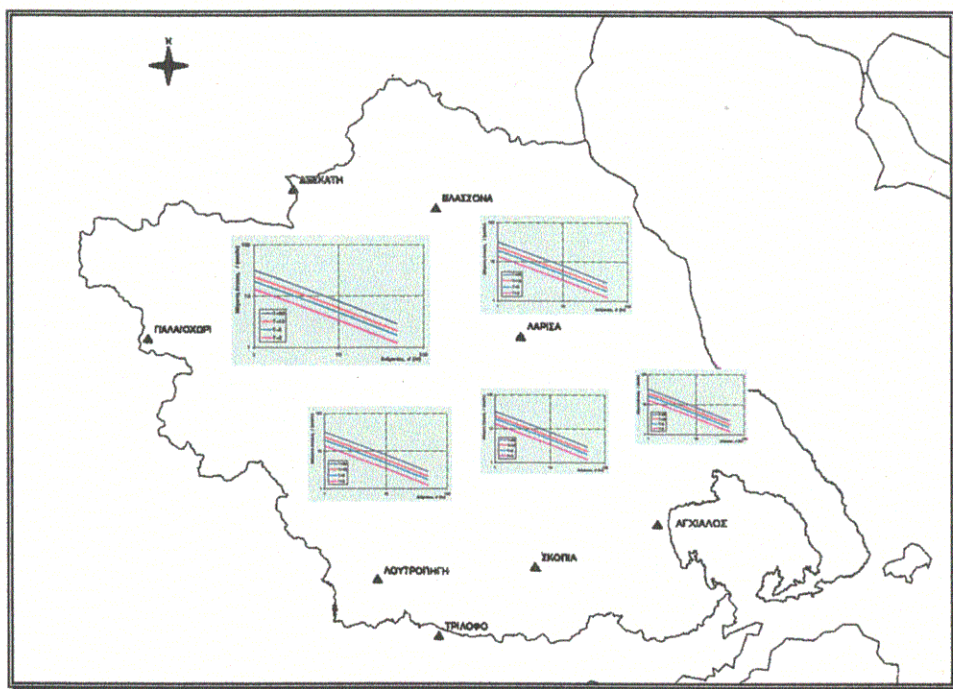


Κατάρτιση των όμβριων καμπυλών στην περιοχή της Θεσσαλίας και μελέτη της γεωγραφικής μεταβολής τους

Διπλωματική εργασία



Κων/νος Σοφιανόπουλος

Αθήνα, Μάρτιος 1999

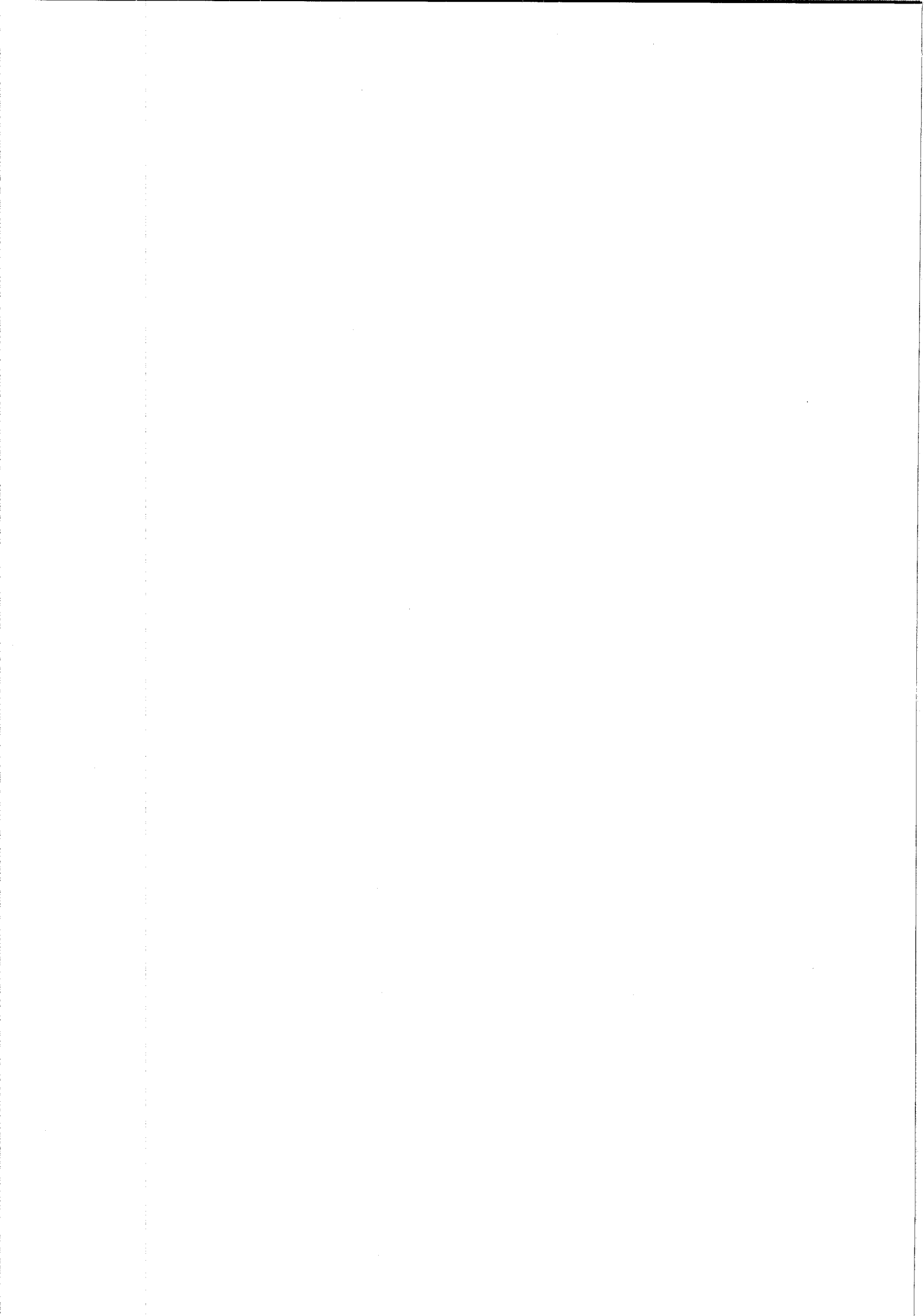
ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η προσπάθεια τού σύγχρονου ανθρώπου να αποφύγει τις δυσάρεστες και πολλές φορές καταστροφικές συνέπειες των φυσικών φαινομένων που επηρεάζουν άμεσα τη ζωή του οδήγησε στην ανάγκη για βαθιά μελέτη αυτών. Η σπουδή και ανάπτυξη των σχετικών επιστημών αποτελεί το μέσο για την αποκρυπτογράφηση αυτών των φαινομένων.

Η Τεχνική Υδρολογία, έχοντας ως κύριο αντικείμενο τον προσδιορισμό των ακραίων τιμών των υδρολογικών φαινομένων και την πιθανότητα εμφάνισέως αυτών, αποτελεί βασικό παράγοντα για τη μελέτη οποιουδήποτε υδραυλικού έργου. Οι όμβριες καμπύλες, στις οποίες επικεντρώνεται η εργασία αυτή, αποτελούν ένα από τα εργαλεία της τεχνικής υδρολογίας για την ποσοτικοποίηση των εξαιρετικών βροχοπτώσεων και έμμεσα των πλημμύρων.

Με τη εργασία αυτή ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Ε.Μ.Π. και θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση του οποίου θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίηση της εργασίας αυτής. Επίσης, ευχαριστώ τους κ. Νίκο Μαμάση και Αντώνη Κουκουβίνο, οι οποίοι πρόθυμα συνεργάστηκαν μαζί μου, όποτε τους χρειάστηκα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τις Υπηρεσίες Δ.Ε.Η., Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και Ε.Μ.Υ. για την παροχή όλων των στοιχείων που αποτέλεσαν τη βάση της εργασίας αυτής.

Κώστας Σοφιανόπουλος
Αθήνα, Μάρτιος 1999



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Αντικείμενο - Στόχος	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ	5
2.1 Όργανα μέτρησης της βροχής	5
2.2 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν	5
2.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων	6
2.4 Ψηφιοποίηση ταινιών βροχογράφου.	6
2.5 Προβλήματα	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	9
3.1 Εισαγωγή	9
3.2 Κατανομή Gumbel	9
3.3 Τελική μορφή όμβριων καμπυλών	10
3.4 Μέθοδοι εκτίμησης των παραμέτρων	11
3.5 Διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	18
4.1 Εισαγωγή	18
4.2 Απλοποίηση των εξισώσεων	18
4.3 Διαχωρισμός σε ζώνες	20
4.4 Τελικές εξισώσεις των όμβριων καμπυλών	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ	24
5.1 Εισαγωγή	24
5.2 Κατανομή βροχομετρικών σταθμών	24
5.3 Επεξεργασία στοιχείων βροχομέτρου	24
5.4 Χάρτες ισουέτιων καμπυλών για μέγιστα ύψη βροχής	26
5.5 Εκτίμηση των όμβριων καμπυλών με τη χρήση χαρτών	31
5.6 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
ΑΝΑΦΟΡΕΣ	34
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
1. Πίνακες δεδομένων	
2. Διαγράμματα προσαρμογής των δειγμάτων στην κατανομή Gumbel	
3. Όμβριες καμπύλες	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια προσαρμογής και εφαρμογής μιας μεθοδολογίας για την κατάρτιση όμβριων καμπυλών σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που να αξιοποιεί στον υπολογισμό εκτός από τα δεδομένα βροχογράφων και το πυκνό δίκτυο των βροχομέτρων. Η όλη διαδικασία εφαρμόστηκε στην περιοχή της Θεσσαλίας. Αρχικά συνελέγησαν τα ετήσια μέγιστα ύψη βροχής από σταθμούς που διαθέτουν βροχογράφο. Με κατάλληλη επεξεργασία αυτών προέκυψε η εξίσωση που εκφράζει τις όμβριες καμπύλες για κάθε σταθμό που μελετήσαμε. Η γενική μορφή των εξισώσεων αυτών περιέχει τέσσερις παραμέτρους οι οποίες είναι διαφορετικές για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια χωρίστηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας σε τρεις ζώνες δίνοντας σταθερές τιμές στις δύο από τις τέσσερις παραμέτρους σε κάθε ζώνη. Από τα στοιχεία του πολύ πυκνότερου δικτύου των βροχομέτρων της περιοχής έγινε με κατάλληλη μέθοδο προσδιορισμός και των υπολοίπων παραμέτρων οπότε προέκυψαν τα μέγιστα ύψη βροχής για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας βροχόπτωσης. Με την αποτύπωση των τιμών αυτών στο χάρτη και τη χρήση συστήματος GIS χαράχθηκαν οι ισοϋέτιες καμπύλες για τα μέγιστα ύψη βροχής σε ολόκληρη την περιοχή της Θεσσαλίας. Με τη βοήθεια των χαρτών μπορούμε να προσδιορίσουμε την έκφραση των όμβριων καμπυλών σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής.

ABSTRACT

In this thesis an attempt to adjust and apply a methodology to the development of the maximum rainfall intensity - duration - frequency (IDF) curves in large geographical areas has been made. The methodology takes advantage not only of the data from recording rain gauges, but also of the dense network of nonrecording rain gauges. The whole procedure has been applied to Thessalia. Initially, the annual maximum rainfall depths have been collected from rain-recording stations. The appropriate processing of these data lead to the equation which express the IDF curves for each station. The general form of these equations includes four parameters, which are different for each station. Secondly, Thessalia has been divided into three zones and fixed values have been given to 2 out of 4 parameters of each zone. From the data of the much more dense network of nonrecording rain gauges in the area, the rest parameters were defined by using an appropriate method. In this way the maximum rainfall depths for various rainfall duration and return period were resulted. The imprint of these values on the map by using the GIS system made possible the tracing of the isohyetal map for the entire examined area (Thessalia). By using the maps it is possible to extend the IDF relationship to every single place of the area.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο - Στόχος

Οι όμβριες καμπύλες, όπως απλούστερα έχει καθιερωθεί να αποκαλούνται στην ελληνική τεχνική ορολογία οι 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 ομβρίων καμπυλών πρέπει να είναι διαθέσιμες ιστορικές σειρές μέγιστων εντάσεων βροχής για ένα σύνολο k διαρκειών d_j , $j = 1, \dots, k$, ξεκινώντας από την ελάχιστη διάρκεια που επιτρέπει η ευκρίνεια των παρατηρήσεων (π.χ. 5 min - 1 h) και φθάνοντας μέχρι τη μέγιστη διάρκεια βροχής που ενδιαφέρει τα τυπικά προβλήματα του μηχανικού (π.χ. 24 - 48 h).

Η χρησιμότητα των ομβρίων καμπυλών είναι άμεση σε όλα τα προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού που αφορούν στην αντιπλημμυρική προστασία. Ουσιαστικά η χρήση τους συνίσταται στην εκτίμηση 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 τη βασική είσοδο σε όλα τα μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή, ξεκινώντας από την απλή ορθολογική μέθοδο ($Q = c i A$) και φθάνοντας σε πιο σύνθετες μεθόδους, όπως αυτές του μοναδιαίου υδρογραφήματος και των υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων διάδευσης.

Σε προηγμένες χώρες το θέμα της κατάρτισης ομβρίων 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. Οι χάρτες αυτοί απεικονίζουν ισοϋέτιες καμπύλες μέγιστων υψών βροχής για διάφορες διάρκειες βροχής και διάφορες περιόδους επαναφοράς. (Κουτσογιάννης, 1996).

Στην Ελλάδα δεν έχει γίνει ακόμα κάτι τέτοιο. Μια προσπάθεια (όχι σε επιχειρησιακή κλίμακα αλλά ως διερεύνηση) έγινε στα πλαίσια προγενέστερων διπλωματικών εργασιών (Στερεά Ελλάδα, Κρήτη, Πελοπόννησος). Στα ίδια πλαίσια εντάσσεται και η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η κατάρτιση χαρακτηριστικών εκφράσεων ομβρίων καμπυλών για την περιοχή της Θεσσαλίας 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 Όργανα μέτρησης της βροχής

Πρόκειται για κυλινδρικά δοχεία εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση και βοηθητικά την χιονόπτωση δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Διακρίνονται σε

βροχόμετρα, που δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο νερού μιας χιονόπτωσης ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, (συνήθως 12ωρο, 24ωρο), με την ανάγνωση της ένδειξης από έναν παρατηρητή,

βροχογράφους, που καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη σχέση ύψους βροχής - χρόνου, αναλύοντας έτσι τη σημειακή χρονική διανομή των βροχοπτώσεων.

Τα βροχόμετρα αποτελούνται από δύο κύρια τμήματα:

- Το μεταλλικό δοχείο υποδοχής της βροχής, που περιλαμβάνει στο πάνω μέρος του ένα ορειχάλκινο δακτύλιο με αιχμηρά χείλη και συνεχίζει προς τα κάτω με αιλουροκωνική επιφάνεια, που καταλήγει σε σωλήνα μικρής διαμέτρου.
- Το μετρητικό σύστημα, δηλαδή έναν κύλινδρο συλλογής της βροχής, με χιλιοστομετρική κλίμακα και διάμετρο κυρίως υποπολλαπλάσια της διαμέτρου του δοχείου υποδοχής, για να πολλαπλασιάζεται η ευαισθησία της μέτρησης.

