

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Η ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΥΓΕΝΙΑ ΒΕΡΓΑΝΕΛΑΚΗ

Γεωλόγος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2006

Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή έχει τίτλο «Η βροχόπτωση στη Θεσσαλονίκη». Πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τομέα Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Οφείλω από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών Υποτροφιών (ΙΚΥ) για την υποτροφία που μου παρείχε ως Μεταπτυχιακό Υπότροφο.

Στο σημείο αυτό θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παναγιώτη Μαχαίρα για την συνεχή καθοδήγηση, άψογη συνεργασία και αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής.

Επιθυμώ επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής μου, καθηγήτρια κα. Αγγελική Αρσένη – Παπαδημητρίου και Λέκτορα κ. Θεόδωρο Μαυρομάτη για τις εποικοδομητικές και εύστοχες υποδείξεις τους.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τη Λέκτορα κα. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου για την πολύτιμη βοήθεια της και το συνεχές ενδιαφέρον της σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διατριβής.

Τέλος θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την συμπαράσταση που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ευγενία Βεργανελάκη, 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Η βροχόπτωση στον Ελληνικό χώρο.....	6
1.2 Δεδομένα – Χαρακτηριστικά της μελέτης.....	12
1.3 Διάρθρωση εργασίας	13
2. ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΒΡΟΧΗΣ.....	14
2.1 Συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων και απόλυτη μηνιαία και ετήσια μεταβλητότητα αυτών.....	15
2.2 Ενάρξεις και λήξεις των επεισοδίων βροχής	21
3. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	30
4. ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΟΣΑ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ ΒΡΟΧΗΣ	37
5. ΤΑΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ	46
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	53
6.1 Ετήσια δεδομένα	56
6.2 Χειμώνας	59
6.3 Άνοιξη	61
6.4 Καλοκαίρι.....	64
6.5 Φθινόπωρο	67

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
8. Βιβλιογραφία.....	79

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι η πρωταρχική και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί είχαν αντιληφθεί την αξία και τη δύναμη του νερού και για αυτό του έδιναν μαγικές ιδιότητες, αλλά παράλληλα το νερό είναι σε θέση να καταλύσει και να καταστρέψει κάθε είδος ζωής. Ο μύθος του κατακλυσμού, εμφανίζεται σε πολλούς πολιτισμούς: Έλληνες, Εβραίοι, Ινδοί, Σουμερίοι, Ιρανοί και Ασσυροβαβυλώνιοι. Όλοι περιγράφουν έναν ή περισσότερους κατακλυσμούς που κατέστρεψαν κάθε μορφή ζωής πάνω στη γη.

Από τους προσωκρατικούς φιλόσοφους, ο Αναξίμανης είναι αυτός που θεωρεί σαν την πηγή του κόσμου το νερό. Θεωρεί ότι όλα τα όντα και πράγματα, υλικά ή μη, είναι συμπυκνώσεις – φάσεις του πρωταρχικού ύδατος. Ο Θαλής ονομάζει την πρωταρχική και αρχέγονη ύλη «τα Ὑδατα του Διαστήματος». Δίδασκε ότι όλα τα πράγματα προήλθαν από το πρωταρχικό αυτό νερό.

Σήμερα είναι πλέον γνωστό ότι το νερό δεν αποτελεί κάποια υπερφυσική δύναμη ή μυθική θεότητα, αλλά το σημαντικότερο, ίσως, αγαθό στον πλανήτη. Το χημικά καθαρό νερό H_2O , δεν συναντάται πραγματικά στην φύση. Απαντάται όμως με άλλες ουσίες αιωρούμενες ή διαλυμένες μέσα σε αυτό, των οποίων η ποσότητα ποικίλει σημαντικά. Το νερό έχει σημεία τήξης $0^{\circ}C$ και βρασμού $100^{\circ}C$. Έχει pH 7 (ουδέτερο), και είναι διαλυτής πολλών ουσιών. Έχει μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και μεγάλο συντελεστή θερμοχωρητικότητας. Αυτός ο τελευταίος καθώς και οι μεγάλες σταθερές τήξης και εξαέρωσης επιτρέπουν στο νερό να επηρεάζει σημαντικά τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής.

Το νερό είναι το μόνο γνωστό χημικό στοιχείο που έχει την ιδιότητα να εμφανίζεται στην ατμόσφαιρα και στις τρεις του καταστάσεις (στερεά, υγρή και αέρια) ταυτόχρονα.

Ένας αέναςος κύκλος του νερού διαγράφεται στην φύση και είναι γνωστός σαν υδρολογικός κύκλος του νερού (Σχήμα 1), και ο οποίος συνοψίζει τις διεργασίες της *εξάτμισης* (ωκεανοί, λίμνες, ποταμοί) ή της *διαπνοής* (φυτά), που εφοδιάζει την ατμόσφαιρα με υδρατμούς, της *συμπύκνωσης*, που οδηγεί στο σχηματισμό των νεφών, της *βροχόπτωσης*, που επαναφέρει τα μόρια του νερού στην επιφάνεια της γης, της *απορροής* και της *κατείσδυσης*, που τελικά οδηγούν το νερό στις υδροσυλλογές και το υπέδαφος για να κλείσει έτσι ο υδρολογικός κύκλος.



Σχήμα 1. Υδρολογικός κύκλος του νερού (USGS, 2000).

Σημαντική παράμετρο του υδρολογικού κύκλου αποτελεί η βροχόπτωση, δηλαδή η ποσότητα του ύδατος που μπορεί να πέσει από τα σύννεφα στη γη σε υγρή ή στερεή μορφή. Ο ζωτικός ρόλος της βροχόπτωσης για τη φύση και τον άνθρωπο, σε συνδυασμό με την έλλειψη νερού που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της εποχής μας οδήγησε πολλούς ερευνητές, σε όλο τον κόσμο, στη μελέτη και ανάλυσή της.

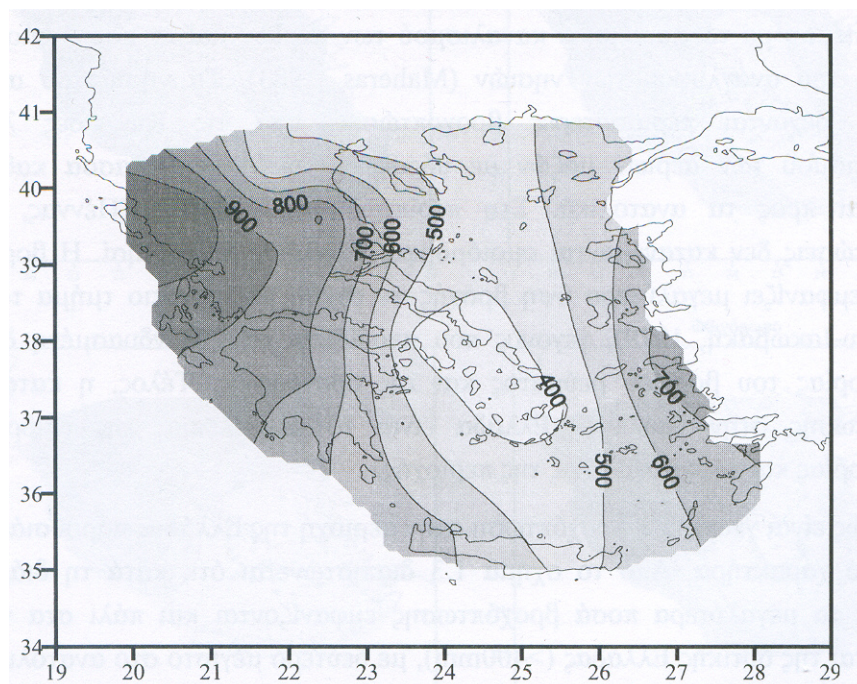
Η ποσότητα βροχής που φτάνει στην επιφάνεια της γης μετριέται σε χιλιοστά (mm) ύψους του υδάτινου στρώματος, το οποίο σχηματίζει αυτή επάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής που μετρώνται από τους ερευνητές είναι η ωριαία βροχόπτωση (η βροχόπτωση που πέφτει ανά ώρα), η ημερήσια βροχόπτωση (η βροχόπτωση που πέφτει σε μία ημέρα), το μηνιαίο ύψος βροχής (το άθροισμα των ημερήσιων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια ενός μήνα), το ετήσιο ύψος αυτής (το σύνολο της βροχής που πέφτει και στους 12 μήνες του χρόνου), όπως και η ραγδαιότητα ή η ένταση αυτής η οποία εκφράζει το ύψος της βροχής σε χιλιοστά που φτάνει στην επιφάνεια της γης σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

1.1 Η βροχόπτωση στον Ελληνικό χώρο.

Οι περιοχές μέσων γεωγραφικών πλατών και χαμηλού υψομέτρου στην Ελλάδα παρουσιάζουν ως αποτέλεσμα της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, όχι μεγάλη διάρκεια βροχοπτώσεων και ένα ετήσιο ύψος βροχής, που κυμαίνεται για τις περισσότερες, μεταξύ 400 και 800 χιλιοστών (Πέννας, 1992). Άλλα όμως χαρακτηριστικά, όπως η ένταση και η ετήσια ή ημερήσια πορεία, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλοότητα επειδή στη διαμόρφωση τους παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες εκτός της γενικής κυκλοφορίας, όπως η επίδραση της τοπογραφίας, η παρουσία αναβατικών ή καταβατικών ανέμων, η αλληλεπίδραση ξηράς – θάλασσας.

Η ιδιαίτερη γεωγραφική θέση της Ελλάδας στα ανατολικά της Μεσογείου, ανάμεσα στην υποτροπική ζώνη και τη ζώνη των μέσων γεωγραφικών πλατών, την κάνουν να παρουσιάζει ιδιαίτερα κλιματολογικά χαρακτηριστικά που σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφό της διαμορφώνει ένα ιδιαίτερο τοπικό χαρακτήρα. Η παρουσία της Πίνδου κατά τον άξονα βορρά – νότο και το Αιγαίο Πέλαγος αποτελούν τους κύριους μορφολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα (Αναγνωστοπούλου, 2003).

Τα μεγαλύτερα ύψη βροχής (ετήσια) σημειώνονται πάνω από τις ορεινές και τις δυτικές περιοχές της χώρας και το ανατολικό Αιγαίο γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ορογραφία.



Σχήμα 2. Η γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης στην Ελλάδα (Αναγνωστοπούλου, 2003)

Ειδικότερα, σε ετήσια βάση το νότιο Αιγαίο και ιδιαίτερα η περιοχή των Κυκλάδων μπορούν να χαρακτηριστούν ως οι πιο ξηρές περιοχές της ελληνικής περιοχής, όπου το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης δεν ξεπερνά τα 400mm (για τη χρονική περίοδο 1958 – 1997). Αντίθετα, τα νησιά του Ιονίου αλλά και η δυτική ηπειρωτική χώρα εμφανίζουν τα μεγαλύτερα μέσα ετήσια ποσά βροχόπτωσης με τιμές μεγαλύτερες από 900mm. Το ανατολικό Αιγαίο εμφανίζει μέσα ετήσια ποσά βροχόπτωσης μεγαλύτερα από 600mm (Αναγνωστοπούλου, 2003). Ο μηχανισμός που δημιουργεί τις βροχοπτώσεις στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας είναι διαφορετικός ανάλογα με την περιοχή. Στη δυτική Ελλάδα οι βροχοπτώσεις οφείλονται, κυρίως, στο έντονο ανάγλυφο και στις χαρακτηριστικές τροχιές που ακολουθούν οι υφέσεις της Μεσογείου από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

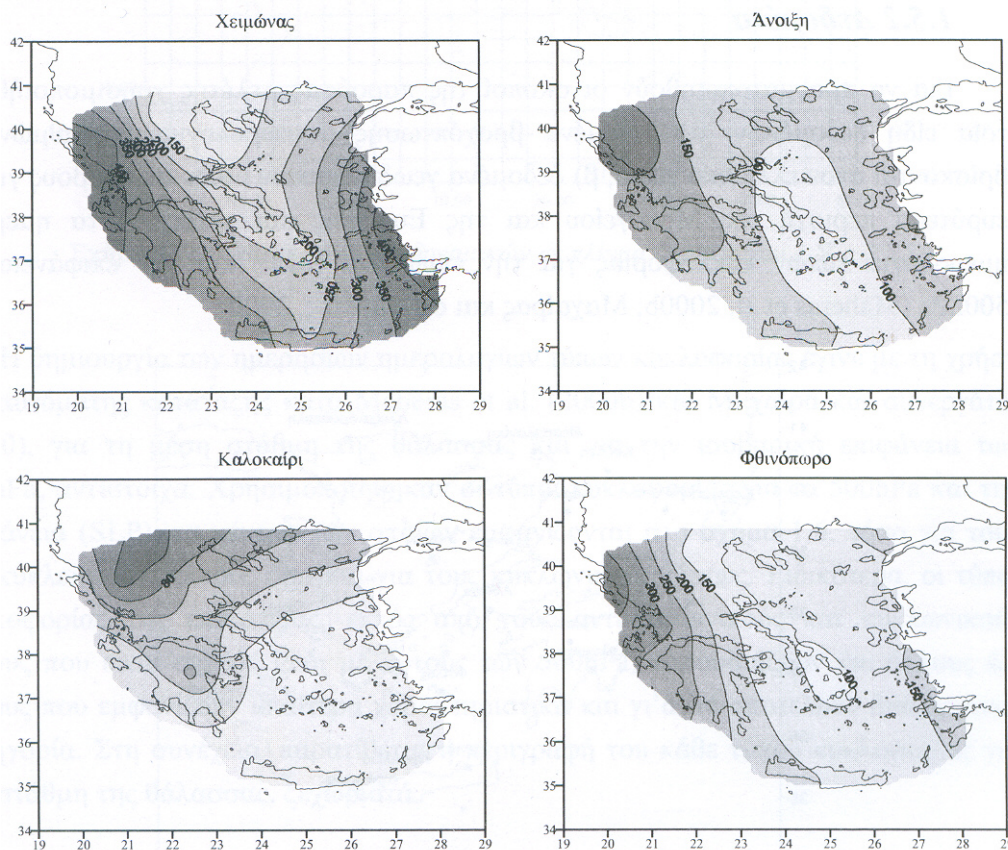
Οι ανοιχτές προς βορρά πεδιάδες της Θεσσαλονίκης (που αποτελεί και την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας) και των Σερρών εμφανίζουν μικρά, σχετικά ετήσια ύψη βροχής, εξαιτίας της επίδρασης που δέχονται από τον ξηρό καταβατικό άνεμο του Βαρδάρη και του Ρουμελιώτη, αντίστοιχα. Στη Θράκη και την ανατολική Μακεδονία γίνεται αισθητή η μεγάλη επίδραση που ασκεί το ανάγλυφο καθώς όσο απομακρυνόμαστε από τις ακτές του Αιγαίου προς τους ορεινούς όγκους της Ροδόπης, τόσο τα ετήσια βροχομετρικά ύψη αυξάνουν. Τα μεγαλύτερα μέσα ετήσια ύψη βροχής σημειώνονται στην ορεινή ζώνη Ηπείρου – Θεσσαλίας, ενώ η σχετική ξηρότητα που εμφανίζεται στη θεσσαλική πεδιάδα αποδίδεται, κατά κύριο λόγο, στην επίδραση της «ομβροσκιάς» της Πίνδου.

Πιο Νότια, στην Στερεά Ελλάδα παρατηρείται μια αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους στην κεντρική ορεινή περιοχή, και στις δυτικές περιοχές έναντι των αντίστοιχων ανατολικών. Στις περιοχές της ανατολικής Πελοποννήσου, της Αττικής και του Σαρωνικού κόλπου παρατηρούνται σχετικά μικρές τιμές μέσου ετήσιου ύψους βροχής ενώ στην ορεινή Πελοπόννησο εμφανίζονται αυξημένα βροχομετρικά ύψη λόγω της υφιστάμενης δράσης αλλά και του ανάγλυφου.

Στις Κυκλάδες, η ελάττωση των βροχοπτώσεων, μπορεί να συνδέεται αφενός με τα φαινόμενα Föhn που αναπτύσσονται στα ανατολικά της Πελοποννήσου και αφετέρου με τα φαινόμενα καναλισμού των αερίων μαζών που δημιουργούνται εξαιτίας του αναγλύφου των νησιών. Τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις από τις Κυκλάδες λόγω του εμπλουτισμού των αερίων μαζών με υδρατμούς από τη θάλασσα καθώς αυτές κινούνται ανατολικά. Τέλος, στην Κρήτη οι βροχοπτώσεις δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το νησί (Πέννας, 1977). Στο δυτικό τμήμα του νησιού καθώς και στις

ορεινές περιοχές αυτού σημειώνονται μεγαλύτερες τιμές βροχομετρικού ύψους σε σχέση με το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού γεγονός που αποδίδεται στη συνδυασμένη δράση της κυκλοφορίας του βόρειου ρεύματος και της ορογραφίας.

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος της βροχόπτωσης είναι η ετήσια πορεία αυτής, το λεγόμενο βροχομετρικό σύστημα, η κατανομή δηλαδή της βροχής κατά τη διάρκεια του έτους. Η Ελλάδα ανήκει στον Μεσογειακό τύπο όπου το μέγιστο και το ελάχιστο των βροχών σημειώνεται κατά το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα. Ειδικότερα, το χειμώνα τα μεγαλύτερα ποσά βροχόπτωσης εμφανίζονται στα νησιά του Ιονίου και της δυτικής Ελλάδας (> 400mm), με δεύτερο μέγιστο στο ανατολικό Αιγαίο (> 350mm). Τα μικρότερα ποσά βροχόπτωσης σημειώνονται στην κεντρική Μακεδονία και Θεσσαλία. Οι Κυκλάδες και η Κρήτη εμφανίζουν βροχόπτωση που ξεπερνά τα 200mm, ποσό που αντιστοιχεί σχεδόν, στο μισό του συνολικού ύψους βροχής της περιοχής.



Σχήμα 3. Η γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης στην Ελλάδα για τις τέσσερις εποχές (Αναγνωστοπούλου, 2003)

Την άνοιξη, η κατανομή της βροχόπτωσης εμφανίζει ομοιότητες με αυτή του έτους. Έτσι, οι Κυκλάδες εμφανίζουν τα μικρότερα ποσά βροχής (< 100mm) και η βορειοδυτική Ελλάδα τα μεγαλύτερα ποσά. Το καλοκαίρι, εμφανίζεται σχεδόν μια ζωνική

κατανομή της βροχόπτωσης, με τα μεγαλύτερα ποσά βροχόπτωσης να εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα της χώρας (100mm) με σταδιακή μείωση τους προς τα νότια. Τέλος το φθινόπωρο, όπως και η άνοιξη εμφανίζει παρόμοια εικόνα με αυτή του έτους. Τα μεγαλύτερα ποσά βροχόπτωσης εμφανίζονται στη δυτική Ελλάδα και τα μικρότερα στις Κυκλάδες. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η δυτική Ελλάδα παραμένει στη διάρκεια όλων των εποχών ως η περιοχή που δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά βροχής, ενώ αντίθετα οι περιοχές που δέχονται τα μικρότερα ποσά βροχόπτωσης αλλάζουν από εποχή σε εποχή (Αναγνωστοπούλου, 2003).

Πολλές είναι οι μελέτες για τις βροχοπτώσεις στην Ελληνική περιοχή, από αυτές ορισμένες την εξετάζουν ως ένα τμήμα της Ευρώπης (Rockel & Karstens; 2001), και άλλες σαν τμήμα της Μεσογείου (Maheras, 1988; Jacobeit, 1987; Maheras and Kolyva-Mahera, 1990; Σαχσαμάνογλου και συνεργάτες, 1992; Norrant & Douguedroit, 2006). Ειδικότερα, οι Maheras and Anagnostopoulou (2003) μελέτησαν ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης από είκοσι ελληνικούς σταθμούς σε συνδυασμό με ημερήσιες τιμές γεωδυναμικών υψών για την περίοδο 1958 – 1997. Παρατηρήθηκε μείωση στις ετήσιες, χειμερινές και φθινοπωρινές τιμές βροχόπτωσης. Βρέθηκε ακόμη ότι οι έξι αντικυκλωνικοί τύποι με συχνότητα εμφάνισης 39,2% τη βροχερή περίοδο του έτους (Οκτώβριο – Μάρτιο) συνεισέφεραν στα πραγματικά ποσά βροχής μόλις 8,2 %. Αντίθετα, οι τέσσερις πιο «βροχεροί» τύποι κυκλοφορίας (C, C_{SW}, C_{NW}, C_W) μαζί, με συχνότητα εμφάνισης 37,8% προσέφεραν στο σύνολο των βροχοπτώσεων το 72% του πραγματικού ύψους βροχής (Maheras and Anagnostopoulou, 2003).

Πολλοί ερευνητές μελέτησαν ειδικότερα την περιοχή της Ελλάδας (Angouridakis and Flocas, 1979; Καραπιτέρης, 1973; Αρσένη - Παπαδημητρίου, 1992;). Σε πιο πρόσφατες μελέτες (Maheras et al, 2004) μελετήθηκε η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στους τύπους κυκλοφορίας και στις αλλαγές της μεταβλητότητας της βροχής στην Ελλάδα. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια θετική τάση για τις συχνότητες των αντικυκλωνικών τύπων και μια αρνητική τάση για τις συχνότητες των κυκλωνικών. Επίσης μελετήθηκε η σχέση ανάμεσα στα γεωδυναμικά ύψη στα 500hPa και στις βροχοπτώσεις (Xoplaki et al, 2000).

Ακόμη, έγιναν προσπάθειες σύγκρισης της βροχής μεταξύ των μεγαλύτερων αστικών κέντρων της Ελλάδας (Αθήνα – Θεσσαλονίκη) (Αρσένη – Παπαδημητρίου, 1994). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μηνιαίες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για χρονική περίοδο 130 ετών για την Αθήνα (1864 – 1993) και για περίοδο

102 ετών για την πόλη της Θεσσαλονίκης (1892 – 1993). Μεταξύ των αποτελεσμάτων ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαπίστωση της αύξησης των ανοιξιάτικων και των φθινοπωρινών βροχών με την ταυτόχρονη μείωση των χειμερινών. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε ότι οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις της Θεσσαλονίκης διαμορφώνονται σε υψηλότερα από της Αθήνας επίπεδα. Αντίθετα, οι μέσες βροχοπτώσεις των χειμερινών μηνών της πρώτης υπολείπονται εκείνων της Αθήνας. Από την ανάλυση της μέσης σειράς με τη μέθοδο Kruskal – Wallis φαίνεται ότι, η δεκαετία 1984 – 1993 είναι η ξηρότερη και για τις δύο πόλεις ενώ υγρότερη για μεν την Αθήνα είναι η δεκαετία 1874 – 1883 και για δε τη Θεσσαλονίκη η 1934 – 1943. Επίσης η διασπορά των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας είναι πολύ μικρή έναντι εκείνης της Θεσσαλονίκης. Τέλος, οι ετήσιες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν αξιοσημείωτες μειώσεις κατά τα τελευταία 7 – 8 χρόνια και στους δύο σταθμούς, όμως στην Αθήνα υπάρχουν ενδείξεις ανάκαμψης της πτωτικής τάσης τους κατά το 1993 (Αρσένη – Παπαδημητρίου, 1994).

Οι Σαχσαμάνογλου και συνεργάτες (1992), στην προσπάθεια τους να ερμηνεύσουν την μείωση που παρατηρείται στην ετήσια βροχόπτωση μετά το 1983 στην περιοχή της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας, παρατήρησαν ότι οι μειωμένες ετήσιες τιμές οφείλονται τόσο στη μείωση των βροχοπτώσεων του χειμερινού εξαμήνου όσο και του θερινού. Υποστήριξαν ότι η τάση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά την περίοδο αυτή πάνω από τον ευρύτερο χώρο της περιοχής που μελετήθηκε και στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa, παρατηρήθηκε μια μείωση της θετικής και επικράτηση για σημαντικό χρονικό διάστημα της αρνητικής μεταφοράς του απόλυτου στροβιλισμού. Το γεγονός αυτό σημαίνει μείωση της κυκλωνικής και αύξηση της αντικυκλωνικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης.

Με τα χαρακτηριστικά όμως των ημερήσιων και ωριαίων βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη ελάχιστοι ερευνητές έχουν ασχοληθεί. Οι Μαχαίρας και Γκίκα (1987) μελέτησαν ορισμένα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων που σχετίζονται με την ημερήσια πορεία αυτών χρησιμοποιώντας τα επεξεργασμένα στοιχεία του ημερήσιου βροχογράφου του Μετεωροσκοπείου του Α.Π.Θ (περίοδος 1955-1984). Παρατηρήθηκε, ότι η πορεία των ωριαίων βροχοπτώσεων παρουσιάζει τριπλή κύμανση με κύριο έντονο μέγιστο ανάμεσα στις 18:00 με 20:00, ενώ τα δύο άλλα μικρότερα εμφανίζονται ανάμεσα στις ώρες 2:00 με 4:00 και 8:00 με 10:00. Επίσης, οι ζώνες μέγιστης συχνότητας των μέγιστων ωριαίων εντάσεων, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος απ' ότι κατά τη διάρκεια της χειμερινής. Αυτές οι τελευταίες κατά

προτίμηση εντοπίζονται γύρω στις πρώτες μεταμεσημβρινές ώρες και διαρκούν μέχρι τη δύση του ηλίου (Μαχαίρας και Γκίκα, 1987).

Οι Φλόκας και Giles (1990) μελέτησαν την ημερήσια μεταβολή της βροχόπτωσης στη Θεσσαλονίκη χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές βροχόπτωσης από το μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1947-1985. Παρατηρήθηκαν δύο μέγιστα βροχής κατά τη διάρκεια του 24ώρου, ένα στις 18:00 και ένα δεύτερο στις 20:00. Η περίοδος της ημέρας από τις 12:00 μέχρι τις 20:00 συνεισφέρει το 40% της ολικής ετήσιας βροχής, ενώ για το διάστημα από τις 16:00-20:00 το ποσό βροχόπτωσης είναι ίσο με 23%. Επίσης, παρατηρήθηκε μόνο μια μικρή διαφορά ανάμεσα στην ποσότητα βροχής που πέφτει την ημέρα (8:00-20:00) και την νύχτα (20:00-8:00). Ο διαχωρισμός του έτους σε υγρή περίοδο (Νοέμβριος – Απρίλιος) και σε ξηρή (Μάιος – Οκτώβριος) έδειξε ότι δεν υπάρχει σαφής αύξηση της βροχόπτωσης σε συγκεκριμένες ώρες την ξηρή περίοδο. Αντίθετα, κατά την υγρή περίοδο εντοπίστηκε ένα απογευματινό μέγιστο μεταξύ 18:00 και 20:00. Τέλος το διάστημα 0:00 - 8:00 βρέθηκε να συνεισφέρει 12% στο ημερήσιο συνολικό ποσό βροχής στην ξηρή περίοδο του έτους, ποσοστό που φτάνει στο 19% κατά την υγρή περίοδο.

Ο Πέννας (1992) μελετώντας την ημερήσια και ετήσια βροχόπτωση στη Θεσσαλονίκη χρησιμοποιώντας μια χρονοσειρά 39 ετών (1947-1985) ωριαίων τιμών βροχοπτώσεων ομαδοποίησε τις βροχοπτώσεις σε ασθενείς, μέτριες και ισχυρές. Παρατηρήθηκε ότι από τις τρεις ομάδες των βροχών οι ασθενείς καλύπτουν το 50% περίπου του συνολικού ετήσιου βροχομετρικού ύψους. Η ετήσια πορεία του ποσοστού με το οποίο συμμετέχουν στη βροχόπτωση κάθε μήνα παρουσιάζει μια τάση μείωσης από την υγρή προς την ξηρή περίοδο και μια αύξηση από την ξηρή προς την υγρή. Το μέγιστο σημειώνεται τον Ιανουάριο και το ελάχιστο τον Ιούλιο. Η ίδια παρατήρηση για τις μέτριες βροχές μας δίνει μια εικόνα σταθερής συμμετοχής, στη μηνιαία βροχόπτωση, περίπου 30%, για το σύνολο των μηνών όλων των περιόδων. Οι ισχυρές βροχές παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσά το εξάμηνο Μαΐου – Οκτωβρίου (περίπου 8 – 10 χιλιοστά κάθε μήνα) και τα υψηλότερα ποσοστά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, περίπου 40%. Παρουσιάζουν δε το μικρότερο ενδιαφέρον από τις άλλες ομάδες, όσον αφορά την ωφέλεια των βροχοπτώσεων, για τους γνωστούς λόγους της ταχείας απορροής και των υψηλών τιμών της εξάτμισης τις ώρες που σημειώνονται.

Σε μια προσπάθεια στατιστικής ανάλυσης των ημερήσιων βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη οι Μαχαίρας και συνεργάτες (1999) χρησιμοποίησαν τα ημερήσια ύψη

βροχής του σταθμού της Θεσσαλονίκης για τη χρονική περίοδο 1946 – 1997. Εκτός των άλλων παρατήρησαν ότι η βροχόπτωση στην πόλη της Θεσσαλονίκης παρουσιάζει διπλή κύμανση με πρωτεύον μέγιστο το Νοέμβριο και δευτερεύον το Μάιο. Τα αντίστοιχα ελάχιστα παρατηρούνται τον Αύγουστο και τον Φεβρουάριο. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη παρουσιάζουν παρόμοια κύμανση, ενώ τα πραγματικά ύψη βροχής παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική εικόνα. Τα ετήσια ύψη βροχής παρουσιάζουν σημαντική συνεχή ελάττωση κατά τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου, ενώ ο αριθμός των ημερών βροχόπτωσης παρουσιάζει και αυτός ελάττωση αλλά όχι τόσο σημαντική όσο αυτή των υψών (Μαχαίρας και συνεργάτες, 1999).

