχής την διάρκεια και την περίοδο επαναφοράς T . Το μέγεθος που ενδιαφέρει είναι το ολικό ύψος βροχής για κάποια διάρκεια και για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς T . Η διάρκεια των καταιγίδων κυμαίνεται από μερικά λεπτά μέχρι μερικές ώρες.

Έτσι είναι απαραίτητη η πιθανολογική ανάλυση των σημειακών βροχοπτώσεων διαφόρων διαρκειών, από την οποία θα προκύψουν οι γραφικές ή αναλυτικές σχέσεις μεταξύ του ύψους βροχής h (ή της μέσης εντάσεως της βροχής $i=h/d$) και της διάρκειας της βροχής d για διάφορες περιόδους επαναφοράς, του μέγιστου αυτού γεγονότος βροχής.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι : α) Η διάρκεια δεν είναι τυχαία μεταβλητή αλλά παράμετρος. Δεν έχει σχέση με την πραγματική διάρκεια των επεισοδίων βροχής, αλλά εκφράζει τη χρονική διάρκεια για την οποία εξάγεται η μέση ένταση βροχής. β) Η σειρά μεγίστων εντάσεων $i(d)$ που κατασκευάζεται δεν περιλαμβάνει στιγμιαίες εντάσεις, αλλά μέσες εντάσεις για διάρκεια d . Η σειρά αυτή θεωρείται ότι αποτελεί τυχαίο δείγμα της τυχαίας μεταβλητής $i(d)$ (Κουτσογιάννης, 1996).

Ο υπολογισμός των όμβριων καμπυλών σχετίζεται άμεσα με την ανάλυση ακραίων γεγονότων και καταλληλότερη στατιστική κατανομή για της χρονοσειρές των ετήσιων μεγίστων υψών βροχής είναι η Gumbel.

3.2 Κατανομή Gumbel

Από τη φύση της η κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel) είναι κατάλληλη για την περιγραφή μεγίστων μεγεθών, γιαυτό είναι και η πιο διαδεδομένη κατανομή για την περιγραφή μεγίστων εντάσεων βροχής. Η μαθηματική της έκφραση είναι :

$$F(X) = e^{-e^{-\lambda(X-c)}} = 1 - F_1(X) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.2.1)$$

Όπου $F(X)$: η συνάρτηση κατανομής και πιθανότητα μη υπέρβασης
 $F_1(X)$: η πιθανότητα υπέρβασης
 T : η περίοδος επαναφοράς
 λ, c : παράμετροι της καταμής Gumbel

Η μεταβλητή X συμβολίζει είτε την ένταση της βροχής i είτε το γινόμενο $y=ib(d)$ (το μόνο που αλλάζει είναι η τιμή της παραμέτρου κλίμακας), όπου $b(d)$ συνάρτηση της διάρκειας που θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων λ και c από οποιοδήποτε δείγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των ροπών, οπότε έχουμε :

$$\lambda = \frac{\pi}{\sqrt{6} * s_X} = \frac{1}{0.78 * s_X} \quad \text{και} \quad c = \mu_X - \frac{0.577}{\lambda} \quad (3.2.3)$$

όπου μ_x ΚΑΙ S_x είναι μέση τιμή και τυπική απόκλιση του υπό εξέταση δείγματος.

Αν λογαριθμίσουμε τη σχέση (3.2.1) έχουμε :

$$X = c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda} \quad (3.2.3)$$

Από την παραπάνω σχέση με γνωστή περίοδο και για συγκεκριμένη διάρκεια υπολογίζουμε το ύψος ή την ένταση βροχής. (Κουτσογιάννης, 1996)

3.3 Γενική έκφραση όμβριων καμπυλών

Οι αναλυτικές σχέσεις για όμβριες καμπύλες είναι συνήθως τριών κατηγοριών (Ξανθόπουλος, 1990) :

⇒ Απλές εκθετικές, της μορφής :

$$h = a \cdot t^n, \quad i_m = a \cdot t^{n-1} \quad (3.3.1)$$

που είναι ευρείας χρήσεως, γιατί γραμμικοποιούνται με λογαρίθμηση, οπότε ευθειοποιείται η γραφική της παράσταση και, προσδιορίζονται εύκολα οι βέλτιστες τιμές των a, n με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

⇒ Υπερβολικές της μορφής :

$$h = \frac{a \cdot t}{t+b}, \quad i_m = \frac{a}{t+b} \quad (3.3.2)$$

⇒ Μικτές, της μορφής :

$$h = \frac{a \cdot t}{(t+b)^n}, \quad i_m = \frac{a}{(t+b)^n} \quad (3.3.3)$$

που θεωρούνται καταλληλότερες όταν επιζητείται αυξημένη ακρίβεια για περιορισμένες διάρκειες, πχ για βροχές διαρκειών $0 < t < 2$ hr.

Η εξάρτηση των παραμέτρων των (3.3.2) και (3.3.3) από την περίοδο επαναφοράς εισάγει έμμεσα την περίοδο επαναφοράς στον υπολογισμό της έντασης i .

Είναι προφανές ότι η παράμετρος n θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη της περιόδου επαναφοράς (διαφορετικά θα ήταν δυνατό για δεδομένη διάρκεια d και για δυο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς να προκύψει η ίδια τιμή της έντασης βροχής i , οπότε δεν υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία έντασης και περιόδου επαναφοράς). Ωστόσο στην πράξη αυτό δεν έχει και τόση μεγάλη σημασία αν οι εξισώσεις χρησιμοποιούνται για διάρκειες μέσα στο εύρος διακύμανσης των διαρκειών για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα.

Με βάση τα παραπάνω στη παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν εξισώσεις της μορφής (βλ. Κουτσογιάννη, 1994) :

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (3.3.4)$$

Όπου $a(T)$ και $b(d)$ είναι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και διάρκειας αντίστοιχα. Σε αντιστοιχία με την (3.3.3) η $b(d)$ παίρνει την εξής μορφή :

$$b(d) = (d+f)^n \quad (3.3.5)$$

Παρατηρούμε ότι η συνάρτηση $a(T)$ είναι αντίστροφη της συνάρτησης κατανομής της τυχαίας μεταβλητής $y=ib(d)$, δηλαδή $a(T)=y_T$ όπου y_T είναι το ποσοστημόριο της κατανομής της y που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς T . Κατά συνέπεια η $a(T)$ εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της συνάρτησης κατανομής που υιοθετείται για την ένταση βροχής i . Αφού η διάρκεια d στην ανάλυσή μας δεν αποτελεί τυχαία μεταβλητή, αλλά παράμετρο, το μέγεθος $b(d)$ δεν επηρεάζει το τύπο της συνάρτησης κατανομής, παρά μόνο την παράμετρο κλίμακας της συνάρτησης κατανομής.

Αν θεωρήσουμε ότι οι σειρές των τιμών της έντασης περιγράφονται από την κατανομή Gumbel τότε από την (3.2.3) έχουμε :

$$a(T) = c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda} \quad \text{και} \quad i = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{(d+f)^n} \quad (3.3.6)$$

όπου i : η ένταση της βροχής σε mm/hr

d : η διάρκεια της βροχόπτωσης σε hr

T : η περίοδος επαναφοράς σε έτη

c, λ, f, n : παράμετροι χαρακτηριστικές για κάθε σταθμό

Η κατανομή Gumbel χρησιμοποιήθηκε λόγω καλλίτερης προσαρμογής της ευθείας της κατανομής στο σημειοσύνολο.

3.4 Μέθοδοι εκτίμησης των παραμέτρων

Η εκτίμηση των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους (Κουτσογιάννης, 1996) (Οι δύο πρώτες αναφέρονται συνοπτικά ενώ στη 3η γίνεται λεπτομερής αναφορά μια που υιοθετήθηκε στη παρούσα εργασία) :

α) Εμπειρική εκτίμηση : Η μέθοδος αυτή διαφοροποιείται από τις άλλες κυρίως στο γεγονός ότι η παράσταση του αριθμητή δεν αντιμετωπίζεται ως αντίστροφη συνάρτηση κατανομής, αλλά ως καθαρώς εμπειρική έκφραση. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε δύο ξεχωριστά στάδια. Το πρώτο στάδιο αντιστοιχεί στην προσαρμογή μιας συνάρτησης κατανομής ξεχωριστά για κάθε διάρκεια και το δεύτερο στην εκτίμηση των παραμέτρων της.

β) Καθολική εκτίμηση : Η μέθοδος αυτή εκτιμά ταυτόχρονα το σύνολο των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών ελαχιστοποιώντας το συνολικό σφάλμα σε σχέση με τα ιστορικά δεδομένα.

γ) Εκτίμηση με ενοποίηση διαρκειών : Η μέθοδος εκτίμησης με ενοποίηση διαρκειών υπολογίζει το σύνολο των παραμέτρων των

όμβριων καμπυλών σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο υπολογίζονται οι παράμετροι τις συνάρτησης $b(d)$ και στο δεύτερο αυτές της $a(T)$.

Από την (3.3.4) προκύπτει άμεσα ότι η τυχαία μεταβλητή $Y=ib(d)$ έχει συνάρτηση κατανομής ανεξάρτητη της διάρκειας d , η οποία καθορίζεται πλήρως από τη συνάρτηση $a(T)$. Πρέπει λοιπόν οι παράμετροι f και n να υπολογιστούν έτσι ώστε να ικανοποιούν αυτή τη συνθήκη.

Αν υποθέσουμε ότι είναι γνωστές οι τιμές των παραμέτρων f και n τότε μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές $y_{ij}=i_{ij}b(d_j)$. Ενοποιώντας όλα τα δείγματα που περιέχουν τις τιμές y_{ij} αποκτούμε ένα συνολικό δείγμα μεγέθους :

$$m = \sum_{j=1}^k n_j \quad (3.4.1)$$

Με βάση το δείγμα αυτό, καταταγμένο σε φθίνουσα σειρά, μπορούμε να αντιστοιχήσουμε αύξοντες αριθμούς (ranks) r_{ij} σε όλες τις m τιμές y_{ij} (Για την περίπτωση που έχουμε ταυτόσημες τιμές y_{ij} χρησιμοποιούμε το μέσο όρο των αντίστοιχων βαθμών). Επανερχόμενοι στα αρχικά επιμέρους δείγματα των ξεχωριστών διαρκειών υπολογίζουμε για κάθε τιμή το μέσο βαθμό :

$$\bar{r}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^k r_{ij} \quad (3.4.2)$$

— Αν όλα τα επιμέρους δείγματα έχουν την ίδια κατανομή τότε κάθε r_j θα πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή $(m+1)/2$ διαφορετικά οι τιμές r_j θα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Αυτό μας οδηγεί στη χρήση της στατιστικής παραμέτρου $kruskal-Wallis$ η οποία συνδυάζει τους μέσους βαθμούς από όλα τα επιμέρους δείγματα :

$$h = \frac{12}{m(m+1)} \sum_{j=1}^k n_j \left(\bar{r}_j - \frac{m+1}{2} \right)^2 \quad (3.4.3)$$

Η στατιστική συνάρτηση h ακολουθεί κατανομή χ^2 με $k-1$ βαθμούς ελευθερίας. Κατά συνέπεια το πρόβλημα του προσδιορισμού των παραμέτρων f και n μπορεί να αναχθεί στην ελαχιστοποίηση της στατιστικής παραμέτρου h . Η αναλυτική ελαχιστοποίηση δεν είναι δυνατή και γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αριθμητική μέθοδος, η οποία ελέγχει με συστηματικό τρόπο δοκιμαστικές τιμές των παραμέτρων. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση η τυπική μέθοδος διχοτόμησης.

Για λόγους καλύτερης προσαρμογής της συνάρτησης $b(d)$ στην περιοχή των υψηλότερων εντάσεων, είναι σκόπιμο να μην χρησιμοποιείται σε αυτό το πρώτο στάδιο υπολογισμού το σύνολο των δεδομένων κάθε επιμέρους δείγματος, αλλά ένα μέρος αυτών των δεδομένων αφού καταταγούν σε φθίνουσα σειρά. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν όλα τα δεδομένα λόγο περιορισμένου αριθμού παρατηρήσεων.

Αφού προσδιοριστούν οι παράμετροι f και n , είναι απλή υπόθεση η εκτίμηση των παραμέτρων της συνάρτησης $a(T)$, η οποία γίνεται στο δεύτερο στάδιο υπολογισμού. Συγκεκριμένα, οι τελευταίες παράμετροι εκτιμώνται με τις τυπικές μεθόδους της στατιστικής (πχ μέθοδος των

ροπών) χρησιμοποιώντας το ενοποιημένο δείγμα που περιέχει όλα τα m δεδομένα y_{ij} (Κουτσογιάννης, 1996).

3.5 Διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων

Όπως είδαμε στην παράγραφο (3.3) για την πιθανοτική περιγραφή των εντάσεων υιοθετούμε την κατανομή Gumbel, κατά συνέπεια η έκφραση των όμβριων καμπυλών θα είναι :

$$i = \frac{d(T)}{k(d)} = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{(d+f)^n} \quad (3.5.1)$$

Ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου για την περιοχή του Ηρακλείου. Σύμφωνα με τη γενική μεθοδολογία που αναπτύχθηκε πιο πάνω, στο πρώτο στάδιο εκτιμάμε τις παραμέτρους f και n . Όπως είδαμε, η διαδικασία περιλαμβάνει επαναλήψεις που δεν μπορούν να παραταθούν εδώ στο σύνολό τους. Θα παραθέσουμε μόνο τους υπολογισμούς της τελικής βέλτιστης λύσης, $f=0.18$ και $n=0.76$

Στο πίνακα που ακολουθεί δίνεται το δείγμα των μέγιστων ετήσιων υψών βροχής όπως προέκυψε ύστερα από αποκωδικοποίηση των βροχογραφημάτων :

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.2 Μέγιστα ετήσια ύψη βροχής απο βροχογράφο στο σταθμο Ηρακλείου

Έτος	1 hr	2 hr	6 hr	12 hr	24 hr
1972-73	12.8	20.9	42.4	50.6	50.6
1973-74	19.4	19.5	27.4	39	43.2
1974-75	11.8	18.3	39.6	56.8	58
1975-76	15.6	23.4	46.5	58	66.7
1976-77	43.8	46.9	47	47	47
1977-78	14.8	18.7	26.7	27.9	32
1978-79	25.3	33.1	36.5	37.3	37.5
1979-80	4.8	6.4	9	9	9.3
1980-81	21.7	33.3	46.8	46.8	46.8
1981-82	34.9	42.8	30.7	73.8	73.8
1982-83	13.1	24.9	34.2	34.2	34.2
1983-84	31.8	36.3	39.2	62.7	86.4
1984-85	19.7	22.4	35.5	43.5	57.2
1985-86	68.1	68.1	78.9	78.9	78.9
1986-87	29.7	34	34	34	34.4

Στον πίνακα (3.5.3) έχουμε κατάταξη των δεδομένων σε φθίνουσα σειρά και μετατροπή αυτών σε μέγιστες εντάσεις βροχόπτωσης μέσω της σχέσης $i=h/d$ όπου h το ύψος βροχής σε mm και d η διάρκεια σε h

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.3 Μέγιστες ετήσιες εντάσεις βροχής στο σταθμό Ηρακλείου.

a/a	1hr	2 hr	6 hr	12hr	24hr
1	68.10	34.05	13.15	6.58	3.60
2	43.80	23.45	7.83	6.15	3.29
3	34.90	21.40	7.80	5.23	3.08
4	31.80	18.15	7.75	4.83	2.78
5	29.70	17.00	7.07	4.73	2.42
6	25.30	16.65	6.60	4.22	2.38
7	21.70	16.55	6.53	3.92	2.11
8	19.70	12.45	6.08	3.90	1.96
9	19.40	11.70	5.92	3.63	1.95
10	15.60	11.20	5.70	3.25	1.80
11	14.80	10.45	5.67	3.11	1.56
12	13.10	9.75	5.12	2.85	1.43
13	12.80	9.35	4.57	2.83	1.43
14	11.80	9.15	4.45	2.33	1.33
15	4.80	3.20	1.50	0.75	0.39

Στο πίνακα (3.5.4) έχουν υπολογιστεί οι τιμές $y=ib(d)$ για κάθε διάρκεια όπου οι τιμές i έχουν ληφθεί από τον πίνακα (3.5.3) και οι τιμές $b(d)$ είναι ίσες $(d+0.18)^{0.76}$:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.4 Μεταβλητή $y=ib(d)$

a/a	1 hr	2 hr	6 hr	12hr	24hr
1	77.23	61.57	52.49	43.95	40.53
2	49.67	42.40	31.27	41.11	37.01
3	39.58	38.69	31.13	34.93	34.62
4	36.06	32.82	30.94	32.31	31.29
5	33.68	30.74	28.21	31.64	27.20
6	28.69	30.11	26.34	28.19	26.83
7	24.61	29.92	26.08	26.18	23.73
8	22.34	22.51	24.28	26.07	22.05
9	22.00	21.15	23.62	24.23	21.95
10	17.69	20.25	22.75	21.73	20.26
11	16.78	18.89	22.62	20.78	17.59
12	14.86	17.63	20.42	19.05	16.14
13	14.52	16.91	18.23	18.94	16.04
14	13.38	16.54	17.76	15.54	15.01
15	5.44	5.79	5.99	5.01	4.36

Για την εξαγωγή των βαθμών των δεδομένων του πίνακα (3.5.4) έχουν ληφθεί 12 από τα 15 στοιχεία για κάθε διάρκεια.

Ακολουθεί πίνακας με τους βαθμούς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.5 Βαθμοί των δεδομένων κάθε επιμέρους δείγματος

α/α	1 hr	2 hr	6 hr	12hr	24hr
1	1	2	3	5	8
2	4	6	20	7	11
3	9	10	21	13	14
4	12	16	22	17	19
5	15	23	27	18	29
6	26	24	31	28	30
7	35	25	33	32	38
8	43	42	36	34	44
9	45	48	39	37	46
10	58	52	40	47	51
11	62	55	41	49	60
12	68	59	50	53	64

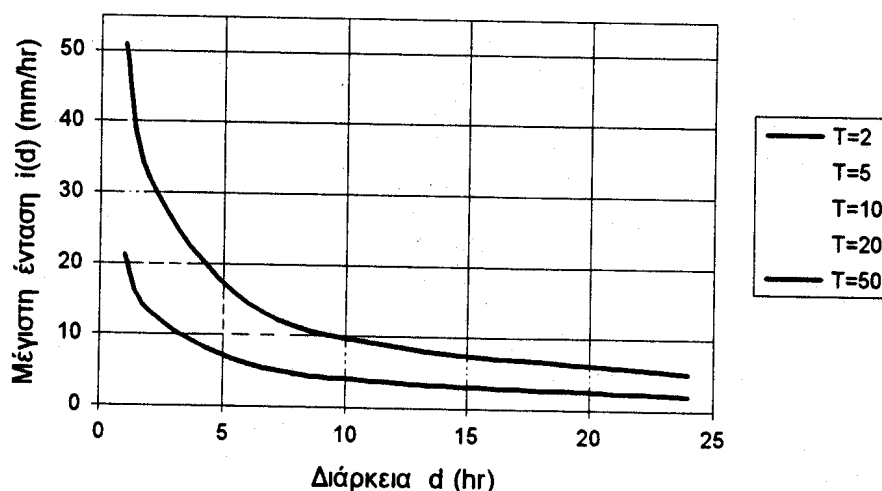
Η στατιστική παράμετρος h είναι $h=0.86$. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι με οποιοδήποτε άλλο συνδυασμό f και n προκύπτει μεγαλύτερη τιμή h .