Οι βροχογράφοι είναι σε γενικές γραμμές βροχόμετρα στα οποία προστίθεται ένας καταγραφικός μηχανισμός ύψους - χρόνου βροχής μεταξύ των δύο κυρίων τμημάτων τους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται περισσότερο ο τύπος του του σιφωνοειδούς βροχογράφου. Από το σωλήνα υποδοχής το νερό διαβιβάζεται σε άλλο δοχείο, μικρότερης διαμέτρου. Σ' αυτό υπάρχει πλωτήρας, συνδεδεμένος με στέλεχος που κινείται κατακόρυφα με κατάλληλο μηχανισμό και φέρει σε ειδική προέκταση γραφίδα, η οποία εφάπτεται σε ταινία, που περιβάλλει ωρολογιακά περιστρεφόμενο κύλινδρο σταθερής ταχύτητας. Για ορισμένο ύψος βροχής, η μεν γραφίδα έχει φτάσει στην ανώτατη θέση της ταινίας, ενώ πληρούται συγχρόνως η συνθήκη λειτουργίας του σίφωνα, οπότε το δοχείο αδειάζει σε λίγα δευτερόλεπτα και παρασύρονται ο πλωτήρας και η γραφίδα στην κατώτατη θέση τους. (Ξανθόπουλος, 1990)

2.2 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Για την κατάρτιση των ομβρίων καμπυλών στην περιοχή της Θεσσαλίας επιλέγησαν εννέα (9) σταθμοί βροχογράφων και τριάντα (30) σταθμοί βροχομέτρων απ' όπου συνελέγησαν χρονοσειρές μεγίστων υψών βροχής για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης. Τα δεδομένα χορηγήθηκαν από τους εξής δημόσιους φορείς:

- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

- Δ.Ε.Η.

- Ε.Μ.Υ.

2.3 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Για την πραγματοποίηση της εργασίας ήταν απαραίτητη η ανάγνωση και καταγραφή των μεγίστων ετήσιων υψών βροχής διάρκειας 1,2,6,12,24,48 ωρών από ταινίες βροχογράφων για όλα τα έτη στα οποία υπήρχε σαφής, συνεπής και αναλυτική καταγραφή των υψών στις ταινίες των βροχογράφων. Τα ετήσια ύψη βροχής αναφέρονται σε υδρολογικά έτη, με αρχή την 1η Οκτωβρίου και πέρας την 31η Σεπτεμβρίου.

Οι βασικές προϋποθέσεις που θα έπρεπε να πληρούν οι σταθμοί, οι οποίοι επιλέγησαν είναι η συνεχής κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους λειτουργία του βροχογράφου, η ευανάγνωστη καταγραφή στις ταινίες, καθώς και η όσο το δυνατό μεγαλύτερη χρονική περίοδος λειτουργίας του κάθε σταθμού.

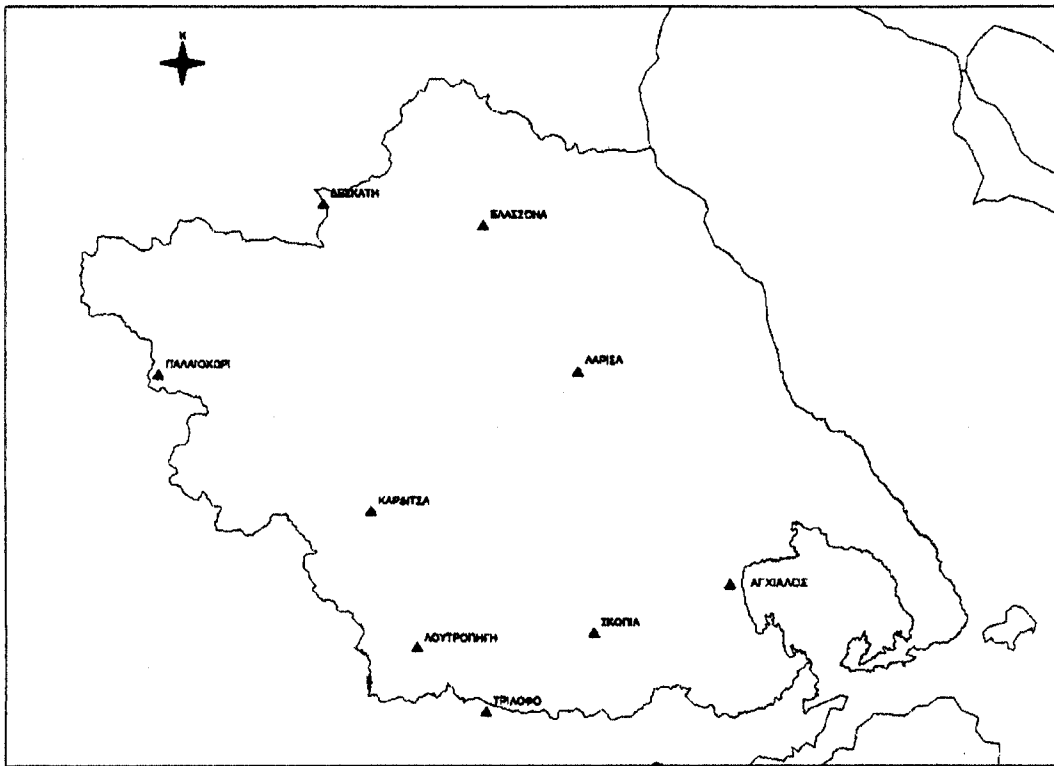
Τα στοιχεία που χορηγήθηκαν από την Ε.Μ.Υ. (σταθμοί Αγκιάλου, Λάρισας) ήταν ήδη επεξεργασμένα και πινακοποιημένα για διάρκειες βροχής 5, 10, 30 min και 1, 2, 6, 12, και 24 h. Είχαν ήδη δηλαδή εξαχθεί τα μέγιστα μηνιαία ύψη βροχής για κάθε ημερολογιακό έτος. Έτσι χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές μπορούμε εύκολα να εξάγουμε και τις μέγιστες ετήσιες τιμές για κάθε υδρολογικό έτος.

Εκτός από τα δεδομένα των βροχογράφων, το δίκτυο των οποίων είναι αραιό, χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα από βροχόμετρα. Τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής διάρκειας μίας και δύο ημερών που προέρχονται από τους βροχομετρικούς σταθμούς χορηγήθηκαν έτοιμα από τη βάση δεδομένων ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ. Στα Σχ. 2.3.1 και 2.3.2 φαίνεται η γεωγραφική κατανομή των βροχογραφικών και βροχομετρικών σταθμών της Θεσσαλίας.

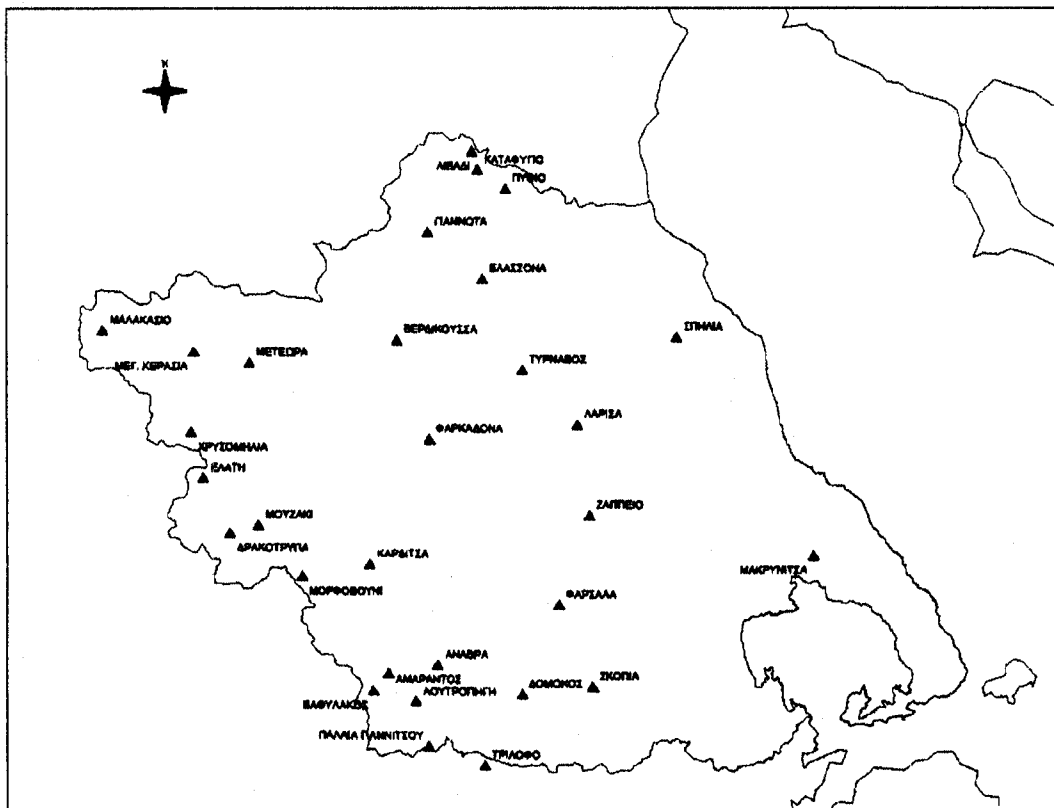
2.4 Ψηφιοποίηση ταινιών βροχογράφου.

Οι ταινίες των βροχογράφων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εβδομαδιαίες. Στον οριζόντιο άξονα του χρόνου οι υποδιαιρέσεις είναι ανά μία ή δύο ώρες και στον κατακόρυφο άξονα του ύψους βροχής οι υποδιαιρέσεις είναι σε δέκατα του χιλιοστού. Η καταγραφή στις ταινίες ξεκινά πάντα στις 08:00 π.μ. και ημέρα Δευτέρα.

Η ψηφιοποίηση των ταινιών έγινε επιλεκτικά και μόνο για εκείνες που είχαν σημαντικές καταγραφές βροχόπτωσης. Ανατρέχοντας λοιπόν στις ταινίες των βροχογράφων εντοπίζουμε τις ημερομηνίες όπου είχαμε μεγάλα ύψη βροχής για τις οποίες και μετράμε τις μέγιστες τιμές για κάθε διάρκεια που μας ενδιαφέρει αρχίζοντας από τον Οκτώβριο και καταλήγοντας στο Σεπτέμβριο για κάθε έτος. Το μέγιστο όλων αυτών των τιμών για δεδομένη διάρκεια, μας δίνει το μέγιστο ετήσιο ύψος βροχής. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα έτη για τα οποία υπάρχουν οι βροχογραφικές ταινίες.



Σχ. 2.3.1 Γεωγραφική κατανομή των επιλεγμένων βροχογραφικών σταθμών της Θεσσαλίας.



Σχ. 2.3.2 Γεωγραφική κατανομή των επιλεγμένων βροχομετρικών σταθμών της Θεσσαλίας.

Στα δεδομένα που χορηγήθηκαν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., οι ταινίες του βροχογράφου συνοδεύονται και από τα αντίστοιχα μηνιαία βροχομετρικά δελτία, κάτι που μας δίνει τη δυνατότητα συγκρίνοντας τις τιμές βροχογράφου και βροχομέτρου να κρίνουμε και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

2.5 Προβλήματα

Κατά τη συλλογή των στοιχείων τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν είναι τα εξής:

- Κακή καταγραφή στις ταινίες του βροχογράφου. (Χυμένο μελάνι στην ταινία, ασυνέχειες στην καταγραφή κ.λ.π.)
- Απουσία ταινιών για μεγάλα διαστήματα.

Τα δεδομένα της ΕΜΥ μας χορηγήθηκαν σε επεξεργασμένη μορφή κι έτσι δεν συναντήσαμε τα παραπάνω προβλήματα. Ωστόσο ένα σημαντικό μειονέκτημα των στοιχείων που προέρχονται από την ΕΜΥ είναι η περιορισμένη χρονική περίοδος καταγραφής των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Η μελέτη των χρονοσειρών σημειακών βροχοπτώσεων ως προς το συνολικό ύψος βροχής μιας ορισμένης διάρκειας, δείχνει ότι τα ύψη βροχής είναι μεταξύ τους γεγονότα στατιστικά ανεξάρτητα, αρκεί η μεταξύ τους χρονική απόσταση να υπερβαίνει μια “οριακή” τιμή που εκτιμάται σε λίγες ώρες. Κατά συνέπεια, η μεταβλητή “σημειακό ύψος βροχής h μιας ορισμένης διάρκειας t ”, είναι τυχαία και για την ανάλυσή της αναζητείται κάθε φορά η καταλληλότερη πιθανολογική κατανομή. (Ξανθόπουλος, 1990)

Οι όμβριες καμπύλες υπολογίζονται μετά από πιθανολογική ανάλυση των μέγιστων σημειακών h για διάφορες διάρκειες t . Πρόκειται επομένως για ανάλυση ακραίων γεγονότων και η καταλληλότερη στατιστική κατανομή για την περιγραφή τους θεωρείται συνήθως η κατανομή Gumbel.

3.2 Κατανομή Gumbel

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

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

όπου $F(x)$: η συνάρτηση κατανομής και πιθανότητα μη υπέρβασης

$F_1(x)$: η πιθανότητα υπέρβασης

T : η περίοδος επαναφοράς

c, λ : οι παράμετροι της κατανομής Gumbel

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

$$\lambda = \frac{1}{0.78 \cdot s} \quad \text{και} \quad c = \mu - \frac{0.577}{\lambda} \quad (3.2.2)$$

όπου μ και s είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του υπό εξέταση δείγματος αντίστοιχα. (Κουτσογιάννης, 1996).

Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό $\psi = \lambda \cdot c$ η (3.2.1) γράφεται

$$F(x) = e^{-e^{-\lambda \cdot x + \psi}} = 1 - \frac{1}{T}$$

και με λογαρίθμισή της προκύπτει

$$x = \frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (3.2.3)$$

Για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς T αλλά και συγκεκριμένη διάρκεια βροχόπτωσης, η παραπάνω σχέση μας δίνει τις τιμές του ύψους h ή της έντασης i της βροχής. Οι παράμετροι λ και ψ είναι διαφορετικές για κάθε διάρκεια αφού προκύπτουν από τα δεδομένα των αντίστοιχων σειρών.

3.3 Τελική μορφή όμβριων καμπυλών

Όπως είδαμε η συνάρτηση της κατανομής Gumbel δίνει τιμές του ύψους ή της έντασης βροχής για συγκεκριμένη κάθε φορά διάρκεια. Σκοπός μας είναι η κατασκευή μιας ενιαίας σχέσης για κάθε σταθμό μέσα στην οποία θα περιέχεται η συνάρτηση κατανομής αλλά και η παράμετρος της διάρκειας d . Οι όμβριες καμπύλες, για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς T , εκφράζονται ως υπερβολικές συναρτήσεις της διάρκειας, σε μια από τις ακόλουθες διαδεδομένες μορφές:

$$i = \frac{a}{(d+f)^n} \quad i = \frac{a}{d^n} \quad i = \frac{a}{d+f} \quad (3.3.1)$$

όπου a, f και n παράμετροι που οι τιμές τους εξαρτώνται από την περίοδο επαναφοράς.