1.2 Δεδομένα – Χαρακτηριστικά της μελέτης

Πριν προχωρήσουμε στη μελέτη και ανάλυση των δεδομένων κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν μερικές πληροφορίες για το μετεωρολογικό σταθμό τα στοιχεία του οποίου χρησιμοποιήθηκαν καθώς και μερικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Το Μετεωροσκοπείο ιδρύθηκε από τον καθηγητή Μαριολόπουλο και ανήκει στον τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα όργανα υπαίθρου του σταθμού εγκαταστάθηκαν εντός του κήπου του Πανεπιστημίου, βορειοδυτικώς του κτιρίου. Το βαρόμετρο, ο ηλιογράφος, και τα ανεμογραφικά όργανα βρίσκονται στο εσωτερικό του κτιρίου και στη στέγη αυτού αντίστοιχα (Κυριαζόπουλος, 1939).

Η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης (40.5°N, 22.9°E) αναπτύσσεται κατά μήκος της βορειοανατολικής ακτής του Θερμαϊκού κόλπου. Ανατολικά της πόλης υπάρχει το όρος Χορτιάτης (ύψους 1200m), ενώ βορειοανατολικά βρίσκεται η λοφοσειρά του Ασβεστοχωρίου (ύψους 460m). Βορειοδυτικά του πολεοδομικού συγκροτήματος και σε μεγάλη έκταση εκτείνεται η πεδιάδα των ποταμών Γαλλικού – Αξιού – Αλιάκμονα. Νοτίως της Θεσσαλονίκης στην παραλιακή οδό πλησίον της Ελληνικής Γεωργικής Σχολής τα υψόμετρα κυμαίνονται στα 30m. Ο εσωτερικός Θερμαϊκός κόλπος (κόλπος της Θεσσαλονίκης) έχει πλάτος περίπου 12km και μήκος 20km ενώ παρουσιάζει μέγιστα βάθη 20 – 21m. Στη μεταξύ του Μικρού και Μεγάλου Εμβόλου λεκάνη τα βάθη δεν υπερβαίνουν τα 27m στο κέντρο και τα 33m στην έξοδο. Το μέγιστο βάθος μεταξύ του Μεγάλου Εμβόλου και του φάρου της Επανομής είναι 42m.

Οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι βόρειοι βορειοδυτικοί την ψυχρή περίοδο του έτους (Οκτώβριο – Μάρτιο), ενώ κατά τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) έχουμε αύξηση των νοτίων ανέμων λόγω του φαινομένου της θαλάσσιας και απόγειας αύρας.

1.3 Διάρθρωση εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας μελετώνται τα επεισόδια βροχής χρησιμοποιώντας δεδομένα ωριαίων τιμών βροχόπτωσης για μια περίοδο 57 ετών (1947 – 2003). Υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων βροχής κατά μήνα και κατ' έτος καθώς και η απόλυτη μηνιαία και ετήσια μεταβλητότητα αυτών. Στη συνέχεια μελετάται η κατανομή των ωρών έναρξης και λήξης των βροχοπτώσεων κατά επεισόδιο, μήνα και έτος προκειμένου να βρεθούν οι ώρες της ημέρας που παρουσιάζουν μέγιστες συχνότητες έναρξης ή λήξης επεισοδίων για την πόλη της Θεσσαλονίκης.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετάται η ημερήσια πορεία των βροχών κατά μήνα εποχή και έτος, ενώ υπολογίζονται τα πραγματικά ύψη βροχής που προέκυψαν από τις ωριαίες τιμές βροχόπτωσης για το ίδιο διάστημα μελέτης (1947 – 2003).

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η μηνιαία και ωριαία κατανομή των συχνοτήτων των μέγιστων ωριαίων εντάσεων της βροχής ανά επεισόδιο καθώς και το πραγματικό ύψος βροχής που αυτές αποδίδουν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετήθηκαν οι τάσεις που παρουσιάζουν οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης στη Θεσσαλονίκη για το χρονικό διάστημα 1947 – 2003 σε ετήσια και εποχική κλίμακα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται έλεγχος της σημαντικότητας των τάσεων αυτών με το Kendall – t test και διόρθωση εφόσον βρεθούν στατιστικά σημαντικές, προκειμένου να υπολογιστούν οι περιόδοι επανάληψης των ωριαίων μέγιστων τιμών βροχόπτωσης με τη βοήθεια της μεθόδου στατιστικής επεξεργασίας των ακραίων τιμών (μέθοδος Gumbel). Η μελέτη γίνεται σε ετήσια και σε εποχική κλίμακα.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των συμπερασμάτων.

2. ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΒΡΟΧΗΣ

Ως επεισόδιο βροχής ορίζεται το διάστημα κατά το οποίο παρατηρείται συνεχόμενη βροχόπτωση ανεξαρτήτου έντασης, και ύψους βροχής που αποφέρει. Στην παρούσα μελέτη στο πρώτο της στάδιο ως κατώφλι συνολικού ύψους βροχής ανά επεισόδιο θεωρήθηκε το 0,0 χιλιοστά, δηλαδή ως ώρες βροχής υπολογίστηκαν και οι ώρες κατά τις οποίες ο βροχογράφος έδωσε μετρήσεις ελάχιστης βροχόπτωσης (0,0 χιλιοστά), τιμή που διαφέρει στη Μετεωρολογία από το 0 που αντιστοιχεί σε απουσία βροχής. Σε επόμενο στάδιο της μελέτης όπου μελετώνται οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις των επεισοδίων βροχής, ως κατώφλι θεωρήθηκε η τιμή 0,1 χιλιοστά καθώς επεισόδια βροχής αποκλειστικά αποτελούμενα από ωριαίες μετρήσεις 0,0 χιλιοστά όπως είναι φυσικό παρουσιάζουν μηδενική μέγιστη ωριαία ένταση και οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα.

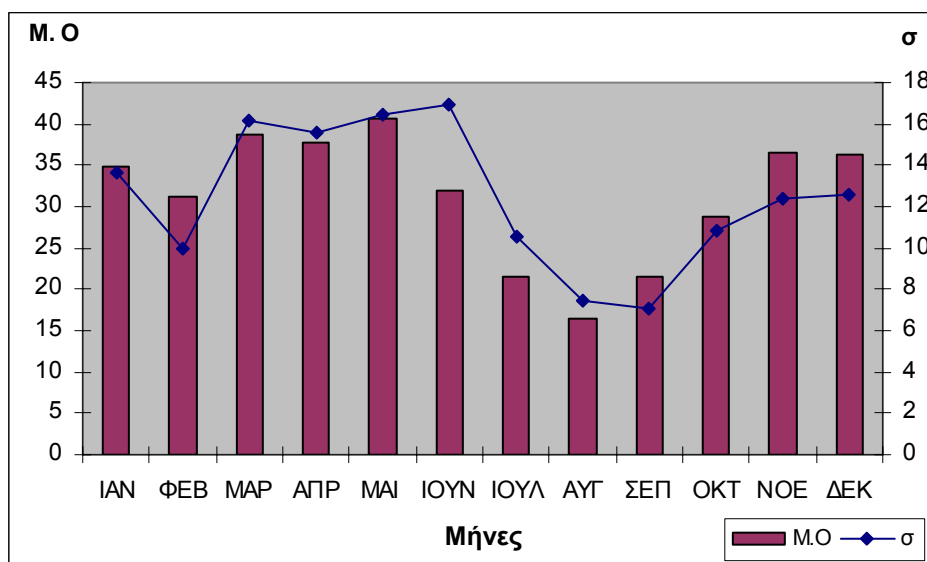
Η μελέτη των επεισοδίων βροχής παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί λόγω της έντονης μορφολογίας της πόλης της Θεσσαλονίκης καθώς και της ώρας κατά την οποία σημειώνεται ένα επεισόδιο είναι διαφορετική η εξάτμιση, η κατείδυση και η απορροή του ποσού βροχής που φτάνει στο έδαφος ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια του επεισοδίου. Επεισόδια που δίνουν μεγάλα ύψη βροχής σε μεγάλο χρονικό διάστημα συνεισφέρουν στον υδρολογικό κύκλο του νερού πολύ διαφορετικά από ότι επεισόδια με την ίδια ποσότητα βροχής τα οποία έχουν όμως μικρότερη διάρκεια. Ακόμη πανομοιότυπα επεισόδια βροχής αποδίδουν με διαφορετικό τρόπο στον υδρολογικό κύκλο του νερού ανάλογα με την ώρα της ημέρας που εκδηλώνονται λόγω της εξάτμισης.

Όσον αφορά τα δεδομένα, πρόκειται για ωριαίες τιμές βροχόπτωσης για το διάστημα 1947 – 2003. Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά μελετάται η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων βροχής ανά μήνα και ανά έτος, καθώς επίσης και η απόλυτη μηνιαία και ετήσια μεταβλητότητα αυτών. Στη συνέχεια μελετάται η κατανομή των ωρών έναρξης και λήξης των βροχοπτώσεων κατά επεισόδιο, μήνα και έτος.

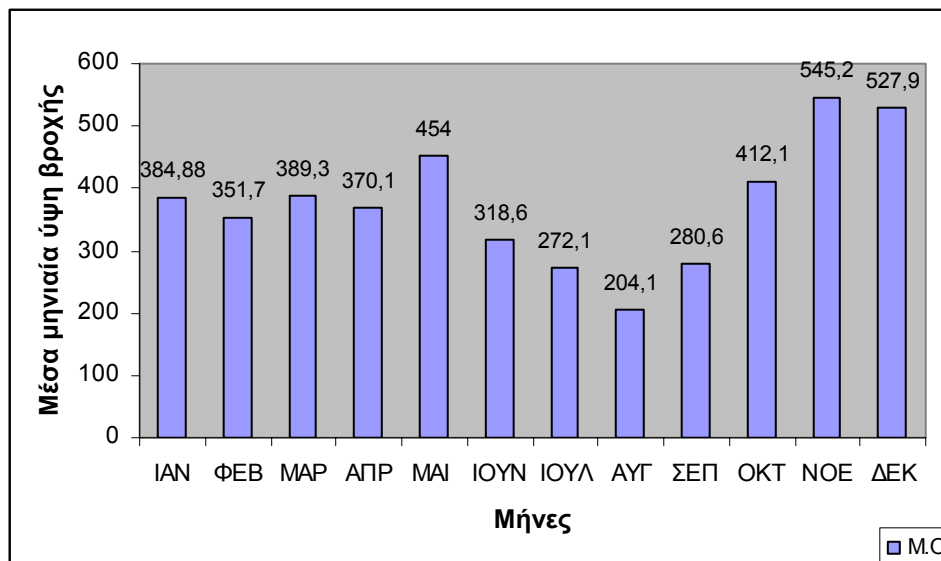
2.1 Συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων και απόλυτη μηνιαία και ετήσια μεταβλητότητα αυτών.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ωριαίων βροχοπτώσεων που μελετάται σε πρώτο στάδιο στην παρούσα εργασία είναι η συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων βροχής ανά μήνα και ανά έτος καθώς επίσης και η απόλυτη μηνιαία και ετήσια μεταβλητότητα αυτών. Στη χρονική περίοδο μελέτης εντοπίστηκαν 9031 επεισόδια βροχής με διαπιστωμένες ενάρξεις και λήξεις μέσα στο διάστημα από 1 Ιανουαρίου 1947 μέχρι 31 Δεκεμβρίου 2003.

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται ο μέσος όρος εμφάνισης των ενάρξεων των επεισοδίων βροχής ανά μήνα καθώς επίσης και η τυπική απόκλιση αυτών, ενώ στο Σχήμα 5 τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής ανά μήνα. Στο Σχήμα 6 απεικονίζονται οι ίδιες παράμετροι βασιζόμενες στις ώρες λήξεως των επεισοδίων. Όπως φαίνεται από τα σχήματα η καμπύλη του μηνιαίου μέσου όρου εμφανίζει τριπλή κύμανση η οποία είναι περίπου αντίστοιχη της πορείας των μέσων μηνιαίων υψών βροχόπτωσης (Angouridakis and Machairas, 1973).

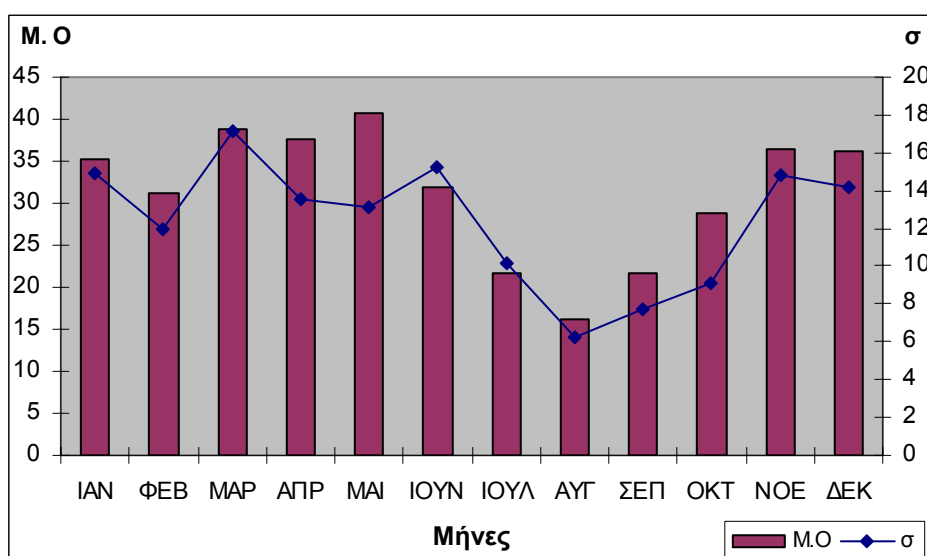


Σχήμα 4. Μέσος όρος εμφάνισης των ενάρξεων των επεισοδίων βροχής κατά μήνα και τυπική απόκλιση αυτών.



Σχήμα 5. Μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης.

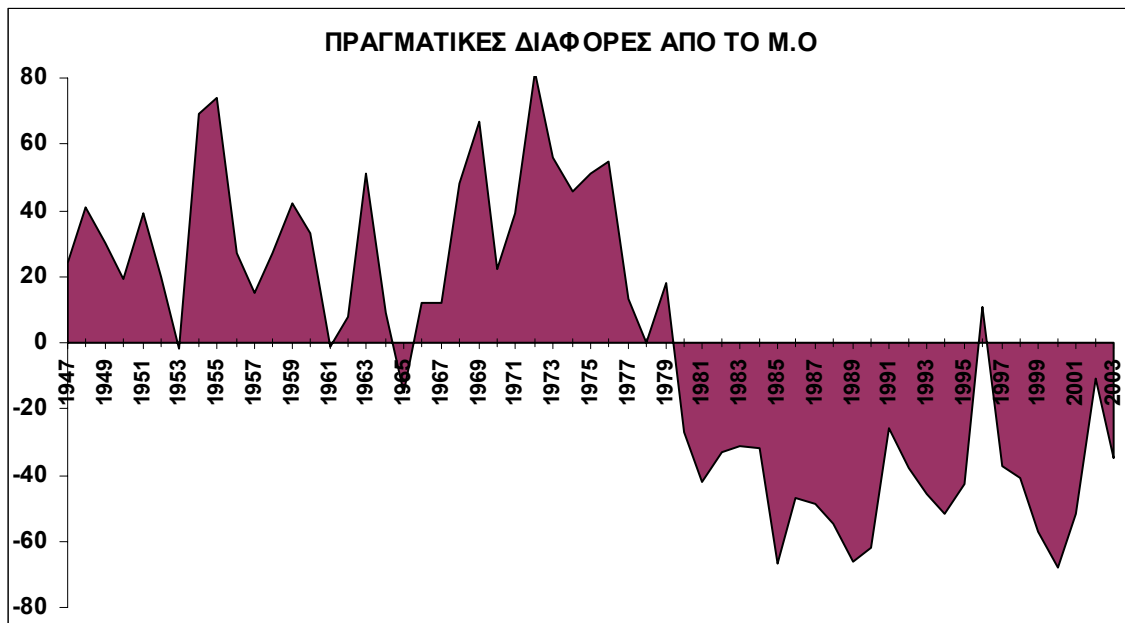
Τα δύο σχήματα (του μέσου όρου εμφάνισης των επεισοδίων και των μέσων μηνιαίων υψών) διαφέρουν ως προς τα κύρια μέγιστα όπου, στις μεν συχνότητες εμφάνισης, σημειώνονται τον Μάιο ενώ, στις βροχοπτώσεις, τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο. Το Μάιο εμφανίζεται για τις βροχοπτώσεις η τρίτη μέγιστη τιμή ενώ το πρωτεύον ελάχιστο, το Αύγουστο, είναι κοινό τόσο για τις βροχοπτώσεις όσο και για το μέσο όρο εμφάνισης των ενάρξεων και λήξεων των επεισοδίων βροχής. Όσον αφορά στις τυπικές αποκλίσεις, αυτές ακολουθούν την ίδια σχεδόν πορεία με τον αριθμό επεισοδίων με μια μικρή διαφορά κατά τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.



Σχήμα 6. Μέσος όρος εμφάνισης των λήξεων των επεισοδίων βροχής κατά μήνα και τυπική απόκλιση αυτών.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η μεταβλητότητα του αριθμού επεισοδίων από έτος σε έτος σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο επεισοδίων όλης της χρονοσειράς που υπολογίστηκε ίσος με 158. Για την κατασκευή του σχήματος αυτού υπολογίστηκε αρχικά ο αριθμός των επεισοδίων (βάση των ενάρξεων αυτών) της μελετούμενης περιόδου 1947 - 2003 και οι διαφορές του αριθμού αυτού από τον ετήσιο μέσο όρο των επεισοδίων.

Παρατηρώντας το Σχήμα 7 είναι εμφανές ότι υπάρχει μια έντονη μεταβολή της τάσης με έναρξη το έτος 1980. Ειδικότερα, από την αρχή της χρονοσειράς και μέχρι το 1979 η πλειοψηφία των τιμών εμφανίζεται θετική γεγονός που σημαίνει ότι ο αριθμός των καταμετρημένων επεισοδίων βροχής είναι μεγαλύτερος από το Μ.Ο των επεισοδίων της χρονοσειράς που υπολογίστηκε ίσο με 158 επεισόδια βροχής. Εξαιρέσεις στο διάστημα 1947 – 1980 αποτελούν τα έτη: 1953 με 156 επεισόδια (2 λιγότερα από το Μ.Ο), 1961 με 157 επεισόδια (1 λιγότερο από το Μ.Ο), και το 1965 με 143 επεισόδια (15 λιγότερα από το Μ.Ο).



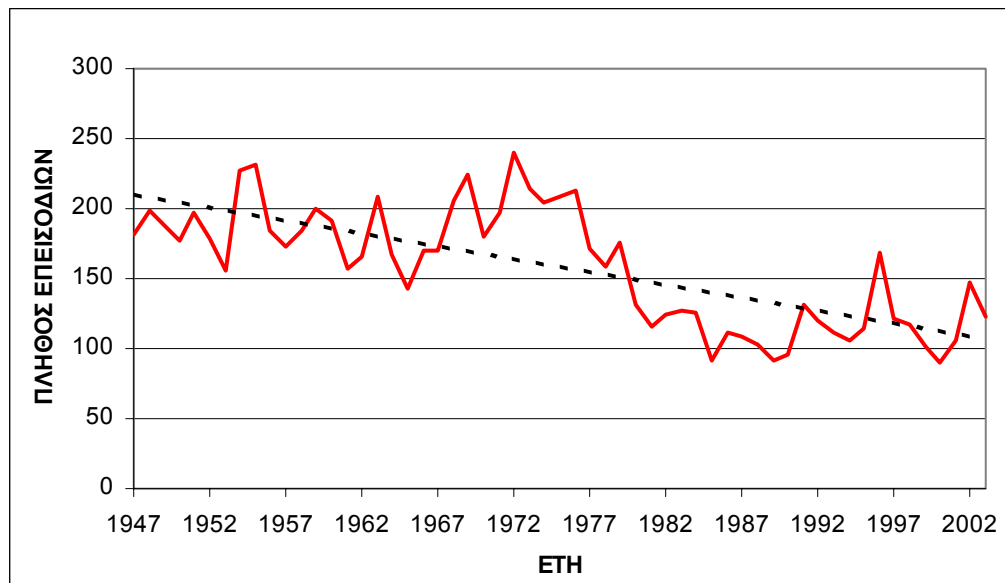
Σχήμα 7. Μεταβλητότητα του αριθμού επεισοδίων από έτος σε έτος σε σχέση με το Μ.Ο, (με όριο βροχόπτωσης το 0,0 χιλιοστά).

Από το 1980 και μέχρι το τέλος της χρονικής περιόδου μελέτης η κατάσταση αντιστρέφεται με αποτέλεσμα η πλειοψηφία των ετών να παρουσιάζει αρνητικές τιμές, δηλαδή ο αριθμός των καταμετρημένων επεισοδίων να είναι μικρότερος από το Μ.Ο της χρονοσειράς, εξαίρεση αποτελεί το έτος 1996 με 169 επεισόδια (11 περισσότερα από το Μ.Ο).

Όσον αφορά τις μέγιστες θετικές διαφορές εμφανίζονται όπως φαίνεται από το Σχήμα 7 στα έτη 1954 (+69), 1955 (+74), 1969 (+67) και 1972 (+82) που αποτελεί και τη

μέγιστη διαφορά από το Μ.Ο και αντιστοιχεί σε 240 επεισόδια, τα περισσότερα επεισόδια βροχής που καταγράφηκαν στη μελετούμενη περίοδο. Αντίθετα τις μέγιστες αρνητικές διαφορές εμφανίζουν οι χρονιές 1985 (-67), 1989 (-66), 1990 (-62) και 2000 (-68) που αποτελεί και τη μέγιστη αρνητική διαφορά καθώς είναι η χρονιά που καταγράφηκαν τα λιγότερα επεισόδια βροχής (συνολικά 90 επεισόδια). Υπενθυμίζεται ότι όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τις ενάρξεις των επεισοδίων, επομένως όλα τα επεισόδια αποδόθηκαν στα έτη που παρουσιάζεται η έναρξή τους για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές.

Προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων του προηγούμενου σχήματος (Σχήμα 7), έγινε γραφική παράσταση του πλήθους των ενάρξεων των επεισοδίων ανά έτος χωρίς τη χρήση του μέσου όρου για να βρεθεί, εάν υπάρχει, η έντονη αρνητική τάση που παρατηρείται από το 1980 και μέχρι το 2003 (Σχήμα 8). Όπως παρατηρείται από το Σχήμα είναι εμφανής η πτωτική τάση (μαύρη διάστικτη γραμμή) χωρίς να μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι αυτή η μείωση είναι σταθερή από έτος σε έτος ή ότι οφείλεται σε κάποιο σπάσιμο της χρονοσειράς το 1980.

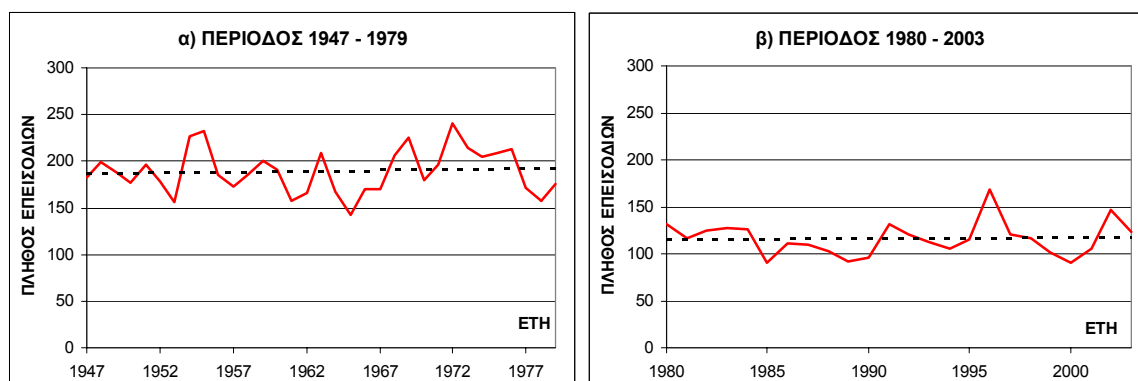


Σχήμα 8. Πλήθος επεισοδίων στη μελετούμενη περίοδο.

Από την αρχή της μελέτης θεωρήθηκε ως κατώφλι για τον υπολογισμό των ενάρξεων των επεισοδίων η τιμή 0,0 χιλιοστά η οποία αντιστοιχεί σε ελάχιστη βροχόπτωση που καταγράφεται όμως από τον βροχογράφο. Πολλά από τα επεισόδια που υπολογίστηκαν επομένως ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία (πρόκειται για διαδοχικές ώρες οι οποίες εμφανίζουν ωριαία τιμή βροχόπτωσης 0,0 χιλιοστών χωρίς να μεσολαβεί κάποια

μεγαλύτερη τιμή βροχόπτωσης). Από το σύνολο των 9031 επεισοδίων που βρέθηκαν (χρησιμοποιώντας σαν κατώφλι την τιμή 0,0 χιλιοστά) 3246 ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία, δίνοντας στην ουσία μηδενική ποσότητα βροχής και 5785 επεισόδια δίνοντας ποσότητα βροχής μεγαλύτερη ή ίση με 0,1 χιλιοστά. Πρόκειται, επομένως, για ένα πολύ μεγάλο ποσοστό το οποίο μετριέται στην ουσία πολύ δύσκολα. Μια πιθανή αλλαγή του φυσικού περιβάλλοντος του βροχογράφου (βλάστηση, δόμηση, καναλισμός αέριας μάζας) ή μια πιθανή μετακίνηση του σταθμού θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα το φαινόμενο που παρατηρήθηκε.

Το συμπέρασμα αυτό ενισχύει η μελέτη του πλήθους των επεισοδίων αν χωριστεί η χρονοσειρά μελέτης σε δύο μικρότερες, η πρώτη από το 1947 μέχρι το 1979 και η δεύτερη από το 1980 μέχρι το 2003 (Σχήμα 9).

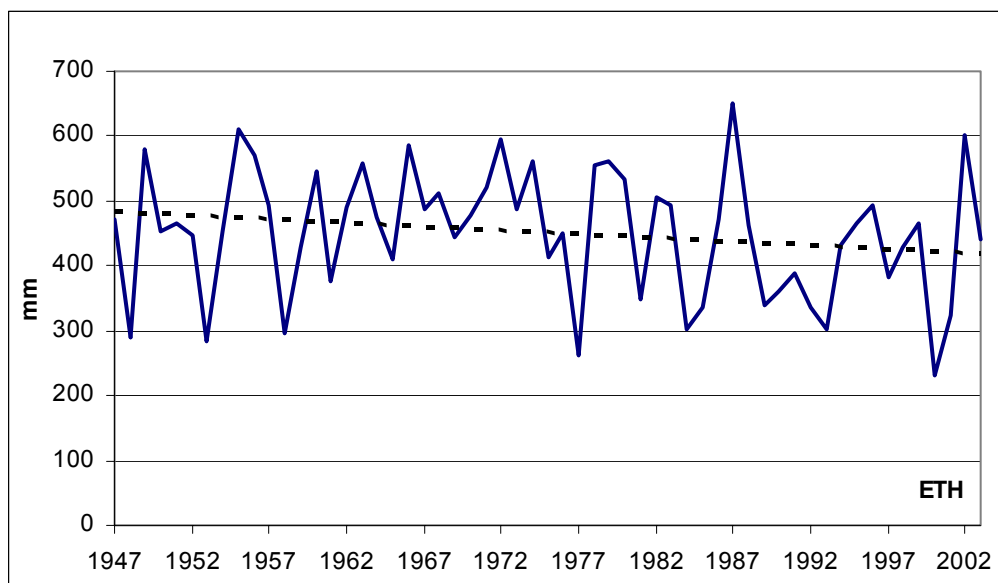


Σχήμα 9. Πλήθος επεισοδίων και τάση αυτών για 2 περιόδους α) (1947 - 1979) και β) (1980 - 2003).

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 9 την περίοδο 1947 - 1979 παρατηρείται πολύ μεγαλύτερο πλήθος επεισοδίων, δεν διακρίνεται όμως καμία τάση. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για το πλήθος των επεισοδίων την περίοδο 1980 - 2003 το οποίο μπορεί να είναι πολύ μικρότερο αλλά δεν εμφανίζει τάση. Αυτή η μείωση, επομένως, μπορεί να οφείλεται, εκτός από την ελάττωση του ύψους της βροχόπτωσης που παρατηρείται στο σταθμό, στην αδυναμία του βροχογράφου να καταγράφει τα επεισόδια οριακής βροχόπτωσης (0,0 χιλιοστά) λόγω πιθανής αλλαγής του οργάνου, εξάτμισης, βλάστησης ή άλλων πιθανών εμποδίων από το 1980 και μέχρι το τέλος της μελετούμενης περιόδου.

Μια τέτοια μεταφορά του σταθμού ή αλλαγή του περιβάλλοντα χώρου του δεν θα αποτυπωνόταν στο συνολικό ετήσιο ύψος βροχής καθώς τα επεισόδια που θεωρήθηκαν ότι αδυνατούσε να καταγράψει ο βροχογράφος από το 1980 και μέχρι το 2003 αποδίδουν μηδενική ποσότητα βροχής στο σύνολό τους. Υπολογίστηκε λοιπόν το σύνολο της

ποσότητας βροχής σε χιλιοστά για το κάθε έτος με τη χρήση των ωριαίων τιμών βροχόπτωσης και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 10. Μελετώντας το Σχήμα παρατηρείται και εδώ μια ελάττωση της συνολικής ποσότητας βροχής η οποία δεν είναι όμως τόσο σημαντική όσο αυτή που διαπιστώθηκε στο πλήθος των επεισοδίων. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι η μείωση των επεισοδίων μπορεί να οφείλεται τόσο στην αλλαγή του περιβάλλοντα χώρου του βροχογράφου όσο και στη γενικότερη ελάττωση που παρατηρείται στην ποσότητα της βροχής που φτάνει στο έδαφος και προφανώς μεταφράζεται και σε ελάττωση των επεισοδίων.