Ακολουθεί η εκτίμηση των παραμέτρων λ και c της κατανομής Gumbel. Η μέση τιμή του συνόλου των δεδομένων του πίνακα (3.5.4) είναι $\mu_x=25.985$ και η τυπική απόκλιση $S_x=12.257$ κατά συνέπεια η μέθοδος των ροπών δίνει $\lambda=1/(0.78*12.257)=0.1046$ σχέση (3.2.3) και $c=25.985-0.5772/0.1046=20.469$. Έτσι η τελική εξίσωση όμβριων καμπυλών για το σταθμό Ηρακλείου είναι :

$$i = \frac{20.469 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{0.1046}}{(d+018)^{0.76}}$$

όπου γραφικά απεικονίζεται στο διάγραμμα (3.5.6)

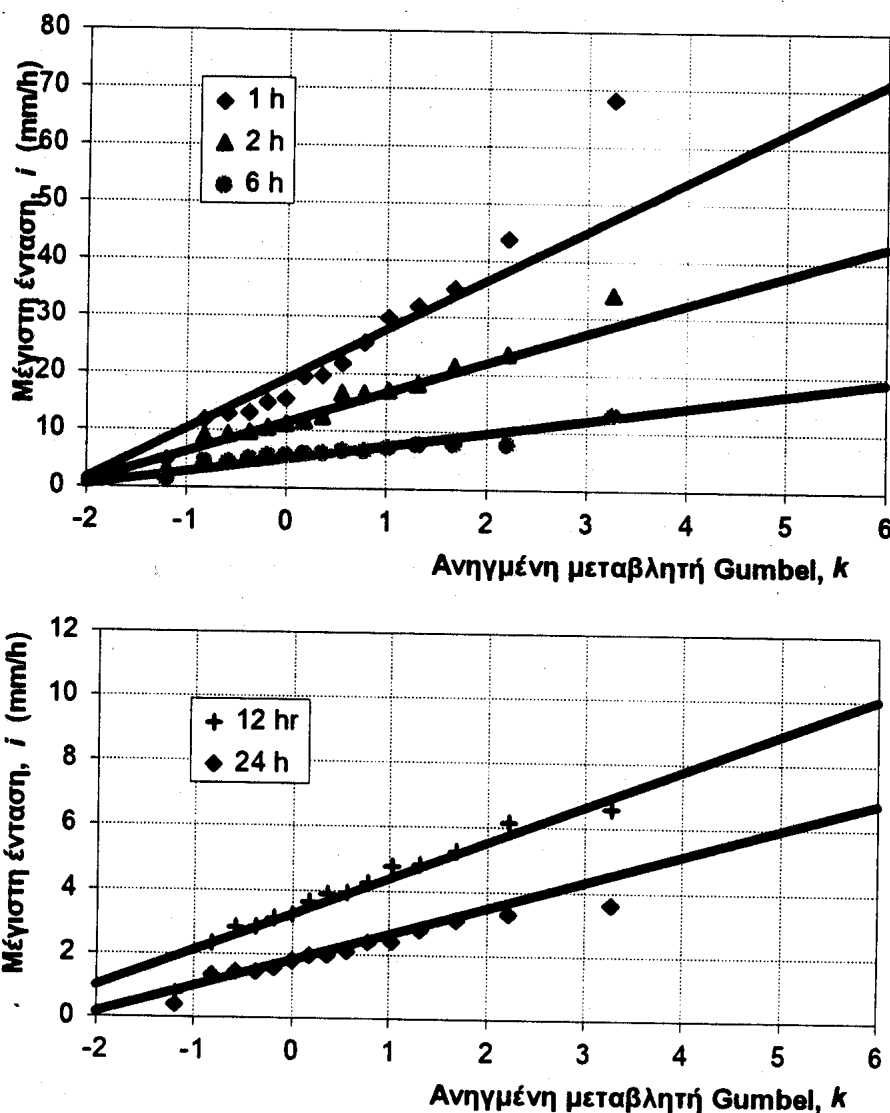
Όμβριες καμπύλες



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.5.6 Όμβριες καμπύλες στο σταθμό Ηρακλείου

Οι εμπειρικές και θεωρητικές (Gumbel) συναρτήσεις κατανομής των μεγίστων εντάσεων βροχής στο Ηράκλειο για διάρκειες βροχής από 1hr μέχρι 24 hr είναι :

ΗΡΑΚΛΕΙΟ



Διάγραμμα 3.5.7 Διάγραμμα σε χαρτί Gumbel για το σταθμό Ηρακλείου. Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής, με συνεχείς οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel ανά διάρκεια.

Η δοκιμή χ^2 οδηγεί σε μη απόρριψη της κατανομής Gumbel πράγμα που φαίνεται και οπτικά από το διάγραμμα (3.5.7). Η δοκιμή χ^2 παρατίθεται στην παράγραφο (4.4).

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται για κάθε σταθμό οι παράμετροι c, λ, f, n της εξίσωσης (3.5.1). Οι χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα :

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.8 Τιμές παραμέτρων για ενοποιημένη εκτίμηση χωρίς δεσμεύσεις

α/α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	c	λ	f	n	H
1	Χανιά	16.26	0.116	0.1	0.65	0.309
2	Σούδα	26.07	0.071	0.1	0.77	0.201
3	Ρέθυμνο	25.78	0.144	0.1	0.75	0.1197
4	Ηράκλειο	20.469	0.105	0.18	0.76	0.86
5	Τυμπάκι	21.648	0.082	0.126	0.85	0.275
6	Αρχάνες	17.619	0.2	0.3	0.59	2.279
7	Προφ. Ηλίας	11.587	0.173	0.01	0.51	0.879
8	Σητεία	22.806	0.16	0.1	0.78	2.585
9	Ιεράπετρα	16.91	0.188	0.05	0.78	0.342

3.6 Απλοποίηση των εξισώσεων

Γίνεται προσπάθεια να περιοριστεί ο αριθμός των παραμέτρων της σχέσης των όμβριων καμπυλών από τέσσερις σε τρεις. Θέτουμε επομένως $f=0$ και υπολογίζουμε ξανά τις τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων. Ακολουθεί πίνακας με τις καινούργιες τιμές των παραμέτρων :

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6.1 Τιμές παραμέτρων για ενοποιημένη εκτίμηση με $f=0$

α/α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	c	λ	f	n	H
1	Χανιά	15.86	0.12	0	0.647	0.383
2	Σούδα	24.2	0.077	0	0.74	0.12
3	Ρέθυμνο	24.311	0.152	0	0.73	0.152
4	Ηράκλειο	18.98	0.1149	0	0.74	1.259
5	Τυμπάκι	20.194	0.088	0	0.83	0.433
6	Αρχάνες	15.45	0.226	0	0.54	4.163
7	Προφ. Ηλίας	12.195	0.166	0	0.542	1.11
8	Σητεία	22.57	0.162	0	0.79	3.098
9	Ιεράπετρα	15.862	0.198	0	0.75	0.604

Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μικρές διαφορές σε σχέση με το πίνακα (3.5.8), διαφορές που θεωρούνται αποδεκτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

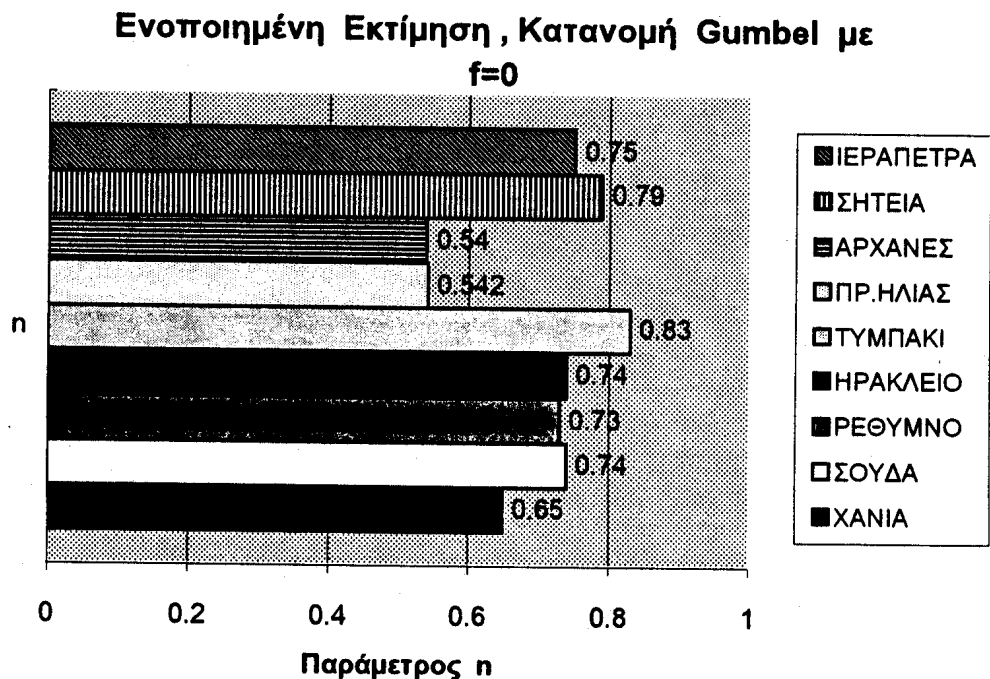
4.1 Εισαγωγή

Αντικειμενικός μας σκοπός είναι η κατάρτιση όμβριων καμπυλών για εκτεταμένες γεωγραφικές περιοχές και η δημιουργία χαρτών που να δίνουν έτοιμα στοιχεία για κάθε περιοχή, βάσει των οποίων μπορεί να καταρτιστούν εύκολα όμβριες καμπύλες σε οποιοδήποτε σημείο, χωρίς να απαιτείται να ανατρέχουμε σε πρωτογενή ιστορικά δεδομένα.

Με βάση αυτό το σκεπτικό θα πρέπει να γίνει μια ομαδοποίηση κάποιων από τις παραμέτρους των εξισώσεων ώστε να προκύψει μια έκφραση που να αντιπροσωπεύει όσο το δυνατόν καλύτερα τους βροχογραφικούς σταθμούς μίας ευρύτερης περιοχής.

4.2 Διαχωρισμός σε ζώνες

Με βάση το πίνακα (3.6.1) κατασκευάζουμε το ακόλουθο διάγραμμα μεταβολής της παραμέτρου n ανά βροχογραφικό σταθμό :



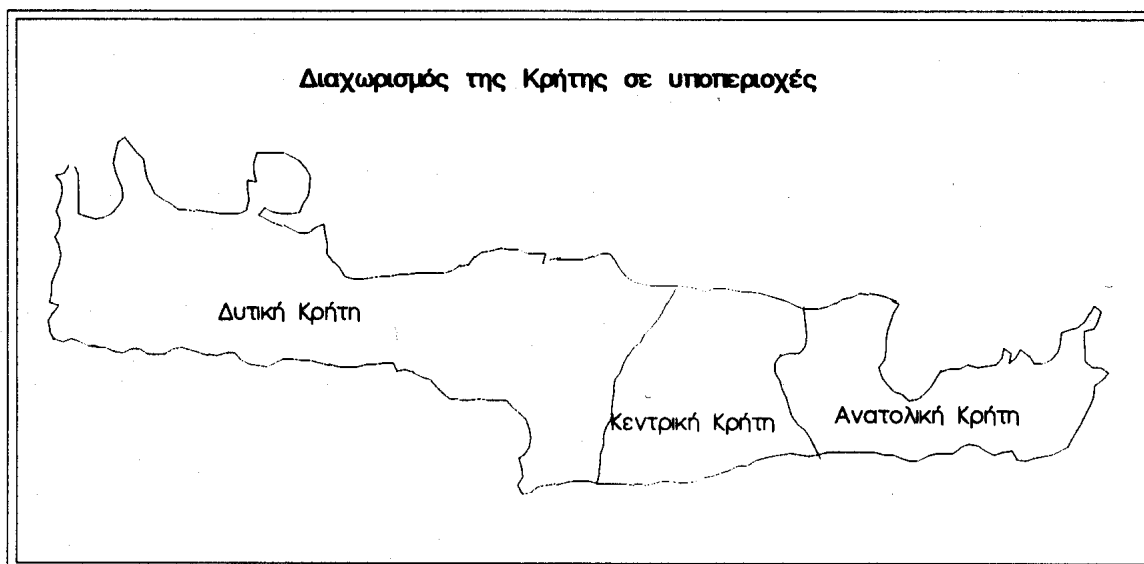
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.1 Τιμές της παραμέτρου n ανά βροχογραφικό σταθμό

Παρατηρούμε ότι η παράμετρος n μεταβάλλεται ανά σταθμό με μικρότερο εύρος διακύμανσης ανά υποπεριοχές.

Μπορούμε επομένως να θεωρήσουμε ότι διατηρείται σταθερή ανά υποπεριοχές. Έτσι με βάση τη γεωγραφική θέση και την παράμετρο n του κάθε σταθμού χωρίζουμε την περιοχή της Κρήτης στις εξής υποπεριοχές :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2 Κατανομή των σταθμών σε υποπεριοχές

Δυτική Κρήτη	Κεντρική Κρήτη	Ανατολική Κρήτη
Χανιά	Προφήτης Ηλίας	Σητεία
Σούδα	Αρχάνες	Ιεράπετρα
Ρέθυμνο		
Ηράκλειο		
Τυμπάκι		



ΧΑΡΤΗΣ 4.2.1 Διαχωρισμός της Κρήτης σε υποπεριοχές

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το μέσο όρο της τιμής της μεταβλητής n για τους σταθμούς που υπάγονται σε κάθε υδατικό διαμέρισμα.

Με σταθερό το f και το n υπολογίζουμε πάλι το σύνολο των παραμέτρων της εξίσωσης (3.5.1). Ακολουθεί πίνακας με τις καινούργιες τιμές :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.3 Τιμές παραμέτρων για ενοποιημένη εκτίμηση με $f=0$ και $n=ct$

α/α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	c	λ	$c \cdot \lambda$	f	n
	Δυτική Κρήτη					
1	Χανιά	18.45	0.1	1.845	0	0.74
2	Σούδα	24.2	0.08	1.936	0	0.74
3	Ρέθυμνο	24.73	0.15	3.71	0	0.74
4	Ηράκλειο	18.98	0.11	2.1	0	0.74
5	Τυμπάκι	17.27	0.096	1.66	0	0.74
	Μέσος Όρος			2.264	0	0.74
	Κεντρική Κρήτη					
6	Αρχάνες	15.32	0.23	3.49	0	0.54
7	Προφ. Ηλίας	12.15	0.166	2.02	0	0.54
	Μέσος Όρος			2.76	0	0.54
	Ανατολική Κρήτη					
8	Σητεία	21.84	0.167	3.65	0	0.77
9	Ιεράπετρα	16.41	0.19	3.18	0	0.77
	Μέσος Όρος			3.42	0	0.77

Παρατηρούμε ότι οι παράμετροι c και λ διαφέρουν από σταθμό σε σταθμό επίσης το γινόμενο $c \cdot \lambda$ το οποίο σε άλλες περιοχές (Κοζώνης, 1995) είχε βρεθεί να είναι περίπου σταθερό, εδώ φαίνεται να διαφέρει αισθητά σε κάθε υποπεριοχή. Για λόγους πληρότητας κάναμε μια επιπλέον εργασία, εξάγαμε το μέσο όρο ανά υποπεριοχή και το θεωρήσαμε σταθερό. Στη συνέχεια κάναμε μια αναπροσαρμογή στην εξίσωση (3.5.1) με μόνη άγνωστη παράμετρο την c

$$i = c \cdot \frac{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{c \cdot \lambda}}{(d+f)^n} \quad (4.2.1)$$

όπου

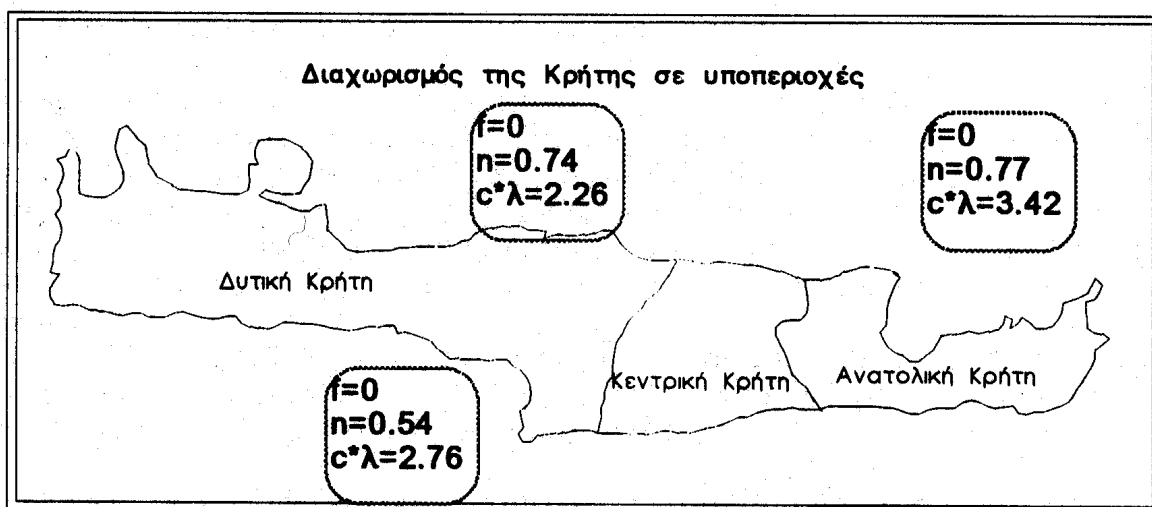
$$c = \frac{\mu_x}{1 + \frac{0.5772}{c \cdot \lambda}}$$

Ακολουθεί τρίτος γύρος υπολογισμών με σταθερές τιμές για τις παραμέτρους $f, n, c \cdot \lambda$:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.4 Τιμές παραμέτρων για ενοποιημένη εκτίμηση με $f=0, n=ct$ και $c \cdot \lambda = ct$

α/α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	c	λ	c*λ	f	n
	Δυτική Κρήτη					
1	Χανιά	19.235	0.1177	2.264	0	0.74
2	Σούδα	25.222	0.0897	2.264	0	0.74
3	Ρέθυμνο	22.75	0.0995	2.264	0	0.74
4	Ηράκλειο	19.12	0.1184	2.264	0	0.74
5	Τυμπάκι	18.542	0.1221	2.264	0	0.74
	Μέσος Ορος			2.264	0	0.74
	Κεντρική Κρήτη					
6	Αρχάνες	14.768	0.1868	2.76	0	0.54
7	Προφ. Ηλίας	12.915	0.2137	2.76	0	0.54
	Μέσος Ορος			2.76	0	0.54
	Ανατολική Κρήτη					
8	Σητεία	21.643	0.158	3.42	0	0.77
9	Ιεράπετρα	16.586	0.206	3.42	0	0.77
	Μέσος Ορος			3.42	0	0.77

Στο χάρτη που ακολουθεί φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων :



ΧΑΡΤΗΣ 4.2.2 Τιμές των παραμέτρων.

Σημείωση : Η παράμετρος $c \cdot \lambda$ δεν συνίσταται να ληφθεί σταθερή

4.3 Τελικές εξισώσεις όμβριων καμπυλών

Με βάση τα παραπάνω φτιάχνουμε τις παρακάτω εξισώσεις που είναι χαρακτηριστικές για κάθε υποπεριοχή :

$$i = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{d^{0.74}}$$

Δυτική Κρήτη

$$i = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{d^{0.54}}$$

Κεντρική Κρήτη

$$i = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{d^{0.77}}$$

Ανατολική Κρήτη

Χρησιμοποιώντας μια από τις παραπάνω εξισώσεις ανάλογα με την περιοχή που βρισκόμαστε και την τιμή των σταθερών c και λ του σταθμού που μελετάμε που ανήκει στη συγκεκριμένη υποπεριοχή βρίσκουμε την αντίστοιχη όμβρια καμπύλη.

4.4 Έλεγχος προσαρμογής συνάρτησης κατανομής

Αφού υιοθετήσουμε τη συγκεκριμένη συνάρτηση κατανομής για την περιγραφή μιας φυσικής μεταβλητής και υπολογίσουμε τις παραμέτρους της, ελέγχουμε στη συνέχεια την προσαρμογή της κατανομής αυτής στο συγκεκριμένο δείγμα που διαθέτουμε. Ο έλεγχος γίνεται με τη δοκιμή χ^2 . Η δοκιμή χ^2 στηρίζεται στη σύγκριση της θεωρητικής συνάρτησης κατανομής με την κλασική εμπειρική συνάρτηση κατανομής.

Ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής της παραπάνω μεθόδου ελέγχου στο σταθμό Ηρακλείου αφού πρώτα παραθέσουμε πίνακα με τις εντάσεις καταταγμένες κατά φθίνουσα σειρά :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1 Μέγιστες ετήσιες εντάσεις βροχής στο σταθμό Ηρακλείου.