Η εξάρτηση των παραμέτρων της (3.3.1) από την περίοδο επαναφοράς εισάγει έμμεσα την περίοδο επαναφοράς στον υπολογισμό της έντασης i . Είναι προφανές ότι στη δεύτερη από τις παραπάνω εκφράσεις η παράμετρος n θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη της περιόδου επαναφοράς (διαφορετικά θα ήταν δυνατό για δεδομένη διάρκεια d και για δύο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς να προκύψει η ίδια τιμή της έντασης βροχής i , οπότε δεν υπάρχει αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία έντασης και περιόδου επαναφοράς). Στις άλλες δύο εκφράσεις δεν είναι καταρχήν απαραίτητο οι παράμετροι f και n να έχουν σταθερές τιμές, ανεξάρτητες της περιόδου επαναφοράς (δεν προκύπτει για κάθε συνδυασμό παραμέτρων η παραπάνω άτοπη συνέπεια). Ωστόσο και πάλι η υιοθέτηση σταθερών τιμών (ανεξάρτητων από την περίοδο επαναφοράς) των παραμέτρων αυτών διευκολύνει την ανάλυση και αποκλείει την πιθανότητα υιοθέτησης εσφαλμένου συνδυασμού παραμέτρων (δηλαδή, τέτοιου που να καταργεί την αμφιμονοσήμαντη αντιστοιχία έντασης και περιόδου επαναφοράς).

Με βάση την απλουστευτική παραδοχή που συζητήθηκε παραπάνω, σύμφωνα με την οποία μόνο ο αριθμητής a στις εκφράσεις (3.3.1) επιτρέπεται να εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς T , οδηγούμαστε στην παρακάτω έκφραση όμβριων καμπυλών

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (3.3.2)$$

όπου οι $a(T)$ και $b(d)$ είναι συναρτήσεις της περιόδου επαναφοράς και διάρκειας, αντίστοιχα. Σε αντιστοιχία με την (3.3.1) η $b(d)$ παίρνει μία από τις ακόλουθες μορφές:

$$b(d) = (d+f)^n \quad b(d) = d^n \quad b(d) = d+f \quad (3.3.3)$$

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε την πρώτη από τις παραπάνω μορφές της $b(d)$.

Όπως έχει μελετηθεί από τον Κουτσογιάννη (1996), η $a(T)$ εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της συνάρτησης κατανομής που υιοθετείται για την ένταση της βροχής i .

Αν θεωρήσουμε ότι οι σειρές των τιμών της έντασης περιγράφονται από την κατανομή Gumbel, η συνάρτηση $a(T)$ σε αντιστοιχία με τη σχέση (3.2.3) που προέκυψε με λογαρίθμηση της συνάρτησης κατανομής, παίρνει τη μορφή

$$a(T) = \frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (3.3.4)$$

Έτσι, η τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών παίρνει την παρακάτω μορφή

$$i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+f)^n} \quad (3.3.5)$$

όπου i : η ένταση της βροχής σε mm/hr

d : η διάρκεια της βροχής σε hr

T : η περίοδος επαναφοράς σε έτη

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

3.4 Μέθοδοι εκτίμησης των παραμέτρων

Παρακάτω περιγράφονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης των παραμέτρων της όμβριας καμπύλης, όπως αυτές έχουν διατυπωθεί από τους Κουτσογιάννη - Μανέτα (1995) και Koutsoyiannis et al. (1998). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της καθολικής εκτίμησης.

α) Καθολική εκτίμηση

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

Προϋπόθεση για τη χρήση αυτής της μεθόδου είναι να αντιστοιχηθεί σε κάθε στοιχείο κάθε δείγματος μια συγκεκριμένη περίοδος επαναφοράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε την εμπειρική συνάρτηση κατά Gringorten, οπότε για το στοιχείο (ένταση βροχής) υπ' αριθμόν l του δείγματος j , διατεταγμένου σε φθίνουσα σειρά (συμβολικά i_{lj}), η περίοδος επαναφοράς είναι

$$T_{lj} = \frac{N_j + 0.12}{l - 0.44} \quad (3.4.1)$$

Κατά συνέπεια, κάθε στοιχείο δείγματος περιγράφεται από μια τριάδα αριθμών (i_{lj} , T_{lj} , d_j). Αν υποθέσουμε ότι είναι γνωστό το σύνολο των παραμέτρων των όμβριων καμπυλών, τότε από την (3.3.2) για δεδομένα T_{lj} και d_j υπολογίζεται η αντίστοιχη (μοντελοποιημένη) ένταση

$$\hat{i} = a(T)/b(d) \quad (3.4.2)$$

και το αντίστοιχο σφάλμα

$$e_{ij} = \ln i_{ij} - \ln \hat{i}_{ij} = \ln(i_{ij}/\hat{i}_{ij}) \quad (3.4.3)$$

Το καθολικό σφάλμα υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση

$$E = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{1}{N_j} \cdot \sum_{i=1}^{N_j} e_{ij}^2 \quad (3.4.4)$$

Η ελαχιστοποίηση του παραπάνω καθολικού σφάλματος αποτελεί το στόχο της διαδικασίας εκτίμησης παραμέτρων. Λόγω των πολύπλοκων εκφράσεων των όμβριων καμπυλών, ιδιαίτερα της συνάρτησης $a(T)$, δεν μπορεί να κατασκευαστεί γενική αναλυτική λύση του προβλήματος ελαχιστοποίησης. Για το λόγο αυτό πρέπει να καταφύγουμε σε αριθμητικές λύσεις. Η μέθοδος λοιπόν στηρίζεται σε έναν αλγόριθμο αναζήτησης (μη γραμμική βελτιστοποίηση), ο οποίος καταλήγει στη βέλτιστη λύση με διαδοχικές προσεγγίσεις, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το καθολικό σφάλμα.

β) 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 της συνάρτησης $b(d)$ και στο δεύτερο αυτές της $a(T)$. Σε αντίθεση με την καθολική μέθοδο, η παρούσα μέθοδος δεν χρησιμοποιεί τις εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής των δειγμάτων.

Από την (3.3.2) προκύπτει άμεσα ότι η τυχαία μεταβλητή $y = i b(d)$ 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 $y_{ij} = i_j b(d_j)$. Ενοποιώντας όλα τα δείγματα που περιέχουν τις τιμές y_{ij} αποκτούμε ένα συνολικό δείγμα μεγέθους

$$M = \sum_{j=1}^k N_j \quad (3.4.5)$$

Με βάση το δείγμα αυτό, καταταγμένο σε φθίνουσα σειρά, μπορούμε να αντιστοιχίσουμε αύξοντες αριθμούς ή βαθμούς (ranks) R_{ij} σε όλες τις M τιμές y_{ij} . Επανερχόμενοι στα αρχικά επιμέρους δείγματα των ξεχωριστών διαρκειών υπολογίζουμε για κάθε τιμή το μέσο βαθμό

$$\bar{R}_j = \frac{1}{N_j} \cdot \sum_{i=1}^{N_j} R_{ij} \quad (3.4.6)$$

Αν όλα τα επιμέρους δείγματα έχουν την ίδια κατανομή τότε κάθε \bar{R}_j θα πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή $(M+1)/2$, διαφορετικά οι τιμές \bar{R}_j θα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Αυτό μας οδηγεί στη χρήση της στατιστικής δοκιμής Kruskal-Wallis, η οποία

χρησιμοποιεί την ακόλουθη στατιστική συνάρτηση που συνδυάζει τους μέσους βαθμούς από όλα τα επιμέρους δείγματα:

$$H = \frac{12}{M \cdot (M+1)} \cdot \sum_{j=1}^k N_j \cdot \left(\bar{R}_j - \frac{M+1}{2} \right)^2 \quad (3.4.7)$$

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 , με παράλληλο στατιστικό έλεγχο της υπόθεσης $H=0$. Και πάλι δεν είναι δυνατή η αναλυτική ελαχιστοποίηση, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αριθμητική μέθοδος, η οποία ελέγχει με συστηματικό τρόπο δοκιμαστικές τιμές των παραμέτρων.

Αφού προσδιοριστούν οι παράμετροι f και n , η εκτίμηση των παραμέτρων της συνάρτησης $a(T)$ γίνεται με τις τυπικές μεθόδους της στατιστικής (π.χ. με τη μέθοδο των ροπών).

γ) Εμπειρική εκτίμηση

Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί στην τελική της έκφραση οποιαδήποτε μαθηματική μορφή, συνεπώς προς την αντίστοιχη συνάρτηση κατανομής, αλλά αποκλειστικά βασίζεται στην έκφραση

$$i = \frac{\lambda \cdot T^k}{(d+f)^n} \quad (3.4.8)$$

Η παράσταση του αριθμητή δεν αντιμετωπίζεται ως αντίστροφη συνάρτηση κατανομής, αλλά ως καθαρά εμπειρική έκφραση και οι παράμετροί της k, λ εξαρτώνται από το διάστημα μεταβολής της περιόδου επαναφοράς T .

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε δύο ξεχωριστά στάδια. Στο πρώτο στάδιο επιλέγεται, προσαρμόζεται και ελέγχεται με βάση τις γνωστές μεθόδους της στατιστικής, μια κατάλληλη συνάρτηση κατανομής, ξεχωριστά για κάθε δείγμα δεδομένης διάρκειας. Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόζουμε τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για την εκτίμηση των παραμέτρων της, χρησιμοποιώντας όχι τις αρχικές μετρημένες εντάσεις βροχής, αλλά αυτές που προκύπτουν από τις συναρτήσεις κατανομής του πρώτου σταδίου για ένα καθορισμένο διάστημα μεταβολής της περιόδου επαναφοράς.

3.5 Διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων

Αρχικά συλλέγονται οι πίνακες με τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής για διάρκειες 1,2,6,12,24 και 48 ωρών όπως προέκυψαν με επεξεργασία των αντίστοιχων βροχογραφημάτων για όλους τους σταθμούς που έχουμε επιλέξει. Στη συνέχεια μετατρέπουμε τα ύψη βροχής σε εντάσεις και τις κατατάσσουμε κατά φθίνουσα σειρά ανά διάρκεια, διαμορφώνοντας έτσι διατεταγμένα δείγματα. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιείται η καθολική

εκτίμηση. Τέλος, σε κατάλληλο πιθανολογικό χαρτί Gumbel απεικονίζεται το σημειοσύνολο κάθε δείγματος χρησιμοποιώντας την εμπειρική συνάρτηση κατανομής, καθώς και η κατανομή Gumbel του κάθε δείγματος. Για την εμπειρική συνάρτηση κατανομής έχει χρησιμοποιηθεί η σχέση Gringorten

$$F_i = \frac{i-0.44}{n+0.12} ,$$

ενώ η ανηγμένη μεταβλητή Gumbel είναι $k = -\ln(-\ln F)$.

Ανάλογα με το κατά πόσο συμπίπτει η καμπύλη της κατανομής Gumbel με το σημειοσύνολο, μας δίνεται η δυνατότητα να διαπιστώσουμε την ορθότητα της επιλογής της συγκεκριμένης κατανομής, την οποία μπορούμε στη συνέχεια να ελέγξουμε με τυπικές στατιστικές δοκιμές (π.χ. δοκιμή χ^2).

Για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής της για τις σειρές των δεδομένων που προέρχονται από το βροχογράφο του σταθμού Παλαιοχωρίου.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το δείγμα των μέγιστων ετήσιων υψών βροχής.

Πίνακας 3.5.1 Μέγιστα ετήσια ύψη βροχής στο σταθμό Παλαιοχωρίου

α/α	Έτος	1 hr	2 hr	6 hr	12 hr	24 hr	48 hr
1	1960-61	11.5	21	44	58.4	112.5	138.5
2	1961-62	15	21	42.7	75.2	97.2	159.5
3	1962-63	15.5	26.4	56.4	81.1	93.6	119.4
4	1963-64	15.3	22.8	49.4	81.4	123	123.3
5	1964-65	18.1	33.6	69.6	88.5	135.1	151.6
6	1965-66	19	28.9	59.6	103.1	126.5	142.2
7	1966-67	20.6	32.6	46.4	61.4	91.4	138.7
8	1967-68	19.6	29.4	46.9	65.8	68.4	117.4
9	1968-69	9.3	15.4	30.7	59	72.6	80.6
10	1969-70	10.7	17.7	39.1	59.4	81.6	99
11	1970-71	13.5	25.5	41.9	67.3	108	190.6
12	1971-72	12	20.6	46	67.5	83.2	83.5
13	1972-73	10	19.9	30.1	46.4	76	103.4
14	1973-74	26.8	32.4	34.6	52.4	67	76
15	1974-75	20.8	40.5	47.6	47.7	47.7	57.1
16	1975-76	14.9	21.2	26.7	48.9	56.2	95.6
17	1976-77	13.5	18.5	40	59.4	85.8	134.5
18	1977-78	9.8	18.8	37.1	66.4	109.4	131.5
19	1978-79	13.7	27.2	39.7	72.2	83.7	101.1
20	1979-80	12	20.5	42.5	63.4	91.6	94.5
21	1980-81	12.1	20.1	45.2	51.9	83.2	94.2
22	1981-82	19.5	30	46.9	67.4	74.4	99.7
23	1982-83	19.4	33.1	77.2	104.3	138.4	199.5
24	1983-84	9.6	19.2	38.1	50	56.7	58.9
25	1984-85	12	18	46.8	78.1	109.9	148.3
26	1985-86	12.5	19.2	40	51	66	118
27	1986-87	18	21.5	28	36	38	44.5
28	1987-88	14	18.1	39.5	53.3	64	72.5
29	1988-89	25.5	25.7	29.3	41.5	55.5	68.5

Μετατρέπουμε τα ύψη βροχής σε εντάσεις μέσω της σχέσης $i = h/d$ όπου h το ύψος βροχής σε χιλιοστά και d η διάρκεια της σε ώρες και τις κατατάσσουμε σε φθίνουσα σειρά.