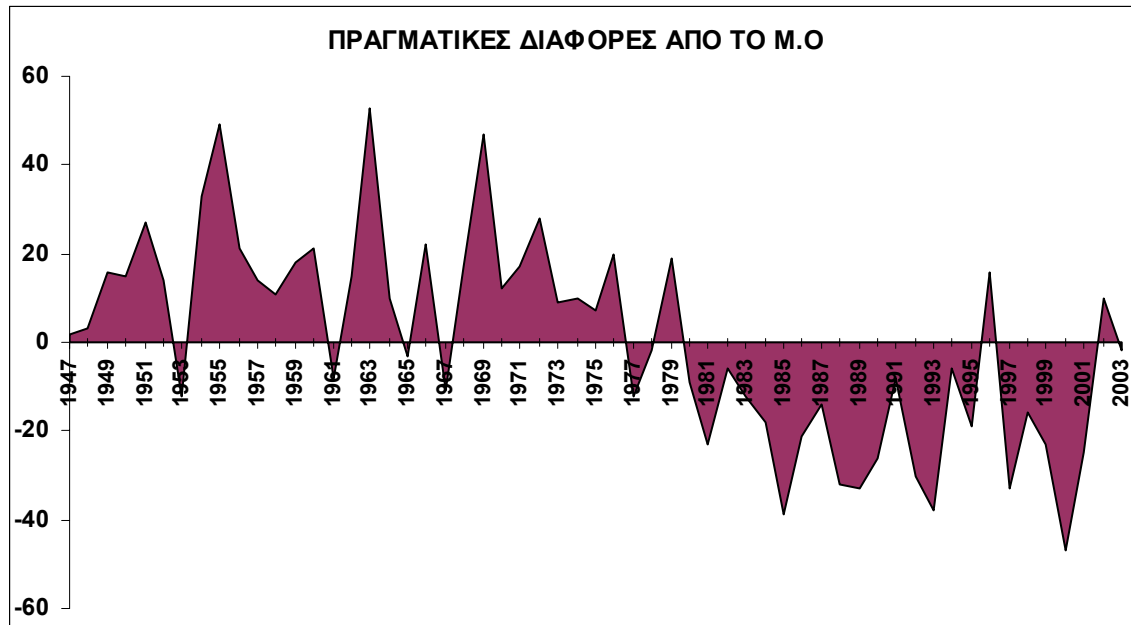


Σχήμα 10. Συνολική ποσότητα βροχής ανά έτος.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η μεταβλητότητα του αριθμού επεισοδίων από έτος σε έτος χωρίς να συμπεριληφθούν τα επεισόδια βροχής με τιμή 0,0 χιλιοστά (Σχήμα 11). Για την κατασκευή του σχήματος αυτού υπολογίστηκε αρχικά ο αριθμός των επεισοδίων (βάσει των ενάρξεων αυτών) της μελετούμενης περιόδου 1947 – 2003. Συνολικά βρέθηκαν 5785 ενάρξεις που αντιστοιχούν σε 5785 επεισόδια και οι διαφορές του αριθμού αυτού από τον ετήσιο μέσο όρο των επεισοδίων (τιμές επίσης βασισμένες στις ενάρξεις των επεισοδίων για να είναι δυνατή η σύγκριση) ο οποίος υπολογίστηκε ίσος με 101 για τα νέα δεδομένα.

Και από αυτό το Σχήμα είναι εμφανής η έντονη μεταβολή που υπάρχει το 1980. Το πλήθος των επεισοδίων είναι σαφώς μικρότερο όμως και πάλι από την αρχή της χρονοσειράς και μέχρι το 1979 η πλειονότητα των τιμών εμφανίζεται θετική γεγονός που σημαίνει ότι ο αριθμός των καταμετρημένων επεισοδίων βροχής είναι μεγαλύτερος από το Μ.Ο των επεισοδίων της χρονοσειράς που υπολογίστηκε ίσο με 101. Αντίθετα, από το

1980 και μέχρι το τέλος της μελετούμενης χρονοσειράς η πλειονότητα των τιμών εμφανίζεται αρνητική, γεγονός που σημαίνει ότι ο αριθμός των καταμετρημένων επεισοδίων είναι μικρότερος από το Μ.Ο.



Σχήμα 11. Μεταβλητότητα του αριθμού επεισοδίων από έτος σε έτος σε σχέση με το Μ.Ο (με όριο βροχόπτωσης τα 0,1 χιλιοστά).

Συνοψίζοντας, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η απότομη μείωση του πλήθους των επεισοδίων βροχής από το 1980 και έπειτα σίγουρα δεν οφείλεται σε κάποια οριακή μεταβολή της ευαισθησίας του σταθμού. Πιθανόν να οφείλεται στη γενικότερη ελάττωση των βροχοπτώσεων από το 1980 και μετά, καθώς και το συνολικό ύψος βροχής που φτάνει στον βροχογράφο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης φαίνεται να παρουσιάζει αρνητική τάση.

2.2 Ενάρξεις και λήξεις των επεισοδίων βροχής

Στη συνέχεια μελετήθηκε η κατανομή των ωρών έναρξης και λήξης των βροχοπτώσεων ανά επεισόδιο, μήνα και έτος. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε αρχικά το πλήθος των ενάρξεων των επεισοδίων που παρατηρήθηκε ανά ώρα (Πίνακας 1). Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι απόλυτες συχνότητες των ωρών έναρξης των επεισοδίων βροχής κατά μήνα (9031 ενάρξεις στο σύνολό τους), κατανεμημένες ανά ώρα. Υπολογίστηκε επίσης το πλήθος των ενάρξεων σε ετήσια βάση καθώς και το σύνολο των επεισοδίων για τη θερινή (Μάιος – Σεπτέμβριος) και τη χειμερινή (Οκτώβριος – Απρίλιος) περίοδο του έτους.

Πίνακας 1. Απόλυτες συχνότητες του πλήθους των ωρών έναρξης των επεισοδίων βροχής.

Ενάρξεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ι	76	23	30	15	30	27	39	47	41	35	39	43	30	55	30	22	23	42	38	52	35	30	19	18
Φ	48	16	25	20	20	28	31	50	50	38	35	33	24	37	33	25	25	35	32	49	23	23	28	23
Μ	76	25	37	15	28	24	33	74	48	28	33	37	34	69	40	25	51	45	43	53	32	27	25	28
Α	70	16	22	22	21	21	21	55	30	25	36	36	38	67	40	42	50	54	47	60	43	36	29	23
Μ	69	41	30	24	22	24	27	48	27	27	28	29	32	61	43	34	58	67	65	68	57	36	34	24
Ι	45	22	20	15	12	12	22	25	18	5	24	23	25	47	33	43	38	75	58	54	49	40	23	36
Ι	23	21	17	9	8	13	15	18	18	8	14	8	17	23	28	22	23	31	48	41	37	29	30	15
Α	21	9	11	12	7	12	11	21	11	14	7	13	7	17	23	20	18	19	32	33	16	24	25	10
Σ	28	15	9	13	19	20	18	32	15	14	21	18	17	28	17	21	31	27	32	37	25	17	21	23
Ο	45	22	21	19	20	20	32	66	28	12	36	34	27	37	26	20	28	34	34	32	25	26	22	23
Ν	85	23	33	31	29	36	36	49	41	38	26	42	34	44	34	31	43	30	39	41	35	21	27	31
Δ	68	25	27	22	26	22	37	56	41	28	38	32	49	58	26	29	40	42	42	51	31	32	23	28
Ετήσια	654	258	282	217	242	259	322	541	368	272	337	348	334	543	373	334	428	501	510	571	408	341	306	282
Χειμερινή	468	150	195	144	174	178	229	397	279	204	243	257	236	367	229	194	260	282	275	338	224	195	173	174
Θερινή	186	108	87	73	68	81	93	144	89	68	94	91	98	176	144	140	168	219	235	233	184	146	133	108

Πίνακας 2. Σχετικές συχνότητες του πλήθους των ωρών έναρξης των επεισοδίων βροχής.

Ενάρξεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ι	0,84	0,25	0,33	0,17	0,33	0,30	0,43	0,52	0,45	0,39	0,43	0,48	0,33	0,61	0,33	0,24	0,25	0,47	0,42	0,58	0,39	0,33	0,21	0,20
Φ	0,53	0,18	0,28	0,22	0,22	0,31	0,34	0,55	0,55	0,42	0,39	0,37	0,27	0,41	0,37	0,28	0,28	0,39	0,35	0,54	0,25	0,25	0,31	0,25
Μ	0,84	0,28	0,41	0,17	0,31	0,27	0,37	0,82	0,53	0,31	0,37	0,41	0,38	0,76	0,44	0,28	0,56	0,50	0,48	0,59	0,35	0,30	0,28	0,31
Α	0,78	0,18	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,61	0,33	0,28	0,40	0,40	0,42	0,74	0,44	0,47	0,55	0,60	0,52	0,66	0,48	0,40	0,32	0,25
Μ	0,76	0,45	0,33	0,27	0,24	0,27	0,30	0,53	0,30	0,30	0,31	0,32	0,35	0,68	0,48	0,38	0,64	0,74	0,72	0,75	0,63	0,40	0,38	0,27
Ι	0,50	0,24	0,22	0,17	0,13	0,13	0,24	0,28	0,20	0,06	0,27	0,25	0,28	0,52	0,37	0,48	0,42	0,83	0,64	0,60	0,54	0,44	0,25	0,40
Ι	0,25	0,23	0,19	0,10	0,09	0,14	0,17	0,20	0,20	0,09	0,16	0,09	0,19	0,25	0,31	0,24	0,25	0,34	0,53	0,45	0,41	0,32	0,33	0,17
Α	0,23	0,10	0,12	0,13	0,08	0,13	0,12	0,23	0,12	0,16	0,08	0,14	0,08	0,19	0,25	0,22	0,20	0,21	0,35	0,37	0,18	0,27	0,28	0,11
Σ	0,31	0,17	0,10	0,14	0,21	0,22	0,20	0,35	0,17	0,16	0,23	0,20	0,19	0,31	0,19	0,23	0,34	0,30	0,35	0,41	0,28	0,19	0,23	0,25
Ο	0,50	0,24	0,23	0,21	0,22	0,22	0,35	0,73	0,31	0,13	0,40	0,38	0,30	0,41	0,29	0,22	0,31	0,38	0,38	0,35	0,28	0,29	0,24	0,25
Ν	0,94	0,25	0,37	0,34	0,32	0,40	0,40	0,54	0,45	0,42	0,29	0,47	0,38	0,49	0,38	0,34	0,48	0,33	0,43	0,45	0,39	0,23	0,30	0,34
Δ	0,75	0,28	0,30	0,24	0,29	0,24	0,41	0,62	0,45	0,31	0,42	0,35	0,54	0,64	0,29	0,32	0,44	0,47	0,47	0,56	0,34	0,35	0,25	0,31

Προκειμένου να κατασκευαστούν οι καμπύλες μέγιστης συχνότητας, υπολογίστηκαν οι σχετικές συχνότητες ενάρξεων των επεισοδίων βροχής (Πίνακας 2) ως προς το συνολικό πλήθος αυτών, 9031 ενάρξεις. Ως κατώφλι για τη χάραξη των ισοπληθών μεγίστων συχνοτήτων για τις ενάρξεις των επεισοδίων χρησιμοποιήθηκε η τιμή που αντιστοιχεί στο 5% της αντίστοιχης αθροιστικής συχνότητας κάθε μήνα. Η επιλογή της τιμής αυτής σαν κατώφλι έγινε προκειμένου να είναι ίδιο το ποσοστό ανά μήνα χωρίς όμως να επηρεάζει το πλήθος των τιμών ανά μήνα που θα χαρακτηριστούν σαν μέγιστες. Έγιναν μελέτες με μικρότερα και μεγαλύτερα ποσοστά και το 5% παρατηρήθηκε ότι δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, αποτελέσματα που έρχονται σε συμφωνία και με τους Μαχαίρας και Γκίκα, (1987).

Πίνακας 3. Άθροισμα των σχετικών συχνοτήτων ενάρξεων των επεισοδίων ανά μήνα και κατώφλι πάνω από το οποίο επιλέχθηκαν οι μέγιστες συχνότητες ενάρξεων για τον κάθε μήνα.

Ενάρξεις	Άθροισμα σχετικών συχνοτήτων ανά μήνα	5% επί του αθροίσματος των σχετικών συχνοτήτων
Ιανουάριος	9,29	0,46
Φεβρουάριος	8,32	0,42
Μάρτιος	10,30	0,51
Απρίλιος	10,01	0,50
Μάιος	10,80	0,54
Ιούνιος	8,46	0,42
Ιούλιος	5,71	0,29
Αύγουστος	4,35	0,22
Σεπτέμβριος	5,74	0,29
Οκτώβριος	7,63	0,38
Νοέμβριος	9,73	0,49
Δεκέμβριος	9,67	0,48

Αθροίζοντας τις τιμές των σχετικών συχνοτήτων για τις ενάρξεις των επεισοδίων ανά μήνα και υπολογίζοντας το 5% αυτής της τιμής προέκυψε ο Πίνακας 3 στον οποίο φαίνεται η τιμή που χρησιμοποιήθηκε σαν κατώφλι για τη χάραξη των ισοπληθών μεγίστων συχνοτήτων στον Πίνακα 1. Επομένως, για να θεωρηθεί ότι κατά τη διάρκεια μιας ώρας του 24ώρου για το μήνα Ιανουάριο η σχετική συχνότητα του πλήθους ενάρξεων επεισοδίων βροχής αποτελεί τιμή μέγιστης συχνότητας θα πρέπει να είναι ίση η μεγαλύτερη του 0,46, ενώ το αντίστοιχο κατώφλι για το μήνα Αύγουστο είναι 0,22.

Ο υπολογισμός διαφορετικού κατωφλίου για τον κάθε μήνα κρίθηκε απαραίτητος καθώς η μελέτη γίνεται ανά μήνα και μια ενιαία τιμή κατωφλίου για όλους τους μήνες θα ήταν επισφαλής μιας και οι θερινοί μήνες εμφανίζουν πολύ λιγότερα επεισόδια βροχής

από ότι οι χειμερινοί. Κρίθηκε επομένως απαραίτητο μ' αυτόν τον τρόπο (υπολογίζοντας διαφορετικό κατώφλι για τον κάθε μήνα ξεχωριστά) να απαλειφθεί η εποχικότητα των μετρήσεων.

Στον Πίνακα 2 χρωματίζονται οι τιμές των σχετικών συχνοτήτων που είναι μεγαλύτερες ή ίσες από το κατώφλι που επιλέχθηκε για τον κάθε μήνα ξεχωριστά για το πλήθος των ενάρξεων. Στη συνέχεια με την βοήθεια αυτών των τιμών γίνεται χάραξη των ισοπληθών μέγιστης συχνότητας στον Πίνακα 1. Επίσης, στον ίδιο πίνακα χαράχτηκε με διακεκομμένη γραμμή η ανατολή και η δύση του ηλίου κατά τη διάρκεια του 24ώρου για να είναι πιο παραστατική και εύκολη η επεξήγηση των αποτελεσμάτων και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Από τον Πίνακα 3 προκύπτει ότι οι μέγιστες συχνότητες του πλήθους των ενάρξεων των επεισοδίων βροχής για την πόλη της Θεσσαλονίκης για τη χρονική περίοδο 1947-2003 εντοπίζονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους του 24ώρου οι οποίες διαφέρουν στη θερινή και τη χειμερινή περίοδο του έτους.

Πιο συγκεκριμένα, η κύρια περιοχή μεγίστων συχνοτήτων, με μεγαλύτερο εύρος κατανομής και εμφάνισης σχεδόν όλο το χρόνο (εκτός από το μήνα Νοέμβριο) σημειώνεται κατά προτίμηση μερικές ώρες πριν ή μετά τη Δύση του ηλίου. Κατά τους θερινούς μήνες, η περιοχή αυτή μεγίστων συχνοτήτων έναρξης των επεισοδίων βροχής έχει μεγαλύτερη διάρκεια και αρχίζει από τις 15:00 τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και φτάνει μέχρι τις 23:00 για τους ίδιους μήνες. Το μέγιστο εύρος αυτής της περιόδου εμφανίζεται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, όπου επί 7 ώρες παρατηρούνται τιμές που σύμφωνα με το κατώφλι που χρησιμοποιήθηκε χαρακτηρίζονται ως μέγιστες. Χωρίς αμφιβολία το χρονικό αυτό διάστημα έναρξης επεισοδίων βροχής οφείλεται στη θερμική αστάθεια που αναπτύσσεται κατά τη θερινή περίοδο του έτους και συμπίπτει με τις μέγιστες συχνότητες έναρξης των θερινών καταιγίδων στη Θεσσαλονίκη (Μπαλαφούτης και Μαχαίρας, 1980).

Κατά τους χειμερινούς μήνες η περιοχή αυτή μεγίστων συχνοτήτων περιορίζεται σε 1 ή 2 ώρες ενώ τον Νοέμβριο απουσιάζει εντελώς. Αντίθετα με τη θερινή περίοδο του έτους, το μέγιστο συχνότητας ωρών έναρξης των επεισοδίων βροχής κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου εντοπίζεται σε 3 ή 4 διαφορετικές περιοχές κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Η πρώτη περίοδος εντοπίζεται κατά τη 1^η πρωινή ώρα με ένα μέγιστο συχνότητας την ώρα αυτή, τον Νοέμβριο (85 ενάρξεις επεισοδίων). Η περιοχή αυτή μεγίστων συχνοτήτων εμφάνισης ενάρξεων επεισοδίων βροχής παρόλο που έχει χρονικό εύρος μιας

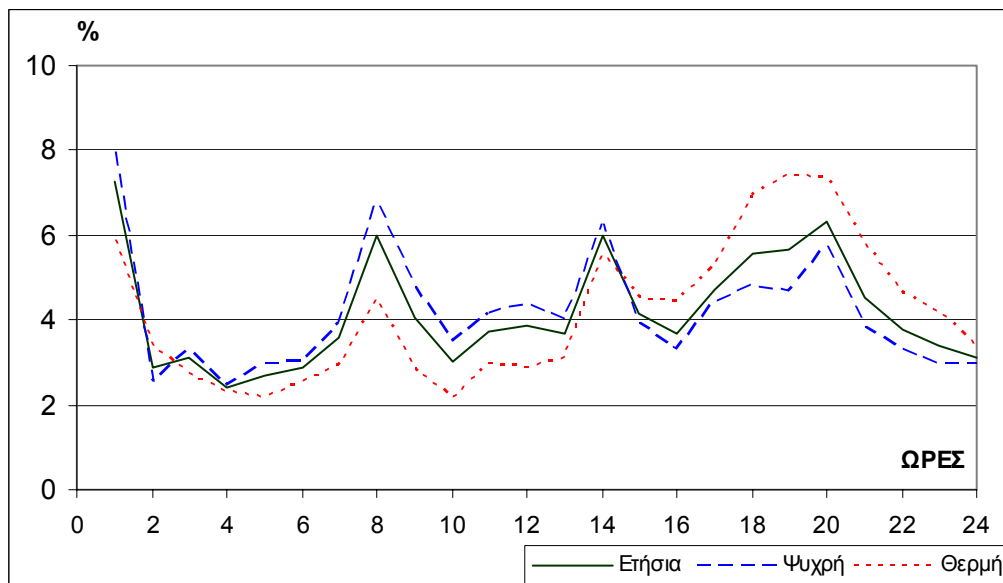
μόνο ώρας εκτείνεται στο σύνολο σχεδόν των μηνών του έτους με εξαίρεση τον Ιούλιο, οι μεγαλύτερες όμως τιμές εντοπίζονται τους χειμερινούς μήνες. Το μέγιστο συχνότητας της 1^{ης} πρωινής ώρας, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ο σταθμός της Θεσσαλονίκης μπορεί να δέχεται θαλάσσιες επιδράσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπως δέχεται ηπειρωτικές κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου.

Η δεύτερη περίοδος μέγιστων συχνοτήτων για το χειμώνα, εντοπίζεται λίγες ώρες μετά την ανατολή του ηλίου, δηλαδή κατά την 8^η πρωινή ώρα (σε ορισμένους μήνες εκτείνεται μέχρι και τη 10^η). Το μέγιστο της περιόδου αυτής εντοπίζεται τον Μάρτιο με 74 ενάρξεις επεισοδίων. Το μέγιστο αυτό είναι μάλλον το αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο παραγόντων. Της θαλάσσιας επίδρασης που δέχεται η πόλη της Θεσσαλονίκης το χειμώνα αλλά και της μέγιστης συχνότητας λήξης των βορειοδυτικών ανέμων στη Θεσσαλονίκη που έχει εντοπιστεί εκείνες τις ώρες (Angouridakis et al., 1981) και προκαλεί ευνοϊκές συνθήκες για αστάθεια.

Η τρίτη περίοδος εντοπίζεται κατά την 14^η ώρα για τους περισσότερους χειμερινούς μήνες, με μέγιστη τιμή τον Μάρτιο με 69 ενάρξεις. Μεγαλύτερο εύρος παρουσιάζει η περίοδος αυτή τον Δεκέμβριο όπου εκτείνεται και στην 13^η ώρα του 24ώρου.

Τέλος, από τον Πίνακα 1 παρατηρείται ότι ο διαχωρισμός που έγινε σε θερινούς και χειμερινούς μήνες είναι εμφανής αλλά δεν είναι απόλυτος στην κατανομή των ενάρξεων καθώς πολλοί μήνες εμφανίζουν μέγιστες συχνότητες τόσο στην πρώτη κύρια περίοδο που εντοπίστηκε τη θερινή περίοδο όσο και στις δευτερεύουσες που χαρακτηρίζουν τη χειμερινή περίοδο. Ο Ιούλιος είναι ο μόνος από τους καλοκαιρινούς μήνες που εμφανίζει μέγιστες συχνότητες έναρξης επεισοδίων βροχής μόνο μετά την 15^η ώρα του 24ώρου, την ώρα που ξεκινά η θερμική αστάθεια στη Θεσσαλονίκη και εκδηλώνονται οι καλοκαιρινές θερμικές καταιγίδες.

Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται η ημερήσια πορεία των συχνοτήτων ωρών έναρξης των βροχοπτώσεων κατά το έτος, τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο. Για να εκφραστούν οι απόλυτες συχνότητες σε ποσοστά η αναγωγή για τα ετήσια δεδομένα έγινε στο συνολικό πλήθος επεισοδίων 9031, για την ψυχρή στο πλήθος των επεισοδίων που εμφανίστηκαν την συγκεκριμένη περίοδο (5865) και για τη θερμή στις αντίστοιχες συχνότητες της θερμής περιόδου, 3166 στο σύνολο, αντίστοιχα.



Σχήμα 12. Ημερήσια πορεία των συχνοτήτων ωρών έναρξης των επεισοδίων κατά το έτος, τη θερμή και την ψυχρή περίοδο.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα η καμπύλη της ψυχρής περιόδου ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό αυτή των ετήσιων τιμών. Συγκεκριμένα την 1^η και 3^η πρωινή ώρα παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά από ότι η καμπύλη των ετήσιων δεδομένων, το ίδιο γίνεται και για το διάστημα από την 5^η μέχρι και την 14^η ώρα του 24ώρου. Τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου, δηλαδή την 2η πρωινή και από την 15η μέχρι και το τέλος της ημέρας η καμπύλη της θερμής περιόδου εμφανίζει τα μεγαλύτερα ποσοστά χωρίς όμως να ακολουθεί την ακριβή κατανομή της καμπύλης των ετήσιων δεδομένων όπως είχε παρατηρηθεί με την καμπύλη της ψυχρής περιόδου. Διαπιστώνεται, επομένως, ότι οι ώρες έναρξης των επεισοδίων βροχής τη θερμή περίοδο του έτους οφείλονται σε διαφορετικά αίτια (θερμικές καταιγίδες) και γι' αυτό και η κατανομή τους είναι διαφορετική. Την 4^η πρωινή ώρα παρατηρείται το ίδιο ποσοστό (2%) και για τις 3 καμπύλες.

Παραπλήσια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις ώρες λήξεως των επεισοδίων (9031 τιμές). Στον Πίνακα 4 φαίνονται αντίστοιχα οι τιμές που υπολογίστηκαν ως κατώφλι για τη χάραξη των ισοπληθών μέγιστης συχνότητας. Μια τιμή σχετικής συχνότητας λήξεων, επομένως, συμπεριλαμβάνεται στις ισοπληθείς μέγιστης συχνότητας όταν είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0,47 για τον Ιανουάριο και του 0,29 για τον Ιούλιο.

Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν ως κατώφλια για τις ενάρξεις και τις λήξεις των επεισοδίων καθώς και οι αθροιστικές σχετικές συχνότητες ανά μήνα δεν απέχουν σημαντικά μεταξύ τους.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι οι ενάρξεις και οι λήξεις των επεισοδίων κατανέμονται με τον ίδιο τρόπο ανά μήνα. Όπως θα δούμε παρακάτω δεν συμβαίνει το ίδιο και στην ανά ώρα κατανομή.

Πίνακας 4. Άθροισμα των σχετικών συχνοτήτων λήξεων των επεισοδίων ανά μήνα και κατώφλι πάνω από το οποίο επιλέχθηκαν οι μέγιστες συχνότητες λήξεων για τον κάθε μήνα.

Λήξεις	Άθροισμα σχετικών συχνοτήτων ανά μήνα	5% επί του αθροίσματος των σχετικών συχνοτήτων
Ιανουάριος	9,33	0,47
Φεβρουάριος	8,32	0,42
Μάρτιος	10,33	0,52
Απρίλιος	9,99	0,50
Μάιος	10,82	0,54
Ιούνιος	8,45	0,42
Ιούλιος	5,74	0,29
Αύγουστος	4,33	0,22
Σεπτέμβριος	5,74	0,29
Οκτώβριος	7,63	0,38
Νοέμβριος	9,71	0,49
Δεκέμβριος	9,62	0,48

Στους Πίνακες 5 και 6 υπολογίστηκαν αντίστοιχα οι απόλυτες συχνότητες λήξεων των επεισοδίων κατά μήνα ανά ώρα και οι σχετικές τιμές τους ως προς το σύνολο αυτών, ενώ χαρακτήθηκαν και οι ισοπληθείς μέγιστης συχνότητας όπως ακριβώς είχε γίνει και για τις ενάρξεις των επεισοδίων. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι απόλυτες συχνότητες του πλήθους των λήξεων των επεισοδίων βροχής για το διάστημα 1947-2003 όπως υπολογίστηκαν από τα δεδομένα του ωριαίου βροχογράφου που βρίσκεται στο σταθμό του Μετεωροσκοπείου του Α.Π.Θ.

Μια σύγκριση ανάμεσα στον Πίνακα 1 και τον Πίνακα 5, δείχνει ότι υπάρχει μια μετατόπιση των περιόδων μέγιστης συχνότητας, κατά μία περίπου ώρα, των ωρών λήξης σε σχέση με τις ώρες έναρξης, όλων των περιόδων εκτός από εκείνες που εμφανίζονταν τις ώρες 1^η και 8^η πρωινή. Η μετατόπιση αυτή είναι πιο έντονη την περίοδο που εντοπίζεται, κατά τις μεσημεσιμυρινές ώρες. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι οι βροχοπτώσεις της θερινής περιόδου όσο και οι βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου που αρχίζουν λίγο πριν ή μετά την ανατολή του ηλίου και λίγο μετά την μεσημβρία έχουν πολύ μικρή διάρκεια.

Πίνακας 5. Απόλυτη συχνότητα των ωρών λήξης των επεισοδίων βροχής.

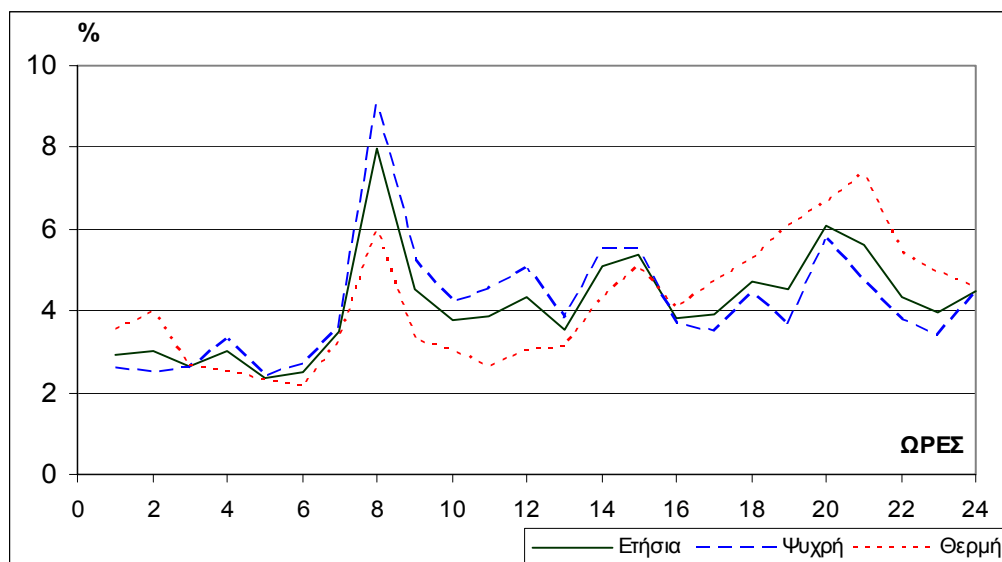
Λήξεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	18	12	21	22	18	30	33	78	47	29	40	54	32	55	47	33	21	27	30	52	40	34	32	38
Φ	21	19	14	25	14	22	25	65	31	41	44	33	24	49	45	27	26	31	23	45	30	34	28	35
M	25	20	20	29	26	25	23	89	63	39	35	39	33	66	58	27	36	38	32	59	52	38	30	31
A	26	30	23	26	12	23	34	70	46	24	29	35	36	40	54	43	38	60	43	57	50	35	30	38
M	38	49	24	22	24	23	40	57	31	32	25	37	29	49	48	33	48	53	52	56	67	60	40	40
I	28	29	19	16	10	10	24	41	16	14	16	25	24	37	37	33	45	53	49	49	69	43	37	39
I	15	18	15	18	12	14	10	27	23	17	10	9	13	14	29	25	16	27	32	46	33	28	44	23
A	11	12	14	11	13	6	9	25	18	11	11	12	12	15	19	17	17	17	27	27	29	18	24	16
Σ	20	17	12	12	14	16	20	40	16	21	22	12	20	23	28	21	23	18	33	33	35	23	12	27
O	19	12	28	20	24	13	30	52	38	35	31	45	27	27	31	25	29	35	32	35	24	31	20	26
N	21	28	26	42	21	18	38	94	39	36	45	48	33	38	51	35	30	33	31	37	33	26	32	42
Δ	21	25	21	30	27	26	28	84	42	43	42	43	38	49	38	27	26	35	23	52	47	24	28	50
Ετήσια	263	271	237	273	215	226	314	722	410	342	350	392	321	462	485	346	355	427	407	548	509	394	357	405
Χειμερινή	151	146	153	194	142	157	211	532	306	247	266	297	223	324	324	217	206	259	214	337	276	222	200	260
Θερινή	112	125	84	79	73	69	103	190	104	95	84	95	98	138	161	129	149	168	193	211	233	172	157	145

Πίνακας 6. Σχετική συχνότητα των ωρών λήξης των επεισοδίων βροχής.