α/α	1hr	2 hr	6 hr	12hr	24hr
1	68.10	34.05	13.15	6.58	3.60
2	43.80	23.45	7.83	6.15	3.29
3	34.90	21.40	7.80	5.23	3.08
4	31.80	18.15	7.75	4.83	2.78
5	29.70	17.00	7.07	4.73	2.42
6	25.30	16.65	6.60	4.22	2.38
7	21.70	16.55	6.53	3.92	2.11
8	19.70	12.45	6.08	3.90	1.96
9	19.40	11.70	5.92	3.63	1.95
10	15.60	11.20	5.70	3.25	1.80
11	14.80	10.45	5.67	3.11	1.56
12	13.10	9.75	5.12	2.85	1.43
13	12.80	9.35	4.57	2.83	1.43
14	11.80	9.15	4.45	2.33	1.33
15	4.80	3.20	1.50	0.75	0.39

Ακολουθεί η σύνταξη του πίνακα για το test- χ^2 :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.2 Βασικοί υπολογισμοί για το test- χ^2

Διάρκεια 1 hr					
α/α	Όρια F1	Όρια I	n_j	I_j	$(n_j - I_j)^2 / I_j$
1	0.25	32.7467	3.75	3	0.15
2	0.5	21.8874	3.75	3	0.15
3	0.75	13.3279	3.75	5	0.4167
4	1	0	3.75	4	0.0167
		Σ	15	15	0.7333
				F1(χ^2)	0.3918
Διάρκεια 2 hr					
α/α	Όρια F1	Όρια I	n_j	I_j	$(n_j - I_j)^2 / I_j$
1	0.25	18.8605	3.75	3	0.15
2	0.5	1.7414	3.75	4	0.0167
3	0.75	9.7064	3.75	5	0.4167
4	1	0	3.75	3	0.15
		Σ	15	15	0.7333
				F1(χ^2)	0.3918

Διάρκεια 6 hr					
α/α	Όρια F1	Όρια I	n_i	l_i	$(n_i - l_i)^2 / l_i$
1	0.25	7.6761	3.75	4	0.0167
2	0.5	5.9756	3.75	4	0.0167
3	0.75	4.6353	3.75	4	0.0167
4	1	0	3.75	3	0.15
		Σ	15	15	0.2
				$F1(X^2)$	<u>0.6547</u>
Διάρκεια 12hr					
α/α	Όρια F1	Όρια I	n_i	l_i	$(n_i - l_i)^2 / l_i$
1	0.25	4.669	3.75	5	0.4167
2	0.5	3.6414	3.75	3	0.15
3	0.75	2.8314	3.75	4	0.0167
4	1	0	3.75	3	0.15
		Σ	15	15	0.7333
				$F1(X^2)$	<u>0.3918</u>
Διάρκεια 24hr					
α/α	Όρια F1	Όρια I	n_i	l_i	$(n_i - l_i)^2 / l_i$
1	0.25	2.544	3.75	4	0.0167
2	0.5	1.9612	3.75	3	0.15
3	0.75	1.5018	3.75	4	0.0167
4	1	0	3.75	4	0.0167
		Σ	15	15	0.2
				$F1(X^2)$	<u>0.6547</u>

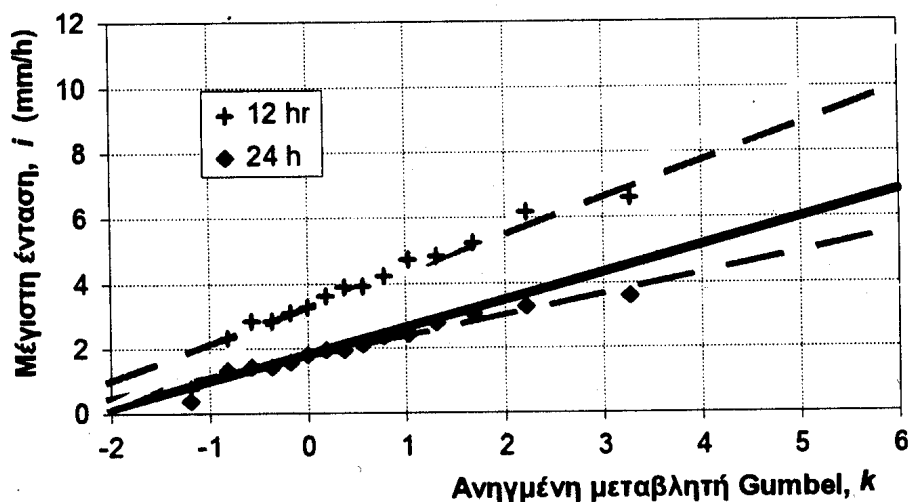
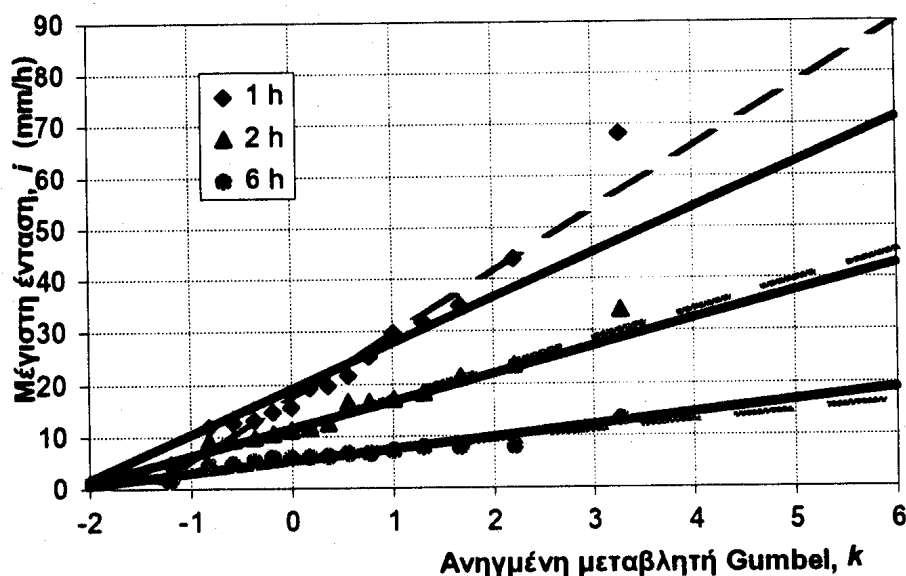
Τέλος ελέγχουμε την καταλληλότητα της κατανομής ως εξής :

Εάν $F1(X^2) > 0.05$ είναι κατάλληλη η κατανομή. Παρατηρούμε ότι στο συγκεκριμένο σταθμό ικανοποιείται αυτή η συνθήκη άρα η κατανομή Gumbel προσαρμόζεται ικανοποιητικά στο δείγμα που έχουμε.

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί αναλυτική μέθοδο ελέγχου, παρακάτω εκθέτουμε και τη γραφική μέθοδο ελέγχου προσαρμογής των δειγμάτων στην κατανομή Gumbel.

Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται σε χαρτί Gumbel οι συναρτήσεις κατανομής των μέγιστων εντάσεων βροχής στο Ηράκλειο ξεχωριστά για κάθε διάρκεια. Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten) με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για $n = \text{σταθερό}$ και για $n = \text{μεταβλητό}$ και με διακεκομμένες γραμμές οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΗΡΑΚΛΕΙΟ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.4.1 Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις: Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

Παρατηρούμε την συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών τόσο μεταξύ τους, όσο και με τις σημειοσειρές των εμπειρικών κατανομών.

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και για του υπόλοιπους βροχογραφικούς σταθμούς, όπου παραθέτουμε τα διαγράμματα στο τέλος του τεύχους αυτού.

Όσο αφορά του βροχομετρικούς σταθμούς και την κατανομή που ακολουθούν αναφέρουμε ότι στο σύνολο τους περιγράφονται από την κατανομή Gumbel με εξαίρεση τους σταθμούς Μεταξοχώρι, Καστέλι, Ασήμι και Τεφέλι όπου η δοκιμή χ^2 έδειξε ότι η συγκεκριμένη κατανομή δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά. Μετά όμως από λεπτομερή εξέταση των επεισοδίων βροχής στους παραπάνω σταθμούς και καταγραφή της ακριβούς ημερομηνίας που σημειώθηκαν τα παραπάνω επεισόδια, διαπιστώσαμε ότι η απόκλιση από την κατανομή οφείλεται σε μια μεμονωμένη βροχόπτωση μεγάλης έντασης, με τοπικό χαρακτήρα, που σημειώθηκε στις 12 Σεπτεμβρίου 1978 και έπληξε ταυτόχρονα τις παραπάνω περιοχές.

Χαρακτηριστικά παραθέτουμε τον χάρτη (4.4.1) όπου παριστάνονται τα ύψη βροχής που σημειώθηκαν στις 12 Σεπτεμβρίου 1978 στην ευρύτερη περιοχή που παρουσιάστηκε το πρόβλημα.



ΧΑΡΤΗΣ 4.4.1 Τα ύψη βροχής που σημειώθηκαν στις 12 Σεπτεμβρίου 1978 στην ευρύτερη περιοχή που παρουσιάστηκε το πρόβλημα προσαρμογής της συνάρτησης κατανομής Gumbel.

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για ένα ασυνήθιστο επεισόδιο βροχής για τη συγκεκριμένη περιοχή με περίοδο επαναφοράς μέγιστης τιμής κατά Gringorten $T_1 = 1.515 \cdot n + 0.182 = 1.515 \cdot 19 + 0.182 = 29$ χρόνια. Η αντίστοιχη θεωρητική περίοδο επαναφοράς κατά Gumbel για το Μεταξχώρι είναι $T = 225416$ χρόνια για το Καστέλι $T = 76222$ χρόνια για το Ασήμι $T = 78257$ χρόνια και τέλος για το Τεφέλι $T = 5384$ χρόνια. Για το λόγο αυτό και για τους λόγους που αναφέραμε παραπάνω (προσαρμογή στην κατανομή Gumbel) απορρίψαμε το συγκεκριμένο επεισόδιο βροχής.

Για του υπόλοιπους σταθμούς δεν παρατηρήθηκε ανάλογο φαινόμενο για τα χρόνια τουλάχιστον που διαθέτουμε μετρήσεις.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ύψους βροχής παρουσιάζει ο σταθμός Έξω Ποτάμοι. Ύψος βροχής ιδιαίτερα υψηλό για τα δεδομένα της Ελλάδας. Στο παράρτημα του τεύχους αυτού παραθέτουμε πίνακες με τα ύψη βροχής.

Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας του σταθμού αυτού απεικονίζομαι σε χαρτί Gumbel, στο σχήμα που ακολουθεί, τις συναρτήσεις κατανομής των μεγίστων υψών βροχής στο Έξω Ποτάμοι ξεχωριστά για κάθε διάρκεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΕΞΟ ΡΟΤΑΚΟ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΕ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥΣ

5.1 Εξαγωγή

Εκτός από τις άλλες διαφορές η γενική κατάσταση των βροχομετρικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά αραιό δίκτυο σταθμών με βροχογράφους και από ένα πολύ πυκνότερο δίκτυο σταθμών με βροχομετρα για από το λόγο επιταχίστην η γενική κατάσταση των εμβόλων καρπάλων χρησιμοποιώντας δεδομένα από βροχομετρα

5.2 Επεξεργασία σταθμών βροχομέτρου

Μετά από εξαγωγή των ετήσιων ύψων βροχής διάρκειας 24 και 48ωρών με κατάρτιση κατά φαινόμενα σειρά εσφαλόμενα στα μέγιστα ύψη βροχής τη διάθεση του σφάλματος διακρίβωσις

Πιο συγκεκριμένα λόγω της ανηγμένη μεταβλητή σφαιρικής σχέσεις που χρησιμοποιείται κατά την εξαγωγή των μέγιστων εντάσεων υπερίσχυεται και **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2** Με σημεία παρατηρούνται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής και με συνεχείς γραμμές οι μεμονωμένες συναρτήσεις σφαιρική

συνήθως γίνεται αναγωγή των τιμών $I(\delta)$ με πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός είναι $\delta=1.13$ για τη χρονοσειρά μιας ημέρας και $\delta=1.04$ για την χρονοσειρά δύο ημερών.

Στη συνέχεια γνωρίζοντας την κατανομή που ακολουθούν τα μέγιστα ύψη βροχής και έχοντας υπολογίσει τις παραμέτρους στην έκφραση της συνάρτησης διάρκειας $b(\delta)$ που προέκυψαν για κάθε ζώνη από την ανάλυση των στοιχείων του βροχογράφου, υπολογίζουμε το σύνολο των παραμέτρων της συνάρτησης περιόδου επανασφοράς $\lambda(T)$ για κάθε βροχομετρικό σταθμό με τη μέθοδο των ροπών από τη μεταβλητή $Y=I(\delta)$, δηλαδή

$$\lambda = \frac{1}{0.7073} \quad \text{και} \quad \lambda = \frac{0.572}{1} \quad (8.2.7)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΣΕ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥΣ

5.1 Εισαγωγή

Στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες χώρες η γενική κατάσταση των βροχομετρικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά αραιό δίκτυο σταθμών εξοπλισμένων με βροχογράφο και από ένα πολύ πυκνότερο δίκτυο σταθμών με βροχόμετρο. Για αυτό το λόγο επιχειρείται η γεωγραφική επέκταση των όμβριων καμπυλών χρησιμοποιώντας δεδομένα από βροχόμετρα.

5.2 Επεξεργασία στοιχείων βροχομέτρου

Μετά από συλλογή των ετήσιων υψών βροχής διάρκειας 24 και 48ωρών και κατάταξη κατά φθίνουσα σειρά εφαρμόζουμε στα μέγιστα ύψη βροχής τη διόρθωση του σφάλματος διακριτοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα λόγω της προσεγγιστικής σχέσεις που χρησιμοποιείται κατά την εξαγωγή των μέγιστων εντάσεων, υπεισέρχεται και η χρονική ευκρίνεια των παρατηρήσεων. Αυτό έχει σαν συνέπεια την υποεκτίμηση των μέγιστων εντάσεων. Για την άρση του σφάλματος συνήθως γίνεται αναγωγή των τιμών $i(d)$, με πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός είναι $\delta=1.13$ για τη χρονοσειρά μιας ημέρας και $\delta=1.04$ για την χρονοσειρά δύο ημερών.

Στη συνέχεια γνωρίζοντας την κατανομή που ακολουθούν τα μέγιστα ύψη βροχής και έχοντας υπολογίσει τις παραμέτρους στην έκφραση της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ που προέκυψαν για κάθε ζώνη από την ανάλυση των στοιχείων του βροχογράφου, υπολογίζουμε το σύνολο των παραμέτρων της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$ για κάθε βροχομετρικό σταθμό με τη μέθοδο των ροπών από τη μεταβλητή $Y=ib(d)$. Δηλαδή :

$$\lambda = \frac{1}{0.7797 \cdot S_x} \quad \text{και} \quad c = \mu_x - \frac{0.5772}{\lambda} \quad (5.2.1)$$

όπου $\mu_x =$ η μέση τιμή του δείγματος $Y=ib(d)$

$S_x =$ η τυπική απόκλιση του δείγματος $Y=ib(d)$

Αν θεωρήσουμε το γινόμενο $c \cdot \lambda$ σταθερό τότε οι παραπάνω συντελεστές υπολογίζονται ως εξής :

$$c = \frac{\mu_x}{1 + \frac{0.5772}{c \cdot \lambda}} \quad (5.2.3)$$

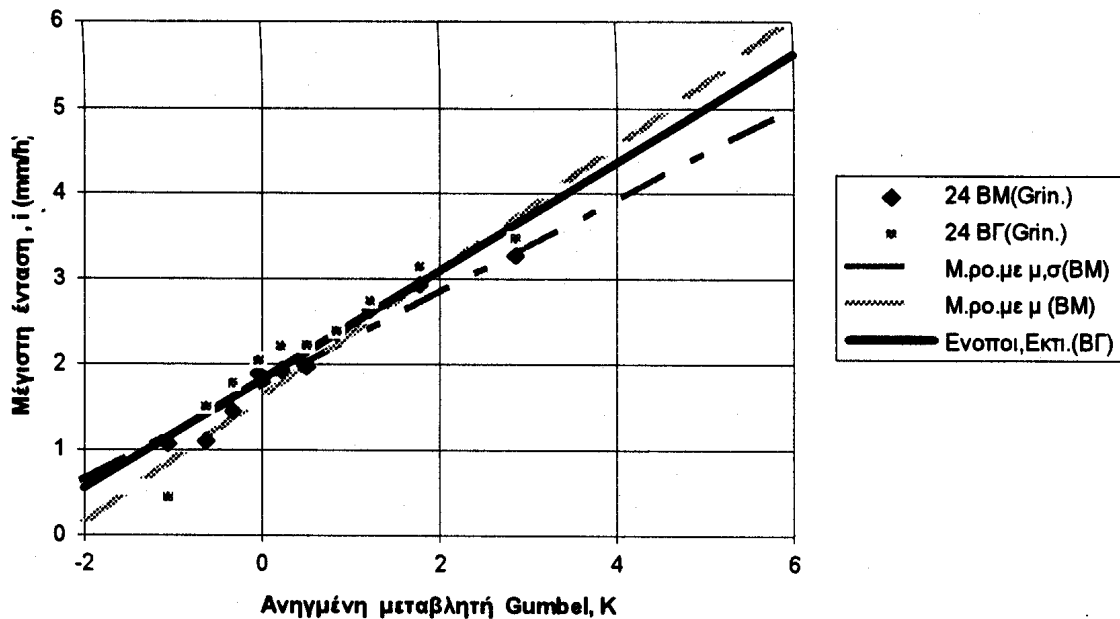
όπου με βάση την (5.2.3) το λ προκύπτει ανεξάρτητο της τυπικής απόκλισης.

$$\lambda = \frac{c \cdot \lambda}{c} \quad (5.2.4)$$

5.3 Σύγκριση ευθειών βροχογράφου και βροχομέτρου

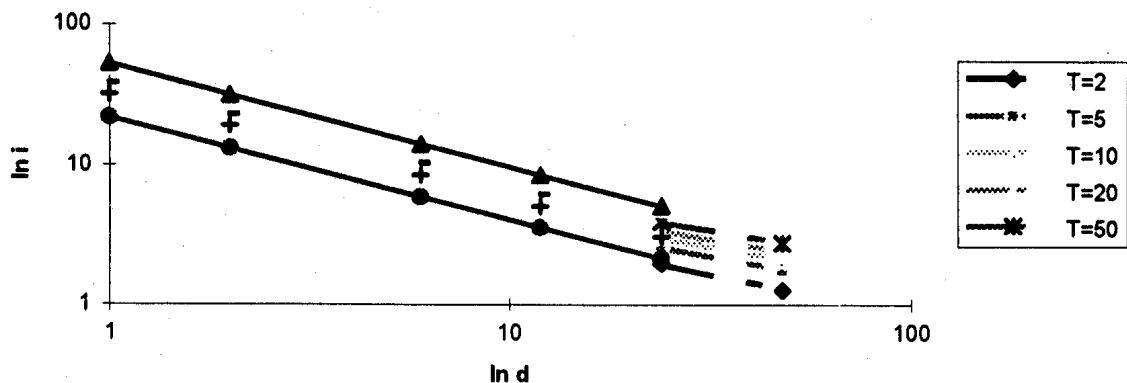
Για να συγκρίνουμε κατά πόσο υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη χρήση μόνο του βροχογράφου και σε αυτά που προκύπτουν και με τη χρήση του βροχομέτρου παραθέτουμε το παρακάτω διαγράμματα, όπου σε αυτά δείχνουμε ταυτόχρονα και τα σημειοσύνολα που αντιστοιχούν στις εμπειρικές κατανομές. Πάντα οι παραπάνω συγκρίσεις μπορούν να γίνουν σε σταθμούς που διαθέτουν βροχόμετρο και βροχογράφο μαζί.

Κατανομές από βροχόμετρο και βροχογράφο στο Ηράκλειο



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.1 Κατανομές από βροχόμετρο και βροχογράφο στη περιοχή του Ηρακλείου.

Στο διάγραμμα (5.3.2) παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες όπως προκύπτουν με την ενοποιημένη εκτίμηση για το βροχογράφο (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο των ροπών για το βροχόμετρο (διακεκομμένη γραμμή) για περιόδους επαναφοράς από 2 μέχρι 50.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5.3.2 Κατανομές από βροχόμετρο και βροχογράφο στη περιοχή του Ηρακλείου.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι καμπύλες του βροχομέτρου δεν επεκτείνονται για διάρκειες μικρότερες των 24 ωρών, όπως βέβαια και καμπύλες του βροχογράφου δεν επεκτείνονται πέρα των 24 ωρών λόγω απουσίας μετρήσεων.

Το τελικό συμπέρασμα από τα παραπάνω για το Ηράκλειο είναι ότι οι εντάσεις που προκύπτουν από το βροχόμετρο είναι μικρότερες από αυτές που προκύπτουν από το βροχογράφο. Αντίθετα τα αποτελέσματα από την ανάλυση των βροχομέτρων για τους σταθμούς των Αρχανών, Σητείας και Τυμπακίου προέκυψαν δυσμενέστερα από αυτά των βροχογράφων των αντίστοιχων σταθμών πράγμα που μας οδηγεί στη σοβαρότητα με την οποία πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας τα δεδομένα του βροχομέτρου για την κατάρτιση των όμβριων καμπυλών, άσχετα αν στην εξεταζόμενη περιοχή υπάρχει βροχογράφος. Σοβαρότητα που δικαιολογείται και από τον απλό τρόπο λειτουργίας του βροχομέτρου, που ισοδυναμεί με απουσία χονδροειδούς σφάλματος στην καταγραφή του ύψους βροχής.

Στο τέλος του τεύχους αυτού παραθέτουμε τα διαγράμματα για τους παραπάνω σταθμούς.

5.4 Εντάσεις και ύψη βροχής για σταθμούς που διαθέτουν μόνο βροχόμετρο.

Όπως προαναφέραμε η περιοχή της Κρήτης χαρακτηρίζεται από ένα σχετικά πυκνό δίκτυο βροχομέτρων και από ένα αραιότερο δίκτυο βροχογράφων. Πιο συγκεκριμένα στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 35 βροχόμετρα και 9 βροχογράφοι που θεωρείται ότι δίνουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα της κατάστασης που επικρατεί.