Πίνακας 3.5.2 Μέγιστες ετήσιες εντάσεις βροχής στο σταθμό Παλαιοχωρίου

α/α	1 hr	2 hr	6 hr	12 hr	24 hr	48 hr
1	26.80	20.25	12.87	8.69	5.77	4.16
2	25.50	16.80	11.60	8.59	5.63	3.97
3	20.80	16.55	9.93	7.38	5.27	3.32
4	20.60	16.30	9.40	6.78	5.13	3.16
5	19.60	16.20	8.23	6.76	4.69	3.09
6	19.50	15.00	7.93	6.51	4.58	2.96
7	19.40	14.70	7.82	6.27	4.56	2.89
8	19.00	14.45	7.82	6.02	4.50	2.89
9	18.10	13.60	7.80	5.63	4.05	2.80
10	18.00	13.20	7.73	5.62	3.90	2.74
11	15.50	12.85	7.67	5.61	3.82	2.57
12	15.30	12.75	7.53	5.53	3.81	2.49
13	15.00	11.40	7.33	5.48	3.58	2.46
14	14.90	10.75	7.12	5.28	3.49	2.45
15	14.00	10.60	7.08	5.12	3.47	2.15
16	13.70	10.50	6.98	4.95	3.47	2.11
17	13.50	10.50	6.67	4.95	3.40	2.08
18	13.50	10.30	6.67	4.92	3.17	2.06
19	12.50	10.25	6.62	4.87	3.10	1.99
20	12.10	10.05	6.58	4.44	3.03	1.97
21	12.00	9.95	6.52	4.37	2.85	1.96
22	12.00	9.60	6.35	4.33	2.79	1.74
23	12.00	9.60	6.18	4.25	2.75	1.68
24	11.50	9.40	5.77	4.17	2.67	1.58
25	10.70	9.25	5.12	4.08	2.36	1.51
26	10.00	9.05	5.02	3.98	2.34	1.43
27	9.80	9.00	4.88	3.87	2.31	1.23
28	9.60	8.85	4.67	3.46	1.99	1.19
29	9.30	7.70	4.45	3.00	1.58	0.93

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της καθολικής εκτίμησης των παραμέτρων της όμβριας καμπύλης και μετά την πάροδο σύντομου υπολογιστικού χρόνου προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τις παραμέτρους:

$$f = 1.4177$$

$$n = 0.6221$$

$$\lambda = 0.1615$$

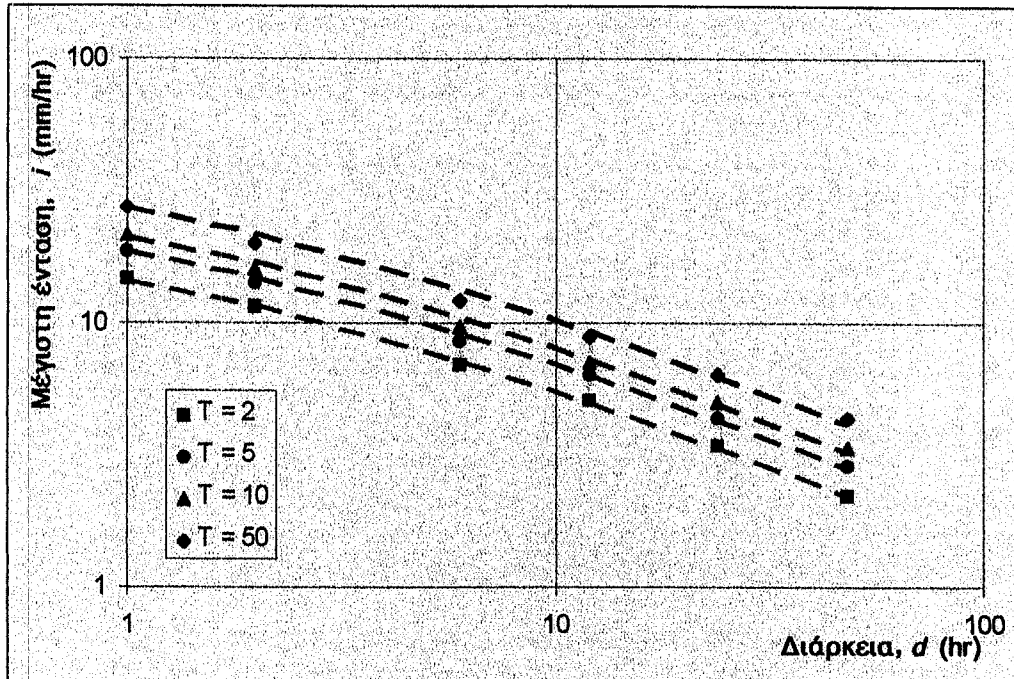
$$\psi = 3.6764$$

με καθολικό σφάλμα $E = 0.067193$, οπότε η αναλυτική έκφραση της εξίσωσης των όμβριων καμπυλών για το σταθμό Παλαιοχωρίου θα έχει τη μορφή

$$i = \frac{1}{0.1615} \cdot \left\{ 3.6764 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \\ (d + 1.4177)^{0.6221}$$

η οποία γραφικά απεικονίζεται όπως στο διάγραμμα 3.5.3.

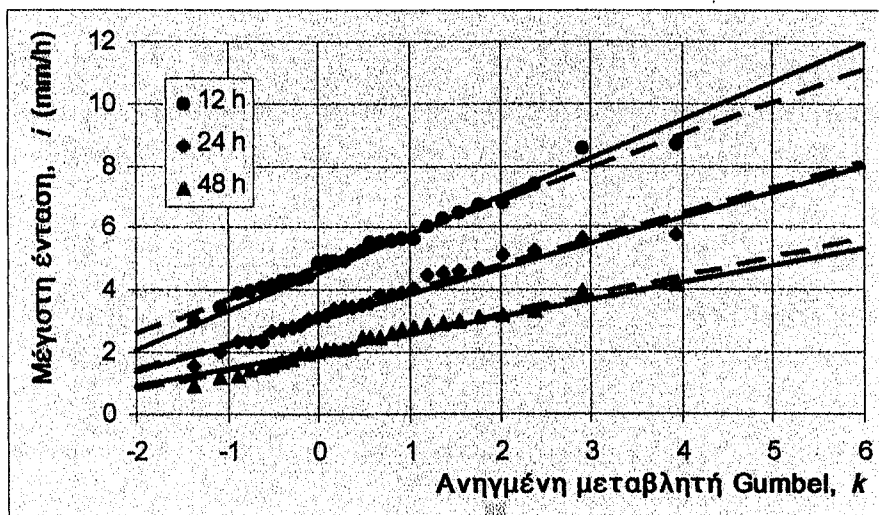
Όμβριες Καμπύλες



Διάγραμμα 3.5.3 Όμβριες καμπύλες στο σταθμό Παλαιοχωρίου

Το αντίστοιχο διάγραμμα πιθανότητας σε χαρτί Gumbel φαίνεται στο σχήμα 3.5.4.

Κατανομή Gumbel



Διάγραμμα 3.5.4 Εμπειρικές και θεωρητικές (Gumbel) συναρτήσεις κατανομής των μέγιστων εντάσεων βροχής στο σταθμό Παλαιοχωρίου.

Στο διάγραμμα (3.5.4) με σημεία παριστάνονται οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής, με συνεχείς οι συναρτήσεις Gumbel της συνεπούς ενιαίας έκφρασης και με διακεκομμένες γραμμές οι μεμονωμένες συναρτήσεις Gumbel ανά διάρκεια. Παρατηρούμε μια αρκετά καλή συμφωνία των δύο ομάδων καμπυλών, τόσο μεταξύ τους όσο και με τις σημειοσειρές των εμπειρικών κατανομών, πράγμα που επιβεβαιώνει την ορθότητα της επιλογής της κατανομής Gumbel.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται για κάθε σταθμό οι παράμετροι f, n, λ και ψ της εξίσωσης. Οι χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΧΩΡΙΣ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ	1.417747	0.622136	0.161451	3.67641	0.067193
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0.180427	0.664341	0.120675	2.266052	0.110643
ΔΕΣΚΑΤΗ	0.5592	0.717647	0.144028	2.31007	0.110979
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	0.639028	0.814587	0.13094	2.386987	0.085143
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	1.00971	0.731523	0.126342	2.197807	0.108407
ΛΑΡΙΣΑ	0.096504	0.738248	0.125968	1.95318	0.160371
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	1.426064	0.634808	0.166058	3.133104	0.101507
ΣΚΟΠΙΑ	0.811675	0.695026	0.152046	2.224351	0.142403
ΤΡΙΛΟΦΟ	1.691389	0.740388	0.122475	1.987119	0.115278

Πίνακας 3.5.5 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel, χωρίς δεσμεύσεις

Ως προς τη συνάρτηση κατανομής για τα μέγιστα ύψη βροχής η κατανομή Gumbel είναι γενικά αποδεκτή. Εξάιρεση αποτέλεσαν οι σταθμοί Ελασσόνας και Λουτροπηγής, όπου η συγκεκριμένη κατανομή αρχικά δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στις ασυνήθιστα υψηλές τιμές του ύψους βροχής που σημειώθηκαν το έτος 1977-78 στην Ελασσόνα και το έτος 1994-95 στη Λουτροπηγή. Παραλείποντας τις τιμές αυτές από τα δείγματα, υπολογίστηκαν εκ νέου οι συναρτήσεις Gumbel οι οποίες είχαν πλέον πολύ καλή προσαρμογή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΣΕ ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

4.1 Εισαγωγή

Καθώς ο αντικειμενικός μας σκοπός είναι η παραγωγή εξισώσεων που να χαρακτηρίζουν ευρύτερες περιοχές, θα πρέπει να γίνει ομαδοποίηση κάποιων από τις παραμέτρους των εξισώσεων ώστε να προκύψει μια έκφραση που να αντιπροσωπεύει, όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά, όλους τους βροχογραφικούς σταθμούς μιας εκτεταμένης περιοχής. Φυσικά απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοχή των εξισώσεων εξακολουθεί να είναι η ακριβής προσέγγιση της κατανομής Gumbel στο σημειοσύνολο της εμπειρικής κατανομής.

4.2 Απλοποίηση των εξισώσεων

Για να απλοποιήσουμε την εξίσωση θα προσπαθήσουμε να μειώσουμε τον αριθμό των παραμέτρων της. Δοκιμάζουμε να δεσμεύσουμε την παράμετρο f δίνοντας της μια σταθερή τιμή για όλους τους σταθμούς. Θέτουμε λοιπόν $f=0$, $f=0.2$ και $f=1$ και υπολογίζουμε ξανά τις τιμές των υπολοίπων παραμέτρων για κάθε μία από τις τιμές της f . Οι καινούργιες χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων για κάθε περίπτωση φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΜΕ $f=0$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	0	0.490013	0.250855	3.600441	0.090265
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0	0.543065	0.155826	2.266042	0.165678
ΔΕΣΚΑΤΗ	0	0.643593	0.180291	2.235795	0.117816
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	0	0.718225	0.180961	2.387045	0.100163
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0	0.607747	0.192144	2.197805	0.126096
ΛΑΡΙΣΑ	0	0.650959	0.15074	1.953171	0.202988
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	0	0.497928	0.265309	3.133107	0.120126
ΣΚΟΠΙΑ	0	0.595391	0.212922	2.224203	0.152778
ΤΡΙΑΟΦΟ	0	0.561133	0.230517	2.022231	0.143297
$\mu.o$	0	0.59			

Πίνακας 4.2.1 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=0$

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΜΕ $f=0.2$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	0.2	0.511322	0.236725	3.67641	0.084575
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0.2	0.673838	0.118004	2.266043	0.110937
ΔΕΣΚΑΤΗ	0.2	0.670498	0.168914	2.31007	0.113832
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	0.2	0.754693	0.1562	2.297034	0.088019
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0.2	0.636041	0.17514	2.197808	0.118492
ΛΑΡΙΣΑ	0.2	0.80339	0.108362	1.953173	0.169302
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	0.2	0.521251	0.245842	3.133106	0.113747
ΣΚΟΠΙΑ	0.2	0.622939	0.194477	2.224239	0.147536
ΤΡΙΑΟΦΟ	0.2	0.587979	0.207957	1.987118	0.133857
$\mu.o$	0.2	0.64			

Πίνακας 4.2.2 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=0.2$

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΜΕ $f=1$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	1	0.587906	0.182326	3.67641	0.068659
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	1	0.9272	0.059549	2.266043	0.194878
ΔΕΣΚΑΤΗ	1	0.768789	0.120515	2.31007	0.113626
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	1	0.865593	0.107196	2.307345	0.082945
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	1	0.7305	0.126798	2.197808	0.108408
ΛΑΡΙΣΑ	1	1.100881	0.048225	1.953174	0.290839
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	1	0.599253	0.18842	3.133105	0.10251
ΣΚΟΠΙΑ	1	0.714744	0.141852	2.224384	0.142712
ΤΡΙΛΟΦΟ	1	0.676488	0.153868	1.987119	0.118045
$\mu.o$	1	0.775			

Πίνακας 4.2.3 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=1$

Στη συνέχεια, προσπαθούμε να δεσμεύσουμε και την παράμετρο n . Έτσι για κάθε μία από τις τρεις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζουμε το μέσο όρο της τιμής της μεταβλητής n απ' όλους τους σταθμούς και ακολουθεί ένας νέος γύρος υπολογισμών των παραμέτρων λ και ψ της εξίσωσης, έχοντας σταθερές τιμές για τις f και n . Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι νέες τιμές των παραμέτρων.

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΜΕ $f=0, n=0.59$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	0	0.59	0.208141	3.67641	0.165426
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0	0.59	0.152947	2.266042	0.187925
ΔΕΣΚΑΤΗ	0	0.59	0.206143	2.31007	0.13736
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	0	0.59	0.234712	2.386523	0.198856
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0	0.59	0.199098	2.197808	0.128339
ΛΑΡΙΣΑ	0	0.59	0.154435	1.953173	0.233397
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	0	0.59	0.220623	3.133105	0.172615
ΣΚΟΠΙΑ	0	0.59	0.215195	2.224237	0.152955
ΤΡΙΛΟΦΟ	0	0.59	0.214122	1.987119	0.147069

Πίνακας 4.2.4 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=0$ και $n=0.59$

ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ΜΕ $f=0.2, n=0.64$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	0.2	0.64	0.181609	3.67641	0.186094
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0.2	0.64	0.120967	2.266042	0.122479
ΔΕΣΚΑΤΗ	0.2	0.64	0.179865	2.31007	0.120421
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	0.2	0.64	0.204699	2.3866	0.169305
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0.2	0.64	0.173718	2.197808	0.118602
ΛΑΡΙΣΑ	0.2	0.64	0.122144	1.953175	0.314082
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	0.2	0.64	0.1925	3.13311	0.190629
ΣΚΟΠΙΑ	0.2	0.64	0.187862	2.224139	0.149202
ΤΡΙΛΟΦΟ	0.2	0.64	0.186827	1.987119	0.149696

Πίνακας 4.2.5 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=0.2$ και $n=0.64$

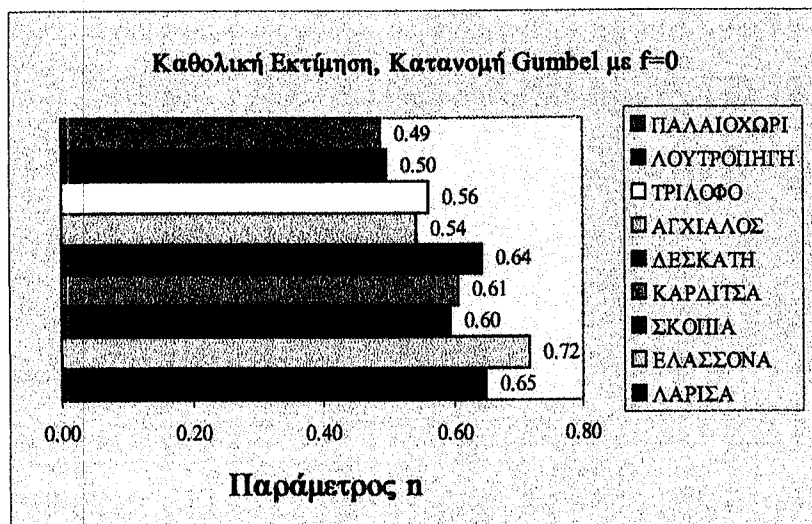
ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GUMBEL ME $f=1$, $n=0.775$					
Σταθμός	f	n	λ	ψ	E
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ	1	0.775	0.120005	3.676378	0.221138
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	1	0.775	0.072249	2.266042	0.257045
ΔΕΣΚΑΤΗ	1	0.775	0.118853	2.310071	0.11384
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	1	0.775	0.1352	2.386673	0.130165
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	1	0.775	0.114791	2.197808	0.119382
ΛΑΡΙΣΑ	1	0.775	0.072952	1.953173	0.461938
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	1	0.775	0.127202	3.133106	0.222484
ΣΚΟΠΙΑ	1	0.775	0.124172	2.224087	0.158309
ΤΡΙΛΟΦΟ	1	0.775	0.123454	1.987119	0.161819

Πίνακας 4.2.6 Τιμές παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με $f=1$ και $n=0.775$

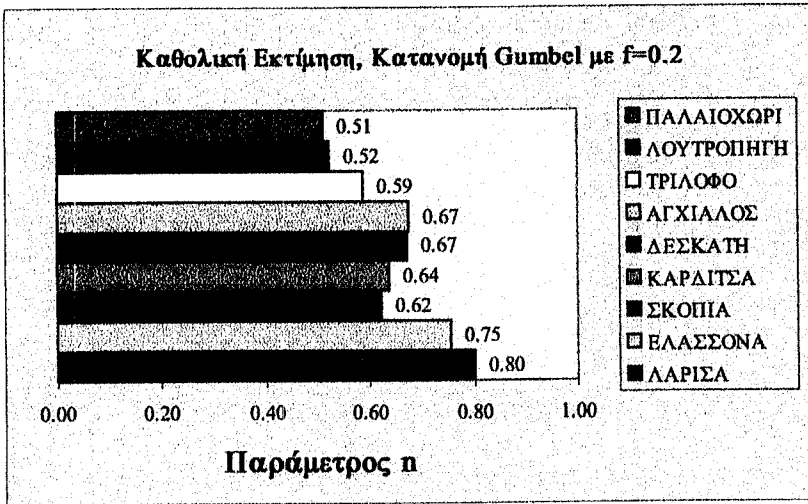
Δυστυχώς καμία από τις παραπάνω εξισώσεις δεν μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά το σύνολο των βροχογραφικών σταθμών. (Η σύγκριση κατανομής Gumbel - εμπειρικής κατανομής δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όλους τους σταθμούς). Γι' αυτό θα χρειαστεί να χωρίσουμε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας σε ζώνες, έτσι ώστε κάθε μία από αυτές να εκφράζεται ικανοποιητικά από μία εξίσωση, με σταθερά f και n για κάθε ζώνη.