Λήξεις	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	0,20	0,13	0,23	0,24	0,20	0,33	0,37	0,86	0,52	0,32	0,44	0,60	0,35	0,61	0,52	0,37	0,23	0,30	0,33	0,58	0,44	0,38	0,35	0,42
Φ	0,23	0,21	0,16	0,28	0,16	0,24	0,28	0,72	0,34	0,45	0,49	0,37	0,27	0,54	0,50	0,30	0,29	0,34	0,25	0,50	0,33	0,38	0,31	0,39
M	0,28	0,22	0,22	0,32	0,29	0,28	0,25	0,99	0,70	0,43	0,39	0,43	0,37	0,73	0,64	0,30	0,40	0,42	0,35	0,65	0,58	0,42	0,33	0,34
A	0,29	0,33	0,25	0,29	0,13	0,25	0,38	0,78	0,51	0,27	0,32	0,39	0,40	0,44	0,60	0,48	0,42	0,66	0,48	0,63	0,55	0,39	0,33	0,42
M	0,42	0,54	0,27	0,24	0,27	0,25	0,44	0,63	0,34	0,35	0,28	0,41	0,32	0,54	0,53	0,37	0,53	0,59	0,58	0,62	0,74	0,66	0,44	0,44
I	0,31	0,32	0,21	0,18	0,11	0,11	0,27	0,45	0,18	0,16	0,18	0,28	0,27	0,41	0,41	0,37	0,50	0,59	0,54	0,54	0,76	0,48	0,41	0,43
I	0,17	0,20	0,17	0,20	0,13	0,16	0,11	0,30	0,25	0,19	0,11	0,10	0,14	0,16	0,32	0,28	0,18	0,30	0,35	0,51	0,37	0,31	0,49	0,25
A	0,12	0,13	0,16	0,12	0,14	0,07	0,10	0,28	0,20	0,12	0,12	0,13	0,13	0,17	0,21	0,19	0,19	0,19	0,30	0,30	0,32	0,20	0,27	0,18
Σ	0,22	0,19	0,13	0,13	0,16	0,18	0,22	0,44	0,18	0,23	0,24	0,13	0,22	0,25	0,31	0,23	0,25	0,20	0,37	0,37	0,39	0,25	0,13	0,30
O	0,21	0,13	0,31	0,22	0,27	0,14	0,33	0,58	0,42	0,39	0,34	0,50	0,30	0,30	0,34	0,28	0,32	0,39	0,35	0,39	0,27	0,34	0,22	0,29
N	0,23	0,31	0,29	0,47	0,23	0,20	0,42	1,04	0,43	0,40	0,50	0,53	0,37	0,42	0,56	0,39	0,33	0,37	0,34	0,41	0,37	0,29	0,35	0,47
Δ	0,23	0,28	0,23	0,33	0,30	0,29	0,31	0,93	0,47	0,48	0,47	0,48	0,42	0,54	0,42	0,30	0,29	0,39	0,25	0,58	0,52	0,27	0,31	0,55

Αντίθετα, οι βροχοπτώσεις που αρχίζουν την 1^η πρωινή ώρα φαίνεται ότι διαρκούν πολύ περισσότερο καθώς από τη μελέτη των συχνοτήτων των ωρών λήξης δεν προκύπτει κάποιο μέγιστο λίγο μετά την 1^η πρωινή ώρα, γεγονός που δείχνει ότι δεν υπάρχει μαζική λήξη επεισοδίων. Τα επεισόδια που ξεκινούν την 8^η πρωινή ώρα, πιθανόν να λήγουν κατά τη διάρκεια της ίδιας ώρας καθώς την ώρα αυτή παρατηρείται μέγιστη συχνότητα τόσο ενάρξεων όσο και λήξεων επεισοδίων βροχής. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι η πλειοψηφία των επεισοδίων ανήκει στην κατηγορία των θερμικών καταιγίδων, όπως είχε αρχικά υποθεθεί, οι οποίες έχουν μικρή διάρκεια με αποτέλεσμα να λήγουν την ίδια ή την επόμενη ώρα από την έναρξη τους.

Στο Σχήμα 13 απεικονίζεται η ημερήσια πορεία των συχνοτήτων ωρών λήξης των επεισοδίων βροχής κατά το έτος, τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο αυτού αντίστοιχα. Σε σύγκριση με το Σχήμα 12 φαίνεται καθαρά, στις περισσότερες περιπτώσεις, η μετατόπιση κατά μια ώρα των περιόδων μέγιστης συχνότητας στην πορεία των συχνοτήτων των ωρών λήξης σε σχέση με τις ώρες έναρξης. Παρατηρείται επίσης ότι από την 3^η πρωινή ώρα και μέχρι την 15^η τα μέγιστα ποσοστά οφείλονται στους χειμερινούς μήνες, ενώ από την 16^η ώρα και μέχρι την 2^η πρωινή στους θερινούς.



Σχήμα 13. Ημερήσια πορεία των συχνοτήτων ωρών λήξης των επεισοδίων κατά το έτος, τη θερινή και την ψυχρή περίοδο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των ενάρξεων και των λήξεων των επεισοδίων βροχής κατά τη διάρκεια του 24ώρου έρχονται σε ικανοποιητική συμφωνία με προγενέστερη εργασία στην οποία είχαν υπολογιστεί τα αντίστοιχα στοιχεία για τη χρονική περίοδο 1955 – 1984 (Μαχαίρας και Γκίκα, 1987). Η μόνη διαφοροποίηση που εντοπίστηκε βρίσκεται στο διαχωρισμό των θερινών και των χειμερινών μηνών.

3. ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετάται η ημερήσια πορεία των βροχών ανά μήνα εποχή και έτος. Αρχικά υπολογίστηκαν οι μέσες ετήσιες συχνότητες των ωριαίων βροχοπτώσεων.

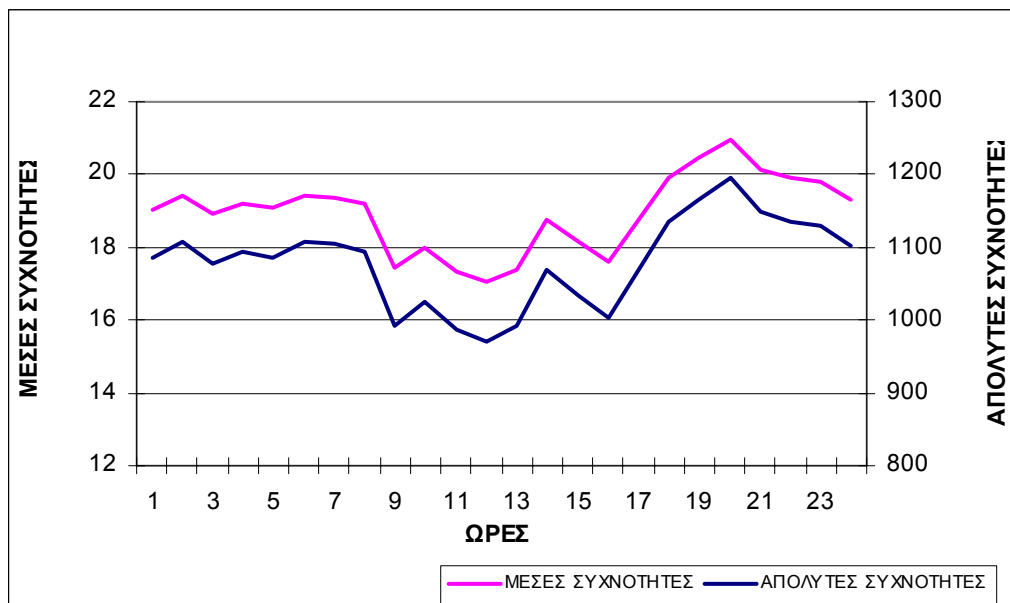
Όπως φαίνεται από τον πίνακα 7 τους ψυχρούς μήνες οι μεγαλύτερες συχνότητες εμφανίζονται τις πρωινές ώρες και κυρίως μεταξύ 5^η και 10^η πρωινής, με μόνη εξαίρεση το μήνα Δεκέμβριο που εμφανίζει μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης βροχοπτώσεων από την 18^η και μέχρι την 23^η ώρα. Αντίθετα τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος – Αύγουστος) οι μεγαλύτερες συχνότητες παρατηρούνται αποκλειστικά μετά την 17^η ώρα της ημέρας. Η κατανομή αυτή συμπίπτει για τη θερινή περίοδο του έτους σε ικανοποιητικό βαθμό με την ημερήσια κατανομή των συχνοτήτων ενάρξεων των επεισοδίων βροχής, γεγονός που μπορεί να αποδώσει τις βροχοπτώσεις της θερινής περιόδου σε φαινόμενα καταιγίδας.

Στο Σχήμα 14, παρουσιάζεται η μέση ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς και οι απόλυτες τιμές αυτών. Η πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων, αναφερόμενη στο μέσο έτος παρουσιάζει σχεδόν ομαλή πορεία μέχρι και την 8^η πρωινή ώρα ενώ στη συνέχεια του 24ώρου εμφανίζει τριπλή κύμανση. Το κύριο μέγιστο εμφανίζεται την 20^η ώρα με μέση ετήσια συχνότητα περίπου 21 η οποία αντιστοιχεί σε 1196 τιμές βροχόπτωσης τη συγκεκριμένη ώρα στη χρονική περίοδο μελέτης. Το μέγιστο αυτό συμπίπτει με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης ενάρξεων επεισοδίων βροχής που θεωρήθηκε αποτέλεσμα των θερινών κυρίως καταιγίδων.

Το δευτερεύον μέγιστο παρατηρείται την 14^η ώρα, ενώ υψηλές συχνότητες ωριαίων βροχοπτώσεων παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Τα ελάχιστα εμφανίζονται το μεν κύριο τη 12^η ώρα με μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης βροχής περίπου 17, τιμή που αντιστοιχεί σε 971 πραγματικές εμφανίσεις βροχής στο μελετούμενο χρονικό διάστημα. Το δεύτερο και τρίτο ελάχιστο εντοπίζονται την 9^η και 16^η ώρα, αντίστοιχα.

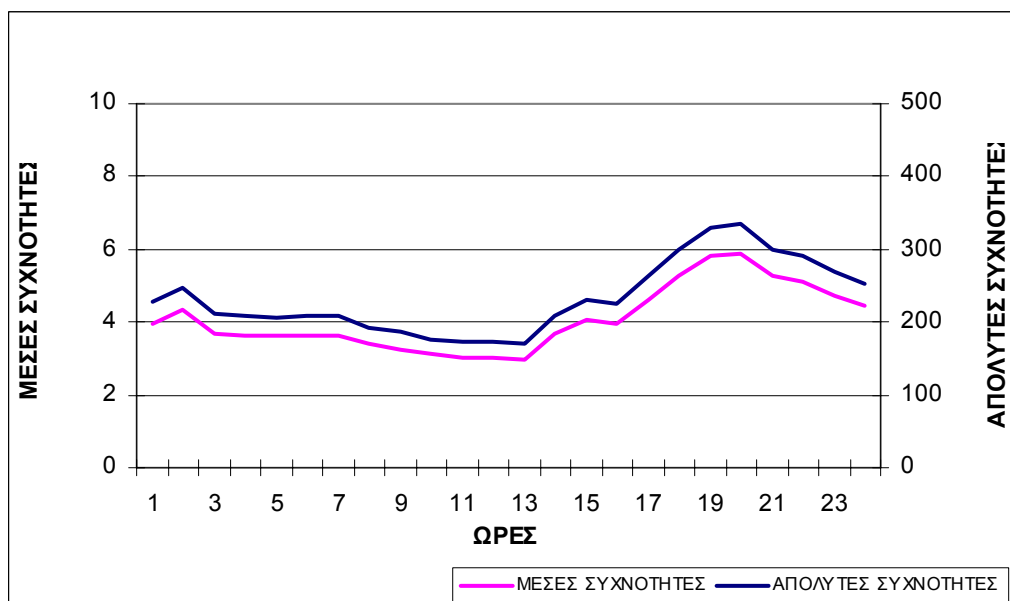
Πίνακας 7. Μέσες ετήσιες συχρότητες των ωριαίων βροχοπτώσεων

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	2,19	2,40	2,53	2,49	2,68	2,84	2,77	2,63	2,18	2,35	2,49	2,42	2,33	2,61	2,19	1,98	2,05	2,19	2,30	2,30	2,16	2,42	2,26	2,09
Φ	2,07	1,86	2,09	2,05	2,00	2,23	2,26	1,93	1,89	2,11	2,11	1,84	1,91	2,28	2,16	2,02	1,72	1,82	1,79	2,12	2,09	2,05	2,16	2,09
M	2,49	2,23	2,25	2,44	2,26	2,07	2,26	2,39	2,30	2,30	2,02	1,89	2,14	2,05	1,98	1,88	2,18	2,16	2,28	2,26	2,12	2,04	1,91	2,04
A	1,79	1,75	1,61	1,65	1,63	1,68	1,37	1,49	1,28	1,33	1,37	1,56	1,67	1,72	1,79	1,81	2,04	2,00	1,77	1,95	1,84	1,82	2,00	1,96
M	1,40	1,54	1,30	1,42	1,54	1,44	1,33	1,28	1,23	1,26	1,11	1,11	1,05	1,60	1,67	1,58	1,63	1,93	2,00	2,04	1,81	1,93	1,53	1,44
I	0,88	0,84	0,65	0,56	0,58	0,63	0,65	0,56	0,56	0,53	0,51	0,60	0,61	0,70	0,74	0,89	1,05	1,23	1,46	1,28	1,28	1,04	1,04	0,98
I	0,49	0,56	0,61	0,54	0,49	0,37	0,32	0,32	0,33	0,25	0,30	0,28	0,37	0,39	0,54	0,47	0,63	0,75	0,67	0,93	0,77	0,74	0,84	0,63
A	0,40	0,47	0,39	0,40	0,26	0,37	0,40	0,35	0,30	0,39	0,40	0,32	0,25	0,35	0,42	0,42	0,54	0,47	0,72	0,68	0,58	0,58	0,47	0,40
Σ	0,81	0,89	0,75	0,72	0,74	0,84	0,95	0,88	0,84	0,68	0,70	0,74	0,70	0,63	0,70	0,60	0,75	0,88	0,96	0,96	0,82	0,82	0,82	1,00
O	1,53	1,67	1,74	1,56	1,67	1,61	1,74	1,91	1,82	1,74	1,51	1,56	1,47	1,60	1,61	1,40	1,40	1,46	1,49	1,49	1,56	1,47	1,51	1,63
N	2,26	2,53	2,33	2,75	2,60	2,67	2,70	2,77	2,44	2,42	2,25	2,25	2,35	2,14	2,00	1,98	2,09	2,11	2,16	2,14	2,32	2,11	2,37	2,26
Δ	2,74	2,67	2,67	2,61	2,61	2,67	2,63	2,68	2,25	2,61	2,58	2,47	2,54	2,67	2,33	2,58	2,68	2,93	2,84	2,82	2,81	2,91	2,91	2,79



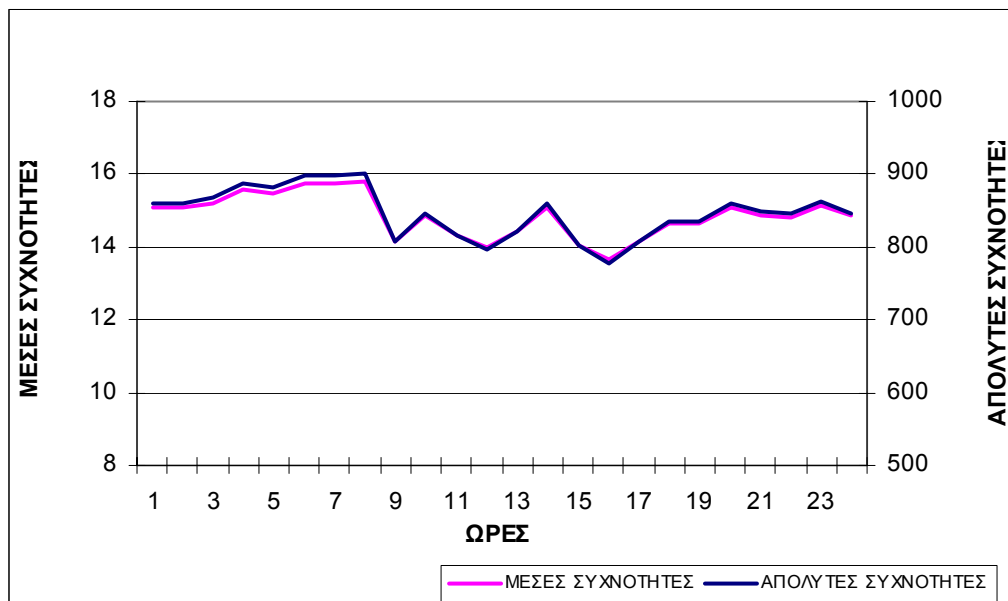
Σχήμα 14. Μέση ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους και απόλυτες τιμές αυτών

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία η καμπύλη της πορείας των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο (Σχήμα 15) εμφανίζει μικρή ελάττωση από την αρχή της ημέρας και μέχρι την 11^η πρωινή ώρα με μέγιστο την 2^η πρωινή και ελάχιστο την 11^η πρωινή. Στη συνέχεια και μέχρι την 20^η ώρα παρατηρείται αύξηση των τιμών η οποία καταλήγει και στη μέγιστη συχνότητα 7 η οποία αντιστοιχεί περίπου σε 392 εμφανίσεις βροχής την συγκεκριμένη ώρα. Από την 20^η ώρα και μέχρι το τέλος του 24ώρου επικρατεί επίσης ελάττωση των συχνοτήτων.



Σχήμα 15. Μέση ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και απόλυτες τιμές αυτών

Αντίθετα, την ψυχρή περίοδο του έτους μελετώντας την καμπύλη της πορείας των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων (Σχήμα 16), δεν παρατηρείται κύριο μέγιστο την 20^η ώρα όπως συνέβαινε στα ετήσια δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η καμπύλη της ψυχρής περιόδου εμφανίζει τετραπλή κύμανση με κύριο μέγιστο την 7^η πρωινή ώρα, δευτερεύον την 10^η πρωινή και ακολουθούν πιο ήπια μέγιστα την 14^η και 20^η ώρα. Τα τρία ελάχιστα για την ψυχρή περίοδο του έτους παρατηρούνται την 16^η, 12^η και 9^η ώρα, αντίστοιχα, συμπίπτοντας απόλυτα με τα ελάχιστα που είχαν παρατηρηθεί στην ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων.



Σχήμα 16. Μέση ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου και απόλυτες τιμές αυτών

Συγκρίνοντας την πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων της θερμής περιόδου με την αντίστοιχη για τα ετήσια δεδομένα παρατηρείται ότι εμφανίζουν κοινό μέγιστο τη 20^η ώρα και αντίστοιχη πτωτική τάση στη συνέχεια μέχρι το τέλος του 24ώρου γεγονός που σημαίνει ότι είναι αυτή κυρίως που συμβάλλει στη διαμόρφωση της ετήσιας πορείας για το διάστημα 20^η – 24^η ώρα. Μπορεί να θεωρηθεί επομένως ότι οι ωριαίες βροχοπτώσεις της ψυχρής περιόδου του έτους είναι αυτές που καθορίζουν την πορεία των ετήσιων για το διάστημα από την 7^η μέχρι την 16^η ώρα, ενώ δεν επηρεάζουν καθόλου το διάστημα ανάμεσα στην 20^η και 24^η ώρα καθώς έχουν σχεδόν αντίθετη πορεία.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα πραγματικά ύψη βροχής που προέκυψαν από τις ωριαίες τιμές βροχόπτωσης για το ίδιο διάστημα μελέτης (1947 – 2003), συνολικά καταγράφηκαν 25.710,2 χιλιοστά βροχής. Οι τιμές αυτές διαιρέθηκαν με το πλήθος των

ετών για να βρεθεί η μέση ετήσια ποσότητα βροχής ανά ώρα με σκοπό τη μελέτη της ημερήσιας πορείας αυτής.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 8 κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών οι μεγαλύτερες ποσότητες βροχής εμφανίζονται τις πρωινές ώρες και κυρίως την 1^η πρωινή για τον Ιανουάριο τον Οκτώβριο και τον Δεκέμβριο, μέγιστο που συμπίπτει με το μέγιστο έναρξης επεισοδίων βροχής τους μήνες αυτούς και πιθανόν να οφείλεται στις θαλάσσιες επιδράσεις που δέχεται η πόλη της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Σημαντικές ποσότητες βροχής, εμφανίζονται επίσης την 14^η ώρα, χρονική περίοδος που συμπίπτει, επίσης, με τη μέγιστη συχνότητα έναρξης των επεισοδίων βροχής, και μεταξύ 5^{ης} και 11^{ης} πρωινής (ώρες λήξης των βορειοδυτικών ανέμων στη Θεσσαλονίκη γεγονός που μπορεί να προκαλεί την αυξημένη ποσότητα βροχής εκείνες τις ώρες). Μόνη εξαίρεση από τους ψυχρούς μήνες, αποτελεί ο Δεκέμβριος που εμφανίζει σημαντικά ποσά βροχής μετά την 17^η ώρα (χαρακτηριστικό, όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω των θερμών μηνών).

Τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος – Αύγουστος) τα περισσότερα χιλιοστά βροχής παρατηρούνται αποκλειστικά μετά την 17^η ώρα της ημέρας. Η κατανομή αυτή συμπίπτει σε ικανοποιητικό βαθμό με την ημερήσια κατανομή των συχνοτήτων ενάρξεων των επεισοδίων βροχής, γεγονός που μπορεί να αποδώσει τις υψηλές ποσότητες ωριαίων βροχοπτώσεων της θερινής περιόδου σε φαινόμενα καταιγίδας.

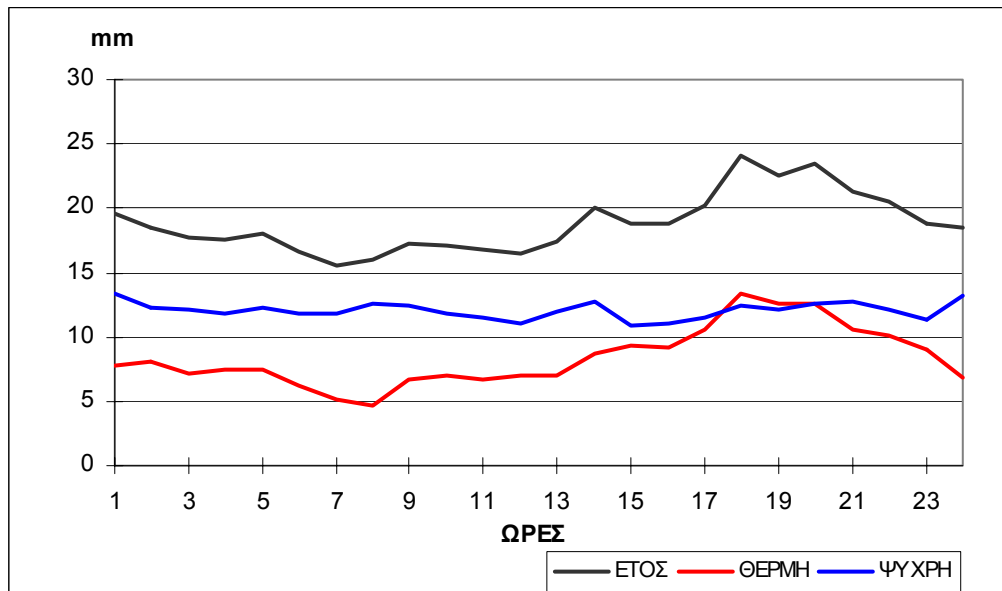
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 17, η πορεία των ωριαίων βροχοπτώσεων, αναφερόμενη στο μέσο έτος, παρουσιάζει τριπλή κύμανση με κύριο, έντονο μέγιστο ανάμεσα στη 18^η με 20^η ώρα ενώ τα άλλα δύο μικρότερα μέγιστα εμφανίζονται την 14^η και 5^η ώρα, αντίστοιχα. Τα ελάχιστα εμφανίζονται, το μεν κύριο την 7^η, το δε δεύτερο και τρίτο από την 11^η μέχρι την 13^η και από την 15^η μέχρι την 17^η ώρα, αντίστοιχα, γεγονός που ενισχύει τη διαπίστωση ότι οι έντονες βροχοπτώσεις εντοπίζονται κατά μέσο όρο περίπου στη δύση του ηλίου. Γενικά, η όλη πορεία της καμπύλης δείχνει ότι κατά το δεύτερο 12ωρο της ημέρας οι βροχοπτώσεις είναι πολύ πιο έντονες από το πρώτο 12ωρο.

Η καμπύλη της πορείας των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο εμφανίζει περίπου την ίδια μορφή και πορεία με εκείνη του έτους γεγονός που σημαίνει ότι είναι αυτή που συμβάλλει στη διαμόρφωση της ετήσιας πορείας. Αντίθετα, αρκετά διαφορετική είναι η καμπύλη κατά την ψυχρή περίοδο. Το μέγιστο αυτής εμφανίζεται ανάμεσα το διάστημα 0 με 1^η πρωινή ώρα, ενώ υπάρχουν ακόμη τρία μέγιστα ανάμεσα στην 20^η και 21^η, στην 14^η και στην 8^η.

Πίνακας 8. Μέσες πραγματικές ποσότητες βροχής σε χιλιοστά των ωριαίων βροχοπτώσεων.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	1,91	1,54	1,53	1,44	1,59	1,70	1,86	1,56	1,28	1,63	1,65	1,55	1,42	1,92	1,80	1,40	1,72	1,77	1,48	1,44	1,76	1,52	1,41	1,59
Φ	1,22	1,25	1,36	1,40	1,44	1,39	1,24	1,34	1,87	1,76	1,57	1,42	1,65	1,75	1,52	1,49	1,43	1,51	1,41	1,32	1,47	1,62	1,28	1,47
M	1,67	1,81	1,67	1,77	1,63	1,36	1,35	1,21	1,82	1,70	1,41	1,61	1,55	1,44	1,45	1,45	1,87	1,68	2,09	1,77	1,98	1,74	1,50	1,42
A	1,42	1,42	1,43	1,31	1,56	1,41	1,25	0,89	1,33	1,25	1,39	1,54	1,73	1,56	1,51	1,59	1,81	1,76	1,96	2,07	1,76	1,67	1,87	1,53
M	1,80	1,53	2,07	1,37	1,49	1,32	0,90	1,15	0,99	1,51	1,50	1,43	1,95	1,82	2,32	2,05	2,12	3,18	2,68	3,35	2,77	2,79	1,95	1,35
I	1,36	1,24	0,63	0,95	0,75	0,91	0,73	0,52	0,66	1,11	0,97	1,29	0,52	1,44	1,20	1,76	1,55	2,69	2,79	2,28	1,98	1,91	1,66	0,94
I	1,07	1,06	1,05	1,68	1,28	0,64	0,31	0,21	0,98	0,52	0,66	0,52	0,74	0,95	1,66	1,46	1,71	2,72	1,59	2,24	1,24	1,11	1,03	0,77
A	0,53	0,95	0,26	0,41	0,69	0,51	0,51	0,64	0,85	0,83	0,70	0,64	0,54	1,49	1,14	0,90	1,55	1,30	1,53	0,95	0,86	0,93	0,94	0,76
Σ	1,14	1,04	1,30	1,21	0,98	1,05	1,51	1,68	0,93	0,81	0,64	0,92	1,31	1,41	0,95	0,96	0,88	1,11	1,30	1,81	1,21	0,97	1,22	1,71
O	2,35	1,70	1,70	1,61	1,54	1,62	1,54	2,52	1,94	1,56	1,75	1,69	1,62	2,09	1,33	1,46	1,30	1,75	1,59	1,53	1,66	1,39	1,51	2,44
N	2,41	2,52	2,17	2,40	3,13	2,72	2,21	2,30	2,16	2,43	2,46	2,03	2,40	2,10	1,79	2,09	1,66	2,32	2,04	2,18	2,25	2,32	2,21	2,22
Δ	2,65	2,39	2,48	1,94	1,93	1,92	2,07	1,96	2,37	1,99	2,04	1,83	1,97	2,02	2,09	2,17	2,57	2,25	2,14	2,49	2,37	2,50	2,27	2,36

Τα ελάχιστα σημειώνονται κατά τάξη μεγέθους την 16^η, την 12^η, την 23^η και την 8^η ώρα. Η πορεία της καμπύλης της ψυχρής περιόδου δείχνει ακριβώς τις αντίθετες επιδράσεις της θάλασσας και της ξηράς στις βροχοπτώσεις κατά την ψυχρή περίοδο απ'ότι εκείνες κατά τη θερμή.