Για τον υπολογισμό λοιπόν της έντασης από ένα σταθμό που περιλαμβάνει μόνο βροχόμετρο εργαστήκαμε συνοπτικά ως εξής σύμφωνα και με το υποκεφάλαιο 5.2 :

⇒ Με βάση τα δεδομένα των βροχογραφικών σταθμών που ανήκουν στην ίδια υποπεριοχή υπολογίσαμε τις παραμέτρους της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ αφού πρώτα υιοθετήσαμε κοινές τιμές για τις παραμέτρους των συναρτήσεων των επιμέρους βροχογραφικών σταθμών. Εργασία που έγινε αφού πρώτα εντοπίστηκε μια ομοιογένεια ως προς τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων.

⇒ Έχοντας υπολογίσει τις παραμέτρους της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ από το προηγούμενο βήμα, υπολογίσαμε στη συνέχεια τις παραμέτρους της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$. Για το σκοπό αυτό εργαστήκαμε ως εξής :

α) Αν επρόκειτο να υπολογίζαμε το σύνολο των παραμέτρων της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$ τότε εφαρμόζαμε την μέθοδο των ροπών για τη μεταβλητή $Y=ib(d)$ και η εξίσωση της όμβριας καμπύλης είχε την μορφή :

$$i = \frac{c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda}}{(d + f)^n} \quad (5.4.1)$$

β) Αν ορισμένες παράμετροι της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$ είχαν καθοριστεί από το προηγούμενο βήμα τότε αναπροσαρμόζαμε κατάλληλα τις εξισώσεις εκτίμησης παραμέτρων για τη μεταβλητή $Y=i*b(d)$. Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι c και λ

έπαιρναν τις μορφές (5.2.3) και (5.2.4) αντίστοιχα ενώ η εξίσωση της όμβριας καμπύλης έπαιρνε την μορφή :

$$i = c \cdot \frac{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{c \cdot \lambda}}{(d + f)^n} \quad (5.4.2)$$

Κατ'αναλογία με την ένταση δουλέψαμε και για τα ύψη βροχής δηλαδή διακρίναμε τις περιπτώσεις :

1) Αν διατηρούσαμε μεταβαλλόμενο το γινόμενο $c \cdot \lambda$ τότε υπολογίζαμε το λ και το c από τους τύπους :

$$\lambda = \frac{1}{0.7797 \cdot S_x} \quad \text{και} \quad c = \mu_x - \frac{0.5772}{\lambda} \quad (5.4.3)$$

όπου $\mu_x =$ η μέση τιμή του δείγματος που περιέχει τις ποσότητες h
 $S_x =$ η τυπική απόκλιση του δείγματος h

Ενώ το ύψος h υπολογίζεται από τον τύπο :

$$h = c - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{\lambda} \quad (5.4.4)$$

2) Αν διατηρούσαμε σταθερό το γινόμενο $c \cdot \lambda$ τότε υπολογίζαμε το λ και το c από τους τύπους :

$$c = \frac{\mu_x}{1 + \frac{0.5772}{c \cdot \lambda}} \quad \lambda = \frac{c \cdot \lambda}{c} \quad (5.4.5)$$

όπου $\mu_x =$ η μέση τιμή του δείγματος που περιέχει τις ποσότητες h

Ενώ το ύψος h υπολογίζεται από τον τύπο :

$$h = c \cdot \left(1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{c \cdot \lambda} \right) \quad (5.4.6)$$

Με βάση τα παραπάνω έχουμε αναλυτική πληροφόρηση για τις διακυμάνσεις των τιμών έντασης και ύψους βροχόπτωσης συναρτήσει της γεωγραφικής θέσης, της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας για όλη την έκταση της Κρήτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ

6.1 Εισαγωγή

Στη παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια κατασκευής χαρτών για την έμμεση κατάρτιση όμβριων καμπυλών χωρίς αναδρομή στα πρωτογενή δεδομένα, για το σκοπό αυτό κρίθηκε αναγκαίο να εκμεταλλευτούμε τα δεδομένα που μας παρέχει το πυκνό δίκτυο βροχομέτρων αφού πρώτα οι περισσότερες από τις παραμέτρους των όμβριων καμπυλών μπορούν να θεωρηθούν σταθερές σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και να εκτιμηθούν από το σχετικώς αραιό δίκτυο βροχογράφων.

6.2 Κατανομή βροχομετρικών σταθμών σε υποπεριοχές

Με βάση τη γεωγραφική θέση το ύψος βροχής και την τοπογραφία της περιοχής κατατάξαμε τους βροχομετρικούς σταθμούς στις εξής υποπεριοχές :

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.1 Κατανομή των σταθμών σε υποπεριοχές

Δυτική Κρήτη	Κεντρική Κρήτη	Ανατολική Κρήτη
Ηράκλειο	Αρχάνες	Σητεία
Κρουσώνας	Ασήμι	Παλαιόκαστρο
Βορίζια	Τεφέλι	Κατσιδώνι
Λαγολιά	Μεταξοχώρι	Σταυροχώρι
Ζαρός	Καστέλι	Παχειά Άμμος
Τυμπάκι	Δεμάτι	Καλό Χωριό
Πόμπια	Κασσάνοι	Μάλαις
Καβούσι	Αβδού	Έξω Ποτάμοι
Σπήλι	Άγιος Θωμάς	Νεάπολις
Γερακάρι		
Βιζάρι		
Λευκόγια		
Μελάμπες		
Καλύβες		
Μουρί		
Ασκούφου		
Παλαιά Ρουμάτα		

6.3 Μέγιστα ύψη βροχόπτωσης

Για να γίνει η χωρική κατανομή των ισχυρών βροχοπτώσεων στη περιοχή της Κρήτης εφαρμόστηκαν οι μορφές εξίσωσης που αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 5.4. Οι τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ που υιοθετήθηκαν για την όμβρια εξίσωση για κάθε υποπεριοχή φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1 Τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$

$c^* \lambda$: Μεταβαλλόμενο		
Υποπεριοχές	f	n
Δυτική Κρήτη	0	0.74
Κεντρική Κρήτη	0	0.54
Ανατολική Κρήτη	0	0.77

Ακολουθεί πίνακας με τις τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ με το γινόμενο $c^*λ$ να παραμένει σταθερό :

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.2 Τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$

$c^*λ$: Σταθερό			
Υποπεριοχές	Γ	n	$c^*λ$
Δυτική Κρήτη	0	0.74	2.264
Κεντρική Κρήτη	0	0.54	2.76
Ανατολική Κρήτη	0	0.77	3.42

Για κάθε σταθμό αφού προσδιορίσουμε τις παραμέτρους της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$ με τη μέθοδο των ροπών εφαρμόζουμε στη συνέχεια μια από τις εξισώσεις (5.4.1) ή (5.4.2) ανάλογα αν το γινόμενο $c^*λ$ θεωρείται μεταβαλλόμενο ή σταθερό αντίστοιχα, ενώ για τον υπολογισμό του ύψους εκτελούμε τον μετασχηματισμό $h=i*d$.

6.4 Χάρτες ισουετίων καμπυλών για μέγιστα ύψη βροχής

Στο πίνακα που ακολουθεί υπολογίσαμε τα ύψη βροχόπτωσης για τις παρακάτω τρεις περιπτώσεις :

- $d=24h, T=5ετη, c^*λ \neq ct \Rightarrow h(24h, 5ετη)$
- $d=24h, T=10ετη, c^*λ \neq ct \Rightarrow h(24h, 10ετη)$
- $d=24h, T=5ετη, c^*λ = ct \Rightarrow h'(24h, 5ετη)$

όπου : $d \Rightarrow$ Διάρκεια σε ώρες
 $T \Rightarrow$ Περίοδος επαναφοράς σε έτη
 $ct \Rightarrow$ σταθερό

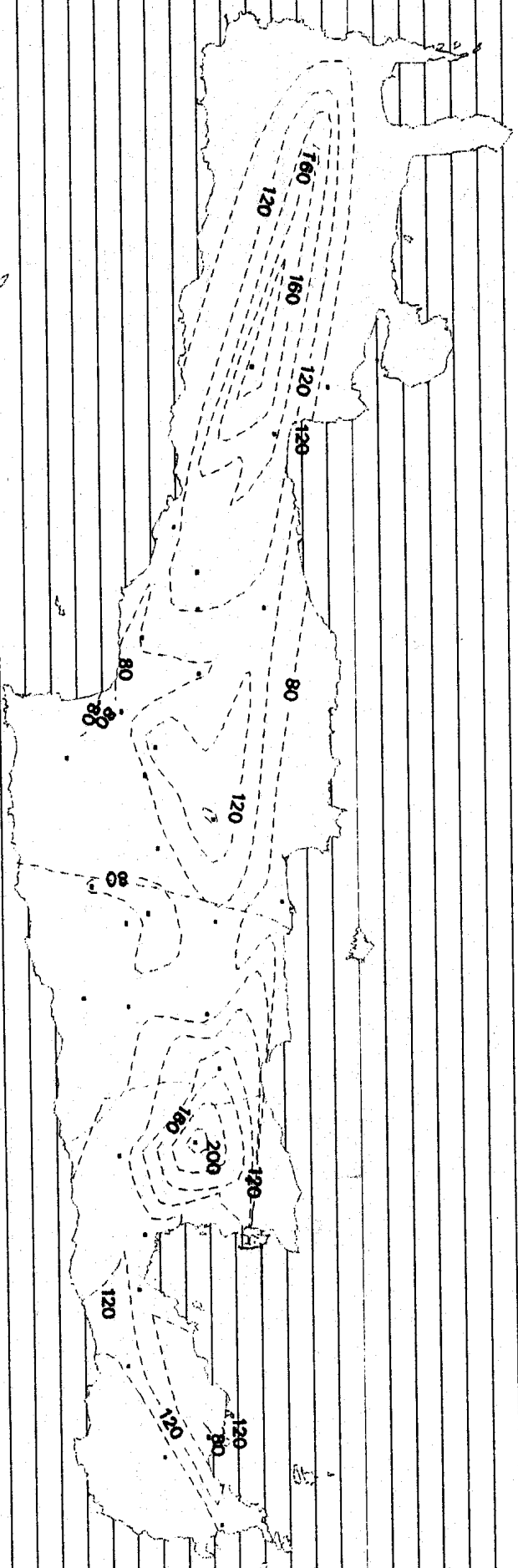
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4.1 Ύψη βροχής στους βροχομετρικούς σταθμούς

α/α	Σταθμός	Νομός	Υψόμετρο	Ζώνη	h	h	h'
					(24h,5ετη) c*λ#ct	(24h,10ετη) c*λ#ct	(24h,5ετη) c*λ#ct
1	Σητεία	Λασιθίου	26	A/K	77.19	89.4	76.54
2	Παλιόκαστρο	Λασιθίου	25	A/K	134.51	171.42	109.7
3	Κασιδώνι	Λασιθίου	540	A/K	154.49	184.35	144.96
4	Σταυροχώρι	Λασιθίου	320	A/K	132.83	157.54	126.11
5	Παχειά Άμμος	Λασιθίου	50	A/K	104.68	129.05	91.97
6	Καλό Χωριό	Λασιθίου	20	A/K	102.26	122.55	95.16
7	Μάλαις	Λασιθίου	590	A/K	109.18	127.82	106.18
8	Έξω Ποτάμοι	Λασιθίου	840	A/K	213.97	266.03	184.6
9	Νεάπολις	Λασιθίου	240	A/K	152.16	185.59	136.69
10	Αρχάνες	Ηρακλείου	380	K/K	93.49	109.57	94.08
11	Ασήμι	Ηρακλείου	200	K/K	78.79	92.1	79.69
12	Τεφέλι	Ηρακλείου	360	K/K	98.1	114.7	99.19
13	Μεταξοχώρι	Ηρακλείου	430	K/K	69.7	77.81	76.25
14	Καστέλι	Ηρακλείου	350	K/K	91.85	105.98	95.06
15	Δεμάτι	Ηρακλείου	190	K/K	85.03	99.79	85.4
16	Κασσάνοι	Ηρακλείου	320	K/K	86.18	101.24	86.37
17	Αβδού	Ηρακλείου	230	K/K	153.45	180.74	153.04
18	Άγιος Θωμάς	Ηρακλείου	540	K/K	91.25	105.47	94.176
19	Ηράκλειο	Ηρακλείου	30	Δ/K	61.62	71.53	65.49
20	Κρουσώνας	Ηρακλείου	500	Δ/K	140.72	161.33	152.84
21	Βορίζια	Ηρακλείου	520	Δ/K	136.17	160.05	141.49
22	Λαγολιά	Ηρακλείου	170	Δ/K	85.71	102.03	86.95
23	Ζαρός	Ηρακλείου	340	Δ/K	99.75	114.68	107.83
24	Τυμπάκι	Ηρακλείου	10	Δ/K	68.08	78.83	72.68
25	Πόμπια	Ηρακλείου	52	Δ/K	87.81	103.11	91.39
26	Καβούσι	Ρεθύμνης	580	Δ/K	111.03	127.76	119.85
27	Σπήλι	Ρεθύμνης	490	Δ/K	136.89	163.16	138.55
28	Γερακάρι	Ρεθύμνης	660	Δ/K	121.74	136.65	136.97
29	Βιζάρι	Ρεθύμνης	310	Δ/K	96.75	111.91	103.48
30	Λευκόγια	Ρεθύμνης	90	Δ/K	114.26	134.5	118.38
31	Μελάμπες	Ρεθύμνης	560	Δ/K	103.45	120.26	109.67
32	Καλύβες	Χανίων	-	Δ/K	87.97	99.79	97.27
33	Μουρί	Χανίων	50	Δ/K	143.85	167.8	151.54
34	Ασκούφου	Χανίων	740	Δ/K	196.63	225.23	213.9
35	ΠαλαιάΡουμ/α	Χανίων	316	Δ/K	164.93	194.63	170.11

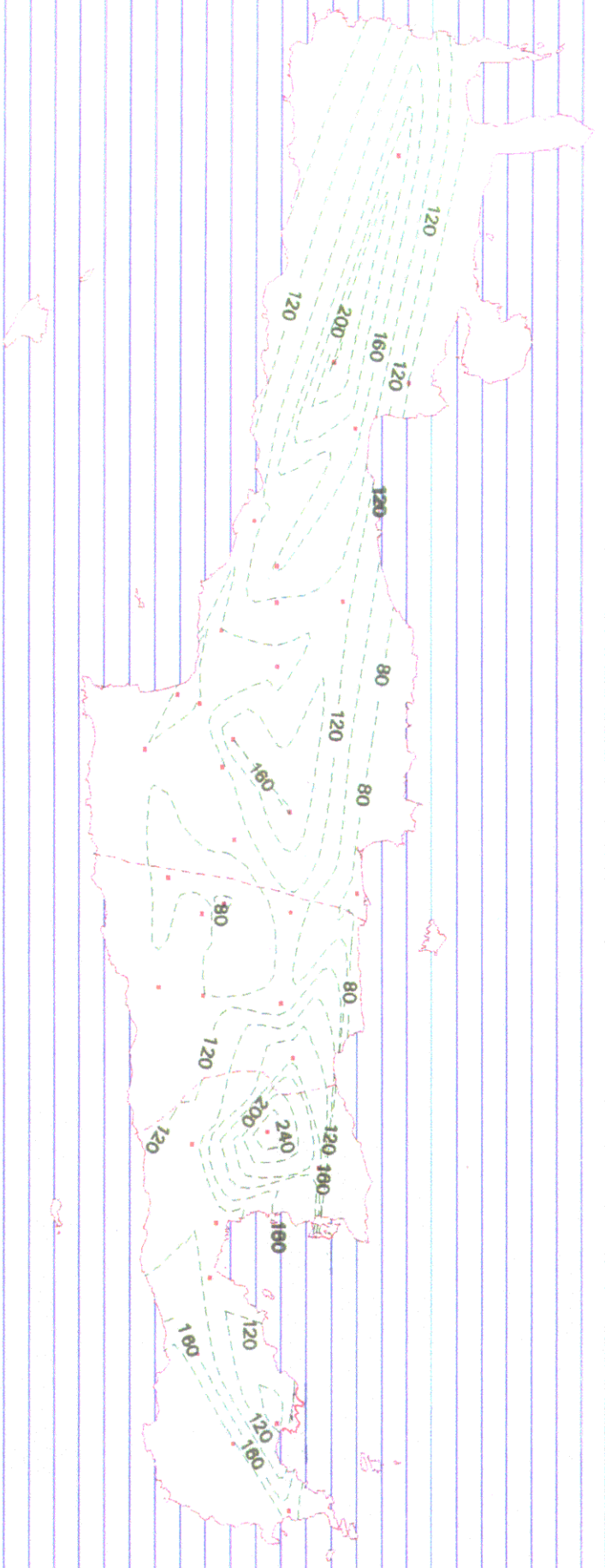
Στη συνέχεια τοποθετήσαμε τα ύψη βροχής στις αντίστοιχες θέσεις με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος (GIS), που λειτουργεί σε σύστημα unix και που έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται τα αποτελέσματα και να χαράζει ισοϋψείς καμπύλες με τη βοήθεια plotter. Η όλη διαδικασία έγινε στον τομέα υδατικών πόρων του Ε.Μ.Π

Παρακάτω παραθέτουμε τους χάρτες που προέκυψαν με την παραπάνω διαδικασία.

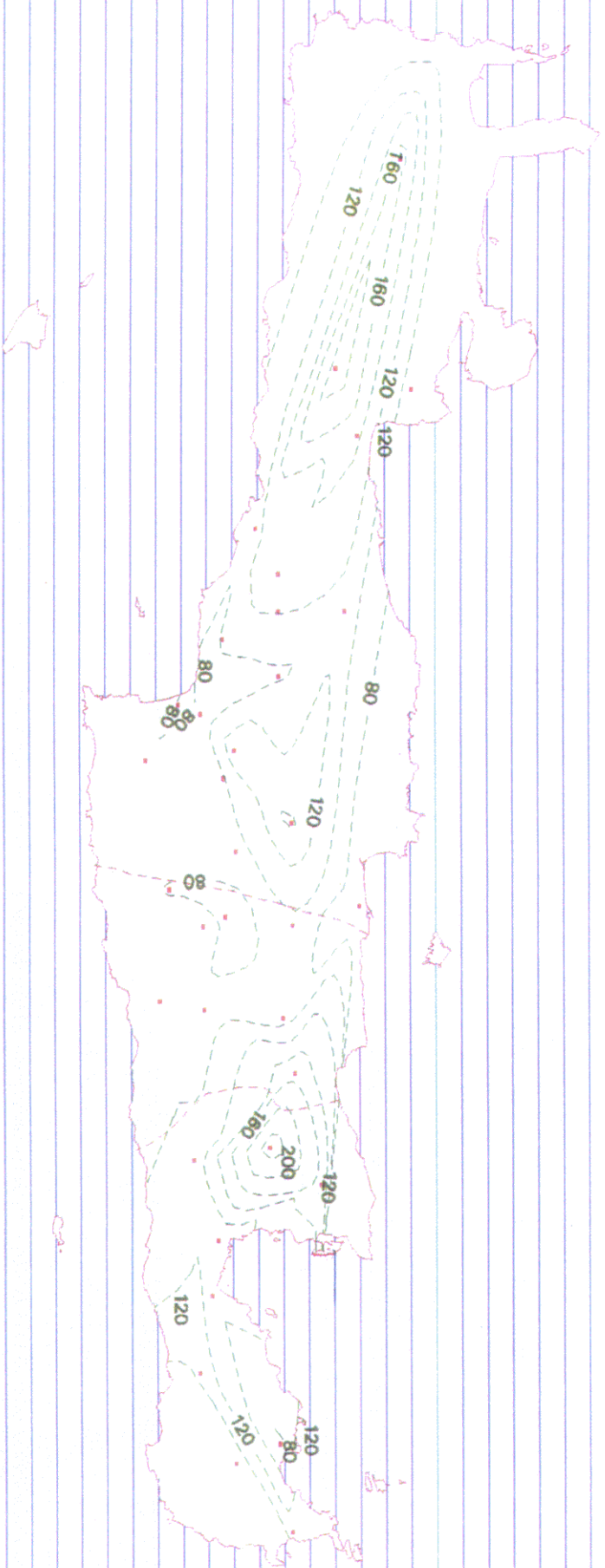
ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ 24ωρης ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΙΛΑΝΑΦΟΡΑΣ: 5 ΕΤΗ
ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ



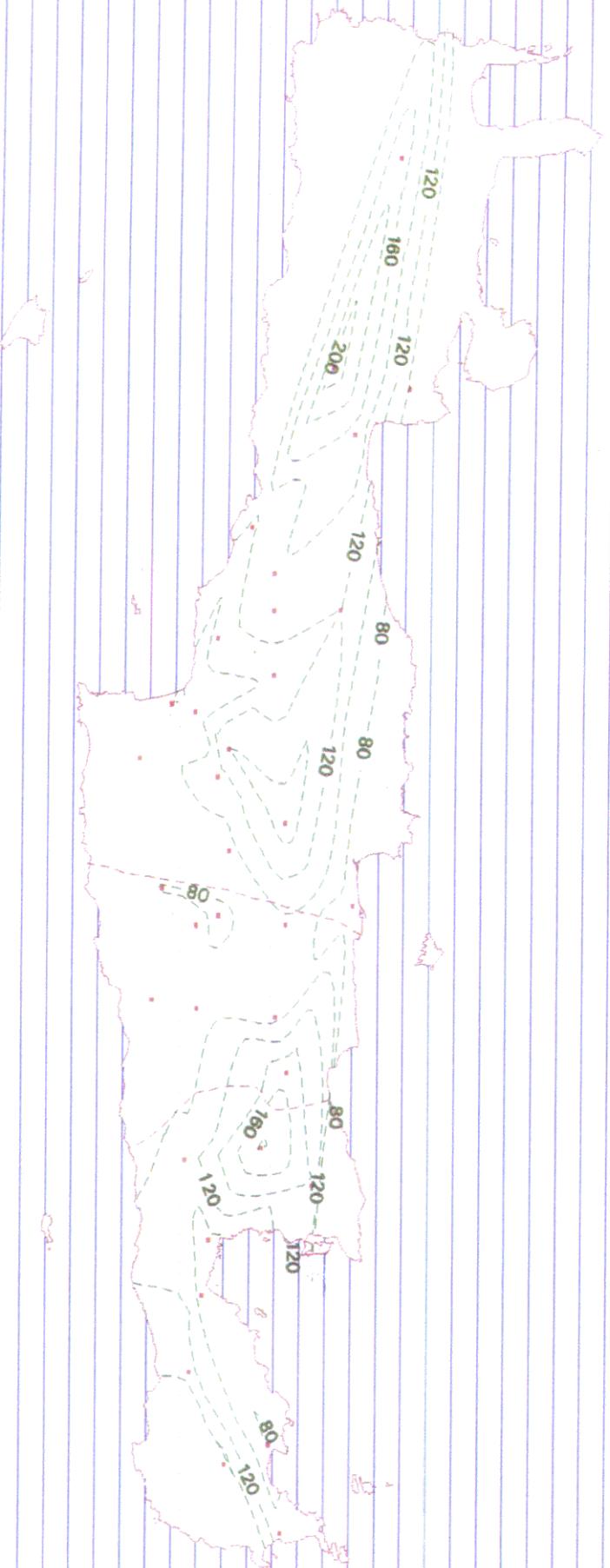
ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ 24ωρης ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΓΓΑΝΑΦΟΡΑΣ: 10 ΕΤΗ
ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ



ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ 24ωρης ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΙΛΑΝΑΦΟΡΑΣ: 5 ΕΤΗ
ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ



ΜΕΓΙΣΤΑ ΥΨΗ 24ωρης ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΤΑΝΑΦΟΡΑΣ: 5 ΕΤΗ
ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟ



6.5 Προσδιορισμός των αγνώστων παραμέτρων με τη χρήση χαρτών

Χρησιμοποιώντας τους προηγούμενους χάρτες μπορούμε να εφαρμόσουμε την αντίστροφη διαδικασία και να εκτιμήσουμε την όμβρια καμπύλη σε οποιοδήποτε σημείο της Κρήτης. Συγκεκριμένα αν το γινόμενο $c \cdot \lambda$ ληφθεί σταθερό, εντάσσουμε το σημείο σε μια από τις τρεις υποπεριοχές του χάρτη (4.2.2) και αποκτούμε έτσι τις τιμές των παραμέτρων n και $c \cdot \lambda$. Στη συνέχεια εντοπίζουμε το σημείο στον ανάλογο χάρτη από τους προηγούμενους με βάση τη γεωγραφική του θέση, και βρίσκουμε την τιμή h' του μεγίστου 24ωρου ύψους βροχής για περίοδο επαναφοράς $T=5$. Τέλος υπολογίζουμε την παράμετρο c από την ακόλουθη σχέση, η οποία είναι συνέπεια της (5.4.1) και της $h'=id$:

$$c = \frac{\frac{h(d+f)^n}{d}}{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{c \cdot \lambda}} \quad (6.5.1)$$

Επειδή θεωρήσαμε $f=0$ μπορούμε να απλοποιήσουμε την (6.5.1) ως εξής :

$$c = \frac{h d^{n-1}}{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_5}))}{c \cdot \lambda}} \quad (6.5.2)$$

όπου h' = μέγιστο 24ωρο ύψος βροχής για $T=5$

d = διάρκεια (24h)

T_5 = περίοδος επαναφοράς 5έτη

n = παράμετρος, ανάλογα με τη ζώνη που ανήκει το σημείο που εξετάζουμε

Αν το γινόμενο $c \cdot \lambda$ θεωρηθεί μεταβαλλόμενο, τότε εντάσσουμε το σημείο σε μια από τις τρεις υποπεριοχές του χάρτη (4.4.2) και αποκτούμε έτσι τη τιμή της παραμέτρου n . Στη συνέχεια ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του σημείου διαβάζουμε τις υψομετρικές ενδείξεις από τους σχετικούς χάρτες που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι δύο αφού εκτός από την παράμετρο c που θεωρείται άγνωστη, άγνωστο είναι επίσης και το γινόμενο $c \cdot \lambda$. Επιλύουμε στη συνέχεια ένα σύστημα 2×2 δηλαδή δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους όπου οι δύο εξισώσεις είναι:

$$c = \frac{h_{10} d^{n-1}}{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_{10}}))}{c \cdot \lambda}} \quad c = \frac{h_5 d^{n-1}}{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T_5}))}{c \cdot \lambda}} \quad (6.5.3)$$

- όπου h_{10} = μέγιστο 24ωρο ύψος βροχής για $T=10$ και $c*\lambda$ μεταβαλλόμενο
 h_5 = μέγιστο 24ωρο ύψος βροχής για $T=5$ και $c*\lambda$ μεταβαλλόμενο
 T_{10} = περίοδος επαναφοράς για $T=10$
 T_5 = περίοδος επαναφοράς για $T=5$
 n = παράμετρος, ανάλογα με τη ζώνη που ανήκει το σημείο που εξετάζουμε

Με τη λύση του παραπάνω συστήματος προσδιορίζονται οι παράμετροι c και $c*\lambda$.

6.6 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου

Όλη η προηγούμενη διαδικασία εφαρμόστηκε στο σταθμό του Ηρακλείου ως εξής.

⇒ Γινόμενο $c*\lambda$ σταθερό :

α) Από τον χάρτη (4.2.2) και αφού πρώτα εντάξαμε το σημείο σε μία από τις τρεις υποπεριοχές πήραμε τις τιμές των παραμέτρων $f=0$, $n=0.74$ και $c*\lambda=2.264$

β) Στη συνέχεια από τον χάρτη που παρουσιάζει τα μέγιστα ύψη 24ωρης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς 5 έτη και γινόμενο παραμέτρων $c*\lambda$ σταθερό προσδιορίσαμε την τιμή της καμπύλης που αντιστοιχεί στη θέση του σταθμού στο χάρτη. Έτσι προέκυψε $h=66\text{mm}$.

γ) Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στην εξίσωση (6.5.2) προέκυψε η τιμή $c=17.37$ και από την εξίσωση $\lambda=c*\lambda/c$ πήραμε $\lambda=0.13$.

Η τελική μορφή της όμβριας καμπύλης για το σταθμό του Ηρακλείου είναι :

$$i = 17.37 \cdot \frac{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{2.264}}{d^{0.74}}$$

⇒ Γινόμενο $c*\lambda$ μεταβαλλόμενο :

α) Από τον πίνακα (6.3.1) και αφού πρώτα εντάξαμε το σημείο σε μία από τις τρεις υποπεριοχές πήραμε τις τιμές των παραμέτρων $f=0$, και $n=0.74$.

β) Από τον χάρτη που παρουσιάζει τα μέγιστα ύψη 24ωρης βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς 5έτη, προσδιορίσαμε την τιμή της καμπύλης που αντιστοιχεί στη θέση του σταθμού στο χάρτη. Έτσι βρήκαμε $h_5=62\text{mm}$. Ομοίως από τον χάρτη που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς 10 ετών βρήκαμε $h_{10}=72\text{mm}$.

γ) Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στις εξισώσεις του συστήματος (6.5.3) και επίλυση αυτού προσδιορίσαμε τις ζητούμενες παραμέτρους $c=18.38$, $c*\lambda=3.15$ και από την εξίσωση (5.4.1) με $i=h/d$ πήραμε $\lambda=0.171$.

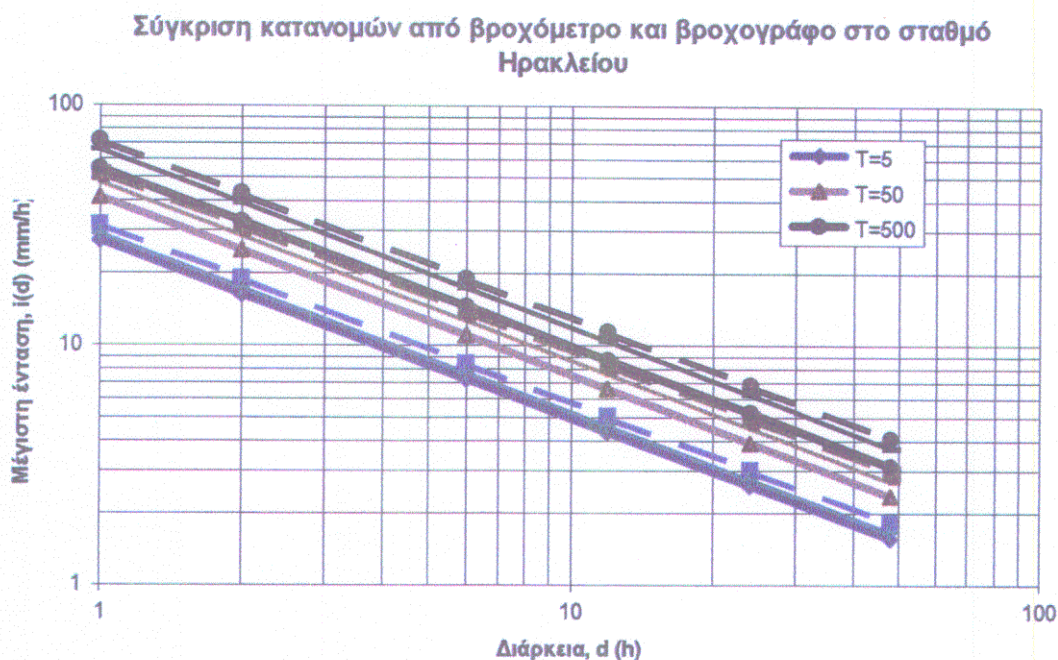
Η τελική μορφή της όμβριας καμπύλης για το σταθμό του Ηρακλείου είναι :

$$i = 133 \frac{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{35}}{d^{0.74}}$$

Ενώ η εξίσωση που προέκυψε από τον βροχογράφο σύμφωνα με τον πίνακα (4.2.4) είναι :

$$i = 133 \frac{1 - \frac{\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T}))}{35}}{d^{0.74}}$$

Στο διάγραμμα που ακολουθεί γίνεται σύγκριση μεταξύ των κατανομών που προέκυψαν με τις παραπάνω διαδικασίες για το σταθμό του Ηρακλείου :



Διάγραμμα 6.6.1 Όμβριες καμπύλες για περιόδους επαναφοράς $T=5, 50,$ και 500 στο Ηράκλειο. Με έντονες συνεχείς γραμμές παριστάνονται οι κατανομές που προέκυψαν από το βροχόμετρο με $c*\lambda$ μεταβαλλόμενο, με λεπτές γραμμές οι κατανομές που προέκυψαν από το βροχόμετρο με $c*\lambda$ σταθερό και με διακεκομμένες οι κατανομές που προέκυψαν από το βροχογράφο με $c*\lambda$ σταθερό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρησιμότητα των όμβριων καμπυλών είναι άμεση σε όλα τα προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού που αφορούν στην αντιπλημμυρική προστασία. Ουσιαστικά η χρήση τους συνίσταται στην πρόγνωση της έντασης βροχής i για δεδομένη διάρκεια d και για δεδομένη περίοδο επαναφοράς.

Στόχος επομένως της συγκεκριμένης εργασίας ήταν η κατάρτιση χαρακτηριστικών εκφράσεων όμβριων καμπυλών στην περιοχή της Κρήτης μέσω δεδομένων από βροχογράφους καθώς και η αναλυτικότερη 'χαρτογράφηση' της περιοχής μέσω δεδομένων από βροχόμετρα ώστε να απλοποιηθεί κατά το δυνατόν το στάδιο του προσδιορισμού του κρίσιμου σημειακού ύψους βροχής μιας υδρολογικής μελέτης.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν εκφράσεις όμβριων καμπυλών που δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού της έντασης για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς, χωρίς να απαιτείται καινούργιος υπολογισμός των παραμέτρων της εξίσωσης αφού εμπεριέχει τη συνάρτηση κατανομής.

Από την επεξεργασία των βροχογράφων προέκυψε ότι οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$ παρουσιάζουν μια ομοιογένεια ανά υποπεριοχές. Έτσι με βάση αυτή την ομοιογένεια χωρίσαμε το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, σε τρεις υποπεριοχές και υιοθετήσαμε σταθερές τιμές για τις παραμέτρους της συνάρτησης διάρκειας $b(d)$. Οι υπόλοιπες παράμετροι της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς εξάγονται με αξιοποίηση των δεδομένων που προέρχονται από το πυκνό δίκτυο των βροχομέτρων.

Από την διερεύνηση των παραμέτρων της συνάρτησης περιόδου επαναφοράς $a(T)$ χρησιμοποιώντας δεδομένα τόσο από βροχογράφους όσο και από βροχόμετρο προέκυψε ότι οι παράμετροι της, λ και c δεν είναι σταθερές ανά υποπεριοχές. Για το λόγο αυτό κατασκευάσαμε δύο χάρτες που δίνουν τα μέγιστα 24ωρο ύψη βροχής για περιόδους επαναφοράς 5 και 10 ετών. Από αυτούς τους δύο χάρτες είναι δυνατή η εκτίμηση των δύο μεταβαλλόμενων παραμέτρων λ και c για οποιοδήποτε σημείο της Κρήτης.

Για λόγους συμβατότητας με προηγούμενη εργασία που αναφερόταν στη Στερεά Ελλάδα (Κοζώνης, 1995) πραγματοποιήσαμε και μια εφαρμογή θεωρώντας το γινόμενο $\lambda \cdot c$ σταθερό ανά υποπεριοχή. Με αυτή την παραδοχή χρειάζεται μόνο ένας χάρτης για τον προσδιορισμό των όμβριων καμπυλών. Σημειώνουμε πάντως ότι η τελευταία εφαρμογή έχει ενδεικτικό χαρακτήρα διότι η ανάλυση έδειξε ότι το γινόμενο $\lambda \cdot c$ δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερό. Έτσι αντί του χάρτη αυτής της εφαρμογής συνιστάται για χρήση η ομάδα των δύο χαρτών που προαναφέρθηκαν.

Τέλος από την όλη ανάλυση παρατηρήθηκαν δύο αξιόλογα φαινόμενα των οποίων γίνεται ειδική μνεία: Το πρώτο αφορά ένα μεμονωμένο ασυνήθιστο επεισόδιο βροχής στην περιοχή του νομού Ηρακλείου (12 Σεπτεμβρίου 1978) με καταγεγραμμένα σημειακά 24ωρα ύψη βροχής που φτάνουν τα 305 mm. Το επεισόδιο αυτό έχει θεωρητική περίοδο επαναφοράς (Gumbel) που ξεπερνά κατά πολύ την εμπειρική περίοδο επαναφοράς σε τέσσερις σταθμούς. Το δεύτερο φαινόμενο είναι τα συστηματικά μεγάλα ύψη βροχής στο σταθμό Έξω Ποτάμοι (Νομός Λασιθίου, στην έξοδο του οροπεδίου Λασιθίου). Τα

μέγιστα ύψη 24ωρης και 48ωρης βροχής που παρατηρήθηκαν στο σταθμό αυτό είναι 380 και 491 mm αντίστοιχα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Κοζώνης, Δ., Κατάρτιση όμβριων καμπυλών με ελλιπή δεδομένα. Εφαρμογή στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1995.
- Δέας, Ν., Γεωγραφική Κατανομή Ισχυρών Βροχοπτώσεων στο χώρο της Στερεάς Ελλάδας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1994.
- Κουτσογιάννης, Δ., Στατιστική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση 2, Αθήνα, 1996.
- Ξανθόπουλος, Θ., Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1990.
- Μιμίκου, Μ., Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994.
- ΥΠΕΧΩΔΕ - ΕΜΠ, Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας, Ερευνητικό Έργο, Αθήνα, 1995.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1
ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Βροχογραφικές Μετρήσεις

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1972-73	12.8	20.9	42.4	50.6	50.6
1973-74	19.4	19.5	27.4	39	43.2
1974-75	11.8	18.3	39.6	56.8	58
1975-76	15.6	23.4	46.5	58	66.7
1976-77	43.8	46.9	47	47	47
1977-78	14.8	18.7	26.7	27.9	32
1978-79	25.3	33.1	36.5	37.3	37.5
1979-80	4.8	6.4	9	9	9.3
1980-81	21.7	33.3	46.8	46.8	46.8
1981-82	34.9	42.8	30.7	73.8	73.8
1982-83	13.1	24.9	34.2	34.2	34.2
1983-84	31.8	36.3	39.2	62.7	86.4
1984-85	19.7	22.4	35.5	43.5	57.2
1985-86	68.1	68.1	78.9	78.9	78.9
1986-87	29.7	34	34	34	34.4

ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1967-68	28	53.5	76	101	101.3
1968-69	15.2	20.4	42	51	81.5
1969-70	3	6	11.5	21	21
1970-71	24	25.5	34	51.5	58
1971-72	11	21	40.5	50	58.5
1972-73	14.5	20.8	31.5	60	63
1973-74	12	18.5	21.5	23	23
1974-75	10	15	25.2	37	40
1975-76	14	21	57	70	104

ΡΕΘΥΜΝΟ

'Ετος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1979-80	26.7	29.9	40.4	51.9	53.4
1980-81	50.7	65.7	74.6	74.9	74.9
1981-82	28.2	31.5	31.5	31.5	71.3
1982-83	18.2	22.9	40.7	47	47.6
1983-84	25.4	27.6	38.4	45.9	48.2
1984-85	27.9	39.9	48.5	61.2	65.7
1985-86	22.3	30.9	50	69.6	70.2

ΣΗΤΕΙΑ

'Ετος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1974-75	37.1	38.1	41	41	42.7
1975-76	27.6	29.1	43.5	43.5	44.6
1976-77	18.6	26.7	39	39	39
1977-78	30.5	47.7	64.4	64.4	64.3
1978-79	23.7	29.2	34.8	41.7	47.1
1979-80	17.5	25.8	46	59.3	67.5
1980-81	21.6	26.7	41.5	41.5	41.4
1981-82	15	19.1	19.9	25.1	34.9
1982-83	16.2	17.5	26.9	35	35
1983-84	19.7	31.1	63.2	69.8	72.1
1984-85	42.3	43.8	51.3	51.3	52.6
1985-86	23.9	24.6	32.4	32.8	33.1

ΣΟΥΔΑ

'Ετος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1976-77	16.8	19.1	24.1	33.5	38.6
1977-78	15.7	18.2	22.6	29.6	35.8
1978-79	30.2	31.4	41.6	41.6	41.6
1979-80	33.2	34.6	34.6	39.7	40.4
1980-81	57.3	57.7	90.9	134.7	185.3
1981-82	14.7	18.1	25.9	39.2	61.9
1982-83	25.1	32.4	41.1	48.2	48.2
1983-84	38.4	46.9	67.4	108.2	131.1
1984-85	26.9	37.6	54.9	64.2	65.6
1985-86	56.5	67.1	87.9	93.8	93.8

ΤΥΜΠΑΚΙ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1972-73	25.7	36.2	41	42.7	43.2
1973-74	16.5	19.8	20	20	22.1
1974-75	19.9	22.1	24.3	25.6	27.3
1975-76	44.1	54.6	80.9	84.1	84.1
1976-77	12.1	13.2	20.9	36.5	37.9
1977-78	30.3	30.3	42.4	53.1	56.1
1978-79	20.1	96.6	35.4	52.9	52.9
1979-80	29.5	38.5	38.5	38.5	45.4
1980-81	8.4	10.9	18.2	18.5	23.1
1981-82	-	-	-	-	-
1982-83	20.7	25.7	37.1	40.3	40.5
1983-84	-	-	-	-	-
1984-85	-	-	-	-	-
1985-86	16.1	16.1	16.1	16.1	17.2
1986-87	53.8	53.9	58.8	58.8	58.8