4.3 Διαχωρισμός σε ζώνες

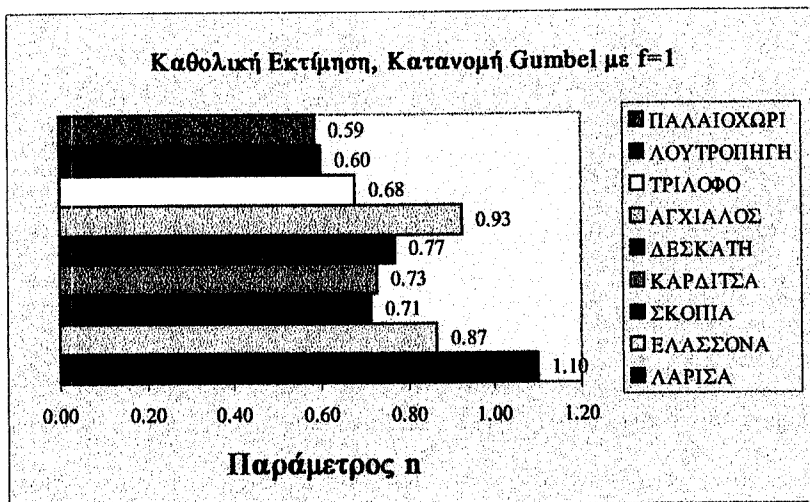
Με βάση τους πίνακες (4.2.1)-(4.2.2)-(4.2.3) κατασκευάζουμε τα παρακάτω διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή της παραμέτρου n ανά βροχογραφικό σταθμό.



Διάγραμμα 4.3.1 Τιμές της παραμέτρου n στους βροχογραφικούς σταθμούς, που προκύπτουν με καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel για $f=0$



Διάγραμμα 4.3.2 Τιμές της παραμέτρου n στους βροχογραφικούς σταθμούς, που προκύπτουν με καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel για $f=0.2$

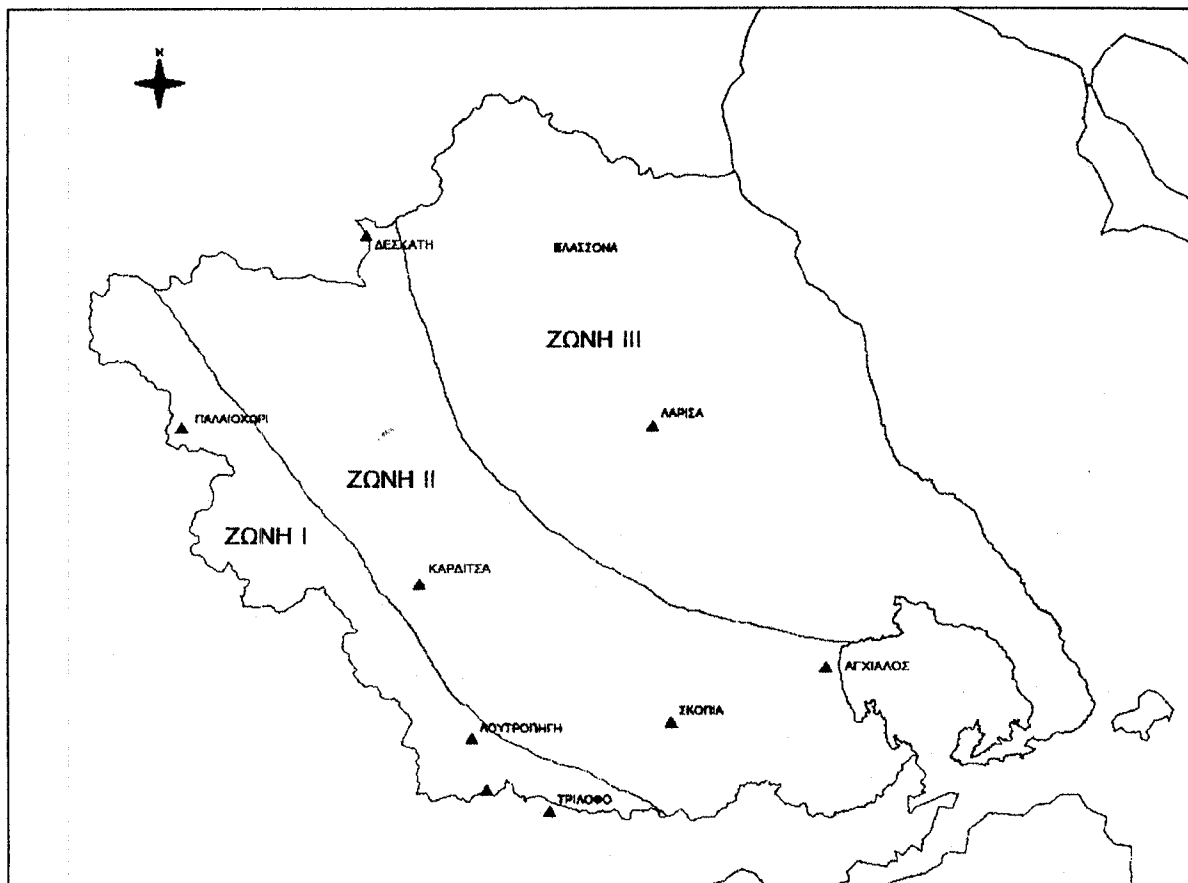


Διάγραμμα 4.3.3 Τιμές της παραμέτρου n στους βροχογραφικούς σταθμούς, που προκύπτουν με καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel για $f=1$

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα κατανέμουμε τους σταθμούς σε τρεις ζώνες, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση και την τιμή της παραμέτρου n που τους αντιστοιχεί. Η τελική κατανομή φαίνεται στον πίνακα 4.3.4, αλλά σημειώνεται ότι δοκιμάστηκαν και άλλες λύσεις ζωνών που έδωσαν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

ΖΩΝΗ I	ΖΩΝΗ II	ΖΩΝΗ III
ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΙ	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	ΕΛΑΣΣΟΝΑ
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	ΔΕΣΚΑΤΗ	ΛΑΡΙΣΑ
ΤΡΙΛΟΦΟ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	
	ΣΚΟΠΙΑ	

Πίνακας 4.3.4 Κατανομή των σταθμών σε ζώνες



Σχ.4.3.5 Διαχωρισμός της Θεσσαλίας σε ζώνες

Για κάθε μία από τις τρεις ζώνες υπολογίζουμε τη μέση τιμή της μεταβλητής n από τους σταθμούς που υπάγονται σ' αυτήν. Έτσι με σταθερά τα f, n υπολογίζουμε για άλλη μια φορά τις υπόλοιπες παραμέτρους της εξίσωσης για κάθε σταθμό. Επειδή όμως έχουμε δώσει τρεις διαφορετικές τιμές στο f θα έχουμε και τρεις διαφορετικές εκφράσεις των όμβριων καμπυλών για κάθε ένα σταθμό. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών αυτών περιπτώσεων μεταξύ τους επιλέγουμε τη βέλτιστη λύση, η οποία τελικά προκύπτει για $f=1$ στη ζώνη I και $f= 0.2$ στις ζώνες II και III. Οι νέες τιμές των παραμέτρων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΣΤΑΘΜΟΣ	f	n	λ	ψ	E
<i>ZONH I</i>					
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ	1	0.62	0.169703	3.67641	0.077552
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	1	0.62	0.17988	3.133103	0.105127
ΤΡΙΛΟΦΟ	1	0.62	0.174579	1.987119	0.134025
<i>ZONH II</i>					
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	0.2	0.65	0.120084	2.266043	0.116808
ΔΕΣΚΑΤΗ	0.2	0.65	0.176198	2.31007	0.116855
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	0.2	0.65	0.170176	2.197808	0.119849
ΣΚΟΠΙΑ	0.2	0.65	0.184091	2.224079	0.151693
<i>ZONH III</i>					
ΕΛΛΑΣΣΟΝΑ	0.2	0.78	0.152908	2.387138	0.098704
ΛΑΡΙΣΑ	0.2	0.78	0.110235	1.953177	0.170882

Πίνακας 4.3.6 Τιμές των παραμέτρων για καθολική εκτίμηση και κατανομή Gumbel με δεσμευμένα f, n

4.4 Τελικές εξισώσεις των όμβριων καμπυλών

Με βάση αυτά που αναπτύχθηκαν προηγουμένως οι εξισώσεις των όμβριων καμπυλών παίρνουν την παρακάτω μορφή για κάθε ζώνη:

$$\text{ΖΩΝΗ I} \quad i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+1)^{0.62}} \quad (4.4.1)$$

$$\text{ΖΩΝΗ II} \quad i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+0.2)^{0.65}} \quad (4.4.2)$$

$$\text{ΖΩΝΗ III} \quad i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+0.2)^{0.78}} \quad (4.4.3)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΚΦΡΑΣΕΙΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΠΟ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ

5.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια κατασκευής χαρτών για την έμμεση κατάρτιση όμβριων καμπυλών χωρίς αναδρομή στα πρωτογενή δεδομένα. Για το σκοπό αυτό και λόγω της μεγάλης πυκνότητας που εμφανίζει το δίκτυο των βροχομέτρων έναντι του δικτύου των βροχογράφων, κρίθηκε αναγκαία η αξιοποίηση των διαθέσιμων στοιχείων βροχομέτρου. Επιπλέον οι χρονοσειρές των βροχομέτρων είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες από αυτές των βροχογράφων.

5.2 Κατανομή βροχομετρικών σταθμών

Από τη βάση δεδομένων ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ ελήφθησαν επεξεργασμένα τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχόπτωσης διάρκειας μίας και δύο ημερών για 30 σταθμούς της Θεσσαλίας. Οι σταθμοί αυτοί κατανεμήθηκαν στις τρεις ζώνες στις οποίες χωρίσαμε προηγουμένως το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας όπως φαίνεται παρακάτω:

ΖΩΝΗ I	ΖΩΝΗ II	ΖΩΝΗ III
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	ΑΝΑΒΡΑ	ΣΠΗΛΙΑ
ΤΡΙΑΦΟ	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΤΥΡΝΑΒΟΣ
ΕΛΑΤΗ	ΚΑΡΛΙΤΣΑ	ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ
ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	ΦΑΡΣΑΛΑ	ΖΑΠΠΕΙΟ
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	ΜΕΓ. ΚΕΡΑΣΙΑ	ΛΑΡΙΣΑ
ΠΑΛΛΑΙΑ ΓΙΑΝΝΙΤΣΟΥ	ΜΕΤΕΩΡΑ	ΛΙΒΑΔΙ
ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	ΣΚΟΠΙΑ	ΦΑΡΚΑΔΟΝΑ
ΜΟΥΖΑΚΙ		ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΣΑ
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ		ΕΛΑΣΣΟΝΑ
ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ		ΠΥΘΙΟ
ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ		ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ
		ΓΙΑΝΝΩΤΑ

Πίνακας 5.2.1 Κατανομή των βροχομετρικών σταθμών σε ζώνες

5.3 Επεξεργασία στοιχείων βροχομέτρου

Σε κάθε σταθμό που εξετάζουμε, μετατρέπουμε τα ύψη βροχής σε εντάσεις και τα κατατάσσουμε κατά φθίνουσα σειρά. Για να άρουμε το σφάλμα που οφείλεται στη διακριτοποίηση του χρόνου πολλαπλασιάζουμε τα στοιχεία της χρονοσειράς διάρκειας μίας μέρας με το συντελεστή $\delta=1.13$ και τα στοιχεία της χρονοσειράς διάρκειας δύο ημερών με το συντελεστή $\delta=1.04$. (Linsley et al., 1975 σ.357).