Σχήμα 17. Μέση ημερήσια πορεία των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, την ψυχρή και τη θερμή περίοδο

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη της ημερήσιας πορείας των ωριαίων βροχοπτώσεων έρχονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τους Μαχαίρα και Γκίκα (1987) οι οποίοι υπολόγισαν τα αντίστοιχα στοιχεία για τη χρονική περίοδο 1955 – 1984. Η μόνη διαφοροποίηση που εντοπίστηκε βρίσκεται στη μέση ετήσια ποσότητα της βροχόπτωσης η οποία βρέθηκε στην παρούσα μελέτη μικρότερη γεγονός που μπορεί να οφείλεται στη διαφορετική περίοδο μελέτης σε συνδυασμό με την πτωτική τάση της ποσότητας της βροχής τα τελευταία χρόνια.

4. ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΟΣΑ ΒΡΟΧΗΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ ΒΡΟΧΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μηνιαία και ωριαία κατανομή των συχνοτήτων των μέγιστων ωριαίων εντάσεων της βροχής ανά επεισόδιο καθώς και το πραγματικό ύψος βροχής που αυτές αποδίδουν.

Προκειμένου να απεικονιστούν γραφικά η κύμανση που παρουσιάζουν οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του 24ώρου καθώς και τα πραγματικά ύψη βροχής που αποφέρουν αυτές εντοπίστηκε για κάθε μήνα ξεχωριστά η μέγιστη τιμή βροχόπτωσης σε χιλιοστά και η ώρα η οποία αυτή εμφανίστηκε για όλο το χρονικό διάστημα μελέτης για κάθε επεισόδιο βροχής. Σαν κατώφλι βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν τα 0,1 χιλιοστά βροχής. Συνολικά βρέθηκαν 5785 επεισόδια. Η απόκλιση σε σχέση με το πλήθος των επεισοδίων που βρέθηκαν κατά τη μελέτη της συχνότητας εμφάνισης και της μεταβλητότητας των ενάρξεων και των λήξεων των επεισοδίων σε προηγούμενο κεφάλαιο (9031 επεισόδια), οφείλεται στα επεισόδια που παρουσιάζουν βροχή 0,0 χιλιοστά, τιμή που καταγράφεται από τον βροχογράφο σαν ένδειξη ελάχιστης βροχής. Στα επεισόδια αυτά η μέγιστη ένταση ήταν μηδενική και γι' αυτό και δεν προσμετρήθηκαν.

Το πλήθος των μέγιστων ωριαίων εντάσεων που προέκυψε συγκεντρώθηκε και παρουσιάζεται στον Πίνακα 9. Για τη χάραξη των καμπύλων μέγιστης συχνότητας εμφάνισης μέγιστων ωριαίων τιμών βροχής χρησιμοποιήθηκαν οι 3 ή 4 μεγαλύτερες απόλυτες συχνότητες ανά μήνα. Στους πίνακες έχουν συμπεριληφθεί και οι περιπτώσεις όπου η 3^η ή 4^η μέγιστη τιμή εμφανίζεται περισσότερο από μία φορά.

Οι μέγιστες απόλυτες ωριαίες εντάσεις κυμαίνονται από 0,1 χιλιοστά έως 55,5 χιλιοστά. Επίσης, στον πίνακα χαράχτηκαν και οι καμπύλες ανατολής και δύσης του ηλίου για να γίνει εμφανές αν η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει τις μέγιστες ωριαίες τιμές βροχόπτωσης ή αν αυτές εμφανίζουν τάση να εκδηλώνονται σε συγκεκριμένες ώρες λόγω της ανατολής ή της δύσης του ηλίου.

Ειδικότερα, μελετώντας τον Πίνακα 9 προκύπτει ότι οι ζώνες μέγιστης συχνότητας των μέγιστων ωριαίων εντάσεων διαφέρουν κατά τη διάρκεια της θερμής και της ψυχρής περιόδου.

Κατά τη θερμή κυρίως περίοδο του έτους και πιο συγκεκριμένα από τον Απρίλιο και μέχρι τον Σεπτέμβριο παρατηρείται μια σταδιακή μετατόπιση των μέγιστων συχνοτήτων από τις πρώτες απογευματινές προς τις πρώτες βραδινές ώρες όσο βαίνουμε προς το καλοκαίρι. Γενικά, κατά τη θερμή περίοδο του έτους οι καμπύλες μέγιστης συχνότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος και εκτείνονται σε συνεχόμενες ώρες οι οποίες μάλιστα εντοπίζονται λίγο πριν ή μετά τη δύση του ηλίου, δηλαδή τις ώρες που αναπτύσσεται στη Θεσσαλονίκη η μεγαλύτερη αστάθεια (κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου) (Μπαλαφούτης και Μαχαίρας, 1980), γεγονός που δεν παρατηρείται το μήνα Σεπτέμβριο.

Το Σεπτέμβριο, οι απόλυτες μέγιστες συχνότητες εμφάνισης μέγιστων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης εμφανίζονται μεμονωμένες την 7^η, 19^η και 24^η ώρα της ημέρας γεγονός που μπορεί να κατατάξει τον Σεπτέμβριο σε μεταβατικό μήνα από τη θερμή στην ψυχρή περίοδο. Για τη θερμή περίοδο του έτους, επομένως, είναι εμφανές ότι τα περισσότερα χιλιοστά βροχής ανά ώρα πέφτουν τις μεταμεσημβρινές κυρίως ώρες, τις ίδιες ώρες που εντοπίστηκαν και οι περισσότερες ενάρξεις επεισοδίων βροχής αλλά και τις ίδιες ώρες που παρατηρείται η έναρξη των θερινών καταιγίδων στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

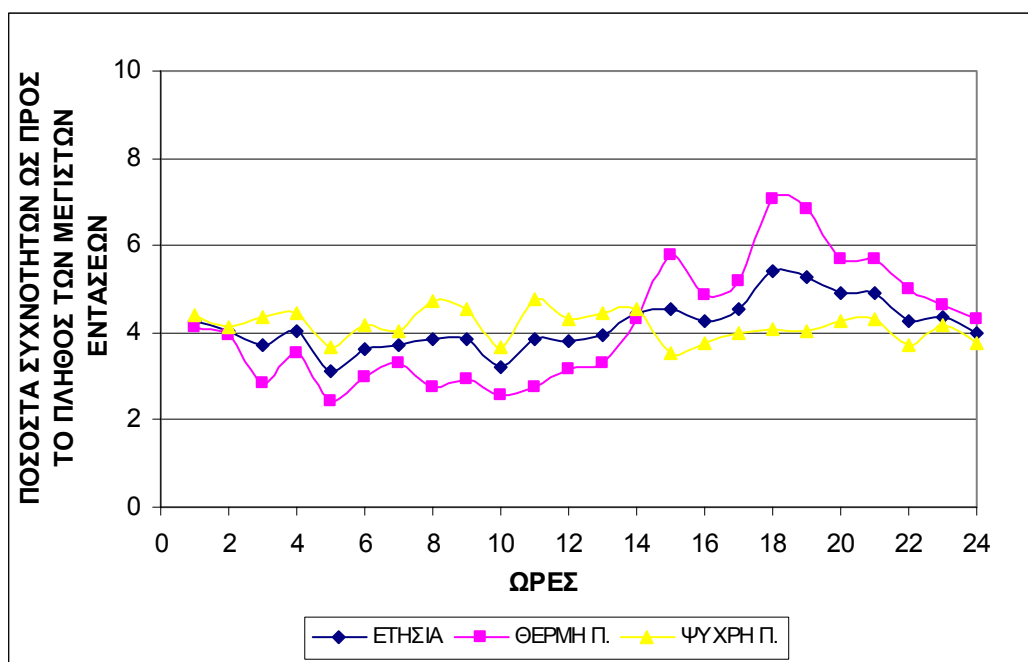
Τους ψυχρούς μήνες του χρόνου η κατανομή των μέγιστων συχνοτήτων μέγιστων τιμών βροχόπτωσης είναι διαφορετική και εντοπίζεται σε διαφορετικές ώρες μέσα στο 24ωρο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι η Θεσσαλονίκη δέχεται, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, όπως αναφέρθηκε, θαλάσσιες επιδράσεις. Ειδικότερα, τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο οι μέγιστες συχνότητες εμφανίζονται από την 6^η πρωινή ώρα και μέχρι την 14^η αλλά όχι σε συνεχόμενες ώρες μέσα σε αυτό το διάστημα. Το Μάρτιο και τον Δεκέμβριο εμφανίζονται 4 μέγιστες τιμές οι οποίες όμως είναι κατανεμημένες σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου.

Τον Οκτώβριο μέγιστες συχνότητες εμφανίζονται την 9^η, 14^η, 18^η και 19^η ώρα της ημέρας. Ο Οκτώβριος είναι ο μόνος από τους μήνες της ψυχρής περιόδου που εμφανίζει μέγιστες τιμές τις απογευματινές ώρες 18^η και 19^η, χαρακτηριστικό που παρουσίαζαν οι θερμοί κυρίως μήνες. Τέλος, το μήνα Νοέμβριο οι μέγιστες συχνότητες εμφάνισης μέγιστων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης είναι μόνο 3 και παρουσιάζονται από την 4^η έως την 8^η πρωινή ώρα.

Πίνακας 9. Απόλυτη συχρότητα των μέγιστων ωριαίων εντάσεων.

MAX	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	25	21	24	14	19	23	27	29	27	17	34	26	19	31	19	16	21	19	15	24	22	26	18	15
Φ	17	16	16	19	18	28	16	21	29	23	19	18	22	27	22	20	19	21	15	19	18	19	25	25
M	32	22	25	34	26	15	20	23	21	21	26	24	32	19	18	23	30	19	29	27	23	23	25	17
A	25	19	22	20	16	16	19	18	19	17	16	25	31	24	33	26	31	46	27	28	28	23	23	26
M	29	19	17	20	22	21	16	15	19	18	15	14	18	32	38	34	28	42	42	38	30	34	30	21
I	20	21	8	13	6	13	12	10	8	11	13	14	13	20	24	28	24	42	39	26	34	25	24	24
I	10	18	11	12	8	9	7	3	12	5	8	4	10	9	21	14	22	21	26	20	22	19	18	12
A	10	11	6	12	3	6	9	7	7	5	8	7	4	11	15	11	15	13	21	17	15	16	10	9
Σ	12	13	9	13	7	11	22	17	10	10	10	17	9	14	17	11	13	17	20	16	16	11	14	18
O	20	21	21	17	14	17	16	21	24	16	18	20	16	23	13	19	16	22	23	19	19	11	12	21
N	20	28	29	33	25	35	27	36	21	21	26	30	29	22	23	22	17	25	22	24	29	16	26	25
Δ	28	25	26	27	16	16	25	23	25	21	31	21	26	25	19	22	26	26	27	25	28	25	28	19
ΕΤΗΣΙΑ	248	234	214	234	180	210	216	223	222	185	224	220	229	257	262	246	262	313	306	283	284	248	253	232
ΘΕΡΜΗ Π.	106	101	73	90	62	76	85	70	75	66	70	81	85	110	148	124	133	181	175	145	145	128	119	110
ΨΥΧΡΗ Π.	142	133	141	144	118	134	131	153	147	119	154	139	144	147	114	122	129	132	131	138	139	120	134	122

Τα ποσοστά της συχνότητας εμφάνισης των μέγιστων ωριαίων εντάσεων τόσο κατά το έτος όσο και κατά τη θερμή και ψυχρή περίοδο αυτού απεικονίζονται στο Σχήμα 18. Η αναγωγή των απόλυτων συχνοτήτων εμφάνισης των επεισοδίων σε ποσοστά έγινε στο συνολικό πλήθος επεισοδίων 5785 (για τα ετήσια δεδομένα), στο πλήθος των επεισοδίων που εμφανίστηκαν την συγκεκριμένη περίοδο 3227 (για την ψυχρή περίοδο), και στις αντίστοιχες συχνότητες της θερμής περιόδου, 2558 στο σύνολο, (για τη θερμή περίοδο) αντίστοιχα.



Σχήμα 18. Ημερήσια πορεία των ποσοστών των συχνοτήτων των ωριαίων εντάσεων κατά το έτος, τη θερμή και την ψυχρή περίοδο αυτού.

Όπως φαίνεται από το σχήμα η καμπύλη της ψυχρής περιόδου ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό αυτή των ετήσιων τιμών μέχρι και την 14^η ώρα με ελάχιστα μεγαλύτερα ποσοστά ενώ από την 15^η έως την 24^η ώρα τα ποσοστά είναι λίγο μικρότερα της ετήσιας. Ιδιαίτερα την 18^η και 19^η ώρα οι 2 καμπύλες φαίνεται να αποκλίνουν. Αντίθετα, η καμπύλη της θερμής περιόδου εμφανίζει σαφώς μικρότερα ποσοστά από τις άλλες 2 καμπύλες μέχρι και την 14^η ώρα ενώ την υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας και ιδιαίτερα την 17^η 18^η 19^η και 20^η ώρα εμφανίζει μέγιστα ποσοστά. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα ετήσια μέγιστα ποσοστά ωριαίων μεγίστων τιμών βροχής από την 1^η πρωινή μέχρι και την 14^η ώρα οφείλονται κυρίως στους ψυχρούς μήνες ενώ από την 14^η έως την 24^η ώρα, στις συχνότητες των μέγιστων ωριαίων εντάσεων συνεισφέρουν κυρίως οι θερμοί μήνες.

Σύμφωνα με τις τιμές των μέγιστων εντάσεων υπολογίστηκαν οι σχετικές συχνότητες ανά μήνα για το κάθε επεισόδιο αφού προηγουμένως τα δεδομένα κατανεμήθηκαν σε 7 κλάσεις (0.0 – 1.0, 1.1 – 2.0, 2.1 – 3.0, 3.1 – 5.0, 5.1 – 10.0, 10.0 – 20.0, >20.0 χιλιοστά / ώρα), για κάθε μήνα (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Σχετική κατανομή συχνοτήτων μέγιστων εντάσεων κατά μήνα (%).

Μήνες	Συνολικά χιλιοστά βροχής	Μέγιστη ένταση (χιλιοστά / ώρα)						
		0,0 - 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	10,1 - 20,0	>20,0
Ι	531	64,2	18,6	7,7	4,5	4,0	0,9	0
Φ	492	65,0	15,0	8,1	7,5	4,1	0,2	0
Μ	574	63,1	17,9	8,2	7,0	3,5	0,3	0
Α	578	61,6	16,6	8,0	8,8	4,0	0,9	0,2
Μ	612	51,8	17,5	9,0	10,3	8,5	2,6	0,3
Ι	472	51,5	16,9	9,1	9,1	8,3	4,2	0,8
Ι	321	48,0	14,6	6,5	10,9	12,1	5,3	2,5
Α	248	46,0	14,9	5,6	10,9	13,7	8,5	0,4
Σ	327	50,8	14,1	13,1	8,3	8,9	3,1	1,8
Ο	439	55,4	15,9	10,0	9,8	5,9	1,8	1,1
Ν	611	56,1	17,2	8,0	9,0	7,5	2,0	0,2
Δ	580	60,0	19,1	7,9	7,6	4,3	1,0	0

Παρατηρείται ότι καθώς μεταβαίνουμε από τις κλάσεις με τις μικρές εντάσεις στις κλάσεις με τις μεγαλύτερες εντάσεις μετατοπίζεται το μέγιστο συχνότητάς τους προς τους θερινούς μήνες. Μελετώντας τον πίνακα μπορεί να θεωρηθεί ότι οι δύο πρώτες κλάσεις (μικρών εντάσεων) χαρακτηρίζουν το χειμώνα, οι δύο επόμενες (μετρίων εντάσεων) το Φθινόπωρο και οι τρεις τελευταίες (των μεγαλύτερων εντάσεων) καθαρά το καλοκαίρι.

Στο Σχήμα 19 φαίνεται η μηνιαία κατανομή συχνοτήτων (%) των μέγιστων ωριαίων εντάσεων κατά επεισόδιο (αθροιστικά από τις 7 κλάσεις). Είναι εμφανές ότι για τον Ιανουάριο το μεγαλύτερο ποσοστό (64,2%) των μέγιστων ωριαίων εντάσεων οφείλεται σε βροχοπτώσεις πολύ μικρής έντασης 0,1 – 1,0 χιλιοστά. Ένα ποσοστό ίσο με 18,6% οφείλεται στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις 1,1 – 2,0 χιλιοστά, ενώ οι υπόλοιπες κλάσεις εμφανίζουν πολύ μικρότερα ποσοστά. Ειδικότερα, στις ωριαίες εντάσεις 2,1 – 3,0 χιλιοστά οφείλεται το 7,7 % των μέγιστων ωριαίων εντάσεων, στις ωριαίες εντάσεις 3,1 – 5,0 χιλιοστά οφείλεται το 4,5% των μέγιστων ωριαίων εντάσεων και σε εντάσεις 5,1 – 10,0 χιλιοστά το 4,0 % των μέγιστων ωριαίων εντάσεων. Τέλος, οι δύο τελευταίες κλάσεις (10,1 – 20,0 χιλιοστά και >20,0 χιλιοστά) συνεισφέρουν ελάχιστα (0,9%) και καθόλου αντίστοιχα.

Παραπλήσια είναι και η εικόνα που εμφανίζεται από το Σχήμα 19 για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο με μέγιστα ποσοστά στην 1^η κλάση και μηδενικά στην τελευταία. Η μόνη διαφοροποίηση από την κατανομή των ποσοστών του Ιανουαρίου εντοπίζεται στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις που κατατάσσονται στην 4^η κλάση (3,1 – 5,0 χιλιοστά) οι οποίες εμφανίζονται αυξημένες με ποσοστό 7,5 % και 7,0 % αντίστοιχα, έναντι 4,5 % που είχε παρατηρηθεί τον Ιανουάριο.

Τον Απρίλιο, ελαττώνονται λίγο τα ποσοστά εμφάνισης της 1^η και 2^{ης} κλάσης σε 61,6 % και 16,6 %. Την προκύπτουσα διαφορά φαίνεται να κερδίζουν οι ωριαίες εντάσεις μέσης απόδοσης 2,1 – 3,0 χιλιοστά, 3,1 – 5,0 χιλιοστά, 5,1 – 10,0 χιλιοστά και 10,1 – 20,0 χιλιοστά. Τέλος κάνουν την εμφάνιση τους για πρώτη φορά από τον Ιανουάριο οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις με τιμές >20,0 χιλιοστά με ελάχιστο βέβαια ποσοστό 0,2 %.

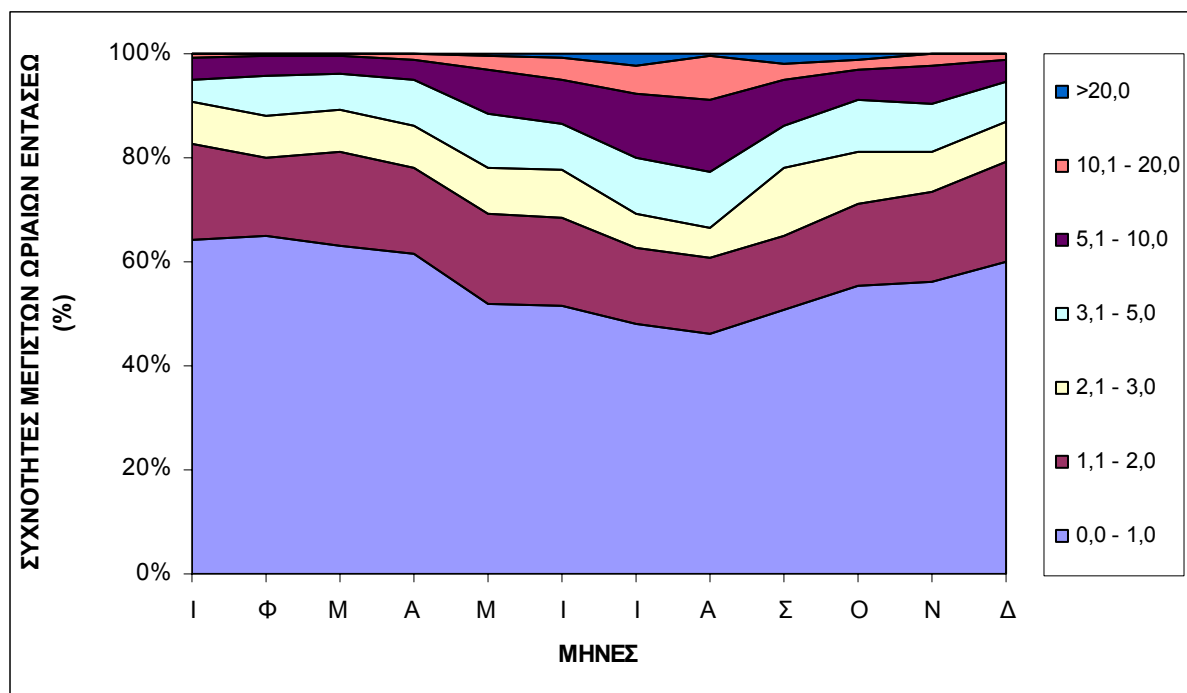
Τον Μάιο, η μείωση της εμφάνισης βροχοπτώσεων ελάχιστης έντασης 0,1 – 1,0 χιλιοστά είναι πλέον εμφανής καθώς μόνο το 51,8% των συνολικών μέγιστων ωριαίων εντάσεων (612 σε πλήθος) οφείλονται σε βροχοπτώσεις αυτής της έντασης. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση του ποσοστού των μέγιστων ωριαίων εντάσεων της κλάσης από 5,1 – 10,0 χιλιοστά όπου παρατηρείται υπερδιπλασιασμός του ποσοστού σε σύγκριση με τους προηγούμενους μήνες, αλλά και το ποσοστό των μέγιστων ωριαίων εντάσεων μεταξύ 10,1 – 20,0 χιλιοστά που τριπλασιάζεται και αγγίζει το 2,6 %.

Αντίστοιχη είναι η κατανομή των ποσοστών εμφάνισης των μέγιστων ωριαίων εντάσεων και για τον Ιούνιο με ελάχιστη μείωση στα ποσοστά όλων των κλάσεων συγκριτικά με τα ποσοστά του Μαΐου και σημαντική αύξηση στα ποσοστά των μέγιστων ωριαίων εντάσεων της κλάσης από 10,1 – 20,0 χιλιοστά (4,2 %) και >20,0 χιλιοστά (0,8 %). Τον Ιούλιο παρατηρείται επίσης μικρή μείωση στα ποσοστά των 6 πρώτων κλάσεων, και για πρώτη φορά σημαντικό είναι το ποσοστό εμφάνισης για τις μέγιστες ωριαίες εντάσεις >20,0 χιλιοστά με ποσοστό 2,5 %, που είναι και το μεγαλύτερο όλων των μηνών. Δηλαδή οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις με απόδοση μεγαλύτερη από 20 χιλιοστά ανά ώρα φαίνεται να συγκεντρώνονται τον Ιούλιο.

Τον Αύγουστο, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 19 οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις της κλάσης των 10,1 – 20,0 χιλιοστών εμφανίζουν ποσοστό ίσο με 8,5 % (μέγιστο σε όλους τους μήνες), ενώ εκείνες της κλάσης των 5,1 – 10,0 χιλιοστών, ποσοστό 13,7 %, επίσης, μέγιστο στο σύνολο των μηνών. Τέλος, παρατηρείται σημαντική πτώση του ποσοστού των εντάσεων που αντιστοιχούν στην τελευταία κλάση (τιμές >20,0 χιλιοστά), ενώ η πρώτη κλάση εμφανίζει το μικρότερο ποσοστό της στο σύνολο των μηνών ίσο με 46 %.

Το Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο η κατανομή των ποσοστών των μέγιστων ωριαίων εντάσεων στις επιλεγμένες κλάσεις αρχίζει να αντιστρέφεται καθώς αυξάνουν τα ποσοστά των 3 πρώτων κλάσεων και μειώνονται αυτά των υπολοίπων. Εξαίρεση αποτελεί η τελευταία κλάση που εξακολουθεί να εμφανίζει σημαντικά ποσοστά 1,8 %, και 1,1 % αντίστοιχα. Παραπλήσια είναι και η εικόνα των 2 τελευταίων μηνών του έτους με αύξηση των ποσοστών των 2 πρώτων μηνών και ελαχιστοποίηση του ποσοστού της τελευταίας κλάσης η οποία για το μήνα Δεκέμβριο απουσιάζει εντελώς.

Συνοψίζοντας μπορεί να ειπωθεί ότι για το χρονικό διάστημα μελέτης 1947 – 2003 για το μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις με μικρές αποδόσεις σε χιλιοστά βροχής υπερσχύουν τους χειμερινούς μήνες, οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις μέσης απόδοσης χαρακτηρίζουν τους μεταβατικούς μήνες, ενώ οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις υψηλής απόδοσης σε χιλιοστά βροχής εμφανίζουν μέγιστες σχετικές συχνότητες τους θερμούς μήνες του έτους, εξαιτίας της εμφάνισης κυρίως των θερινών καταιγίδων χαρακτηριστικό των οποίων είναι η μικρή διάρκεια και η μεγάλη ένταση.



Σχήμα 19. Μηνιαία κατανομή συχνοτήτων (%) μέγιστων ωριαίων εντάσεων κατά επεισόδιο.

Μια εντελώς διαφορετική εικόνα παρουσιάζουν οι αναλύσεις των πραγματικών υψών βροχής που οφείλονται στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης ανά επεισόδιο βροχής, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των σχετικών συχνοτήτων αυτών. Στον Πίνακα 11 εκφράστηκαν τα πραγματικά χιλιοστά βροχής που μετρήθηκαν σαν μέγιστες ωριαίες

εντάσεις από τον βροχογράφο του πανεπιστημίου για τη χρονική περίοδο 1947 – 2003 σε ποσοστά επί %. Η αναγωγή έγινε ως προς το συνολικό ποσό των χιλιοστών βροχής που παρατηρήθηκε κάθε μήνα για να είναι δυνατή η σύγκριση ανάμεσα στις κλάσεις και να απαλειφθεί η εποχικότητα καθώς όπως είναι αναμενόμενο ορισμένοι μήνες είναι πιο βροχεροί από ορισμένους άλλους. Στην 2η στήλη του πίνακα 11 φαίνονται και τα συνολικά χιλιοστά βροχής για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Πίνακας 11. Βροχομετρικό καθεστώς στη Θεσσαλονίκη σύμφωνα με τις μέγιστες ωριαίες εντάσεις των επεισοδίων βροχής. Πραγματικά ύψη βροχής για τις διάφορες κλάσεις εκφρασμένα σε ποσοστά επί της %.

Μήνες	Συνολικά χιλιοστά βροχής	% των χιλιοστών βροχόπτωσης οφειλόμενα στις μέγιστες εντάσεις των επεισοδίων επί του συνολικού μηνιαίου ποσού mm.						
		0,0 - 1,0	1,1 - 2,0	2,1 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	10,1 - 20,0	>20,0
I	675,5	19,4	21,9	15,0	13,0	22,0	8,6	0,0
Φ	628,4	20,3	17,3	16,0	23,8	21,0	1,6	0,0
M	743,1	19,8	20,6	15,8	21,0	18,9	3,8	0,0
A	854,7	16,0	17,0	13,3	23,8	19,4	7,4	3,2
M	1356	9,2	11,9	10,1	18,2	27,8	18,2	4,6
I	1154,8	8,2	10,3	9,3	14,7	24,3	24,4	8,9
I	1074,9	5,4	6,8	4,9	12,6	24,4	21,5	24,5
A	797,4	6,0	7,4	4,2	13,3	30,4	36,0	2,7
Σ	847,2	7,8	8,3	12,7	12,5	23,7	15,5	19,6
O	900,9	10,9	11,7	12,0	18,9	19,7	12,5	14,2
N	1114,3	11,4	14,3	11,1	19,2	27,6	14,6	1,9
Δ	834,5	17,4	19,3	13,4	20,7	19,8	9,3	0,0

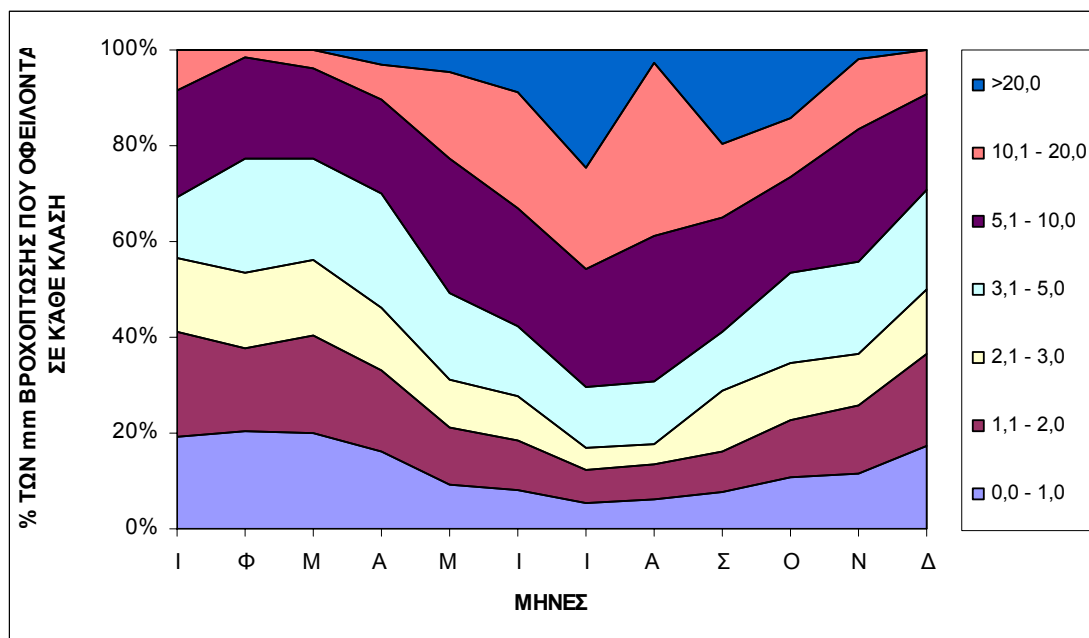
Στο Σχήμα 20 απεικονίζονται τα πραγματικά ύψη βροχής οφειλόμενα στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις των παρατηρούμενων επεισοδίων εκφρασμένα σε ποσοστά επί της %. Μια σύγκριση με το Σχήμα 19 μπορεί να αποτυπώσει τη διαφορά ανάμεσα στις συχνότητες των μέγιστων ωριαίων εντάσεων και στα πραγματικά ύψη βροχής που αυτές αποδίδουν.