ΧΑΝΙΑ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1976-77	9.1	14.9	26.9	35.5	39.7
1977-78	24.4	28.1	31.4	31.4	32.9
1978-79	14.4	16.1	49.9	59.8	67.9
1979-80	12.8	18.9	22.7	36.6	44.6
1980-81	47.5	51.9	64.1	98.1	139.2
1981-82	15.2	21.2	25.9	35.7	60.9
1982-83	42.4	42.9	24.7	42.9	44.2
1983-84	27.3	39.2	47.1	104	111.6
1984-85	15.1	19.4	39.9	49.4	53
1985-86	6.4	11.3	25.6	28.4	31.5

ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1965-66	13	20	36.5	44	55
1966-67	19.5	20.1	35.7	47	47
1967-68	30	45	67	87.8	90.6
1968-69	10	25	35	60	85
1969-70	15	17.6	26.2	29	37
1970-71	20.8	23.7	25.8	30.5	58
1971-72	14.4	28.8	40.5	40.5	48.5
1972-73	25.5	34	59.5	68.2	83.2
1973-74	12	18	42	55.5	65
1974-75	10.5	18	30.5	42.8	45.5
1975-76	14	27	51	78.5	115
1976-77	13	24.5	27.5	34	65
1977-78	20	38	74	80	143
1978-79	15	20	51	56	72
1979-80	20	30	45	50	75
1980-81	8	15	36	59.3	59.3
1981-82	11	21	38.5	44.2	57.5
1982-83	20	38	58	60.4	61.2
1983-84	20	28	50	81	102
1984-85	11	20	43	64	110
1985-86	19	23	39.5	49	63
1986-87	19	34.5	53	68.5	76.5

ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ

Έτος	h(mm)				
	1h	2 h	6 h	12 h	24 h
1978-79	7.1	9.7	15	15.7	16.1
1979-80	25.3	31.4	38.2	43.1	43.1
1980-81	19.9	20	25	28.8	40.6
1981-82	22	15.1	23.2	31.4	32.4
1982-83	13.7	22.5	34.4	35.2	35.3
1983-84	8.9	12.3	22	38.3	46.3
1984-85	35.5	36.6	47.2	56.8	56.7
1985-86	21.6	22.8	37.5	38.9	42
1986-87	19.4	27.1	30.5	33.6	36.6

Βροχομετρικές Μετρήσεις

ΣΗΤΕΙΑ**ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟ**

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24 h	48 h		24h	48h
1975-76	48.8	64.3	1975-76	47.3	49.8
1976-77	40.5	56.7	1976-77	21	34.2
1977-78	59.1	64.6	1977-78	68	68
1978-79	53.5	58.8	1978-79	124.6	124.6
1979-80	67.8	76.1	1979-80	56.4	57.7
1980-81	40.5	73.3	1980-81	33.4	52.2
1981-82	34.4	44.7	1981-82	36	47
1982-83	21.6	36.4	1982-83	24.8	25.8
1983-84	69.2	105.5	1983-84	191	196.5
1984-85	60.1	85.4	1984-85	72	72.6
1985-86	100	188.7	1985-86	102.2	107.2
1986-87	60.8	82	1986-87	86	88
1987-88	81.5	81.5	1987-88	232	235.3
1988-89	66.1	91.7	1988-89	107	150
1989-90	34.9	59.6	1989-90	36	50
1990-91	55	55	1990-91	95	95.8
1991-92	61.6	62	1991-92	52	66
1992-93	35.2	36	1992-93	35	39.8

ΚΑΤΣΙΔΩΝΙ**ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ**

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	156	156	1975-76	77	97
1976-77	57	66.5	1976-77	65	77
1977-78	175	226	1977-78	135	195
1978-79	105	139	1978-79	165	165
1979-80	95	125	1979-80	79	81
1980-81	95	145	1980-81	67	101
1981-82	90	115	1981-82	56	58
1982-83	92	100	1982-83	54	59
1983-84	110	135	1983-84	101	120
1984-85	105	120	1984-85	127	127
1985-86	185	223	1985-86	62	65
1986-87	202	294	1986-87	178	244
1987-88	86	103	1987-88	116	130
1988-89	41	73	1988-89	66	74
1989-90	52	82	1989-90	50	55
1990-91	80	80	1990-91	72	97
1991-92	55	80	1991-92	70	88
1992-93	95	105	1992-93	92	112

ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ

ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ

'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	60	75	1975-76	92	92
1976-77	30	40	1976-77	42	46
1977-78	60	69	1977-78	39.7	51.7
1978-79	50	77	1978-79	43.5	61
1979-80	70	80	1979-80	63	109
1980-81	40	77	1980-81	84	144
1981-82	60	70	1981-82	36.5	38.8
1982-83	38	38	1982-83	37.5	44
1983-84	50	86	1983-84	67.6	92.5
1984-85	94	101	1984-85	77.7	95.81
1985-86	69	89	1985-86	46	79.8
1986-87	170	180	1986-87	163.3	299.3
1987-88	42	62	1987-88	91.2	92
1988-89	150	156	1988-89	100	109.8
1989-90	45.5	76.5	1989-90	80.7	111.7
1990-91	67	68	1990-91	68	80
1991-92	66	68	1991-92	53	68.2
1992-93	28.7	35.5	1992-93	45.8	54

ΜΑΛΑΙΣ

ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ

'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	84	89	1975-76	218	272
1976-77	26	43.3	1976-77	380	491
1977-78	90.3	180.6	1977-78	180	310
1978-79	60.5	90.5	1978-79	146	204
1979-80	58.3	103	1979-80	72	121
1980-81	126.5	192.1	1980-81	57	97
1981-82	60	77.8	1981-82	73	113
1982-83	50	56	1982-83	57	85
1983-84	45.2	86.5	1983-84	154	230
1984-85	138.5	198.5	1984-85	196	252
1985-86	101.5	137.8	1985-86	115	147
1986-87	99	116	1986-87	113.5	158
1987-88	97.3	138.2	1987-88	93	156
1988-89	56.5	86.5	1988-89	100.5	171.5
1989-90	79.6	97.3	1989-90	66	89
1990-91	72.2	72.2	1990-91	68	118
1991-92	51.6	62.2	1991-92	200	200
1992-93	77.2	82.7	1992-93	100	150

ΝΕΑΠΟΛΙΣ

ΑΡΧΑΝΕΣ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	120	153.2	1966-67	25	49.4
1976-77	240	300	1967-68	50.5	64.4
1977-78	111	167	1968-69	71.9	123.9
1978-79	70	75	1969-70	37	41.2
1979-80	84	104	1970-71	54	69
1980-81	60	76	1971-72	61.2	66.7
1981-82	50	74	1972-73	81.8	114
1982-83	56	79	1973-74	65	65.7
1983-84	104	132	1974-75	45.5	70.5
1984-85	175	175	1975-76	77	152
1985-86	102	106	1976-77	71	88.4
1986-87	182	280	1977-78	145	156
1987-88	57	84	1978-79	64.4	87.4
1988-89	75	123	1979-80	63	85
1989-90	90	90	1980-81	59	70
1990-91	64	64	1981-82	51	66
1991-92	64	90	1982-83	50	59
1992-93	65	84	1983-84	90	128
			1984-85	77	131

ΑΣΗΜΙ

ΤΕΦΕΛΙ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1974-75	46	52.5	1974-75	45.8	51.2
1975-76	50	86	1975-76	69.5	93.8
1976-77	40	43	1976-77	42	44.4
1977-78	252	252	1977-78	255	255
1978-79	74	83	1978-79	86.4	88
1979-80	75	115	1979-80	82	82
1980-81	56	98	1980-81	97	118.5
1981-82	39.5	49	1981-82	65.5	72.3
1982-83	45	47	1982-83	65	69.5
1983-84	52	63	1983-84	84	85.5
1984-85	111	138	1984-85	144	153
1985-86	60	61	1985-86	57	65.5
1986-87	51	56	1986-87	53.8	65.6
1987-88	40	70	1987-88	44	60.8
1988-89	40	49	1988-89	76.5	76.5
1989-90	61	93	1989-90	75.6	95
1990-91	86	86	1990-91	70	70
1991-92	47	67	1991-92	48	58
1992-93	21	38	1992-93	31.7	48.2

ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ

ΚΑΣΤΕΛΙ

'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1974-75	45.1	53.8	1974-75	39.3	53
1975-76	53.6	99	1975-76	75	94.6
1976-77	35.1	41.5	1976-77	92	101.5
1977-78	186.7	189.3	1977-78	232	232
1978-79	47.2	76.7	1978-79	89	97
1979-80	63.2	88.7	1979-80	53.5	78.5
1980-81	57.4	112.6	1980-81	83.5	95
1981-82	62.4	82.9	1981-82	49.5	66
1982-83	35.9	52.4	1982-83	55.5	61.5
1983-84	48.2	54.4	1983-84	118	156
1984-85	33.2	139.9	1984-85	90	147.5
1985-86	45.7	79.9	1985-86	48	66
1986-87	53.5	71.1	1986-87	85	102
1987-88	46.2	75.5	1987-88	57	113
1988-89	61.7	90.8	1988-89	47	77
1989-90	79.2	120.7	1989-90	57	101
1990-91	52.2	73.1	1990-91	48	61.8
1991-92	56.4	86.4	1991-92	53	89.5
1992-93	75.3	82.8	1992-93	46	60

ΔΕΜΑΤΙ

ΚΑΣΣΑΝΟΙ

'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1963-64	60.9	71.1	1975-76	47	73
1964-65	28.4	46	1976-77	32.7	45.4
1965-66	27.6	37.6	1977-78	98.6	107
1966-67	52.5	64.7	1978-79	48	93.3
1967-68	77.5	91	1979-80	45	45
1968-69	38	42	1980-81	66	74.8
1969-70	74	74	1981-82	90.5	101
1970-71	75	94.3	1982-83	36	49
1971-72	45	53	1983-84	48	94
1972-73	106.8	110.8	1984-85	87	171
1973-74	52.1	56.6			
1974-75	68.7	68.7			
1975-76	73	73			
1976-77	28	28			
1977-78	65	68.3			
1978-79	88	92.5			
1979-80	68	74			
1980-81	83	123			
1981-82	43	76.3			
1982-83	20	25.7			
1983-84	47	67			
1984-85	81	101			

ΑΒΔΟΥ**ΑΓΙΟΣ ΘΩΜΑΣ**

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	101	132	1966-67	34.5	44.8
1976-77	91.5	104.8	1967-68	57.7	106.3
1977-78	161	165	1968-69	85	123.1
1978-79	182	182	1969-70	46.5	81.5
1979-80	75.5	122.5	1970-71	59	74.7
1980-81	95	102.7	1971-72	60.6	65.6
1981-82	48	77	1972-73	47.6	59.4
1982-83	131	64.5	1973-74	34.3	60.4
1983-84	54	83	1974-75	65	65.7
1984-85	122	130	1975-76	76	97.3
			1976-77	82	85.3
			1977-78	98	136.1
			1978-79	40.6	52.9
			1979-80	56.7	90.7
			1980-81	100	184
			1981-82	67	96
			1982-83	72	97
			1983-84	48	91
			1984-85	110	149

ΗΡΑΚΛΕΙΟ**ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ**

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1985-86	30.8	42.2	1975-76	123	168.2
1986-87	40.1	51.7	1976-77	120.5	133
1987-88	23.3	28.3	1977-78	135.6	240.6
1988-89	62.3	74.8	1978-79	71	88
1989-90	55.7	89.7	1979-80	104	133.2
1990-91	41	64.7	1980-81	83.7	164.9
1991-92	22.8	31.1	1981-82	80	122
1992-93	41.7	44.6	1982-83	90.5	92.2
1993-94	50.2	51.7	1983-84	100	140
1994-95	69.6	98.9	1984-85	115	181
			1985-86	140	154.5
			1986-87	192	217.2
			1987-88	82	119
			1988-89	100	156.5
			1989-90	88	130
			1990-91	85	136
			1991-92	72	116
			1992-93	55.5	77.5

ΒΟΡΙΖΙΑ

ΛΑΓΟΛΙΑ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1963-64	70	90	1973-74	34.3	54.8
1964-65	197	295	1974-75	45.1	49.3
1965-66	74	83	1975-76	124	131.2
1966-67	82	99	1976-77	38.7	47.6
1967-68	65	106	1977-78	64.3	64.3
1968-69	125.4	196.4	1978-79	64.4	64.4
1969-70	72.8	100.8	1979-80	76.8	90.1
1970-71	85.6	85.6	1980-81	46.7	74.5
1971-72	57.8	97.3	1981-82	67.2	73.6
1972-73	44.6	68.9	1982-83	30.2	38.5
1973-74	52	82	1983-84	38.8	62
1974-75	72	88.2	1984-85	66.5	74.5
1975-76	84.2	141.6			
1976-77	103.2	122.2			
1977-78	139	165.5			
1978-79	112.1	137.2			
1979-80	86.3	129.6			
1980-81	111.3	175.8			
1981-82	98.7	183.9			
1982-83	125.5	155.3			
1983-84	64.6	117.7			
1984-85	156.2	237			

ΖΑΡΟΣ

ΤΥΜΠΑΚΙ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1953-54	82.5	84.5	1972-73	49.7	54.6
1954-55	118	133	1973-74	31.8	53
1955-56	46.5	73	1974-75	27.3	41
1956-57	54	58.5	1975-76	84.4	121
1957-58	36	64.5	1976-77	39.1	63.8
1958-59	45.5	63.5	1977-78	56.1	57.2
1959-60	74	109	1978-79	55.4	55.4
1960-61	77	122	1979-80	45.4	73.1
1961-62	66	104	1980-81	30.9	53.3
1962-63	94	123	1981-82	55.2	64.6
1963-64	82	105	1982-83	40.3	43.8
1964-65	125	211	1983-84	40.2	50.7
1965-66	44	65	1984-85	75.4	120
1966-67	79	112			
1967-68	96	125			
1968-69	85	112			
1969-70	43	74			
1970-71	61	83			
1971-72	79.5	79.5			
1972-73	47	65.5			
1973-74	50	68			
1974-75	52	74			
1975-76	105	105			
1976-77	57	92			
1977-78	90	118			
1978-79	72	92			
1979-80	90	102			
1980-81	72	112			
1981-82	73	78			
1982-83	52	60			
1983-84	55	77			
1984-85	102	137			

ΠΟΜΠΙΑ

ΚΑΒΟΥΣΙ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1974-75	55.5	55.5	1975-76	79.1	118.3
1975-76	72	113	1976-77	122.3	183.5
1976-77	30	30	1977-78	78.3	99.5
1977-78	55	66.5	1978-79	105.6	137.5
1978-79	108	108	1979-80	83.4	91.6
1979-80	60	75	1980-81	45.6	84.7
1980-81	58	94	1981-82	87.9	108.2
1981-82	57	58	1982-83	85.3	102.8
1982-83	34.5	37.5	1983-84	145.6	157.9
1983-84	46.5	55.5	1984-85	76.5	145.2
1984-85	126	143	1985-86	60.4	95.6
1985-86	45	47	1986-87	62.3	78.8
1986-87	66	68	1987-88	58	85
1987-88	75	75	1988-89	38.2	56.5
1988-89	46	73	1989-90	78.4	112.5
1989-90	64	64	1990-91	72.6	76.4
1990-91	76.5	80.5	1991-92	96.3	117.5
1991-92	46	64	1992-93	65.3	71.1
1992-93	39	48			

ΣΠΙΛΙ

ΓΕΡΑΚΑΡΙ

Έτος	h (mm)		Έτος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	120	176	1975-76	92	183
1976-77	105	173	1976-77	84	145
1977-78	156	236	1977-78	162	308
1978-79	79	112	1978-79	101	128.5
1979-80	105	121	1979-80	130	135.5
1980-81	95	111	1980-81	90	170.5
1981-82	140	187	1981-82	85	161
1982-83	75	77	1982-83	66.5	83
1983-84	41	61	1983-84	70	105
1984-85	78	131	1984-85	92	162.5
1985-86	-	-	1985-86	92.5	92.5
1986-87	155	236	1986-87	90	175
1987-88	73	119.5	1987-88	86.5	152.5
1988-89	50	73	1988-89	78	100.5
1989-90	119	172	1989-90	86	121.5
1990-91	64	106	1990-91	97.5	123.5
1991-92	81	138	1991-92	86	130
1992-93	130	153	1992-93	58	108

ΒΙΖΑΡΙ**ΛΕΥΚΟΓΙΑ**

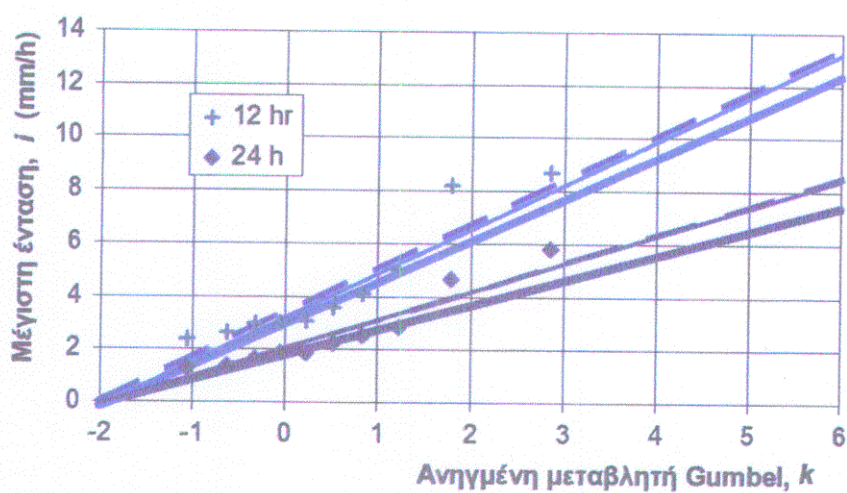
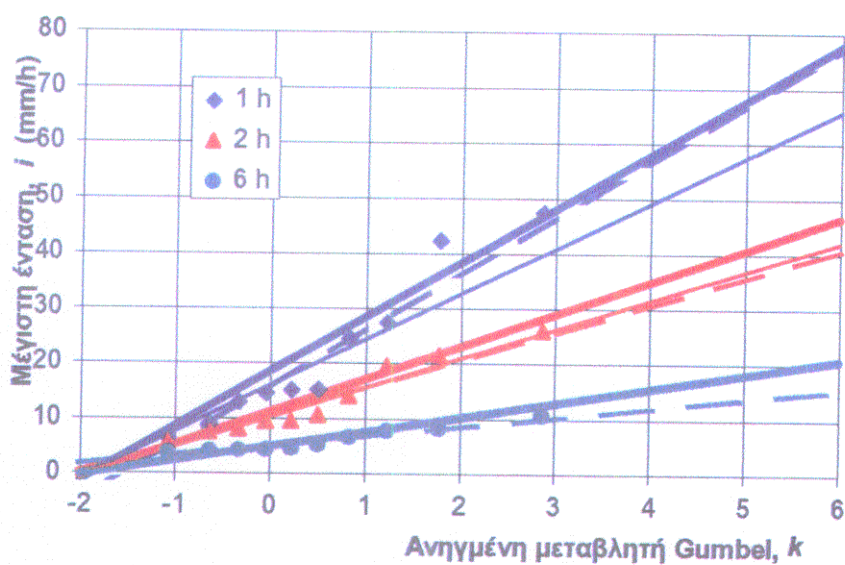
'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1975-76	91.3	121.6	1975-76	131	165
1976-77	62.8	77.5	1976-77	48	60.5
1977-78	121.2	180.4	1977-78	160	281
1978-79	64.6	87.8	1978-79	70	77.8
1979-80	97.2	133.2	1979-80	53	58
1980-81	81	107.3	1980-81	107	124.1
1981-82	50.7	79.7	1981-82	65	102.5
1982-83	72.4	82.7	1982-83	55	59.2
1983-84	36.3	71	1983-84	49	59.2
1984-85	74.2	139.9	1984-85	108	148
1985-86	38.6	46.5	1985-86	68	75.8
1986-87	95.7	106.4	1986-87	103.4	128.8
1987-88	73.7	87.8	1987-88	47	67
1988-89	48.4	56.8	1988-89	57	71
1989-90	87.3	142.3	1989-90	80	105
1990-91	60.6	60.6	1990-91	79	79.7
1991-92	50.3	65.6	1991-92	60	89
1992-93	38	64.3	1992-93	83	94