Η καταλληλότερη στατιστική κατανομή για τις χρονοσειρές των ετήσιων μέγιστων υψών βροχής που εξετάζουμε θεωρήθηκε και πάλι η Gumbel. Με χρήση των παραμέτρων f και n που προέκυψαν για κάθε ζώνη από την ανάλυση των στοιχείων των βροχογράφων, θα γίνει σε κάθε σταθμό υπολογισμός των λ και ψ με τη μέθοδο της καθολικής εκτίμησης των

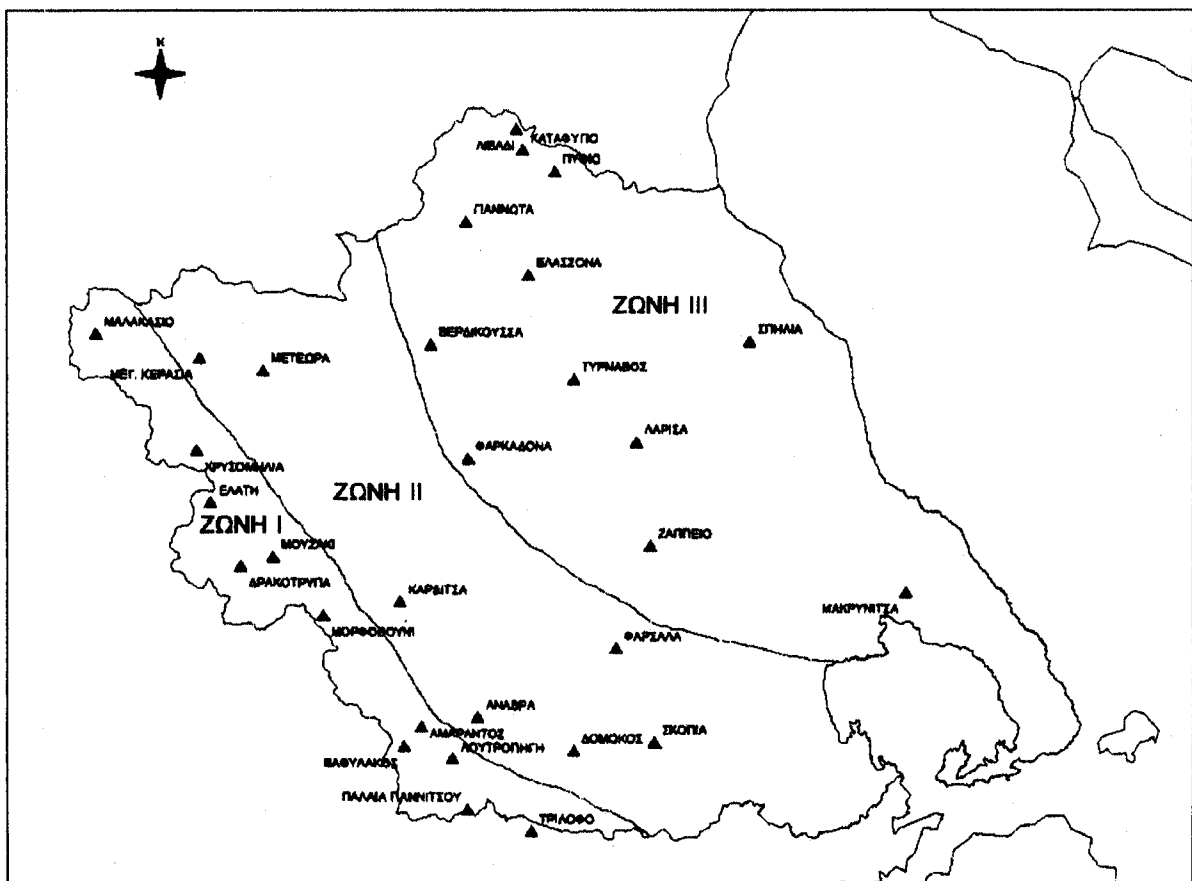
παραμέτρων. Αν π.χ. ένας σταθμός ανήκει στη ζώνη I, τότε η εξίσωση των όμβριων καμπυλών γι' αυτόν το σταθμό θα έχει τη μορφή της (4.4.1), δηλαδή

$$i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+1)^{0.62}}$$

Χρησιμοποιώντας την καθολική μέθοδο με σταθερά τα f, n και ίσα με 1 και 0.62 αντίστοιχα, υπολογίζουμε τις βέλτιστες τιμές των λ και ψ . Η αντικατάσταση των τιμών αυτών στην παραπάνω εξίσωση θα δώσει την τελική έκφραση των όμβριων καμπυλών από την οποία μπορούν να υπολογισθούν η ένταση και το ύψος βροχής για δεδομένη διάρκεια και περίοδο επαναφοράς.

Όπως και στην κατάρτιση των όμβριων καμπυλών από τα στοιχεία των βροχογράφων, έτσι κι εδώ χρησιμοποιείται και η εμπειρική κατανομή για έλεγχο του βαθμού προσαρμογής της επιλεχθείσας κατανομής.

Πριν προκύψει η τελική κατανομή των σταθμών, όπως αυτή φαίνεται στον πίνακα 5.2.1, ειδικά για τους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στα όρια των ζωνών εξετάστηκε η ένταξή τους και στις δύο γειτονικές ζώνες. Αφού οριστικοποιήθηκε η κατανομή των σταθμών σε ζώνες, χαρακτήκαν τα όρια των ζωνών στο χάρτη.



Σχ.5.2.2 Γεωγραφική κατανομή των βροχομετρικών σταθμών στις τρεις ζώνες της Θεσσαλίας

5.4 Χάρτες ισουέτιων καμπυλών για μέγιστα ύψη βροχής

Με την παραπάνω διαδικασία υπολογίζονται τα ύψη βροχής σε κάθε σταθμό στις εξής περιπτώσεις:

- α) $h(24h, 5 \text{ \acute{e}t\eta})$ $d=24h$ και $T= 5 \text{ \acute{e}t\eta}$
- β) $h(24h, 10 \text{ \acute{e}t\eta})$ $d=24h$ και $T= 10 \text{ \acute{e}t\eta}$
- γ) $h(48h, 5 \text{ \acute{e}t\eta})$ $d=48h$ και $T= 5 \text{ \acute{e}t\eta}$
- δ) $h(48h, 10 \text{ \acute{e}t\eta})$ $d=48h$ και $T= 10 \text{ \acute{e}t\eta}$

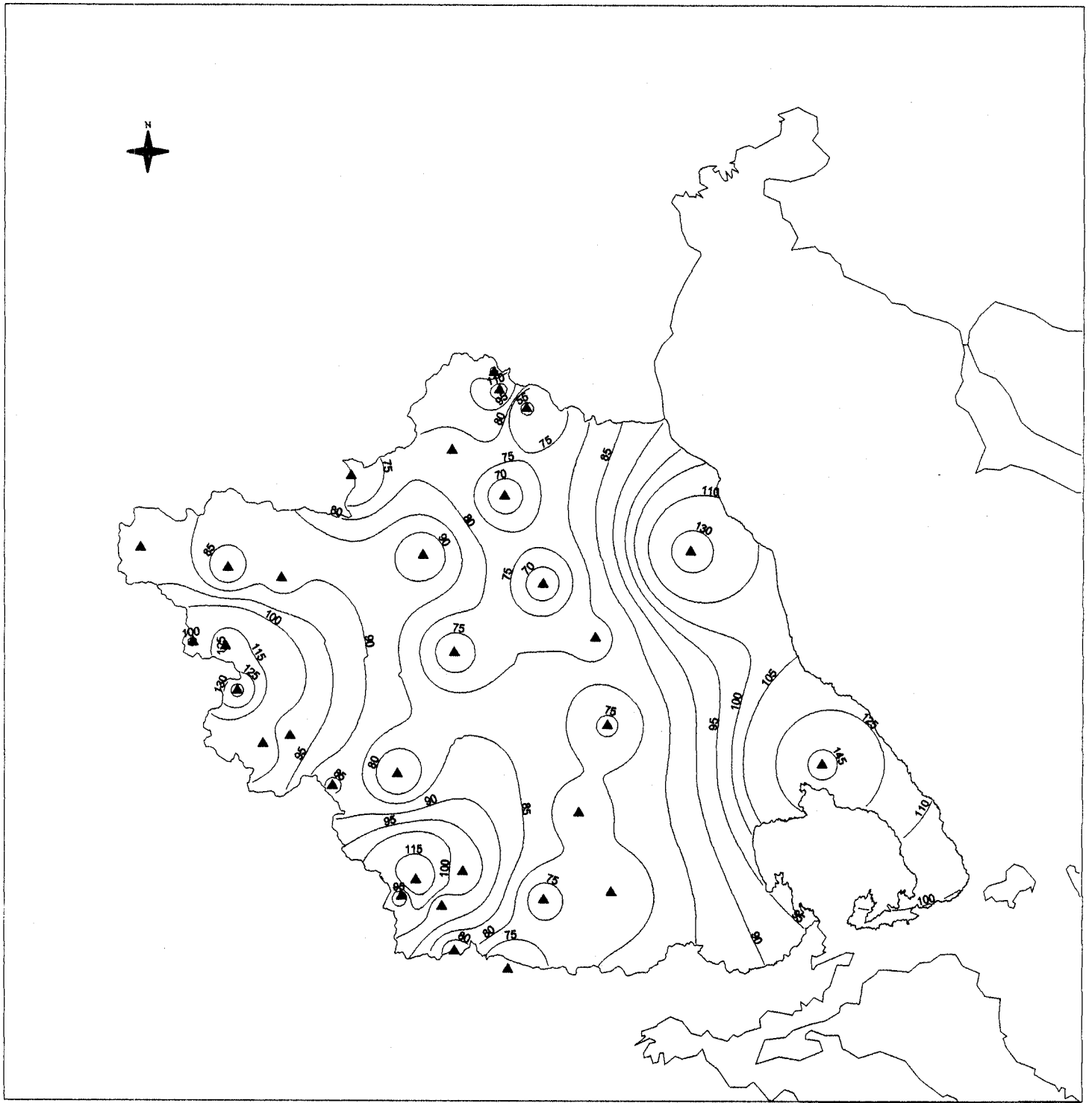
Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές των υψών βροχής που υπολογίστηκαν για τις παραπάνω κατηγορίες.

Πίνακας 5.4.1 Ύψη βροχής στους βροχομετρικούς σταθμούς

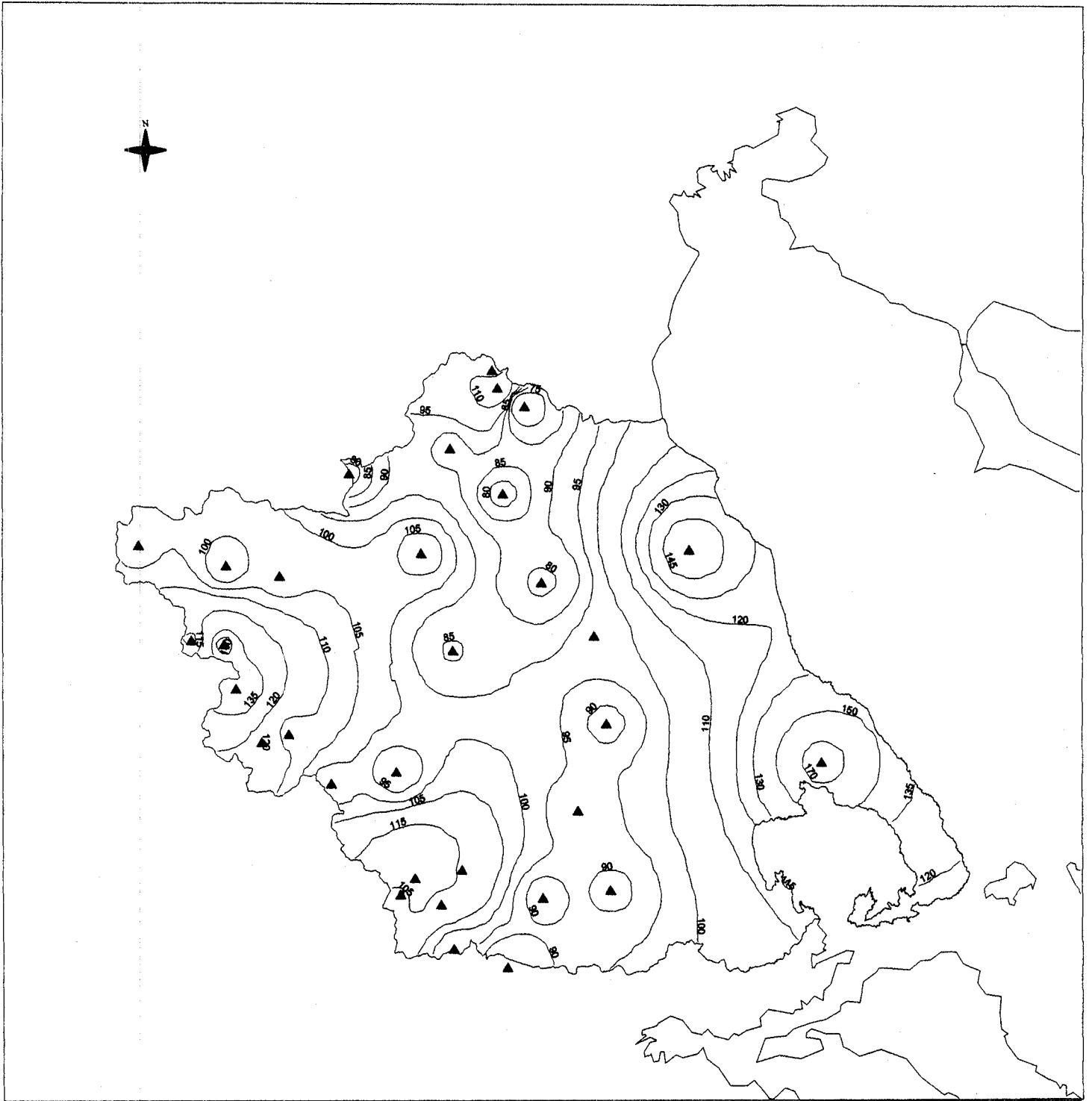
Σταθμός	$h(24h,5\acute{e}t\eta)$	$h(24h,10\acute{e}t\eta)$	$h(48h,5\acute{e}t\eta)$	$h(48h,10\acute{e}t\eta)$
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	148.71	177.11	195.96	233.39
ΤΡΙΑΛΟΦΟ	62.15	74.21	81.90	97.78
ΕΛΑΤΗ	137.35	158.16	180.99	208.42
ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	90.85	104.08	119.72	137.15
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	89.85	105.42	118.40	138.92
ΠΑΛΑΙΑ ΓΙΑΝΝΙΤΣΟΥ	77.14	93.92	101.65	123.76
ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	84.29	94.85	111.08	124.99
ΜΟΥΖΑΚΙ	94.86	106.19	125.00	139.93
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	104.66	120.11	137.92	158.27
ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ	125.76	143.07	165.72	188.53
ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ	91.31	103.25	120.33	136.05
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ *	99.50	113.92	131.12	150.12
ΑΝΑΒΡΑ	97.60	114.40	124.73	146.20
ΔΟΜΟΚΟΣ	71.64	85.20	91.56	108.88
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	72.84	87.42	93.09	111.72
ΦΑΡΣΑΛΑ	76.61	89.97	97.91	114.98
ΜΕΓ. ΚΕΡΑΣΙΑ	80.43	94.35	102.79	120.58
ΜΕΤΕΩΡΑ	88.38	101.45	112.94	129.65
ΔΕΣΚΑΤΗ *	65.41	78.30	83.60	100.06
ΣΚΟΠΙΑ	75.05	87.67	95.91	112.05
ΣΠΗΛΙΑ	137.88	161.41	161.11	188.60
ΤΥΡΝΑΒΟΣ	66.55	76.45	77.76	89.33
ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ	147.71	176.16	172.59	205.85
ΖΑΠΠΕΙΟ	74.15	87.49	86.65	102.23
ΛΑΡΙΣΑ	78.78	95.70	92.06	111.82
ΛΙΒΑΔΙ	89.02	104.88	104.02	122.55
ΦΑΡΚΑΔΟΝΑ	71.42	83.60	83.45	97.68
ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΣΑ	94.78	109.42	110.75	127.86
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	66.07	77.00	77.21	89.98
ΠΥΘΙΟ	51.34	58.14	59.99	67.93
ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ	118.72	134.86	138.73	157.59
ΓΙΑΝΝΩΤΑ	75.78	87.78	88.55	102.58