Οι 2 πρώτες κλάσεις (0,1 – 1,0 χιλιοστά και 1,1 – 2,0 χιλιοστά) οι οποίες παρουσίασαν τις μεγαλύτερες συχνότητες δίνουν τα μικρότερα ύψη βροχής στη διάρκεια όλου του έτους. Ειδικότερα, η πρώτη κλάση εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της τον Ιανουάριο η οποία δεν ξεπερνά το 20% του πραγματικού ύψους βροχής που έπεσε σ' όλο το μήνα, την στιγμή που η αντίστοιχη συχνότητα ξεπερνούσε το 64 %. Η 3^η κλάση (2,1 – 3,0 χιλιοστά) δίνει ελαφρώς μεγαλύτερα ποσοστά πραγματικού ύψους βροχής σε σύγκριση με τις συχνότητες που μελετήθηκαν νωρίτερα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών του

έτους και ελαφρώς μικρότερα τους θερινούς. Μέγιστη τιμή, ίση με 15,99 %, εντοπίζεται τον Φεβρουάριο και ελάχιστη 4,24 % τον Αύγουστο. Η διαφορά από τις αντίστοιχες συχνότητες είναι εντονότερη τους χειμερινούς μήνες έναντι των θερινών.

Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερα ποσά βροχής η αύξηση είναι πιο σημαντική και παρατηρείται σε όλους τους μήνες. Έτσι, η 4η κλάση (3,1 – 5,0 χιλιοστά) συνεισφέρει στα πραγματικά ύψη βροχής πολύ περισσότερο από ότι στις συχνότητες σε όλη τη διάρκεια του έτους και ειδικότερα τους χειμερινούς μήνες. Εντονότερα φαίνεται η τάση αυτή στις 2 τελευταίες κλάσεις, σε αυτές που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής 10,1 – 20,0 χιλιοστά και >20,0 χιλιοστά σε όλη τη διάρκεια του έτους. Η διαπίστωση αυτή είναι αναμενόμενη καθώς η μικρή αύξηση που παρουσίαζαν οι συχνότητες εμφάνισης των μέγιστων ωριαίων εντάσεων τους θερινούς μήνες στις κλάσεις αυτές μεταφράζεται σε πολύ μεγαλύτερα χιλιοστά βροχόπτωσης καθώς πρόκειται για κλάσεις υψηλής απόδοσης σε ύψη βροχής.

Συνοψίζοντας μπορεί και εδώ να θεωρηθεί ότι οι 3 ή πιθανόν 4 πρώτες κλάσεις χαρακτηρίζουν τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες ενώ οι υπόλοιπες (κλάσεις υψηλής βροχόπτωσης) συνεισφέρουν σημαντικά στους θερινούς μήνες του έτους αλλά και στους χειμερινούς όπου οι αντίστοιχες τιμές συχνοτήτων εμφάνισης ήταν οριακές.



Σχήμα 20. Βροχομετρικό καθεστώς στη Θεσσαλονίκη (πραγματικά ύψη βροχής οφειλόμενα στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις των παρατηρούμενων επεισοδίων εκφρασμένα σε ποσοστά επί της %).

5. ΤΑΣΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετήθηκαν οι τάσεις που παρουσιάζουν οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης στη Θεσσαλονίκη για το χρονικό διάστημα 1947 – 2003 σε ετήσια και εποχική κλίμακα.

Η γραμμική συσχέτιση είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για τον εντοπισμό των σχέσεων μεταξύ δύο διαφορετικών μεταβλητών (De Luis et al., 2000; Maheras and Anagnostopoulou, 2003). Η παραγόμενη ευθεία από τη γραμμική συσχέτιση παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα εκτίμησης της εξαρτημένης μεταβλητής από την ανεξάρτητη μεταβλητή X . Στην παρούσα εργασία ανεξάρτητη μεταβλητή είναι ο χρόνος και εξαρτημένη οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης.

Οι τάσεις υπολογίστηκαν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Wilks, 1995).

$$y_i = a + bx_i + e_i$$

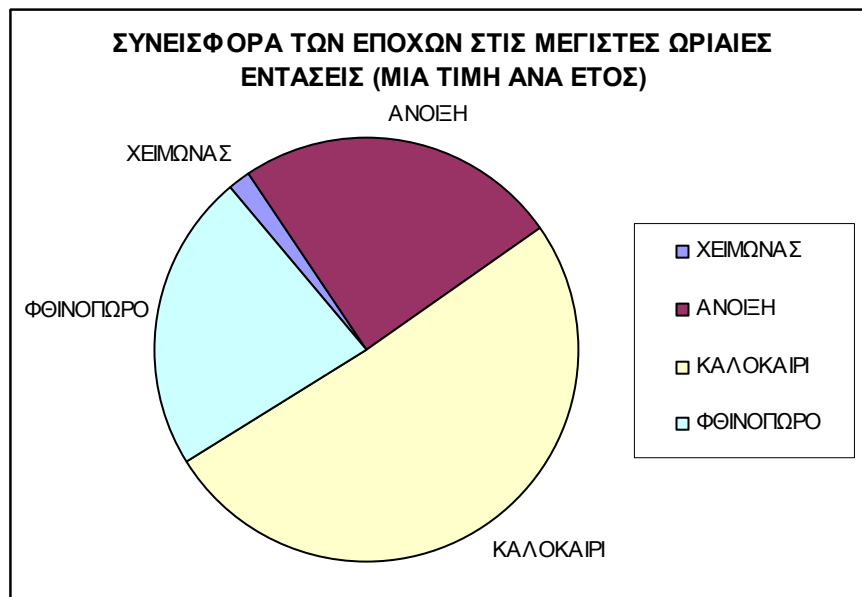
Όπου y_i είναι η τιμή του δείκτη στο χρόνο x_i , e_i είναι το σφάλμα με μέση τιμή μηδέν. Ο συντελεστής b εκφράζει τη τάση ως μεταβολή των μέγιστων ωριαίων εντάσεων ανά έτος (Αναγνωστοπούλου και συνεργάτες, 2004).

Χρησιμοποιώντας τα ωριαία δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης υπολογίστηκαν οι μέγιστες τιμές των ωριαίων εντάσεων της βροχής. Υπολογίστηκε η μέγιστη τιμή έντασης ανά έτος ανεξάρτητα με την ώρα ή το μήνα που αυτή εμφανιζόταν. Προέκυψε έτσι μια χρονοσειρά 57 τιμών, όσο και το πλήθος των ετών (Πίνακας 12) τα χαρακτηριστικά της οποίας μελετώνται παρακάτω.

Στη μελετούμενη περίοδο παρατηρούνται τιμές από 8,1 χιλιοστά το 1997 έως 55,5 χιλιοστά το 1995. Ο μέσος όρος της χρονοσειράς βρέθηκε ίσος με 20,4 χιλιοστά, ενώ σε αυτές τις 57 ώρες έφτασαν στο έδαφος συνολικά 1161,3 χιλιοστά βροχής. Από τις 57 μέγιστες ωριαίες εντάσεις μία μόνο ανήκει σε χειμερινό μήνα, 14 σε ανοιξιάτικους μήνες, 29 σε καλοκαιρινούς και 13 σε φθινοπωρινούς. Στη χρονοσειρά που μελετάται, επομένως, το καλοκαίρι συνεισφέρει μέγιστα με ποσοστό 50,9 %, ακολουθεί η άνοιξη και το φθινόπωρο με 24,6 % και 22,8% αντίστοιχα, και τέλος ο χειμώνας με ελάχιστο ποσοστό 1,8% (Σχήμα 21).

Πίνακας 12. Χρονοσειρά μέγιστων ωριαίων εντάσεων για κάθε έτος.

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΩΡΙΑΙΕΣ ΕΝΤΑΣΕΙΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ (mm)					
ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
1947	23,2	10,1	3,7	13,2	23,2
1948	29,9	6,9	9,6	18,9	29,9
1949	19,0	9,9	19,0	6,4	15,7
1950	30,7	8,0	14,0	15,3	30,7
1951	17,5	10,8	17,5	16,3	5,2
1952	31,5	9,0	3,0	31,5	7,3
1953	21,4	9,5	6,2	21,4	5,3
1954	15,1	7,5	4,2	3,2	15,1
1955	29,7	13,3	17,2	29,7	23,4
1956	32,5	4,0	10,0	32,5	15,0
1957	22,7	8,9	4,5	15,7	22,7
1958	9,8	3,6	9,8	4,6	6,8
1959	12,2	6,0	8,2	6,2	8,0
1960	25,0	12,2	5,4	13,7	25,0
1961	37,3	12,2	37,3	9,6	17,6
1962	20,0	6,0	4,5	20,0	4,1
1963	15,7	5,8	15,9	15,8	7,8
1964	16,9	6,5	16,9	12,4	4,9
1965	10,3	7,2	10,3	5,9	7,6
1966	14,5	13,1	9,7	14,5	6,5
1967	40,8	10,3	9,8	15,2	40,8
1968	15,0	6,9	8,7	15,0	6,7
1969	10,8	6,3	4,4	10,8	6,9
1970	19,0	10,0	6,0	19,0	4,7
1971	25,0	7,4	25,0	17,1	12,0
1972	48,7	4,7	27,3	48,7	12,2
1973	14,7	6,3	5,2	14,7	11,3
1974	13,2	7,4	7,4	11,7	11,2
1975	18,6	13,2	12,2	18,6	5,1
1976	25,5	2,7	18,4	25,5	14,6
1977	10,6	3,1	9,7	10,6	7,2
1978	16,0	4,3	16,0	13,5	7,4
1979	24,5	5,2	8,3	24,5	23,3
1980	31,1	4,8	6,6	15,0	31,1
1981	12,9	5,5	6,1	12,9	12,0
1982	21,0	3,2	9,8	7,7	21,0
1983	23,0	6,7	6,8	23,0	3,3
1984	10,0	7,7	4,2	10,0	7,6
1985	15,4	3,3	15,4	5,5	11,2
1986	12,8	6,7	9,1	12,8	8,8
1987	24,3	8,7	8,1	24,3	19,6
1988	21,2	6,3	8,3	21,2	4,4
1989	22,5	4,9	18,8	22,5	6,6
1990	14,6	4,2	14,6	11,7	8,2
1991	13,5	6,2	10,6	10,8	13,5
1992	11,8	1,2	7,6	11,8	5,8
1993	17,1	17,1	8,2	11,0	6,0
1994	17,0	7,6	11,2	17,0	9,7
1995	55,5	10,8	13,8	55,5	4,5
1996	16,2	7,5	5,4	16,2	14,5
1997	8,1	6,4	6,2	8,1	5,5
1998	16,0	8,4	6,5	3,7	16,0
1999	15,3	3,7	9,1	13,5	15,3
2000	16,5	12,7	16,5	11,2	7,2
2001	19,5	6,0	19,5	4,7	8,2
2002	16,0	3,0	10,0	13,5	16,0
2003	18,0	10,1	5,7	18,0	7,3
M.O	20,4	7,4	10,9	16,0	12,4



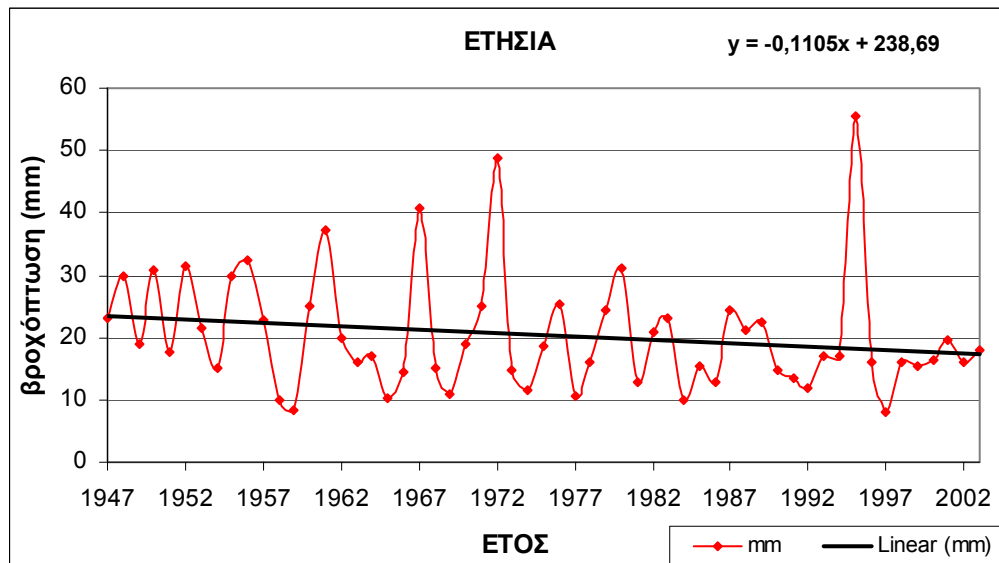
Σχήμα 21. Συνεισφορά κάθε εποχής στη μελετούμενη χρονοσειρά των μέγιστων ωριαίων εντάσεων.

Οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις ανά έτος ανεξαρτήτου ώρας και μήνα εμφάνισης απεικονίστηκαν στο Σχήμα 22. Πτωτική είναι η τάση που παρουσιάζουν οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου με πολλές ενδιάμεσες διακυμάνσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα έτη 1966 (14,5 χιλιοστά), 1967 (40,8 χιλιοστά), 1968 (15,0 χιλιοστά), όπου παρατηρείται έντονη εναλλαγή μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμών, όπως επίσης και τα έτη 1971 (25,0 χιλιοστά), 1972 (48,7 χιλιοστά), 1973 (14,7 χιλιοστά) αλλά και τα έτη 1994 (17,0 χιλιοστά), 1995 (55,5 χιλιοστά) και 1996 (16,2 χιλιοστά).

Αντίθετα, από το 1996 και μέχρι το τέλος της περιόδου μελέτης το 2003, η διαφορά των μέγιστων ωριαίων εντάσεων από έτος σε έτος είναι πολύ μικρή και μάλιστα όλες οι τιμές κυμαίνονται κάτω από τα 20 χιλιοστά, τιμές χαμηλότερες από το μέσο όρο της μελετούμενης χρονοσειράς (20,4 χιλιοστά), γεγονός που επιβεβαιώνει την πτωτική τάση που παρατηρείται από το Σχήμα 18.

Η τάση υπολογίζεται και εκφράζεται επίσης με την βοήθεια της εξίσωσης παλινδρόμησης $y = ax + \beta$, και βρέθηκε ίση με $y = -0,1105x + 238,69$. Στη συνέχεια, θεωρήθηκε χρήσιμο να διαπιστωθεί αν η τάση αυτή που παρατηρήθηκε οφείλεται στο σύνολο των μηνών κάθε έτους ή απομονώνεται σε κάποιες εποχές. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία για την κάθε εποχή ξεχωριστά. Βρέθηκαν, δηλαδή, οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης που εμφανίστηκαν για το Χειμώνα (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος), την Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος), το Καλοκαίρι

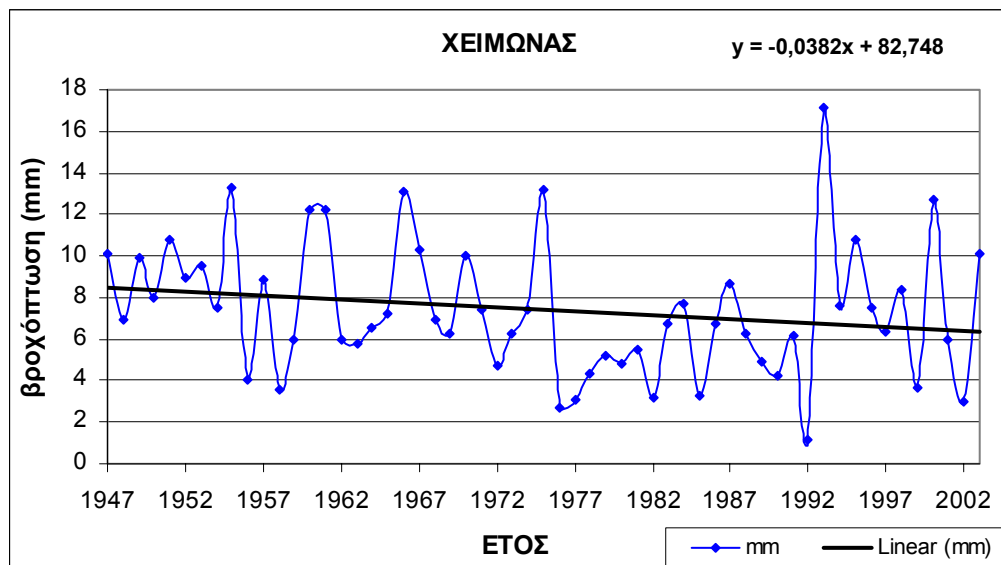
(Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) και το Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος) κάθε έτους ξεχωριστά (Πίνακας 12).



Σχήμα 22. Μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ' έτος ανεξαρτήτως ώρας.

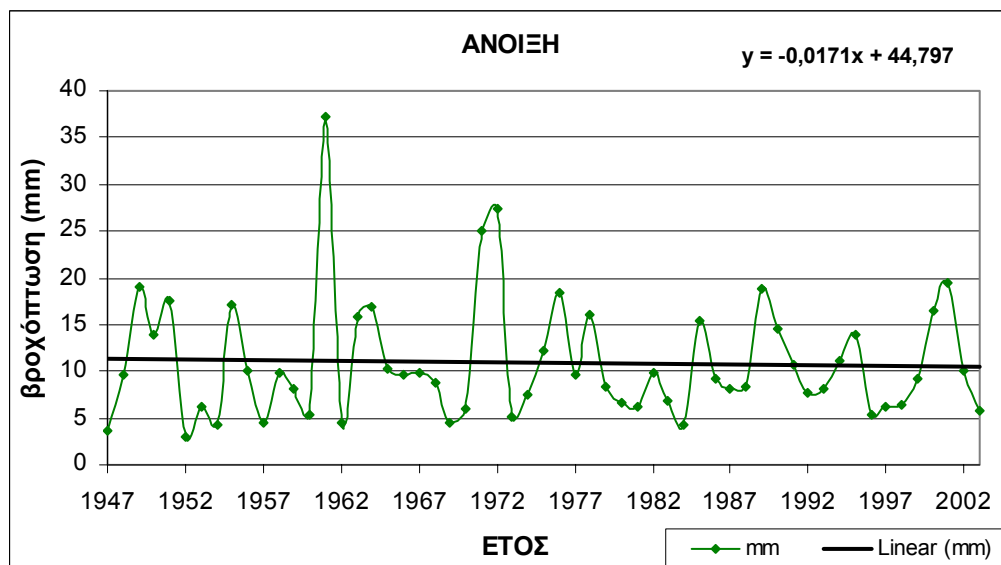
Ειδικότερα, για το χειμώνα εντοπίζονται τιμές από 1,2 χιλιοστά το 1992 έως 17,1 χιλιοστά το 1993. Ο μέσος όρος της χρονοσειράς βρέθηκε ίσος με 7,4 χιλιοστά, ενώ σε αυτές τις 57 ώρες έφτασαν στο έδαφος συνολικά 421,0 χιλιοστά βροχής. Και για το χειμώνα, επομένως η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μέγιστων ωριαίων βροχοπτώσεων εντοπίζονται σε συνεχόμενα έτη (για τα ετήσια δεδομένα οι αντίστοιχες τιμές εμφανίζονταν το 1995 και το 1997 αντίστοιχα) όπως παρατηρείται από τη χρονοσειρά μέγιστων τιμών που υπολογίστηκε για το χειμώνα.

Στο Σχήμα 23 απεικονίστηκαν οι τιμές αυτές για να γίνει εμφανής η τάση που παρουσιάζουν. Παρατηρείται πτωτική τάση των μεγίστων εντάσεων ωριαίων βροχοπτώσεων και για το Χειμώνα με πολλές ενδιάμεσες διακυμάνσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χρονιές 1965 (7,2 χιλιοστά), 1966 (13,1 χιλιοστά), 1967 (10,3 χιλιοστά) και 1968 (6,9 χιλιοστά) όπου παρατηρείται έντονη εναλλαγή μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμών, όπως επίσης και τα έτη 1974 (7,4 χιλιοστά), 1975 (13,2 χιλιοστά), 1976 (2,7 χιλιοστά) αλλά και τα έτη 1992 (1,2 χιλιοστά), 1993 (17,1 χιλιοστά), 1994 (7,6 χιλιοστά). Και για το χειμώνα, επομένως, παρατηρείται πτωτική τάση η $y = -0,0382x + 82,748$ η οποία είναι μικρότερη από την τάση που παρατηρήθηκε στα ετήσια δεδομένα.



Σχήμα 23. Μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ ' έτος για το Χειμώνα ανεξαρτήτως ώρας.

Για την Άνοιξη, αντίστοιχα, εντοπίζονται τιμές από 3,0 χιλιοστά το 1952 έως 37,3 χιλιοστά το 1961 ενώ ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών ωριαίων βροχοπτώσεων για την Άνοιξη είναι ίσος με 10,9 χιλιοστά. Το συνολικό ποσό βροχής που έφτασε στο έδαφος και οφείλεται στις ανοιξιάτικες μέγιστες ωριαίες εντάσεις ανέρχεται σε 623,4 χιλιοστά βροχής. Μελετώντας τη γραφική παράσταση των μέγιστων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης για την Άνοιξη (Σχήμα 24) συμπεραίνεται ότι οι μέγιστες ωριαίες τιμές βροχόπτωσης παραμένουν σχεδόν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου.



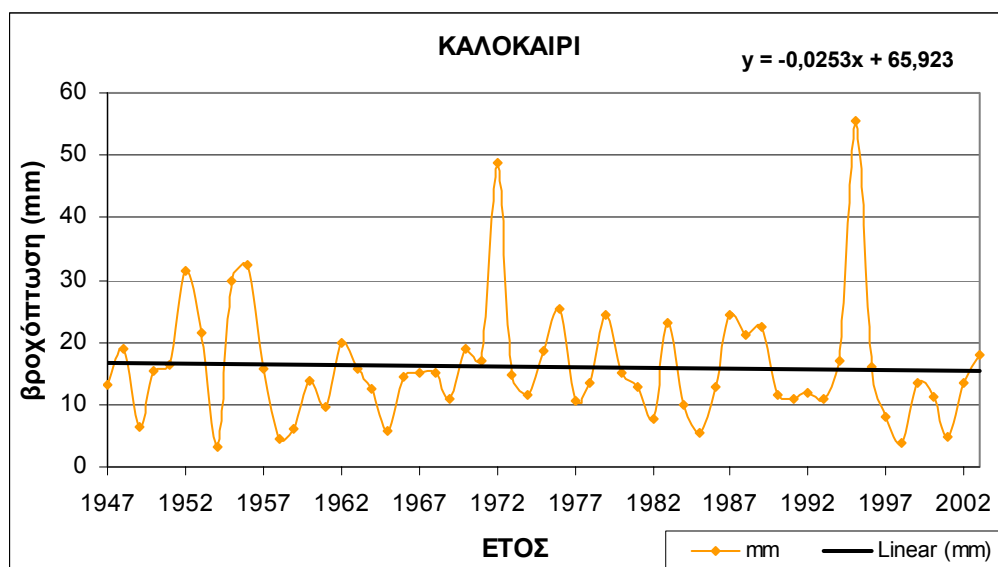
Σχήμα 24. Μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ ' έτος για την Άνοιξη ανεξαρτήτως ώρας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν 2 έντονες διακυμάνσεις που εντοπίζονται τις χρονιές 1960 (5,4 χιλιοστά), 1961 (37,3 χιλιοστά), 1962 (4,5 χιλιοστά) όπου παρατηρείται

έντονη εναλλαγή μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμών, όπως επίσης και τα έτη 1970 (6,0 χιλιοστά), 1971 (25,0 χιλιοστά), 1972 (27,3 χιλιοστά), 1973 (5,2 χιλιοστά). Η τάση $y = -0,0171x + 44,797$ η οποία είναι μικρότερη από την τάση που παρατηρήθηκε στα ετήσια δεδομένα αλλά και στα δεδομένα των χειμερινών μηνών.

Για το καλοκαίρι, η εικόνα είναι αντίστοιχη με αυτήν της άνοιξης καθώς από τον Πίνακα 10 και το Σχήμα 25 παρατηρούνται τιμές από 3,7 χιλιοστά το 1998 έως και 55,5 χιλιοστά το 1995 (τιμή που αποτελεί την μέγιστη ωριαία ένταση βροχοπτώσης για όλη τη χρονοσειρά ανεξαρτήτως εποχής). Ο μέσος όρος της χρονοσειράς βρέθηκε ίσος με 16,0 χιλιοστά, ενώ σε αυτές τις 57 ώρες έφτασαν στο έδαφος συνολικά 913,3 χιλιοστά βροχής.

Και εδώ παρατηρούνται έντονες διακυμάνσεις. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χρονιές 1951 (16,3 χιλιοστά), 1952 (31,5 χιλιοστά), 1953 (21,4 χιλιοστά) και 1954 (3,2 χιλιοστά) όπου παρατηρείται έντονη εναλλαγή μεταξύ χαμηλών και υψηλών τιμών, όπως επίσης και τα έτη 1971 (17,1 χιλιοστά), 1972 (48,7 χιλιοστά), 1973 (14,7 χιλιοστά) αλλά και τα έτη 1994 (17,0 χιλιοστά), 1995 (55,5 χιλιοστά), 1996 (16,2 χιλιοστά). Οι υπόλοιπες τιμές κυμαίνονται σε υψηλά γενικά επίπεδα παρόλο που πρόκειται για καλοκαιρινούς μήνες και ο μέσος όρος είναι 16,0 καθώς πρόκειται για επεισόδια καταιγίδων κυρίως που έχουν ως γνωστό μικρή διάρκεια με μεγάλη ένταση και δίνουν έτσι υψηλές τιμές μέγιστων ωριαίων εντάσεων βροχοπτώσης. Η πτωτική τάση η οποία υπολογίζεται και εκφράζεται με την βοήθεια εξίσωσης βρέθηκε ίση με $y = -0,0253x + 65,923$ για το καλοκαίρι και είναι αρκετά μικρή.

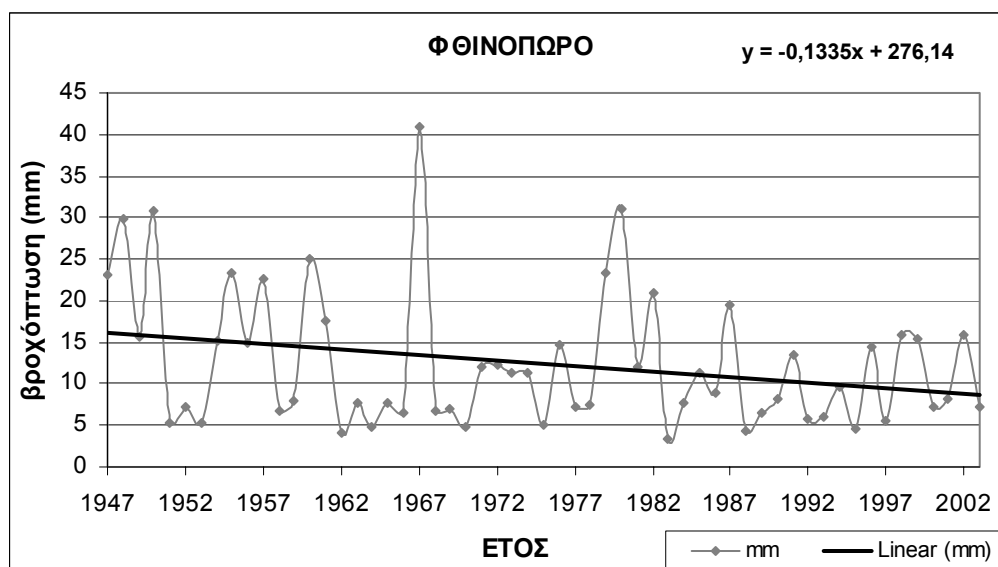


Σχήμα 25. Μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ έτος για το καλοκαίρι ανεξαρτήτως ώρας.

Μελετώντας τις μέγιστες ωριαίες εντάσεις που εμφανίζονται τους φθινοπωρινούς μήνες για την μελετούμενη περίοδο παρατηρείται μια έντονη πτωτική τάση ακόμη μεγαλύτερη και από αυτήν που εντοπίζεται στα ετήσια δεδομένα και δίνεται από την εξίσωση $y = -0,1335x + 276,14$. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι το φθινόπωρο προκαλεί ουσιαστικά την τάση που εντοπίστηκε και στα ετήσια δεδομένα καθώς η μελέτη των υπολοίπων εποχών που προηγήθηκε έδωσε πολύ μικρότερες τάσεις οι οποίες όμως όλες ήταν πτωτικές.

Από τον Πίνακα 10 προκύπτει ότι οι τιμές των μέγιστων ωριαίων εντάσεων βροχόπτωσης κυμαίνονται από 3,3 χιλιοστά (το 1983) έως και 40,8 χιλιοστά (το 1967) με μέσο όρο για το Φθινόπωρο ίσο με 12,4 χιλιοστά και απόδοση 708,5 χιλιοστά. Από τη γραφική παράσταση των παραπάνω τιμών (Σχήμα 26) εντοπίζονται έντονες διακυμάνσεις στα έτη 1950 (30,7 χιλιοστά), 1951 (5,2 χιλιοστά) αλλά και τα έτη 1966 (6,5 χιλιοστά), 1967 (40,8 χιλιοστά), 1968 (6,7 χιλιοστά). Οι έντονες αυτές διακυμάνσεις εντοπίζονται από την αρχή της μελετούμενης περιόδου και μέχρι το 1985 περίπου ενώ από εκεί και πέρα και ως το 2003 οι διακυμάνσεις είναι πολύ μικρότερες.