ΜΕΛΑΜΠΕΣ**ΚΑΛΥΒΕΣ**

'Ετος	h (mm)		'Ετος	h (mm)	
	24h	48h		24h	48h
1963-64	82.2	101.9	1975-76	75	83
1964-65	64	81	1976-77	53	70.5
1965-66	53.5	67	1977-78	42	55.4
1966-67	58.3	84.5	1978-79	52.4	64
1967-68	103	103.5	1979-80	51.6	64
1968-69	124	184	1980-81	72.6	98
1969-70	50.4	75.3	1981-82	65.8	124
1970-71	77.4	96.5	1982-83	58.2	58.2
1971-72	42.5	74.3	1983-84	108.6	160
1972-73	57.5	57.5	1984-85	80.4	155.6
1973-74	43	54	1985-86	74.5	74.5
1974-75	53	67.4	1986-87	60.8	101.5
1975-76	108	125.4	1987-88	51.4	56.6
1976-77	53.5	74.8	1988-89	76.8	87.6
1977-78	103	105.2	1989-90	94.4	117.2
1978-79	105	116	1990-91	34.2	45
1979-80	119.7	140.2	1991-92	65.5	87
1980-81	62	100	1992-93	52.4	78.6
1981-82	73.2	78			
1982-83	77	120			
1983-84	43	54			
1984-85	58.5	105.5			

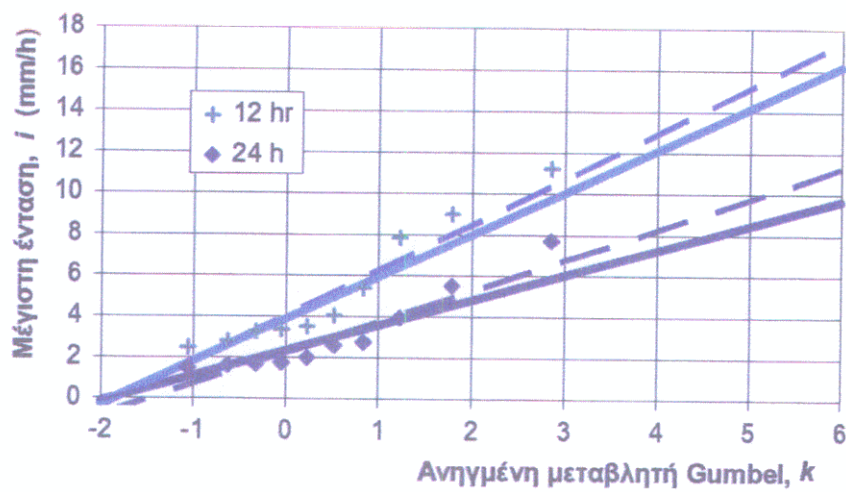
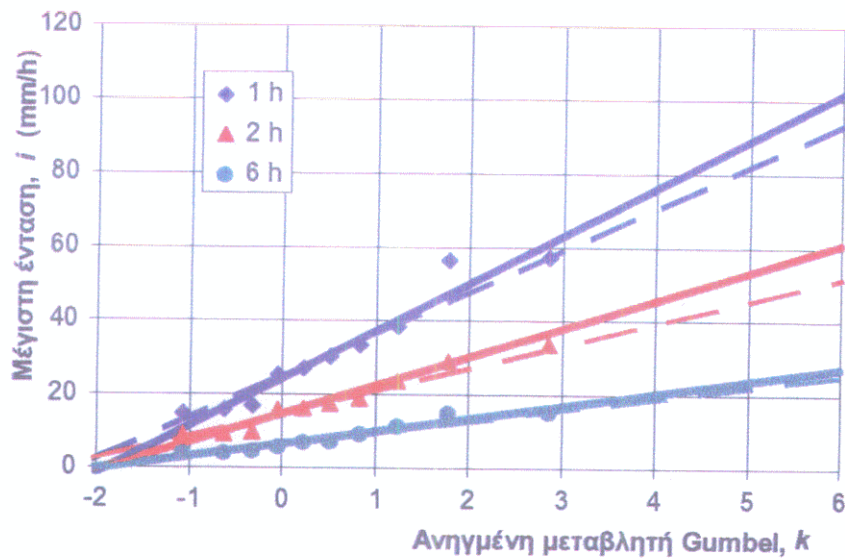
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2
ΓΡΑΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ
ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL

ΧΑΝΙΑ



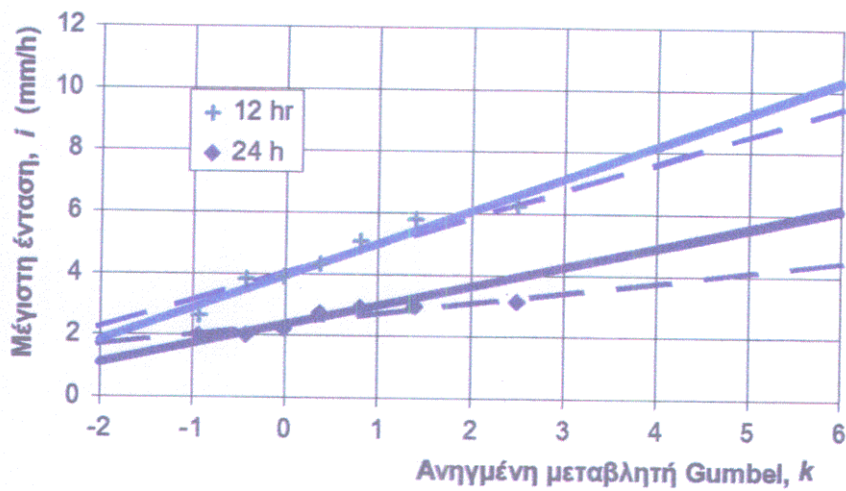
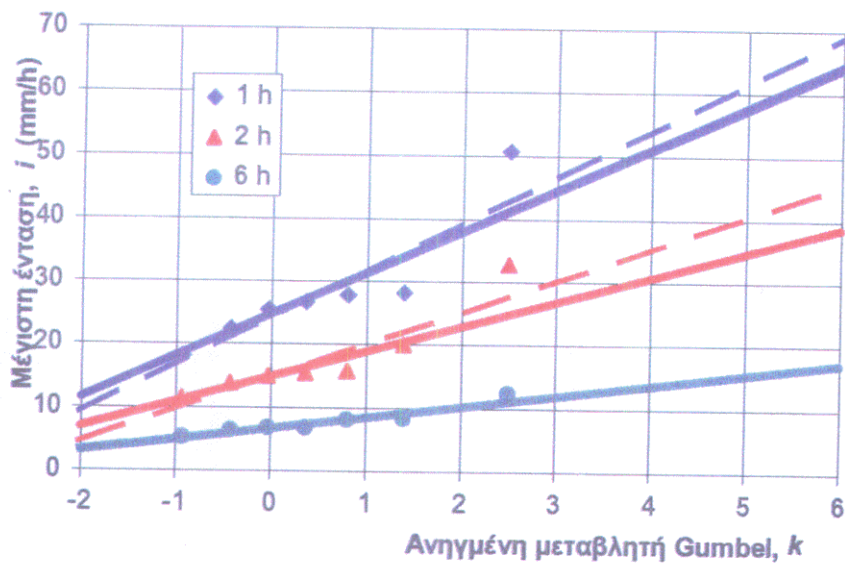
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΣΟΥΔΑ



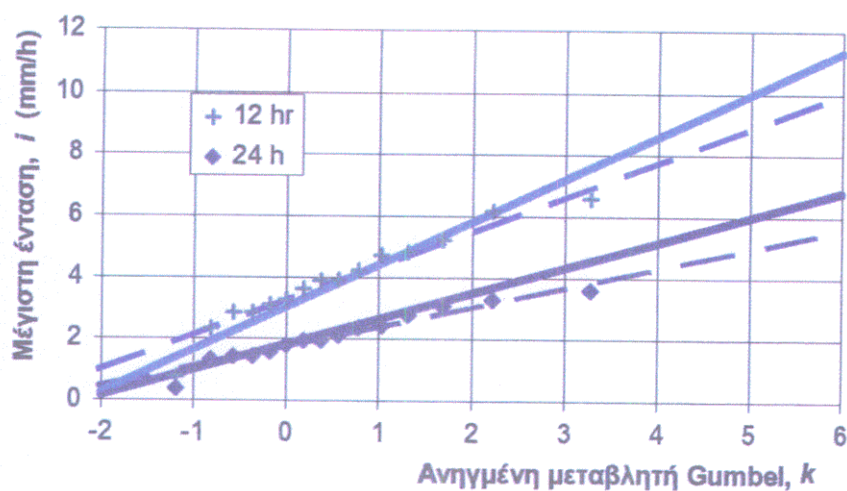
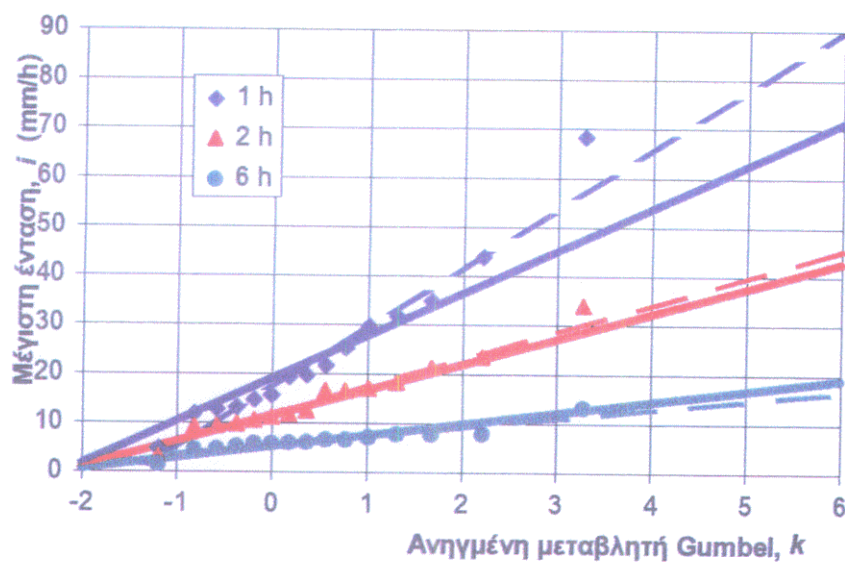
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις: Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΡΕΘΥΜΝΟ



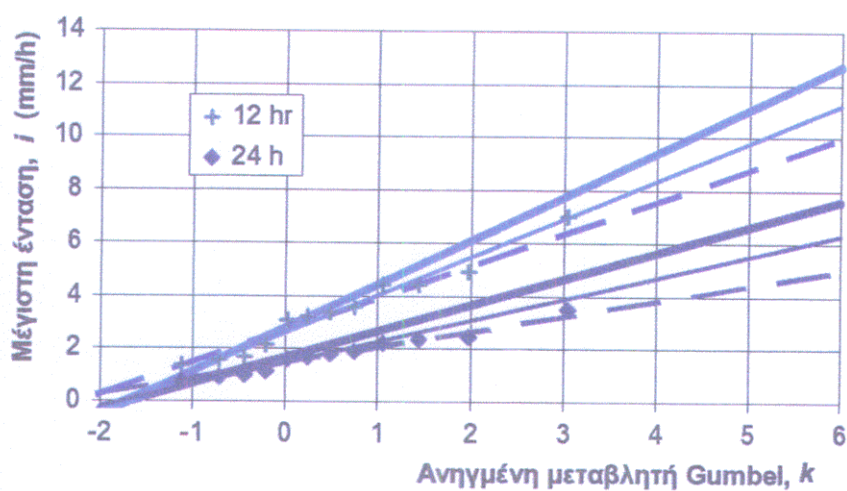
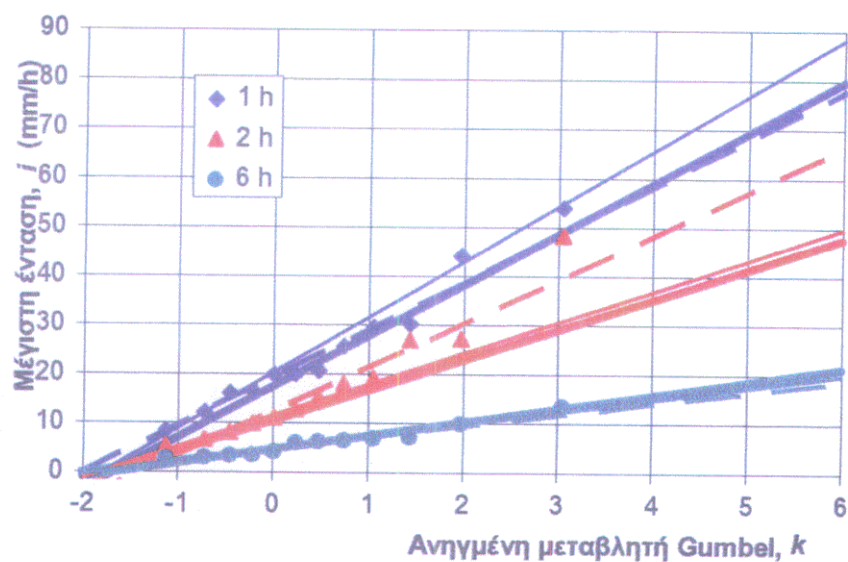
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΗΡΑΚΛΕΙΟ



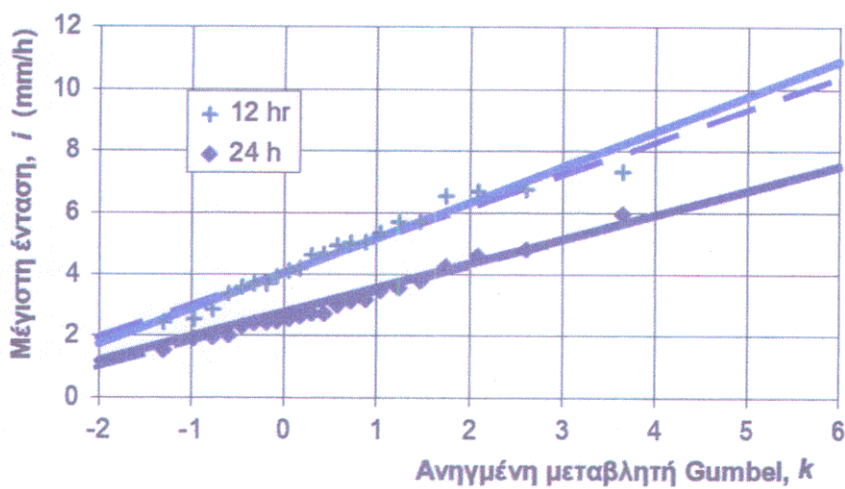
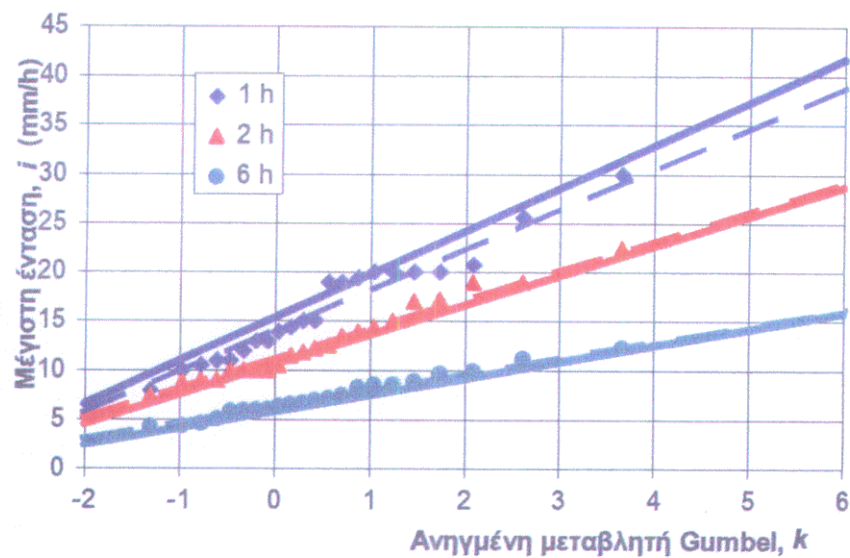
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις: Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΤΥΜΠΑΚΙ



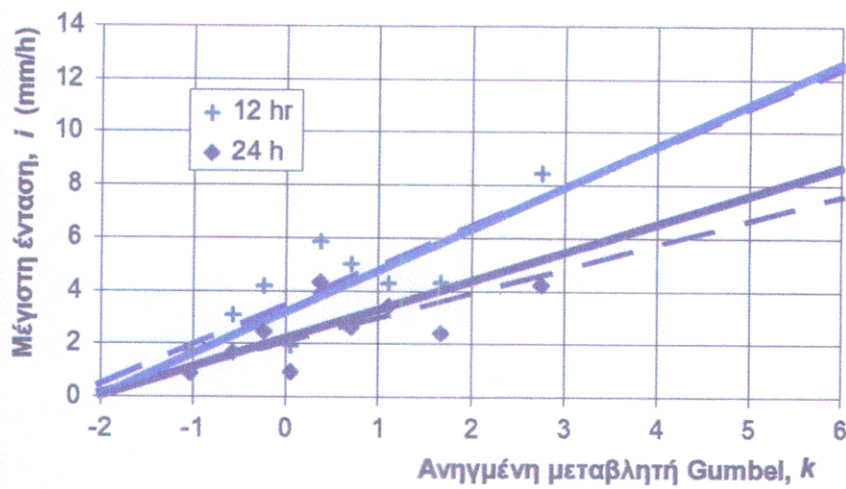
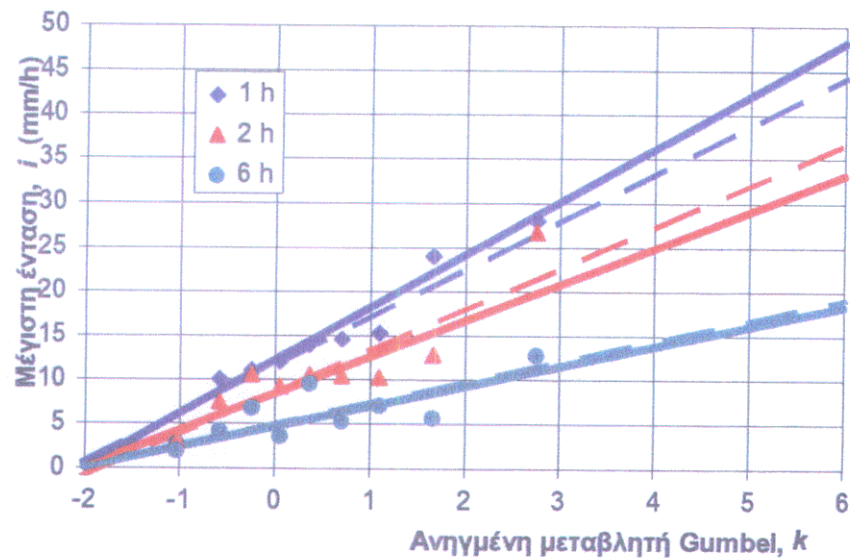
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ



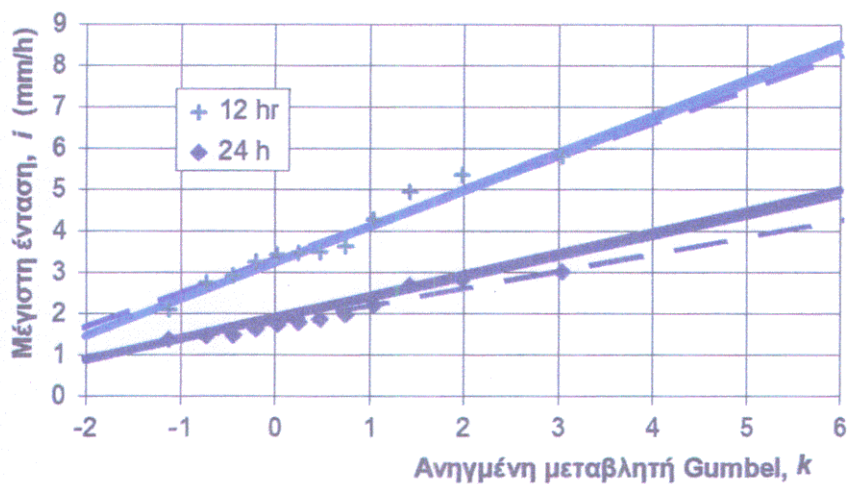
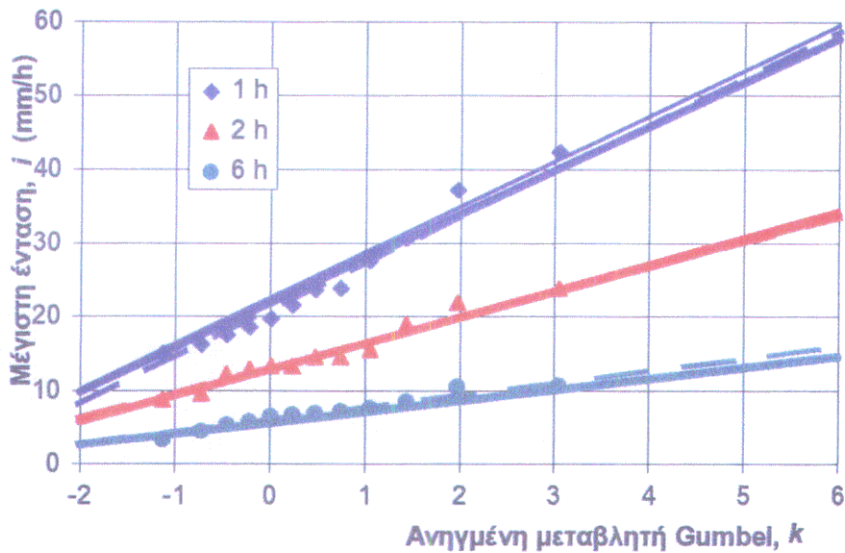
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ



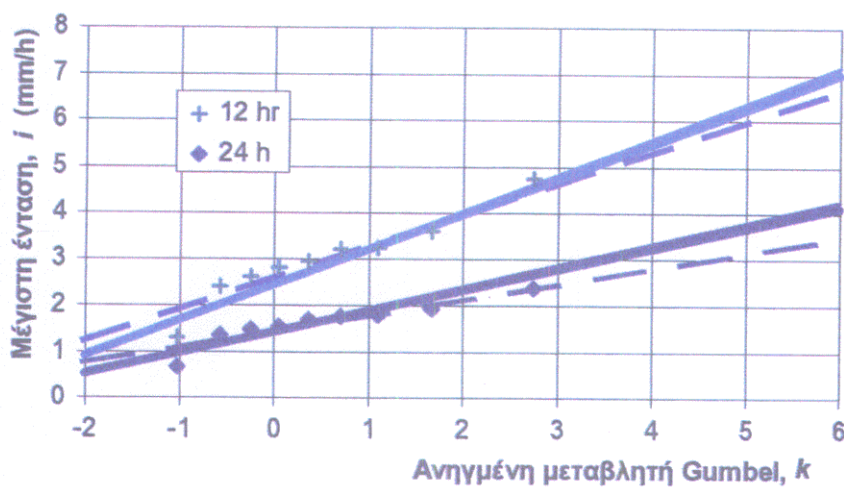
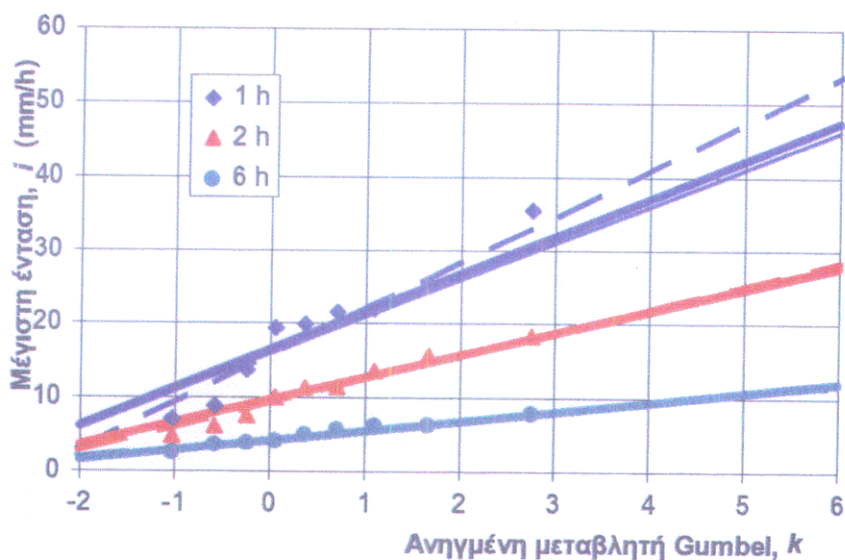
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΣΗΤΕΙΑ



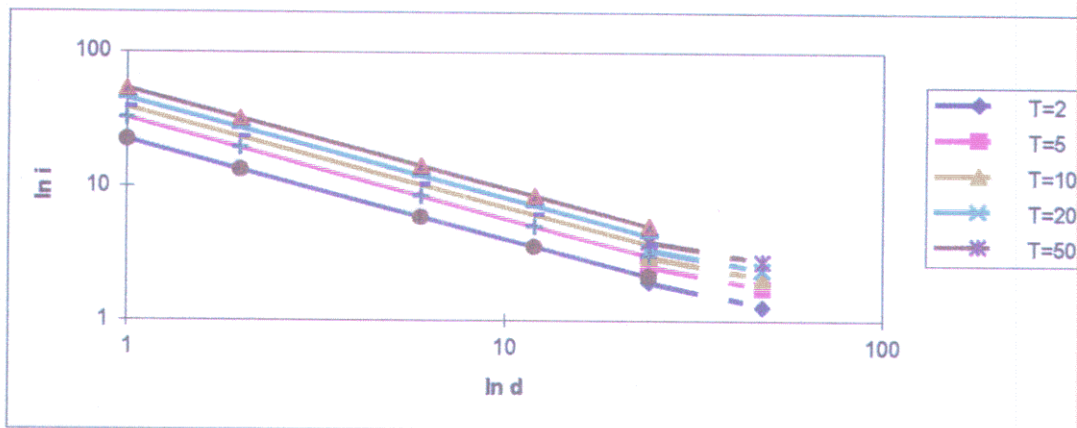
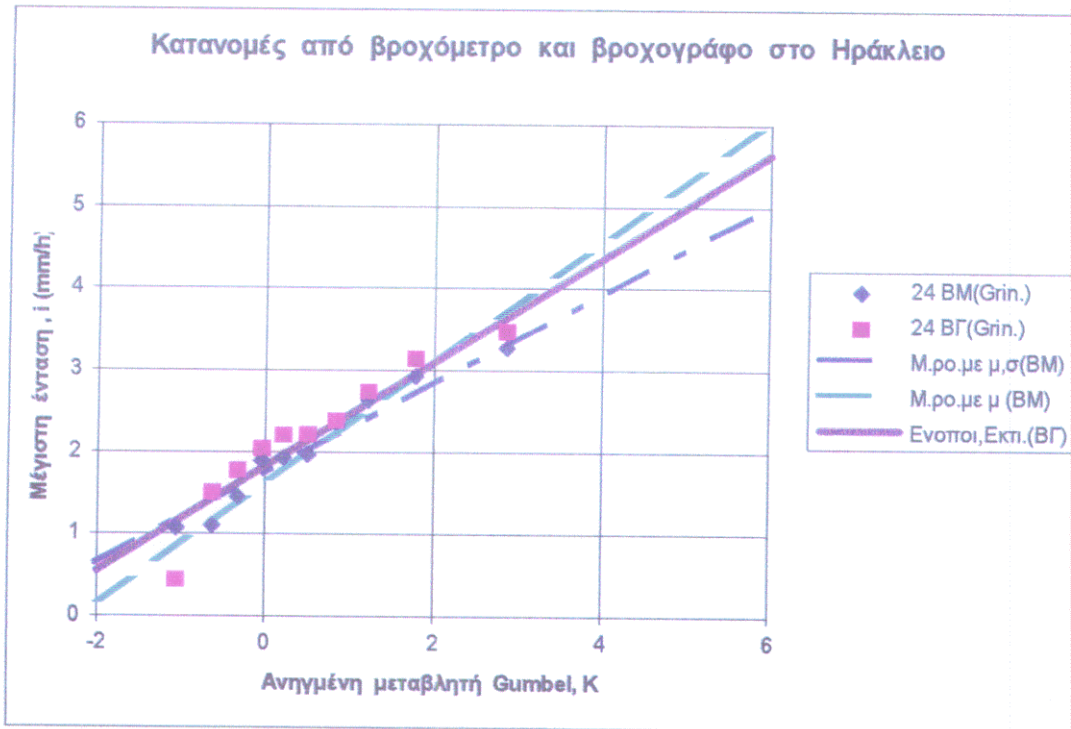
Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ

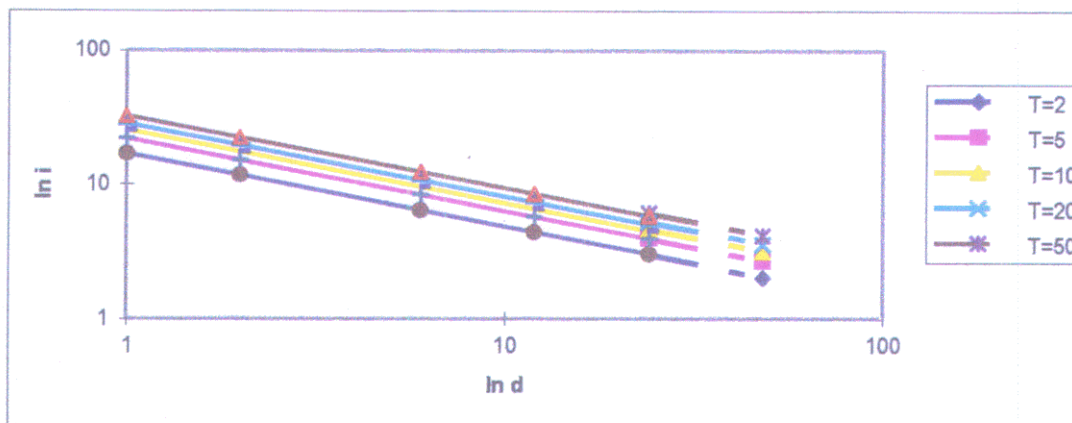
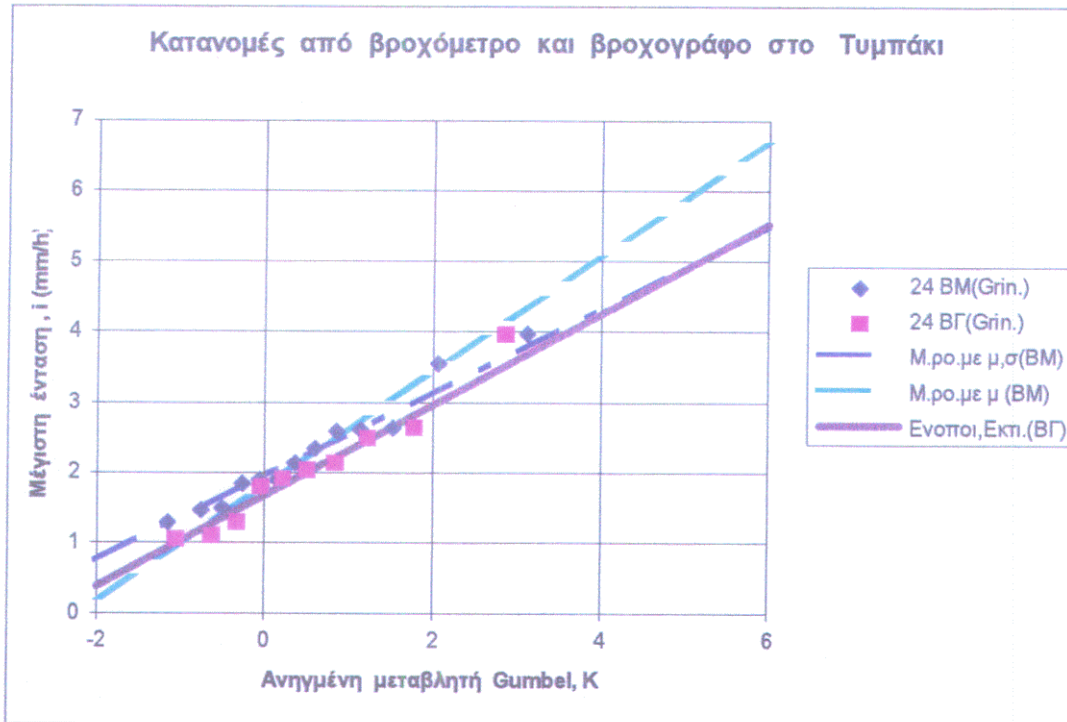


Σημείωση : Με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής (κατά Gringorten), με συνεχείς γραμμές οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης για δύο περιπτώσεις : Για n =σταθερό (έντονη γραμμή) και για n =μεταβλητό (λεπτή γραμμή). Με διακεκομμένες γραμμές παριστάνονται οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel.

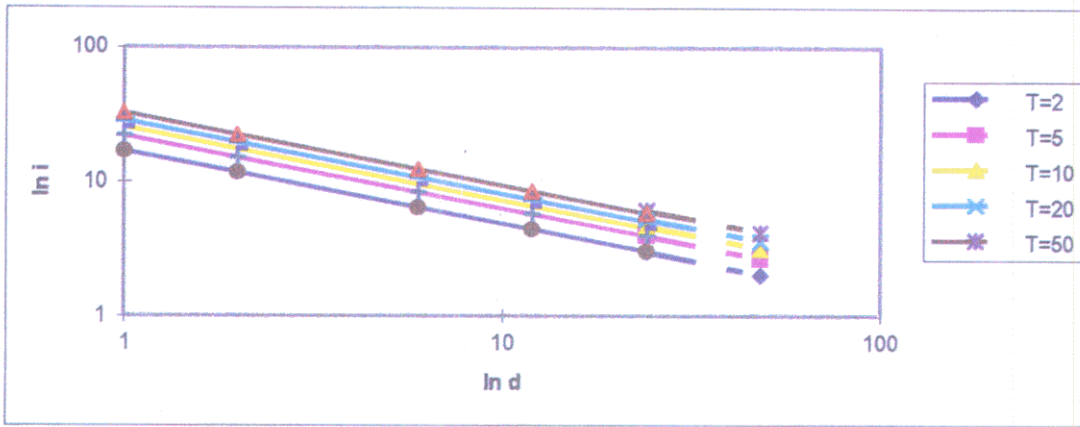
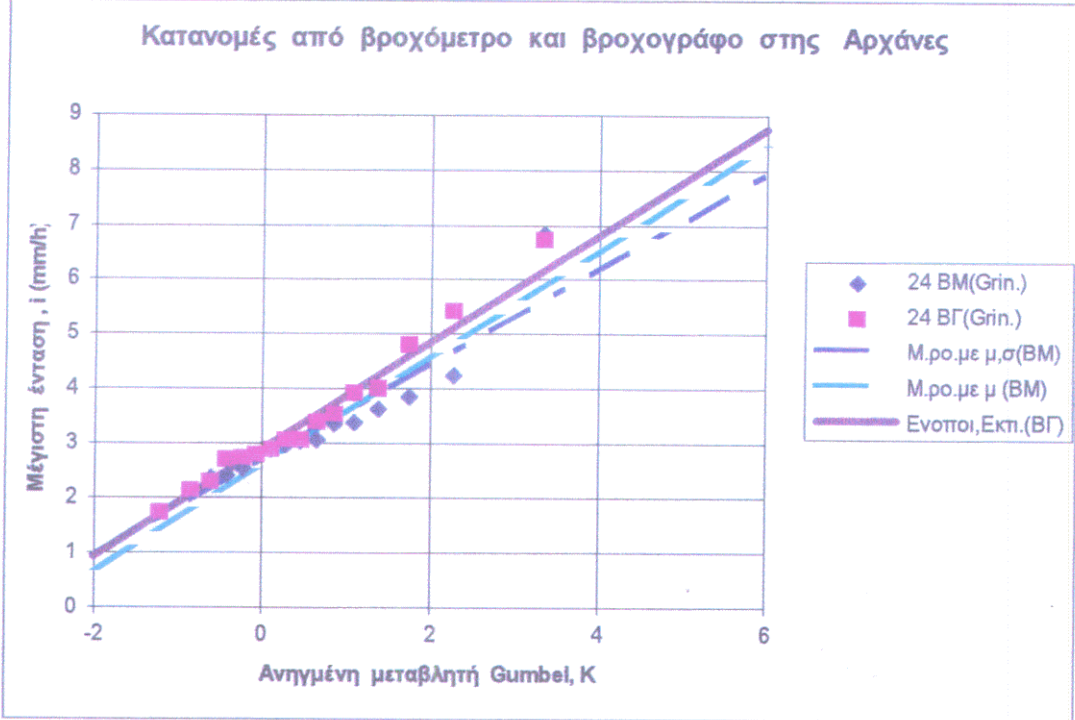
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ
ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΥΣ



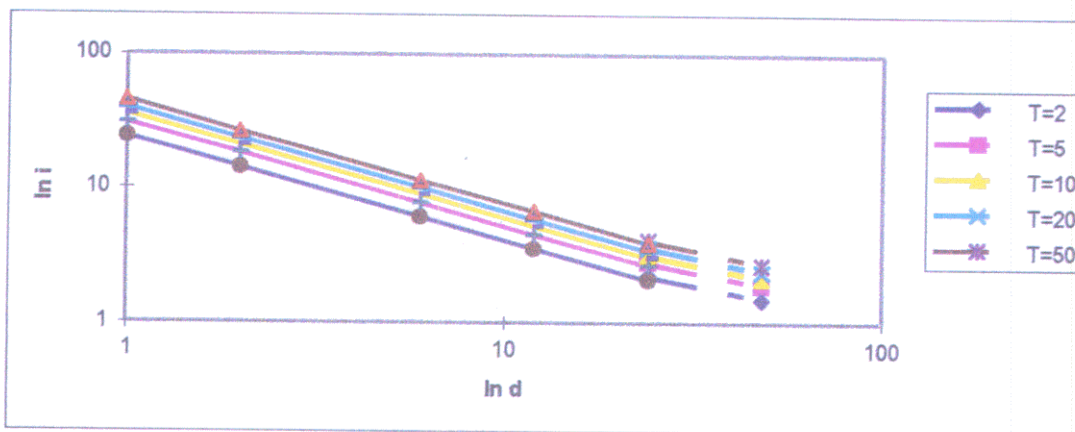
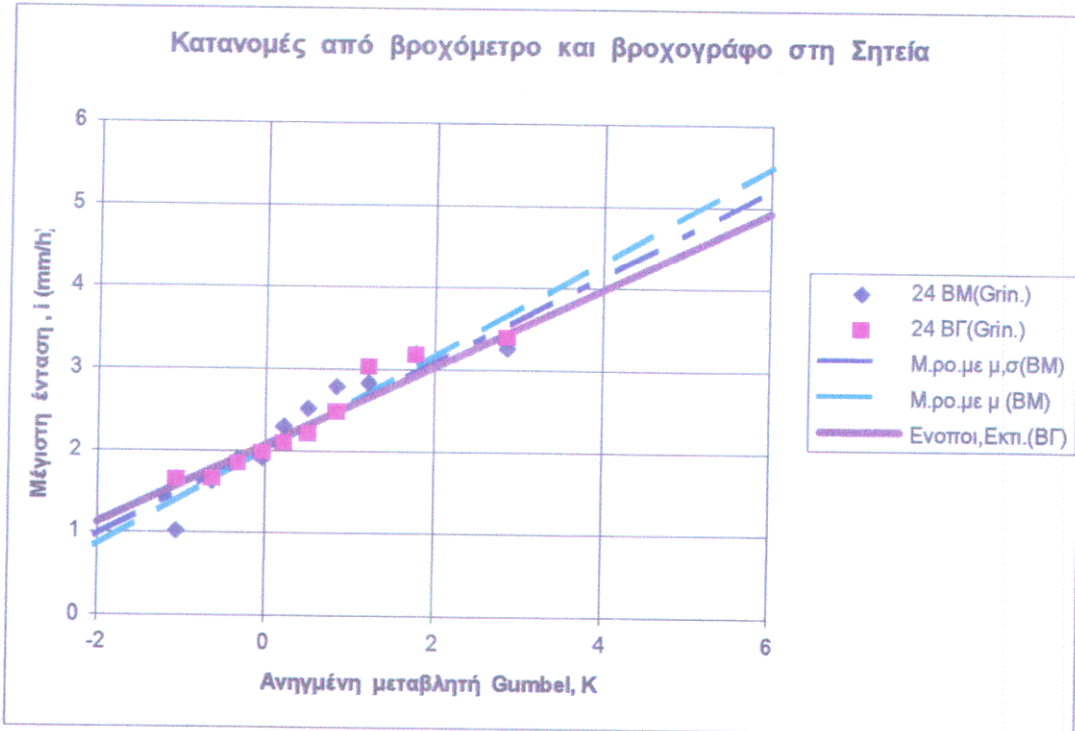
Υπόμνημα : Στο διάγραμμα παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες όπως προκύπτουν με την ενοποιημένη εκτίμηση για το βροχογράφο (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο των ροπών για το βροχόμετρο (διακεκομμένη γραμμή) για περιόδους επαναφοράς από 2 μέχρι 50.



Υπόμνημα : Στο διάγραμμα παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες όπως προκύπτουν με την ενοποιημένη εκτίμηση για το βροχογράφο (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο των ροπών για το βροχόμετρο (διακεκομμένη γραμμή) για περιόδους επαναφοράς από 2 μέχρι 50.



Υπόμνημα : Στο διάγραμμα παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες όπως προκύπτουν με την ενοποιημένη εκτίμηση για το βροχογράφο (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο των ροπών για το βροχόμετρο (διακεκομμένη γραμμή) για περιόδους επαναφοράς από 2 μέχρι 50.



Υπόμνημα : Στο διάγραμμα παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες όπως προκύπτουν με την ενοτοποιημένη εκτίμηση για το βροχογράφο (συνεχής γραμμή) και με τη μέθοδο των ροττών για το βροχόμετρο (διακεκομμένη γραμμή) για περιόδους επαναφοράς από 2 μέχρι 50.