*Οι τιμές προέκυψαν από επεξεργασία στοιχείων βροχογράφου

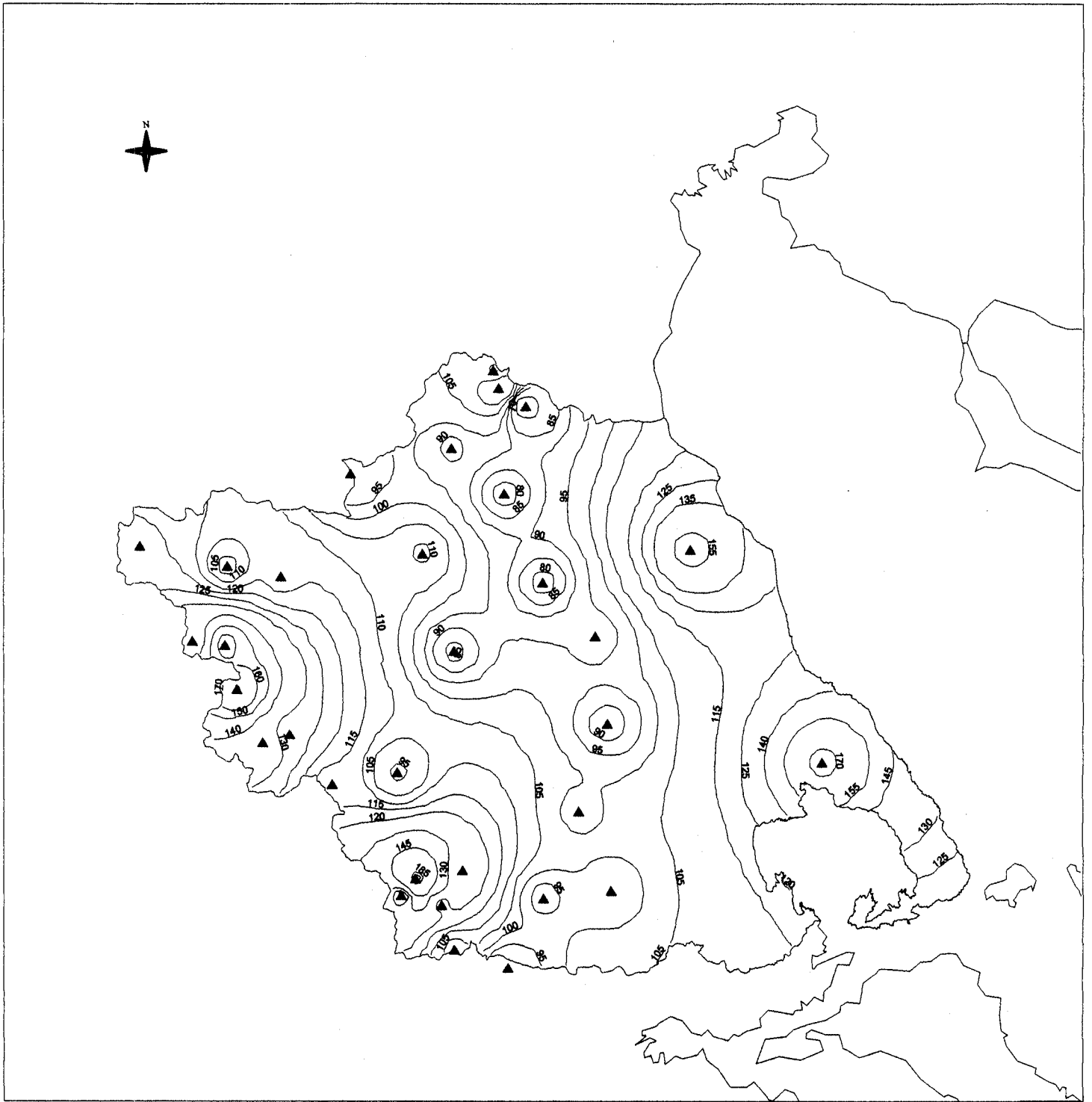
Στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος (G.I.S.), χαράχθηκαν οι ισουέτιες καμπύλες και προέκυψαν οι χάρτες που παραθέτουμε παρακάτω και οι οποίοι μας δείχνουν τα μέγιστα ύψη 24ωρης και 48ωρης βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 5 και 10 έτη. Η όλη διαδικασία έγινε στις εγκαταστάσεις του τομέα υδατικών πόρων του Ε.Μ.Π. χρησιμοποιώντας τα λογισμικά πακέτα ARC/Info και ArcView.



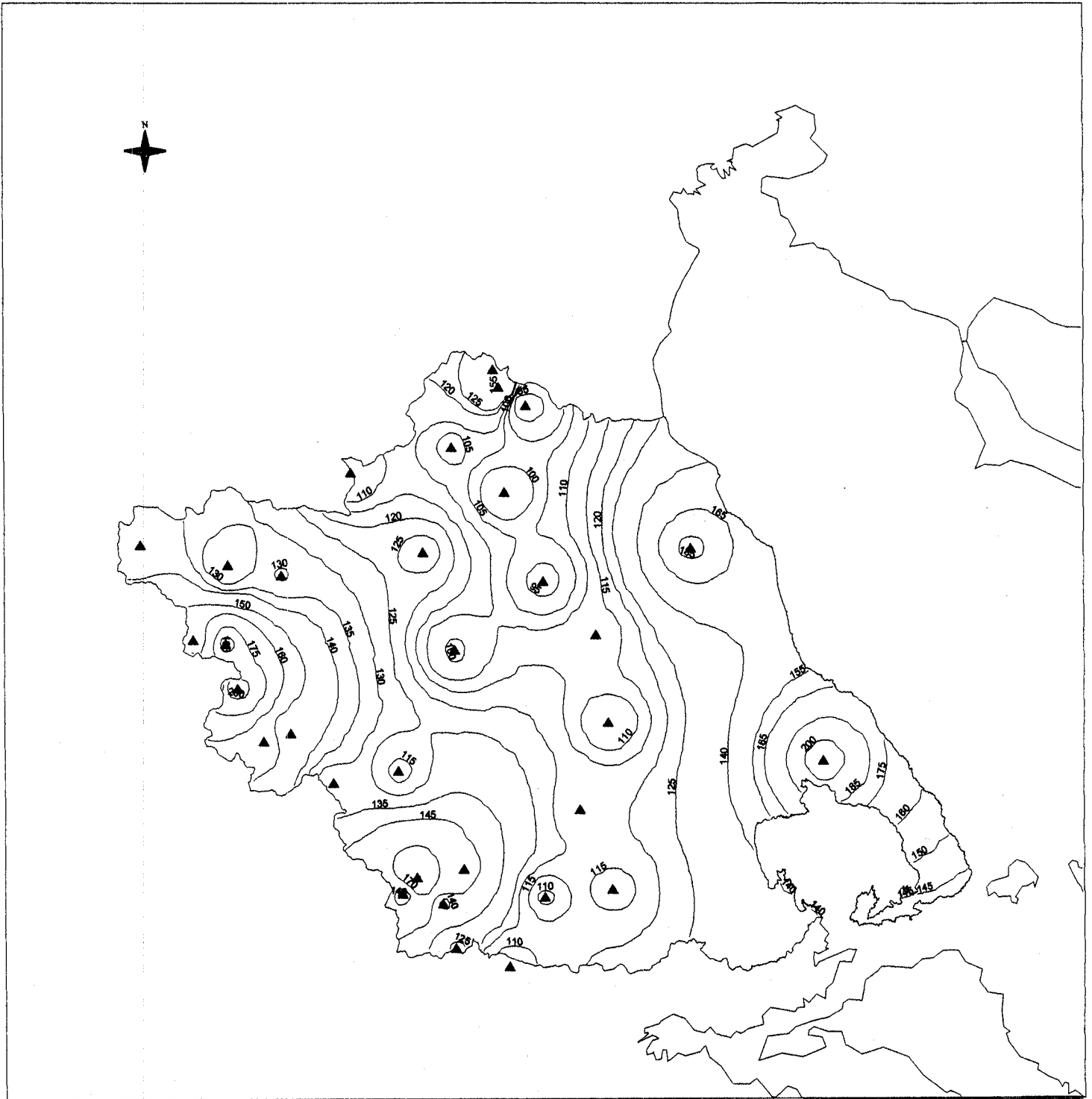
Ισοϋέτιες καμπύλες 24h για T= 5 έτη



Ισοϋέτιες καρπύλες 24h για T= 10 έτη



Ισοϋέτιες καμπύλες 48h για T= 5 έτη



Ισοϋέτιες καμπύλες 48h για T= 10 έτη

5.5 Εκτίμηση των όμβριων καμπυλών με τη χρήση χαρτών

Χρησιμοποιώντας τους προηγούμενους χάρτες μπορούμε να εφαρμόσουμε την αντίστροφη διαδικασία και να εκτιμήσουμε την όμβρια καμπύλη σε οποιοδήποτε σημείο της Θεσσαλίας. Συγκεκριμένα εντάσσουμε το σημείο σε μία από τις τρεις ζώνες, ανάλογα με τη γεωγραφική του θέση και αποκτούμε έτσι τις τιμές των παραμέτρων f και n . Στη συνέχεια διαβάζουμε από τους χάρτες τις τιμές h_5 και h_{10} του ύψους βροχής που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο σημείο για την ίδια διάρκεια d (κατά προτίμηση 24 h) και για περιόδους επαναφοράς $T_5=5$ και $T_{10}=10$ έτη.

Από τις εξισώσεις:

$$i = \frac{h}{d} \quad \text{και} \quad i = \frac{\frac{1}{\lambda} \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+f)^n}$$

προκύπτει η σχέση

$$\lambda = \frac{d \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{h \cdot (d+f)^n} \quad (5.5.1)$$

Οι άγνωστες παράμετροι λ και ψ προσδιορίζονται επίλυοντας το παρακάτω σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους:

$$\lambda = \frac{d \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_5} \right) \right] \right\}}{h_5 \cdot (d+f)^n} \quad \lambda = \frac{d \cdot \left\{ \psi - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_{10}} \right) \right] \right\}}{h_{10} \cdot (d+f)^n} \quad (5.5.2)$$

5.6 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου

Η παραπάνω διαδικασία για τον προσδιορισμό των άγνωστων παραμέτρων μέσω των χαρτών θα εφαρμοσθεί για το σταθμό Καρδίτσας.

Η Καρδίτσα υπάγεται στη ζώνη II του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. Επομένως οι τιμές των σταθερών παραμέτρων θα είναι $f=0.2$ και $n=0.65$.

Από τους χάρτες που παρουσιάζουν τα μέγιστα ύψη 24ωρης βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 5 και 10 ετών προσδιορίζουμε την τιμή της καμπύλης που αντιστοιχεί στη θέση του σταθμού στον κάθε χάρτη. Προκύπτουν οι τιμές $h(24h, 5\acute{\epsilon}\tau\eta)=73\text{mm}$ και $h(24h, 10\acute{\epsilon}\tau\eta)=88\text{mm}$.

Με αντικατάσταση στις εξισώσεις του συστήματος (5.5.2) και επίλυση αυτού προκύπτουν οι τιμές $\lambda=0.151$ και $\psi=2.152$.

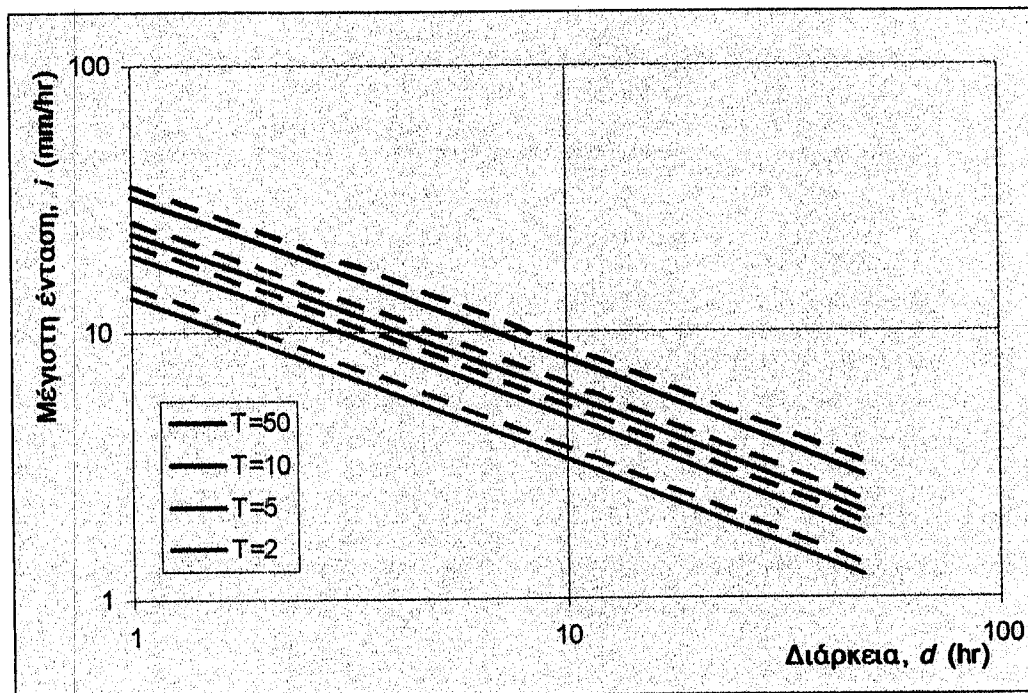
Η τελική μορφή της όμβριας καμπύλης για το σταθμό της Καρδίτσας θα είναι

$$i = \frac{\frac{1}{0.151} \cdot \left\{ 2.152 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+0.2)^{0.65}}$$

Η αντίστοιχη εξίσωση που προέκυψε από το βροχογράφο που διαθέτει η Καρδίτσα σύμφωνα με τον πίνακα (4.3.6) είναι

$$i = \frac{\frac{1}{0.17} \cdot \left\{ 2.198 - \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{(d+0.2)^{0.65}}$$

Στο διάγραμμα (5.6.1) φαίνονται οι καμπύλες που προέκυψαν με τη μέθοδο των χαρτών καθώς και αυτές που προέκυψαν από το βροχογράφο. Παρατηρούμε ότι η μέθοδος των χαρτών δίνει κάπως μεγαλύτερες τιμές (κατά 10% περίπου), γεγονός που οφείλεται στο ότι οι τιμές της πρώτης μεθόδου έχουν συνυπολογίσει και τα δεδομένα από το βροχόμετρο, που είναι σε πλήθος περισσότερα από αυτά του βροχογράφου και επομένως δίνουν και μεγαλύτερη αξιοπιστία.



Διάγραμμα 5.6.1. Με συνεχείς γραμμές παριστάνονται οι όμβριες καμπύλες που προέκυψαν από το βροχογράφο και με διακεκομμένες αυτές που προέκυψαν με τη μέθοδο των χαρτών στην Καρδίτσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έκφραση των όμβριων καμπυλών που επιλέχθηκε στην παρούσα μελέτη, με τη μορφή δύο διαχωριζόμενων συναρτήσεων, της περιόδου επαναφοράς και της διάρκειας αντίστοιχα, μας δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της έντασης βροχής για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς χωρίς να απαιτείται καινούργιος υπολογισμός των παραμέτρων της εξίσωσης αφού εμπεριέχει τη συνάρτηση κατανομής. Ο προσδιορισμός της συνάρτησης διάρκειας προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα δεδομένων βροχογράφου. Με κατάλληλη επεξεργασία των χρονοσειρών των βροχογράφων προκύπτουν εξισώσεις στις οποίες οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας μπορούν να παραμείνουν σταθερές ανά υποπεριοχές, χωρίς να υπάρχει ουσιαστική αλλοίωση του τελικού αποτελέσματος. Αντίθετα οι παράμετροι της συνάρτησης της περιόδου επαναφοράς είναι προτιμότερο να εξαχθούν αξιοποιώντας τα δεδομένα που προέρχονται από το πυκνό δίκτυο των βροχομέτρων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μεγαλύτερης πυκνότητας των σημείων προσδιορισμού όμβριων καμπυλών (με την προϋπόθεση ότι η γεωγραφική μεταβολή των παραμέτρων της συνάρτησης διάρκειας δεν είναι πολύ έντονη). Με αυτό τον τρόπο μπορούν στη συνέχεια να κατασκευαστούν οι χάρτες των ισουέτιων καμπυλών πετυχαίνοντας έτσι μια καλύτερη απεικόνιση των υψών και εντάσεων καθ' όλη την έκταση της υπό εξέταση περιοχής. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να μας δώσουν την όμβρια εξίσωση σε οποιοδήποτε σημείο της Θεσσαλίας.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κουτσογιάννης Δ., Στατιστική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση 2, Αθήνα 1996.