Για το φθινόπωρο, επομένως, παρατηρείται έντονη πτωτική τάση στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης σε συνδυασμό με την απουσία έντονων διακυμάνσεων (από το 1985 και μέχρι το τέλος της μελετούμενης περιόδου), γεγονός που δείχνει ότι από το 1985 και μετά, για τους Φθινοπωρινούς μήνες απουσιάζουν οι πολύ υψηλές τιμές ωριαίων εντάσεων βροχόπτωσης, σε αντίθεση με τα προηγούμενα έτη.



Σχήμα 26. Μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ ' έτος για το Φθινόπωρο ανεξαρτήτως ώρας.

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΔΩΝ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται υπολογισμός των περιόδων επανάληψης των ωριαίων μέγιστων τιμών βροχόπτωσης με τη βοήθεια της μεθόδου Gumbel. Οι ακραίες ωριαίες τιμές βροχόπτωσης παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο γιατί έχουν εφαρμογή σε τεχνικά προβλήματα (αντιπλημμυρικά έργα), αλλά επίσης γιατί πρόκειται για ένα σπάνιο ή ασύνηθες φυσικό φαινόμενο. Η συνήθης επεξεργασία των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης γίνεται με την εφαρμογή του διπλού εκθετικού νόμου ή της διπλής εκθετικής εξίσωσης, γνωστή ως εξίσωση του Gumbel

$$f(x_0) = e^{-e^{-y}} \quad y = a \log x + b \quad 0 \leq x \leq \infty.$$

Για την εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων ωριαίων βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν οι ωριαίες τιμές βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1947 – 2003. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου Gumbel είναι: ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων τιμών να είναι μεγαλύτερος από 15, στη συγκεκριμένη εργασία $n = 57$, η χρονοσειρά να μην εμφανίζει καμία τάση, και οι χρησιμοποιούμενες τιμές να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλαδή, να μην υπάρχει καμία εμμονή στην εμφάνιση των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης.

Η τάση υπολογίστηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων: $x_j = a + b \frac{j}{n}$

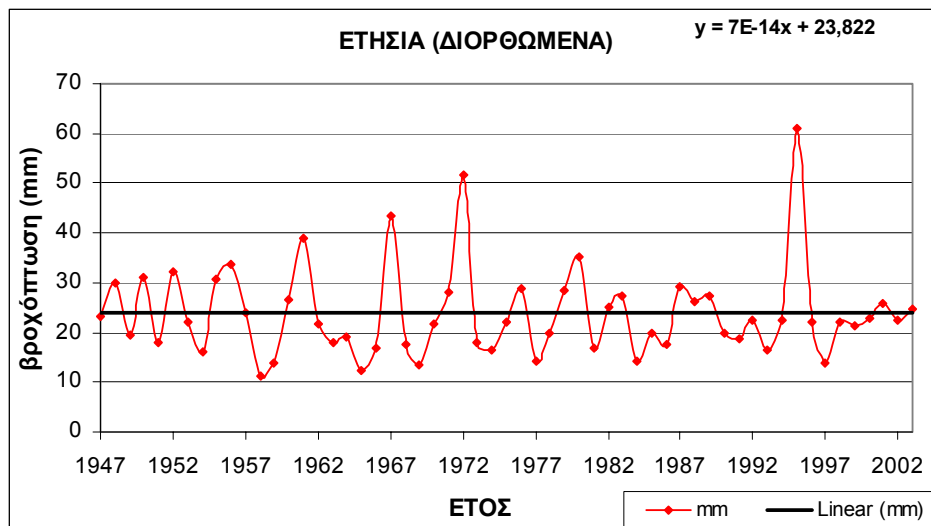
$j=1, 2, \dots, n$. Ακολούθησε έλεγχος σημαντικότητας της προκύπτουσας τάσης. Η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων αξιολογήθηκε με τη χρήση Kendall-t test για στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.05$.

Όλες οι πτωτικές τάσεις που παρατηρήθηκαν τόσο για τα ετήσια όσο και για τα εποχικά δεδομένα μέγιστων ωριαίων εντάσεων δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές (Πίνακας 13). Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκε αφαίρεση της τάσης για την καλύτερη εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών Gumbel. Η διόρθωση γίνεται σύμφωνα με τη σχέση $y_j = x_j - b \frac{j}{n}$ (Αναγνωστοπούλου και συνεργάτες, 2006). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε πάλι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων για να διαπιστωθεί αν επιτεύχθηκε η απαλοιφή της τάσης. Όπως φαίνεται από τα σχήματα 27 για τα ετήσια δεδομένα και 28 για τα εποχικά, καμία από τις μελετούμενες χρονοσειρές μέγιστων ωριαίων εντάσεων δεν παρουσιάζει τάση μετά τη διόρθωση.

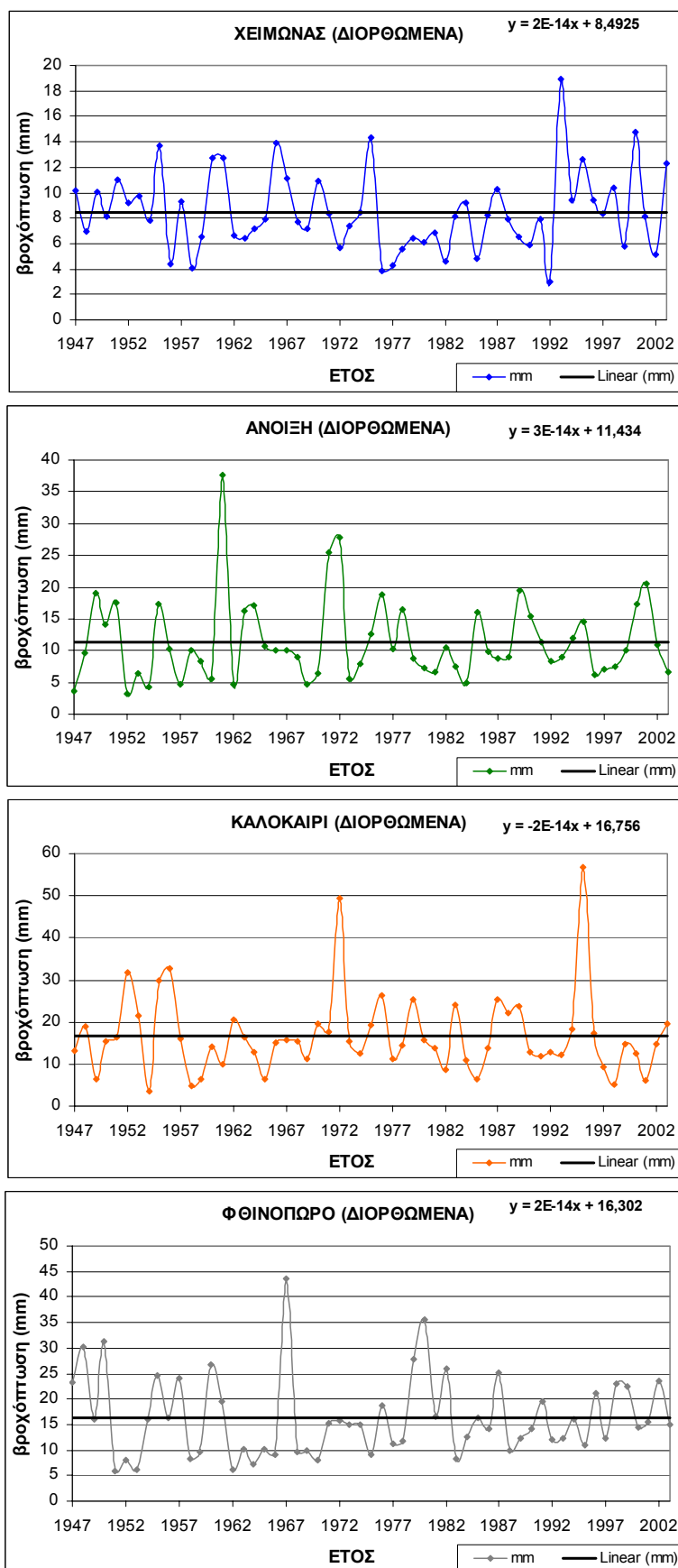
Πίνακας 13. Έλεγχος σημαντικότητας με τη χρήση Kendall-t test για στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.05$.

Significant ≤ 0.05			
	kendall t	z	p – level
Ετήσια	-0,17258	-1,89603	0,074145
Χειμώνας	-0,1642	-1,80405	0,071224
Άνοιξη	0,022642	0,248755	0,80355
Καλοκαίρι	-0,08537	-0,93797	0,348261
Φθινόπωρο	-0,11617	-1,27631	0,201845

Για την επιλογή των δεδομένων, από τους ερευνητές, χρησιμοποιούνται συνήθως 2 μέθοδοι. Η πρώτη συνίσταται στην επιλογή όλων των ακραίων τιμών ωριαίας βροχόπτωσης σε οποιοδήποτε έτος και αν εμφανίζονται με την προϋπόθεση ότι ο αριθμός των τιμών που επελέγησαν να είναι ίσος με τον αριθμό των ετών (για την παρούσα εργασία 57). Η δεύτερη μέθοδος συνίσταται στην επιλογή της μεγαλύτερης ωριαίας τιμής κατ' έτος, δηλαδή και πάλι ο αριθμός των τιμών να είναι ίσος με τον αριθμό των ετών.



Σχήμα 27. Διορθωμένες μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ' έτος.



Σχήμα 28. Διορθωμένες μέγιστες ωριαίες εντάσεις κατ ' έτος για τις 4 εποχές.

6.1 Ετήσια δεδομένα

Αρχικά εφαρμόστηκε η μέθοδος στατιστικής επεξεργασίας των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης σε ετήσια βάση. Επιλέχθηκαν οι 57 μεγαλύτερες μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης σε όλη τη χρονοσειρά ανεξαρτήτως έτους προέλευσης (μέθοδος 1), όπως επίσης και μια μέγιστη τιμή ωριαίας έντασης βροχόπτωσης για κάθε έτος (μέθοδος 2), επίσης 57 τιμές (όσο και το πλήθος των ετών). Για κάθε μια από αυτές τις δύο χρονοσειρές υπολογίστηκαν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση (Πίνακας 20).

Η κατανομή των ακραίων τιμών με τη μέθοδο Gumbel υπολογίζεται από τον τύπο

$$x_T = x + \kappa(n, T) \cdot \sigma \quad \text{όπου:}$$

x_T = η τιμή της μεταβλητής για περίοδο επανάλληψης T χρόνων,

x είναι η μέση τιμή της χρονοσειράς,

σ η τυπική απόκλιση,

$\kappa(n, T)$ ο παράγοντας συχνότητας του οποίου η τιμή εξαρτάται από το πλήθος n του δείγματος και την περίοδο επανάλληψης.

Για την παρούσα μελέτη ο παράγοντας $\kappa(n, T)$ δίνεται από τον πίνακα 14 για πλήθος ετών $n = 50 \approx 57$.

Πίνακας 14. Οι τιμές του παράγοντα $\kappa(n, T)$ σε συνάρτηση με το πλήθος των δεδομένων και την περίοδο επανάλληψης.

Πλήθος δείγματος	Περίοδος επανάλληψης					
n	5	10	15	20	50	100
35	0,85	1,52	1,89	2,19	2,98	3,60
50	0,82	1,47	1,83	2,09	2,89	3,49
100	0,78	1,40	1,75	2,00	2,77	3,35

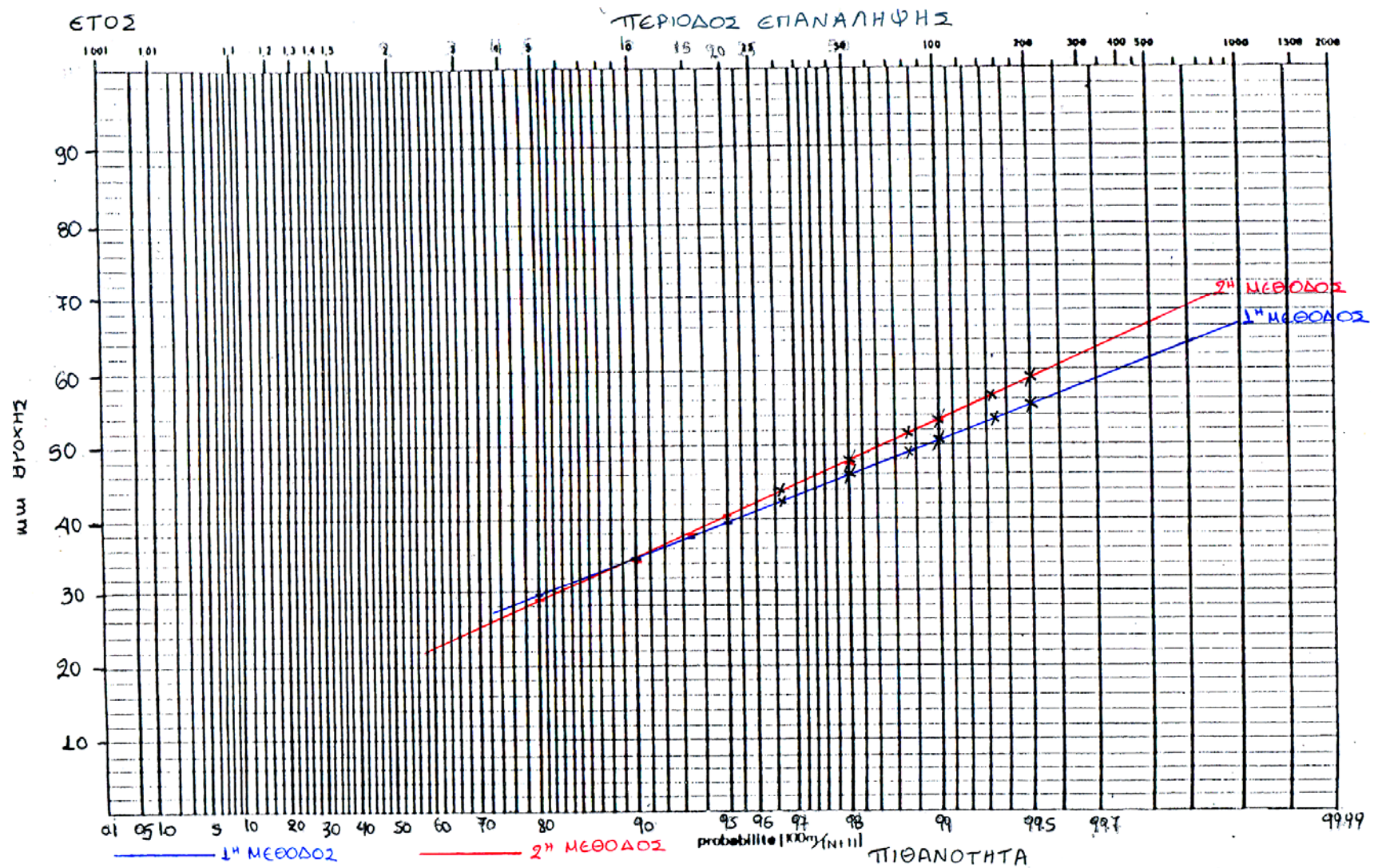
Με την εφαρμογή της μεθόδου υπολογίστηκαν γραφικά οι ακραίες τιμές μέγιστης ωριαίας βροχόπτωσης (Σχήμα 29) για περιόδους 30, 50, 80, 100, 150, 200 χρόνων και με τις 2 μεθόδους. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 15 η δεύτερη μέθοδος δίνει ελάχιστα μεγαλύτερες ακραίες τιμές βροχόπτωσης για περιόδους 30, 50, 80, 100, 150 και 200 ετών. Αντίθετα, η πρώτη μέθοδος δίνει μικρότερες βροχοπτώσεις για τις ίδιες περιόδους. Από το Σχήμα 29 όμως φαίνεται ότι η αναλογία αυτή ισχύει για ωριαίες τιμές βροχόπτωσης μεγαλύτερες από περίπου 34mm με αντίστοιχες περιόδους εμφάνισης 9 περίπου ετών (σημείο τομής των 2 μεθόδων). Για χαμηλότερες περιόδους επανάλληψης η δεύτερη μέθοδος δίνει μικρότερες ακραίες τιμές βροχόπτωσης.

Πίνακας 15. Ακραίες τιμές ωριαίων βροχοπτώσεων για διάφορες περιόδους επανάλληψης για τα ετήσια δεδομένα.

Χρονική περίοδος σε έτη	Ακραίες τιμές σύμφωνα με την 1 ^η μέθοδο	Ακραίες τιμές σύμφωνα με τη 2 ^η μέθοδο
30	42,5	43,8
50	45,6	47,7
80	48,9	51,5
100	50,8	53,2
150	53,4	56,5
200	55,3	59,0

Κάνοντας σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα προκύπτει ότι και οι δύο μέθοδοι υπερεκτιμούν τις περιόδους επανάλληψης των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο, βροχοπτώσεις με μέγιστη ωριαία ένταση 53,6 χιλιοστών (τιμή που αποτελεί την μέγιστη για τη μελετούμενη χρονοσειρά), υπολογίζεται ότι έχουν περίοδο επανάλληψης μεγαλύτερη από 145 χρόνια, ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο περίπου 110 χρόνια. Από τις πραγματικές μετρήσεις γνωρίζουμε ότι αντίστοιχη τιμή ωριαίας βροχόπτωσης εμφανίστηκε μία φορά στο διάστημα μελέτης το οποίο είναι μόλις 57 χρόνια, χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο από τις περιόδους επανάλληψης που προέκυψαν από την εφαρμογή της στατιστικής επεξεργασίας.

Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι και οι δύο μέθοδοι υπερεκτιμούν τις περιόδους επανάλληψης σε σημαντικό βαθμό με την πρώτη μέθοδο να εμφανίζει σημαντικότερο σφάλμα από ότι η δεύτερη.



Σχήμα 29. Μέθοδος Gumbel για τα ετήσια δεδομένα.

6.2 Χειμώνας

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και σε εποχική κλίμακα. Βρέθηκαν και με τις δύο μεθόδους οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις για το χειμώνα (Πίνακας 21). Η μέση τιμή σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο βρέθηκε ίση με 8,7 χιλιοστά και η τυπική απόκλιση 2,5 χιλιοστά ενώ οι αντίστοιχες τιμές υπολογισμένες με τη δεύτερη μέθοδο είναι 8,1 και 3,0 χιλιοστά. Με την εφαρμογή της μεθόδου υπολογίστηκαν οι ακραίες τιμές ωριαίας βροχόπτωσης για περιόδους 30, 50, 80, 100, 150, 200 χρόνων (Σχήμα 26) και με τις 2 μεθόδους και τα αποτελέσματα παραθέτονται στον πίνακα 16.

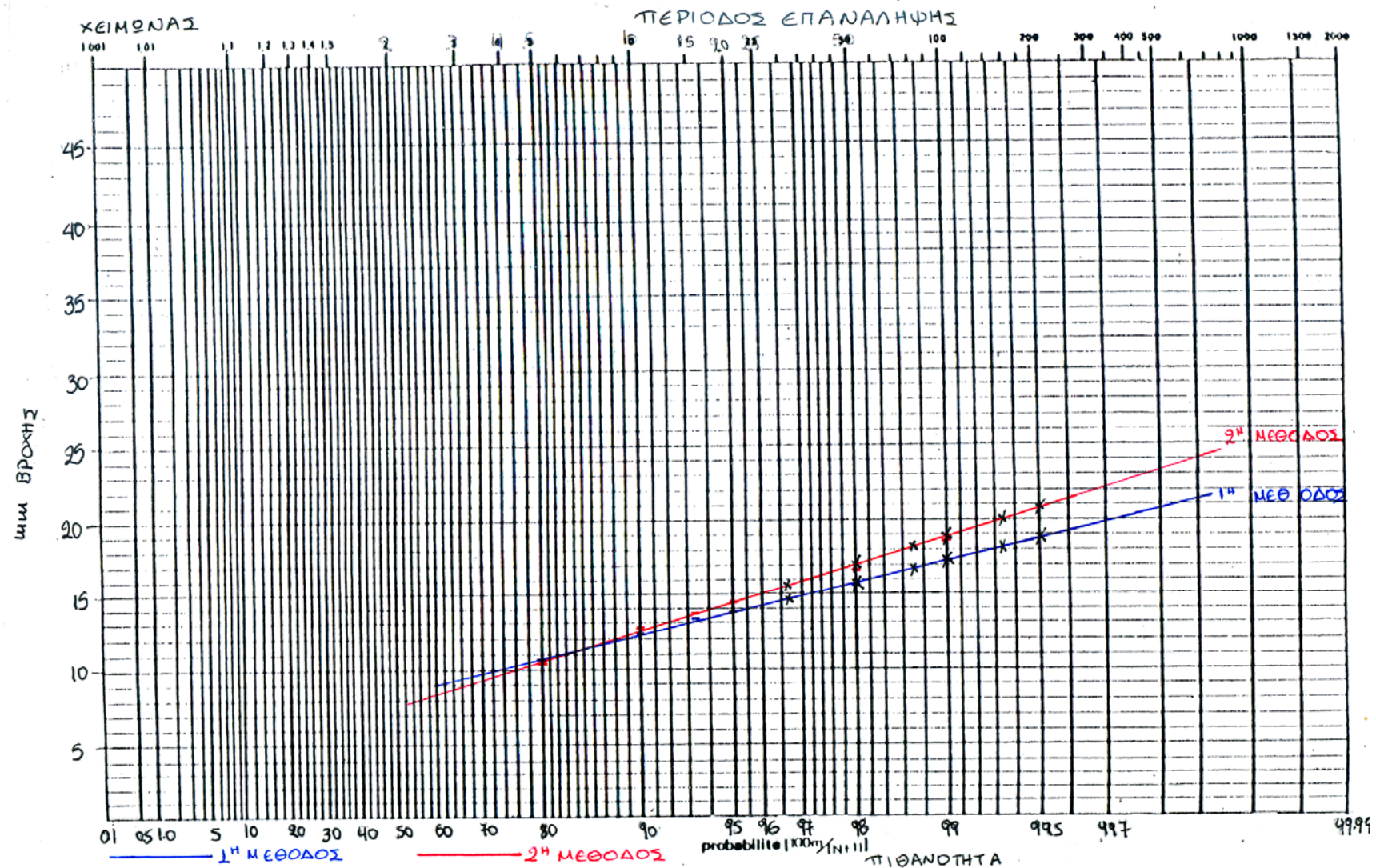
Πίνακας 16. Ακραίες τιμές ωριαίων βροχοπτώσεων για διάφορες περιόδους επανάλληψης για το Χειμώνα.

Χρονική περίοδος σε έτη	Ακραίες τιμές σύμφωνα με την 1 ^η μέθοδο	Ακραίες τιμές σύμφωνα με τη 2 ^η μέθοδο
30	14,7	15,6
50	15,8	17,0
80	16,8	18,2
100	17,2	18,9
150	18,1	20,0
200	18,7	20,8

Όπως ήταν αναμενόμενο οι προκύπτουσες τιμές για το χειμώνα είναι πολύ πιο χαμηλές σε σύγκρισή με τις ετήσιες. Παρατηρείται ότι η δεύτερη μέθοδος δίνει πάλι μεγαλύτερες αναμενόμενες ακραίες τιμές μέγιστων ωριαίων εντάσεων για όλες τις περιόδους επανάλληψης που μελετώνται. Η πρώτη μέθοδος δίνει μεγαλύτερες ακραίες τιμές για βροχοπτώσεις με μέγιστες ωριαίες εντάσεις μικρότερες από 11,5 χιλιοστά και για περιόδους επανάλληψης μικρότερες από 7,5 χρόνια (σημείο τομής των δύο μεθόδων στο σχήμα 30).

Σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα φανερώνει και για το χειμώνα υπερεκτίμηση των δύο μεθόδων σε σχέση με τα υπάρχοντα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο βροχοπτώσεις με μέγιστη ωριαία ένταση 17,8 χιλιοστών (τιμή που αποτελεί την μέγιστη για τη χρονοσειρά του χειμώνα), υπολογίζεται ότι έχουν περίοδο επανάλληψης 122 περίπου χρόνια, ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο περίπου 67 χρόνια.

Από τις πραγματικές μετρήσεις γνωρίζουμε ότι αντίστοιχη τιμή ωριαίας βροχόπτωσης εμφανίστηκε μία φορά στο διάστημα μελέτης το οποίο είναι μόλις 57 χρόνια. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι η πρώτη μέθοδος υπερεκτιμά τις περιόδους επανάλληψης σε μεγαλύτερο βαθμό από τη δεύτερη.



Σχήμα 30. Μέθοδος Gumbel για το Χειμώνα.

6.3 Άνοιξη

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των ακραίων μέγιστων ωριαίων εντάσεων για την Άνοιξη (Σχήμα 31). Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της χρονοσειράς εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές από ότι το χειμώνα (Πίνακας 22). Η δεύτερη μέθοδος δίνει και εδώ ελαφρώς μεγαλύτερες αναμενόμενες ακραίες τιμές για όλες τις μελετούμενες περιόδους επανάλληψης (Πίνακας 17). Όσον αφορά τα δεδομένα της Άνοιξης η πρώτη μέθοδος δίνει μεγαλύτερες ακραίες τιμές για μέγιστες ωριαίες εντάσεις μεγαλύτερες από 20 χιλιοστά με περιόδους επανάλληψης 10 περίπου χρόνια.

Σύμφωνα επομένως με την πρώτη μέθοδο, οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις 25,6 χιλιοστών έχουν περίοδο επανάλληψης για την πόλη της Θεσσαλονίκης 30 έτη, ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη με την ίδια περίοδο επανάλληψης παρατηρούνται βροχοπτώσεις με μέγιστη ωριαία ένταση 26,2 χιλιοστά. Περισσότερο εμφανής είναι η διαφορά για βροχοπτώσεις μέγιστης ωριαίας έντασης 33 περίπου χιλιοστών που σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο αναμένονται στη Θεσσαλονίκη κάθε 150 χρόνια ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη κάθε 100 χρόνια. Από τη σύγκριση αυτή φαίνεται ότι η δεύτερη μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί πιο «αυστηρή» καθώς δίνει μικρότερες περιόδους επανάλληψης γεγονός που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό τεχνικών έργων.

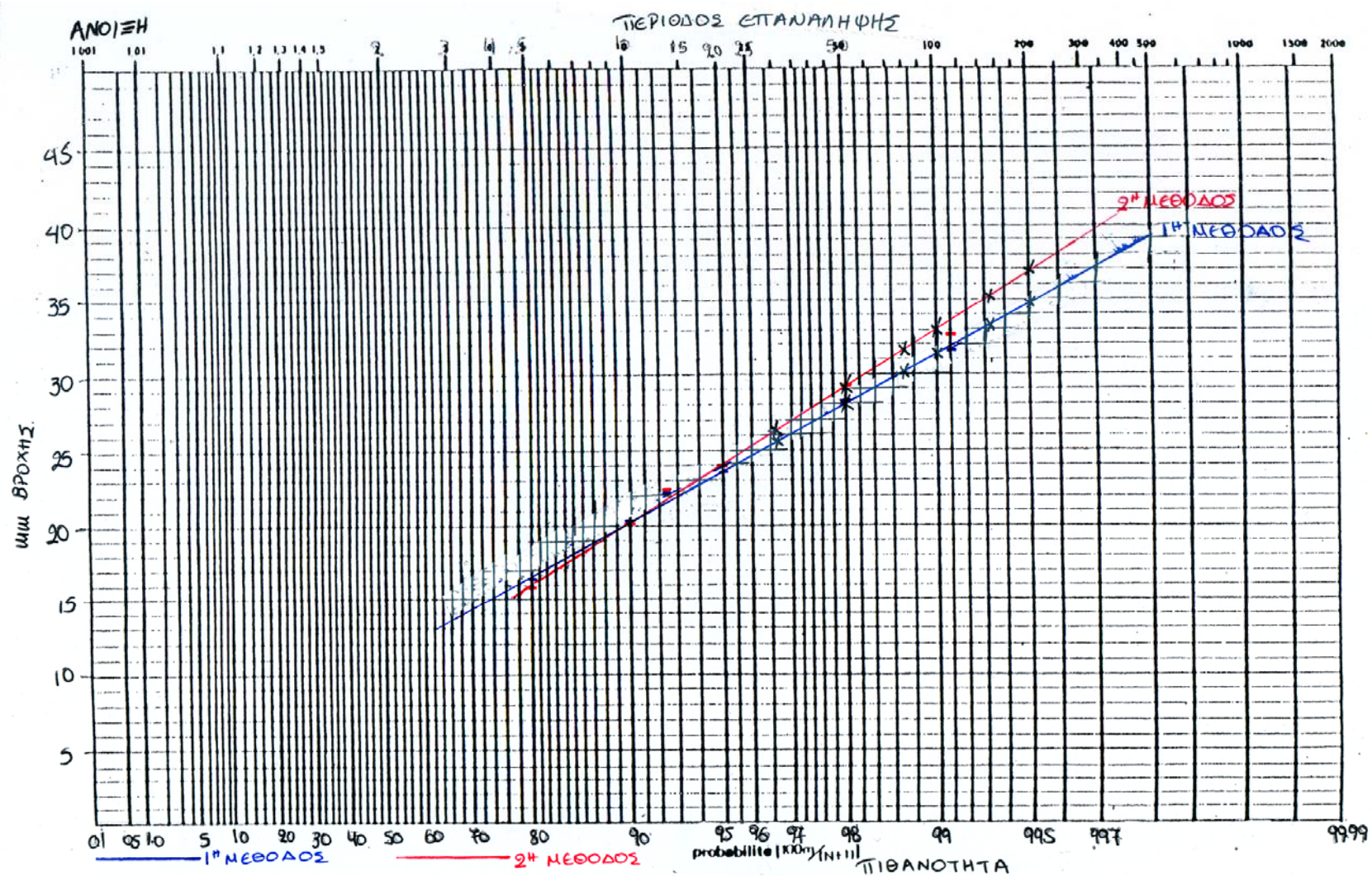
Πίνακας 17. Ακραίες τιμές ωριαίων βροχοπτώσεων για διάφορες περιόδους επανάλληψης για την Άνοιξη.