Ξανθόπουλος Θ., Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1990.

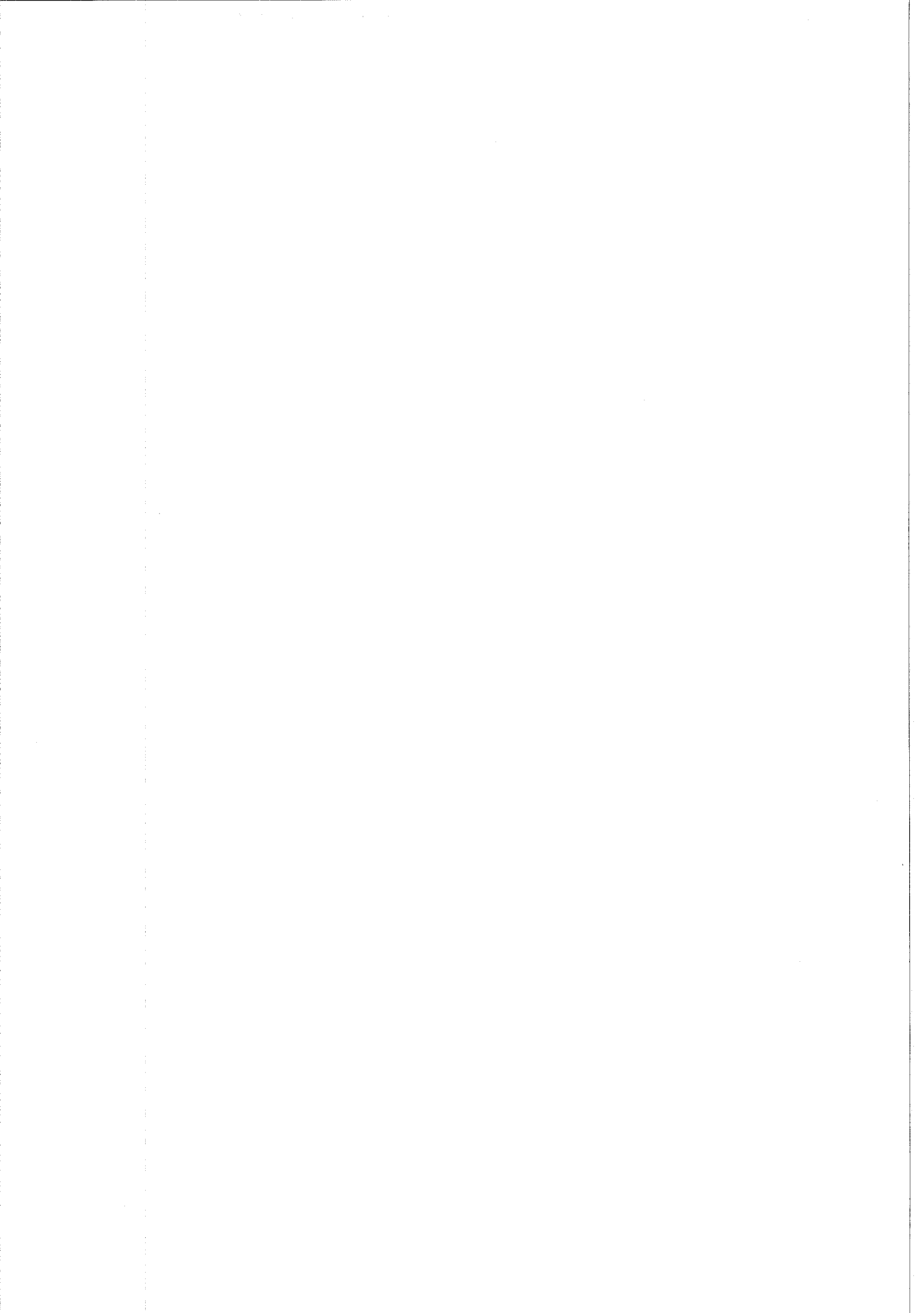
Μιμίκου Μ., Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Έκδοση β', Αθήνα 1994.

Κουτσογιάννης Δ., Μανέτας Α., Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας, Ερευνητικό Έργο, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΕΜΠ, Αθήνα 1995.

D. Koutsoyiannis et al., Journal of Hydrology - A mathematical frame work for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, National Technical University, Athens 1998.

Linsley, R. K. Jr., M.A. Kohler and J. L. H. Paulus, Hydrology of engineers, McGraw-Hill, Tokyo, 2nd edition, 1975.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1
ΠΙΝΑΚΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



ΤΡΙΑΦΟ

Έτος	1 hr		2 hr		6 hr		12 hr		24 hr		48 hr	
	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία
60-61	4.7	08-11-60	6.5	08-11-60	6.9	08-11-60	7.7	27-01-61	10.6	29-01-61	10.6	29-01-61
61-62												
62-63	14.6	10-11-62	18.8	10-11-62	28.8	12-11-62	28.9	12-11-62	36	12-11-62	47.1	13-11-62
63-64												
64-65												
65-66	3.8	22-09-66	6	02-06-66	8.9	02-06-66	9.6	02-06-66	18.2	04-06-66	18.2	04-06-66
66-67	19.1	01-01-67	27.3	01-01-67	48.5	30-11-66	64.5	30-11-66	78.9	30-11-66	78.9	30-11-66
67-68	10.5	30-05-68	11.9	30-05-68	14.3	30-05-68	16.1	30-05-68	23.4	30-05-68	23.6	30-05-68
68-69	8.6	10-12-68	16.2	10-12-68	27.2	10-12-68	33.2	10-12-68	48.1	12-12-68	74	13-12-68
69-70	4.5	03-12-69	7.7	03-12-69	12	05-12-69	16.8	05-12-69	28.7	05-12-69	31.7	05-12-69
70-71												
71-72												
72-73	13	02-11-72	23.9	02-11-72	57.8	02-11-72	69.2	02-11-72	91.8	02-11-72	95.7	02-11-72
73-74	4	16-10-73	7.6	16-02-74	11.6	16-02-74	18.2	16-02-74	32.7	18-02-74	39.6	18-02-74
74-75												
75-76	7.7	05-02-76	13.3	05-02-76	33.7	05-02-76	54.6	05-02-76	77.4	05-02-76	97.2	05-02-76
76-77	5	21-04-77	7.8	21-04-77	14.2	21-04-77	21	23-04-77	37.3	23-04-77	45.4	23-04-77
77-78	11	21-11-77	13.7	21-11-77	29	16-09-78	48.6	17-09-78	53.9	17-09-78	54.1	17-09-78
78-79	11.4	28-10-78	17.7	28-10-78	34.8	25-12-78	46.4	25-12-78	47	25-12-78	47	25-12-78
79-80	7.3	01-11-79	11.1	01-11-79	22.3	20-11-79	39.7	20-11-79	46.2	20-11-79	47.4	21-11-79
80-81	10	28-10-80	15.3	28-10-80	28.3	28-10-80	45.2	28-10-80	57.3	29-10-80	87.1	29-10-80
81-82	7.7	29-10-81	10.6	29-10-81	26.9	29-10-81	43.2	29-10-81	58.7	11-11-81	64.4	11-11-81
82-83	6.8	21-12-82	13.2	21-12-82	22.6	20-11-82	31	20-11-82	37.6	20-11-82	53.4	20-11-82
83-84	13.2	16-08-84	22.8	16-08-84	27.8	16-08-84	27.8	16-08-84	27.8	16-08-84	31.1	09-04-84
84-85	5.3	01-01-85	9.3	01-01-85	24.8	01-01-85	40.7	01-01-85	57	01-01-85	65.8	02-01-85
85-86	18.5	01-05-86	27.5	01-05-86	30.5	01-05-86	30.5	01-05-86	42.5	28-11-85	51.2	28-11-85
86-87	15.1	08-02-87	17.4	08-02-87	26	08-02-87	32.7	04-87	51	04-87	61.2	29-10-86
87-88	11.5	14-04-88	16.5	14-04-88	28.4	14-04-88	30.5	14-04-88	30.5	14-04-88	31.9	21-11-87
88-89	9.5	24-03-89	15.3	24-03-89	30.8	23-11-88	51	23-11-88	54.8	23-11-88	77	23-11-88
89-90	9	07-11-89	13.5	07-11-89	30.5	07-11-89	42.5	07-11-89	50.5	04-10-89	51.8	04-10-89
90-91	12.1	16-11-90	23.9	16-11-90	56.3	16-11-90	70.8	16-11-90	81.1	16-11-90	87	16-11-90
91-92												
92-93	6.6	09-12-92	8	08-05-93	10.9	08-05-93	13.2	06-04-93	13.4	06-04-93	14	07-05-93
93-94	11.2	14-11-93	22.2	14-11-93	35.2	14-11-93	48	14-11-93	48	14-11-93	48	14-11-93
94-95	15.5	13-04-95	20	13-04-95	29.5	13-04-95	49	21-10-94	70	21-10-94	102	21-10-94

ΔΕΣΚΑΤΗ

Έτος	1 hr		2 hr		6 hr		12 hr		24 hr		48 hr	
	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία
65-66	10.1	27-11-65	10.9	04-06-66	18.5	30-11-65	29.2	30-11-65	42.9	04-06-66	50	04-06-66
66-67												
67-68												
68-69												
69-70	6.3	08-12-69	10.8	08-12-69	23.9	02-12-69	38.1	02-12-69	43	04-12-69	49.3	04-12-69
70-71	10.2	29-03-71	18.7	29-03-71	28.2	29-03-71	40.4	29-03-71	57.3	29-03-71	76	02-01-71
71-72	14	16-07-72	20.8	18-07-72	41.4	16-07-72	63.9	16-07-72	95.5	18-07-72	95.5	18-07-72
72-73	13.5	16-10-72	22	16-10-72	30	16-10-72	34.5	16-10-72	51.8	16-10-72	58.4	17-10-72
73-74	9.6	16-10-73	14.1	16-10-73	17.7	16-10-73	18.3	16-10-73	33.1	16-10-73	35.8	16-10-73
74-75												
75-76												
76-77	8.3	04-12-76	9	17-10-76	14.4	05-06-77	15.9	05-06-77	24.3	05-12-76	34.2	06-12-76
77-78	14.2	16-09-78	24.4	16-09-78	61.1	16-09-78	93.4	16-09-78	110.2	16-09-78	114.6	16-09-78
78-79	9	13-05-79	13.5	13-05-79	20.6	13-05-79	26.6	13-05-79	30.1	13-05-79	42.3	14-05-79
79-80												
80-81												
81-82	19.7	09-08-82	22.7	09-08-82	42.2	16-05-82	49.8	16-05-82	52.2	16-05-82	52.2	16-05-82
82-83	10.2	18-11-82	19.3	19-11-82	20.2	16-11-82	40.1	18-11-82	58.4	19-11-82	99.4	19-11-82
83-84	3.8	09-02-84	4.6	07-04-84	10.2	07-04-84	17.7	07-04-84	26.6	09-04-84	29.2	09-04-84
84-85												
85-86	12.3	14-06-86	18.5	14-06-86	26.5	28-11-85	26.7	28-11-85	27.5	23-11-85	37.7	27-11-85
86-87	19.7	20-08-87	20	20-08-87	30.2	21-08-87	40	05-11-86	62.3	05-11-86	65	05-11-86
87-88	22.3	26-07-88	24.4	26-07-88	35.5	26-07-88	30.7	14-04-88	38.5	01-10-87	45	01-10-87
88-89	30	26-06-89	40	26-06-89	40	26-06-89	40	26-06-89	40	26-06-89	40	26-06-89
89-90	11.4	14-07-90	19	29-03-90	32.7	29-03-90	39.6	30-05-90	45.8	30-05-90	60	30-05-90
90-91	19	24-09-91	30	24-09-91	35.5	24-09-91	37.2	06-04-91	42.8	06-04-91	43.5	06-04-91
91-92	27.5	18-06-92	31.7	18-06-92	37.4	18-06-92	44.6	19-04-92	50.3	19-04-92	58.7	17-06-92
92-93	32.2	02-05-93	43.4	02-05-93	45	02-05-93	45	02-05-93	47.2	18-11-92	48.9	18-11-92

ΚΑΡΑΙΤΣΑ

Έτος	1 hr		2 hr		6 hr		12 hr		24 hr		48 hr	
	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία	h (mm)	Ημ/νία
61-62	13.2	28-09-62	21.2	28-09-62	50.3	28-09-62	67.4	28-09-62	88.9	28-09-62	94.2	28-09-62
62-63												
63-64												
64-65												
65-66	15	04-06-66	18.2	04-06-66	22.1	04-06-66	26.6	29-01-66	46.7	04-06-66	54.6	29-01-66
66-67												
67-68	6	16-05-68	10.2	16-05-68	16.1	16-05-68	16.8	16-05-68	18.1	16-05-68	18.7	18-05-68
68-69	9.2	12-09-69	18.2	12-09-69	33.5	14-09-69	51.9	14-09-69	61.7	14-09-69	67.1	14-09-69
69-70	12.7	03-09-70	23.3	03-09-70	27.9	03-09-70	32.7	17-03-70	47	03-09-70	51.4	03-09-70
70-71	17	17-10-70	18.5	17-10-70	29.9	07-03-71	40	17-10-70	59	19-10-70	86.5	20-10-70
71-72	7.3	16-04-72	12.8	16-04-72	22.7	16-04-72	23.7	16-04-72	39.1	16-04-72	42.4	16-04-72
72-73	8.3	09-10-72	13.1	09-10-72	25.9	09-10-72	30.1	09-10-72	44.4	09-10-72	49.1	11-10-72
73-74	9	11-10-73	10.3	11-10-73	19.5	11-10-73	25.2	16-02-74	36.6	16-02-74	43.9	07-03-74
74-75	15	20-06-75	29.1	22-06-75	43.7	22-06-75	47.4	22-06-75	72.3	22-06-75	83.1	22-06-75
75-76	8	03-02-76	15.9	03-02-76	29	03-02-76	50.7	03-02-76	52.5	03-02-76	53.4	05-02-76
76-77												
77-78												
78-79												
79-80												
80-81												
81-82												
82-83												
83-84	8.6	02-12-83	14.6	02-12-83	35.7	02-12-83	51.6	02-12-83	65	04-12-83	71.9	04-12-83
84-85												
85-86	26.5	09-06-86	30.9	09-06-86	49.6	09-06-86	56.5	09-06-86	59.3	09-06-86	90.3	08-06-86
86-87	12	04-11-86	18.8	28-10-86	36.8	28-10-86	58.8	28-10-86	82.4	28-10-86	113.2	28-10-86
87-88					18	04-11-87	28.5	04-11-87	38.5	04-11-88	40	04-11-88
88-89	14	05-07-89	15	05-07-89	22.5	05-07-89	27	24-11-88	42	24-03-89	50	24-11-88
89-90	20	23-08-90	30.5	23-08-90	57	23-08-90	64.5	23-08-90	70	23-08-90	70	23-08-90
90-91												
91-92												
92-93	7.4	16-06-93	7.4	16-06-93	9.3	13-05-93	11.3	04-06-93	14.6	13-05-93	14.7	13-05-93
93-94	12	22-06-94	17.8	22-06-94	34	13-11-93	40.9	13-11-93	42.7	13-11-93	44.8	13-11-93
94-95	24.8	21-10-94	49.6	21-10-94	115.2	21-10-94	180.4	21-10-94	228.5	21-10-94	265.2	21-10-94