Χρονική περίοδος σε έτη	Ακραίες τιμές σύμφωνα με την 1 ^η μέθοδο	Ακραίες τιμές σύμφωνα με τη 2 ^η μέθοδο
30	25,6	26,2
50	28,1	29,1
80	30,0	31,6
100	31,2	33,0
150	33,2	35,1
200	34,7	36,8

Κάνοντας σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα για την άνοιξη προκύπτει ότι και οι δύο μέθοδοι υπερεκτιμούν τις περιόδους επανάλληψης των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης. Ειδικότερα, σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο βροχοπτώσεις με μέγιστη ωριαία ένταση 37,2 χιλιοστών (τιμή που αποτελεί την μέγιστη για τη χρονοσειρά της άνοιξης), υπολογίζεται ότι έχουν περίοδο επανάλληψης 325 χρόνια, ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο περίπου 215 χρόνια (Σχήμα 31).

Από τις πραγματικές μετρήσεις γνωρίζουμε ότι αντίστοιχη τιμή ωριαίας βροχόπτωσης εμφανίστηκε μία φορά στο διάστημα μελέτης το οποίο είναι μόλις 57

χρόνια, χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο από τις περιόδους επανάληψης που προέκυψαν από την εφαρμογή της στατιστικής επεξεργασίας. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι και οι δύο μέθοδοι υπερεκτιμούν τις περιόδους επανάληψης σε πολύ σημαντικό βαθμό με την πρώτη μέθοδο να εμφανίζει σημαντικότερο σφάλμα από ότι η δεύτερη. Μάλιστα η υπερεκτίμηση είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στα ετήσια και στα χειμερινά δεδομένα.



Σχήμα 31. Μέθοδος Gumbel για την Ανοίξη.

6.4 Καλοκαίρι

Εφαρμόζοντας την μέθοδο Gumbel για τους καλοκαιρινούς μήνες (Σχήμα 32), παρατηρείται ότι η δεύτερη μέθοδος δίνει πάλι μεγαλύτερες αναμενόμενες τιμές για περιόδους μελέτης 30, 50, 80, 100, 150, 200 χρόνων οι οποίες τώρα διαφέρουν περισσότερο από ότι στις προηγούμενες εποχές (Πίνακας 18). Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο βρέθηκαν να είναι 17,4 και 8,5 αντίστοιχα, ενώ με τη δεύτερη 16,0 και 9,5 (Πίνακας 23). Οι τιμές είναι οι μεγαλύτερες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εποχές καθώς οι καλοκαιρινοί μήνες εμφανίζουν μέγιστη συχνότητα εμφάνισης καταιγίδων οι οποίες ως γνωστόν έχουν μεγάλη απόδοση σε χιλιοστά βροχής σε μικρό χρονικό διάστημα, επομένως και μεγάλες μέγιστες ωριαίες εντάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μέσα στο μελετούμενο διάστημα να παρατηρούνται υψηλότερες ακραίες τιμές.

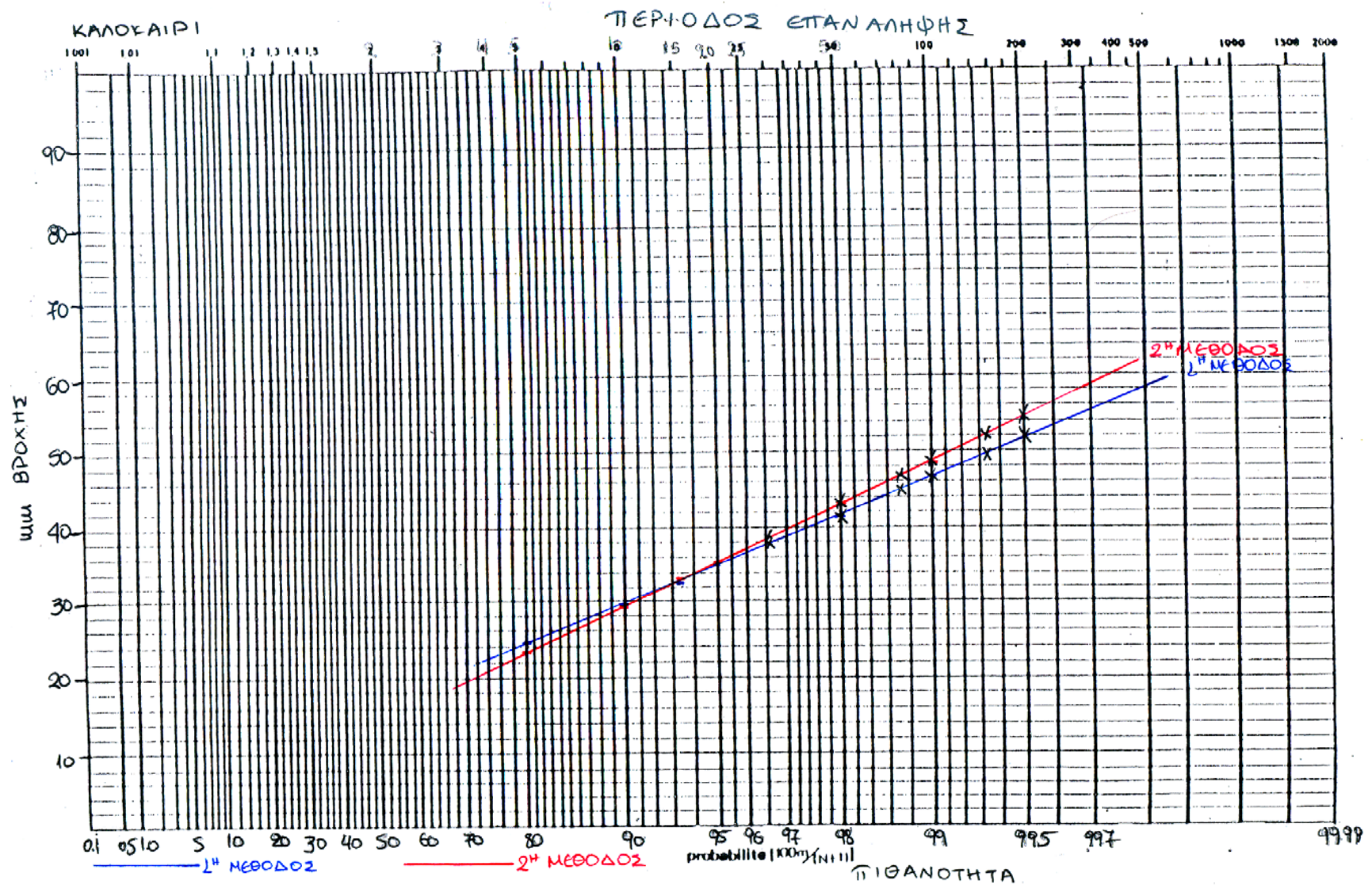
Πίνακας 18. Ακραίες τιμές ωριαίων βροχοπτώσεων για διάφορες περιόδους επανάλληψης για το Καλοκαίρι.

Χρονική περίοδος σε έτη	Ακραίες τιμές σύμφωνα με την 1 ^η μέθοδο	Ακραίες τιμές σύμφωνα με τη 2 ^η μέθοδο
30	37,9	38,4
50	41,8	43,2
80	45,0	47,8
100	47,1	48,8
150	49,6	52,2
200	51,7	55,3

Η πρώτη μέθοδος δίνει μεγαλύτερες αναμενόμενες περιόδους επανάλληψης για βροχοπτώσεις με μέγιστες ωριαίες εντάσεις μικρότερες από 32,5 χιλιοστά. Όπως παρατηρείται από τον Πίνακα 18, βροχοπτώσεις με μέγιστες ωριαίες εντάσεις περίπου 44 χιλιοστά αναμένονται κάθε 75 χρόνια σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο και κάθε 55 χρόνια σύμφωνα με τη δεύτερη, περίοδοι επανάλληψης πολύ μικρότερες από αυτές που είχαν υπολογιστεί για τις υπόλοιπες εποχές. Επίσης, για τον σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου με επιθυμητή περίοδο ζωής 200 χρόνια σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο θα πρέπει να κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορεί να διατηρηθεί σε βροχοπτώσεις μέγιστης ωριαίας έντασης 51,7 χιλιοστών ενώ σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο το ίδιο τεχνικό έργο πρέπει να μπορεί να αντέξει σε μέγιστες ωριαίες εντάσεις 55,3 χιλιοστών βροχής.

Και για το καλοκαίρι η υπερεκτίμηση των δύο μεθόδων σε σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα είναι σημαντική καθώς βροχοπτώσεις μέγιστης ωριαίας έντασης 53,6 (μέγιστη τιμή στη μελετούμενη χρονοσειρά με πραγματική περίοδο επανάλληψης 57

χρόνια) χιλιοστών αναμένονται σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο κάθε 250 χρόνια και σύμφωνα με τη δεύτερη κάθε 165. Η πρώτη μέθοδος, επομένως, φαίνεται να υπερεκτιμάει σε μεγαλύτερο βαθμό τα πραγματικά δεδομένα και έτσι κρίνεται πιο ακατάλληλη προς χρησιμοποίηση.



Σχήμα 32. Μέθοδος Gumbel για το Καλοκαίρι.

6.5 Φθινόπωρο

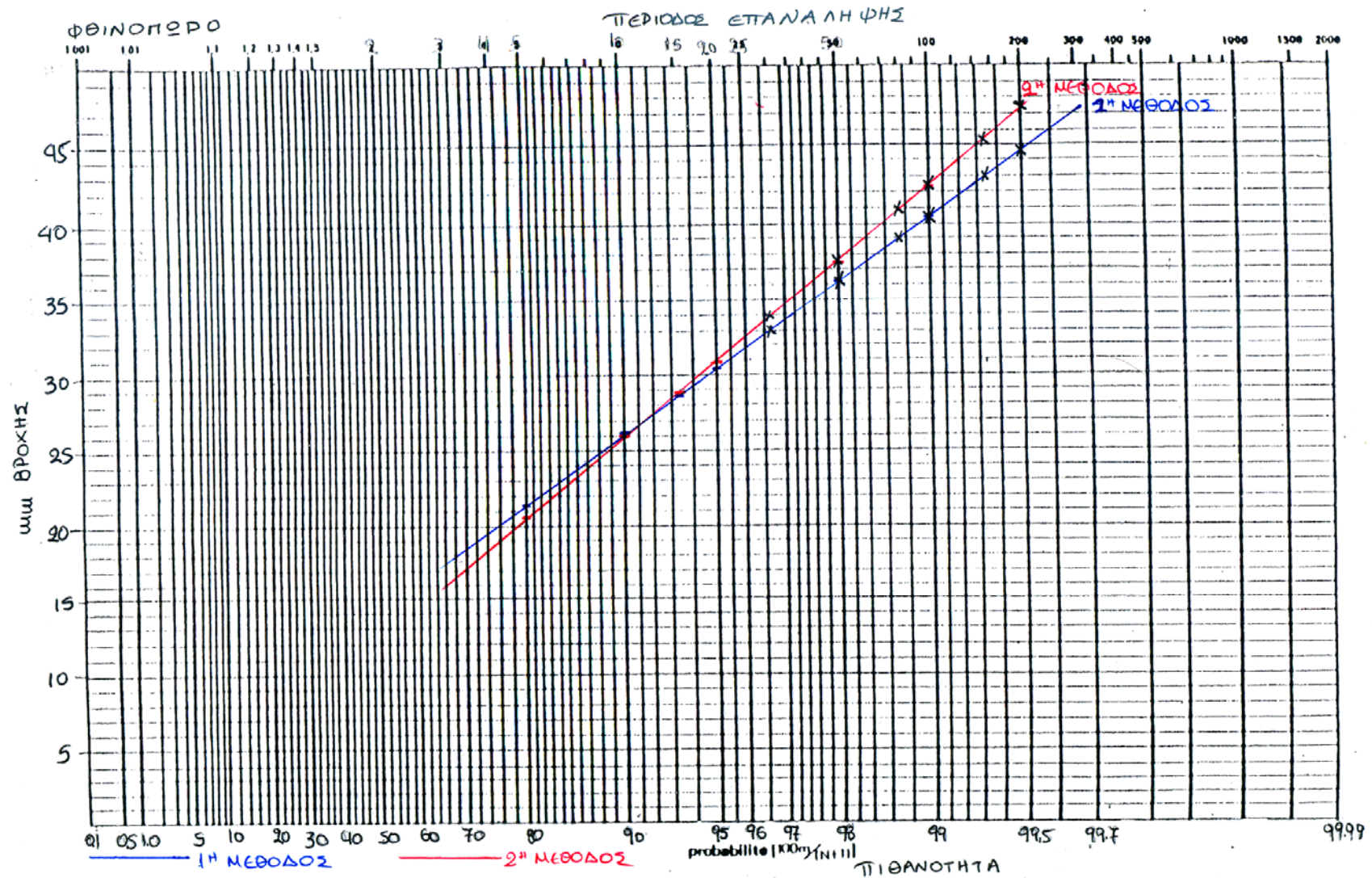
Οι χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των δύο μεθόδων για τους φθινοπωρινούς μήνες εμφανίζουν σχετικά υψηλές τιμές μέσου όρου και τυπικής απόκλισης (15,5 – 7,1 και 14,1 – 8,1) αντίστοιχα (Πίνακας 24). Με την εφαρμογή της μεθόδου των ακραίων τιμών (Σχήμα 33) υπολογίστηκαν οι ακραίες τιμές ωριαίας βροχόπτωσης για περιόδους 30, 50, 80, 100, 150, 200 χρόνων και με τις 2 μεθόδους (πίνακας 19).

Πίνακας 19. Ακραίες τιμές ωριαίων βροχοπτώσεων για διάφορες περιόδους επανάλληψης για το Φθινόπωρο.

Χρονική περίοδος σε έτη	Ακραίες τιμές σύμφωνα με την 1 ^η μέθοδο	Ακραίες τιμές σύμφωνα με τη 2 ^η μέθοδο
30	33,0	33,9
50	36,2	37,5
80	38,9	40,8
100	40,5	42,5
150	42,8	45,4
200	44,3	47,5

Η συσχέτιση ανάμεσα στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους δεν αλλάζει ούτε για τους φθινοπωρινούς μήνες. Για όλες τις μελετούμενες περιόδους επανάλληψης μέγιστες ακραίες τιμές δίνει η δεύτερη μέθοδος. Η πρώτη μέθοδος δίνει υψηλότερες τιμές περιόδων επανάλληψης για βροχοπτώσεις μικρότερες από 27 περίπου χιλιοστά. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι η πρώτη μέθοδος κρίνεται πιο αυστηρή και κατάλληλη για χρησιμοποίηση για έργα που σχεδιάζονται για μικρές περιόδους μέχρι 12 περίπου χρόνια, ενώ για έργα με επιθυμητό χρόνο ζωής μεγαλύτερο από 12 χρόνια ασφαλέστερος θα ήταν ο υπολογισμός των μέγιστων ωριαίων εντάσεων βροχόπτωσης με τη δεύτερη μέθοδο.

Συγκεκριμένα, βροχοπτώσεις με ωριαίες εντάσεις περίπου 42,5 χιλιοστών (τιμή σημαντικά υψηλή και ικανή να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στην πόλη της Θεσσαλονίκης) αναμένεται σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο μία φορά στα 150 χρόνια και σύμφωνα με τη δεύτερη μία φορά στα 100 χρόνια. Και για τους φθινοπωρινούς μήνες η υπερεκτίμηση των δύο μεθόδων είναι σημαντικότερη με την πρώτη μέθοδο από ότι με τη δεύτερη. Η μέγιστη τιμή ωριαίας βροχόπτωσης της χρονοσειράς (42,8 χιλιοστά), με πραγματική περίοδο επανάλληψης 57 χρόνια εκτιμάται με την πρώτη μέθοδο ότι θα εκδηλωθεί κάθε 140 χρόνια ενώ με τη δεύτερη κάθε 100 περίπου χρόνια τιμή που πλησιάζει σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική.



Σχήμα 33. Μέθοδος Gumbel για το Φθινόπωρο.

Πίνακας 20. Χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των 2 μεθόδων για ετήσια δεδομένα.

	1 ^η Μέθοδος mm βροχής	2 ^η Μέθοδος mm βροχής	A/A	Θεωρητικές
	15,6	8,3	1	0,01
	15,7	8,7	2	0,03
	15,8	10,1	3	0,04
	15,9	10,3	4	0,06
	15,9	10,3	5	0,08
	16,0	12,4	6	0,10
	16,1	12,7	7	0,11
	16,4	12,7	8	0,13
	16,5	13,2	9	0,15
	16,5	13,3	10	0,17
	16,7	13,5	11	0,18
	17,0	13,5	12	0,20
	17,1	13,9	13	0,22
	17,5	14,1	14	0,24
	17,5	14,2	15	0,25
	17,6	14,6	16	0,27
	17,7	15,1	17	0,29
	17,8	15,2	18	0,31
	17,8	15,3	19	0,32
	17,9	15,7	20	0,34
	18,0	15,8	21	0,36
	18,1	16,5	22	0,38
	18,1	16,7	23	0,39
	18,4	17,5	24	0,41
	18,8	17,6	25	0,43
	19,0	17,7	26	0,45
	19,0	17,8	27	0,46
	19,0	17,8	28	0,48
	19,3	17,9	29	0,50
	20,5	18,1	30	0,52
	21,1	19,0	31	0,54
	21,1	19,0	32	0,55
	21,4	19,3	33	0,57
	21,4	20,5	34	0,59
	22,0	21,1	35	0,61
	23,2	21,1	36	0,62
	23,2	21,4	37	0,64
	23,3	22,0	38	0,66
	23,8	23,2	39	0,68
	24,3	23,3	40	0,69
	24,8	24,3	41	0,71
	25,4	24,8	42	0,73
	25,5	25,4	43	0,75
	26,3	25,5	44	0,76
	26,4	26,3	45	0,78
	26,5	26,5	46	0,80
	27,0	27,0	47	0,82
	29,4	29,4	48	0,83
	30,1	30,1	49	0,85
	30,9	30,9	50	0,87
	31,3	31,3	51	0,89
	32,6	32,6	52	0,90
	33,2	33,2	53	0,92
	37,2	37,2	54	0,94
	42,8	42,8	55	0,96
	47,7	47,7	56	0,97
	53,6	53,6	57	0,99
Μέση τιμή x	22,78	20,86		
Τυπική απόκλιση σ	8,03	9,26		

Πίνακας 21. Χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των 2 μεθόδων για το Χειμώνα.

	1 ^η Μέθοδος mm βροχής	2 ^η Μέθοδος mm βροχής	A/A	Θεωρητικές
	6,1	2,6	1	0,01
	6,2	3,7	2	0,03
	6,2	3,8	3	0,04
	6,2	3,9	4	0,06
	6,3	3,9	5	0,08
	6,3	4,4	6	0,10
	6,3	4,4	7	0,11
	6,6	4,7	8	0,13
	6,6	4,9	9	0,15
	6,6	4,9	10	0,17
	6,6	5,3	11	0,18
	6,7	5,5	12	0,20
	6,8	5,8	13	0,22
	6,9	5,9	14	0,24
	6,9	6,0	15	0,25
	7,1	6,2	16	0,27
	7,1	6,2	17	0,29
	7,1	6,3	18	0,31
	7,2	6,6	19	0,32
	7,2	6,8	20	0,34
	7,2	6,9	21	0,36
	7,3	6,9	22	0,38
	7,4	7,1	23	0,39
	7,4	7,2	24	0,41
	7,5	7,3	25	0,43
	7,8	7,4	26	0,45
	7,8	7,5	27	0,46
	7,9	7,8	28	0,48
	8,0	7,8	29	0,50
	8,2	8,0	30	0,52
	8,3	8,2	31	0,54
	8,3	8,3	32	0,55
	8,4	8,3	33	0,57
	8,4	8,4	34	0,59
	8,5	8,4	35	0,61
	8,6	8,5	36	0,62
	8,6	8,6	37	0,64
	8,7	8,6	38	0,66
	9,1	9,1	39	0,68
	9,1	9,1	40	0,69
	9,4	9,5	41	0,71
	9,5	9,5	42	0,73
	9,5	9,6	43	0,75
	9,6	10,0	44	0,76
	10,0	10,1	45	0,78
	10,3	10,3	46	0,80
	10,6	10,6	47	0,82
	10,9	10,9	48	0,83
	11,3	11,3	49	0,85
	11,8	11,8	50	0,87
	12,4	12,4	51	0,89
	12,4	12,4	52	0,90
	13,5	13,5	53	0,92
	13,5	13,5	54	0,94
	13,5	13,5	55	0,96
	13,6	13,6	56	0,97
	17,8	17,8	57	0,99
Μέση τιμή χ	8,68	8,10		
Τυπική απόκλιση σ	2,45	3,02		

Πίνακας 22. Χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των 2 μεθόδων για την Άνοιξη.

	1 ^η Μέθοδος mm βροχής	2 ^η Μέθοδος mm βροχής	A/A	Θεωρητικές
	6,9	2,9	1	0,01
	7,1	3,7	2	0,03
	7,1	4,1	3	0,04
	7,2	4,1	4	0,06
	7,6	4,6	5	0,08
	7,6	4,7	6	0,10
	7,6	5,0	7	0,11
	7,7	5,2	8	0,13
	7,8	5,3	9	0,15
	7,8	5,4	10	0,17
	7,8	5,5	11	0,18
	7,8	6,0	12	0,20
	7,9	6,0	13	0,22
	8,0	6,1	14	0,24
	8,0	6,4	15	0,25
	8,0	6,4	16	0,27
	8,1	6,5	17	0,29
	8,4	6,6	18	0,31
	8,4	7,1	19	0,32
	8,5	7,6	20	0,34
	8,7	7,8	21	0,36
	8,8	7,9	22	0,38
	8,9	8,0	23	0,39
	9,0	8,0	24	0,41
	9,0	8,1	25	0,43
	9,3	8,4	26	0,45
	9,4	8,5	27	0,46
	9,4	8,8	28	0,48
	9,5	9,0	29	0,50
	9,6	9,0	30	0,52
	9,6	9,4	31	0,54
	10,1	9,6	32	0,55
	10,3	9,6	33	0,57
	10,4	10,1	34	0,59
	10,8	10,3	35	0,61
	10,9	10,4	36	0,62
	11,4	10,8	37	0,64
	11,7	10,9	38	0,66
	12,0	11,4	39	0,68
	13,4	12,0	40	0,69
	14,0	13,4	41	0,71
	14,1	14,0	42	0,73
	14,2	14,2	43	0,75
	14,6	14,6	44	0,76
	15,1	15,1	45	0,78
	15,7	15,7	46	0,80
	15,8	15,8	47	0,82
	16,7	16,7	48	0,83
	17,1	17,1	49	0,85
	17,7	17,7	50	0,87
	18,1	18,1	51	0,89
	18,4	18,4	52	0,90
	19,0	19,0	53	0,92
	19,0	19,0	54	0,94
	24,8	24,8	55	0,96
	26,4	26,4	56	0,97
	37,2	37,2	57	0,99
Μέση τιμή x	11,85	10,78		
Τυπική απόκλιση σ	5,64	6,33		

Πίνακας 23. Χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των 2 μεθόδων για το Καλοκαίρι.

1 ^η Μέθοδος mm βροχής	2 ^η Μέθοδος mm βροχής	A/A	Θεωρητικές
9,5	3,7	1	0,01
10,0	5,4	2	0,03
10,3	5,4	3	0,04
10,4	5,9	4	0,06
10,5	6,2	5	0,08
10,6	7,0	6	0,10
11,0	7,1	7	0,11
11,0	7,2	8	0,13
11,2	7,2	9	0,15
11,3	8,2	10	0,17
11,7	8,5	11	0,18
11,9	9,0	12	0,20
12,0	9,0	13	0,22
12,6	9,1	14	0,24
12,7	9,5	15	0,25
12,7	10,0	16	0,27
12,8	10,3	17	0,29
12,9	11,0	18	0,31
13,0	11,7	19	0,32
13,2	12,0	20	0,34
13,3	12,6	21	0,36
13,3	12,7	22	0,38
13,5	12,7	23	0,39
13,7	12,9	24	0,41
14,1	13,2	25	0,43
14,1	13,3	26	0,45
14,3	13,3	27	0,46
14,4	13,5	28	0,48
14,9	13,7	29	0,50
15,1	14,1	30	0,52
15,1	14,4	31	0,54
15,2	14,9	32	0,55
15,5	15,1	33	0,57
15,6	15,1	34	0,59
15,9	15,2	35	0,61
16,1	15,6	36	0,62
16,4	15,9	37	0,64
16,5	16,4	38	0,66
17,0	16,5	39	0,68
17,5	17,0	40	0,69
17,9	17,9	41	0,71
18,1	18,1	42	0,73
18,8	18,8	43	0,75
19,0	19,0	44	0,76
20,5	20,5	45	0,78
21,1	21,1	46	0,80
21,1	21,1	47	0,82
23,2	23,2	48	0,83
24,3	24,3	49	0,85
25,4	25,4	50	0,87
25,5	25,5	51	0,89
27,0	27,0	52	0,90
29,4	29,4	53	0,92
31,3	31,3	54	0,94
33,2	33,2	55	0,96
47,7	47,7	56	0,97
53,6	53,6	57	0,99
Μέση τιμή x	17,36	15,93	
Τυπική απόκλιση σ	8,45	9,42	

Πίνακας 24. Χρονοσειρές που προέκυψαν από την εφαρμογή των 2 μεθόδων για το Φθινόπωρο.

	1 ^η Μέθοδος mm βροχής	2 ^η Μέθοδος mm βροχής	A/A	Θεωρητικές
	8,7	4,6	1	0,01
	8,7	5,6	2	0,03
	8,8	5,6	3	0,04
	8,8	5,7	4	0,06
	8,8	5,8	5	0,08
	8,8	5,9	6	0,10
	8,8	6,1	7	0,11
	8,8	6,6	8	0,13
	9,1	7,3	9	0,15
	9,5	7,4	10	0,17
	9,6	7,5	11	0,18
	9,8	7,7	12	0,20
	10,0	7,7	13	0,22
	10,0	7,8	14	0,24
	10,0	8,0	15	0,25
	10,2	8,1	16	0,27
	10,4	8,3	17	0,29
	10,7	8,6	18	0,31
	11,7	8,7	19	0,32
	11,7	8,7	20	0,34
	11,8	8,8	21	0,36
	12,3	8,8	22	0,38
	12,4	9,1	23	0,39
	12,5	9,5	24	0,41
	12,6	10,0	25	0,43
	12,7	10,2	26	0,45
	12,7	10,7	27	0,46
	13,5	11,8	28	0,48
	13,5	12,3	29	0,50
	13,8	12,6	30	0,52
	13,9	12,7	31	0,54
	13,9	13,5	32	0,55
	14,1	13,5	33	0,57
	14,3	13,9	34	0,59
	14,7	13,9	35	0,61
	15,3	14,7	36	0,62
	15,4	15,3	37	0,64
	15,9	15,4	38	0,66
	16,0	15,9	39	0,68
	16,5	16,0	40	0,69
	17,5	17,5	41	0,71
	17,6	17,6	42	0,73
	17,8	17,8	43	0,75
	18,0	18,0	44	0,76
	19,3	19,3	45	0,78
	21,4	21,4	46	0,80
	21,4	21,4	47	0,82
	22,0	22,0	48	0,83
	23,2	23,2	49	0,85
	23,3	23,3	50	0,87
	23,8	23,8	51	0,89
	26,3	26,3	52	0,90
	26,5	26,5	53	0,92
	30,1	30,1	54	0,94
	30,9	30,9	55	0,96
	32,6	32,6	56	0,97
	42,8	42,8	57	0,99
Μέση τιμή x	15,53	14,12		
Τυπική απόκλιση σ	7,14	8,06		

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη των επεισοδίων βροχής προέκυψε ότι η καμπύλη του μηνιαίου μέσου όρου εμφάνισης ενάρξεως των επεισοδίων εμφανίζει τριπλή κύμανση και διαφέρει από αυτή των πραγματικών υψών ως προς τα κύρια μέγιστα. Η μεταβλητότητα του αριθμού των επεισοδίων από έτος σε έτος δείχνει μια έντονη μεταβολή το έτος 1980. Ειδικότερα, από την αρχή της χρονοσειράς και μέχρι το 1979 η πλειοψηφία των τιμών είναι μεγαλύτερη από το μέσο όρο της περιόδου, ενώ από το 1980 και μέχρι το τέλος της μελετούμενης περιόδου παρουσιάζει αρνητικές τιμές. Η απότομη αυτή τάση του πλήθους των επεισοδίων από το 1980 και έπειτα δεν οφείλεται τόσο σε κάποια οριακή μεταβολή της ευαισθησίας του οργάνου μέτρησης. Πιθανόν να οφείλεται στη γενικότερη ελάττωση των βροχοπτώσεων από το 1980 και μετά καθώς και το συνολικό ύψος βροχής που φτάνει στο βροχογράφο του σταθμού του Α.Π.Θ φαίνεται να παρουσιάζει αρνητική τάση.

Οι μέγιστες συχνότητες του πλήθους των ενάρξεων των επεισοδίων βροχής για την πόλη της Θεσσαλονίκης για τη χρονική περίοδο 1947-2003 εντοπίζονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους του 24ώρου οι οποίες διαφέρουν στη θερινή και τη χειμερινή περίοδο του έτους.

Τη θερμή περίοδο η κύρια περιοχή μεγίστων συχνοτήτων, με μεγαλύτερο εύρος κατανομής τον Ιούλιο και τον Αύγουστο σημειώνεται μερικές ώρες πριν ή μετά τη δύση του ηλίου. Το χρονικό αυτό διάστημα έναρξης επεισοδίων βροχής οφείλεται στη θερμική αστάθεια που αναπτύσσεται κατά τη θερινή περίοδο του έτους και συμπίπτει με τις μέγιστες συχνότητες έναρξης των θερινών καταιγίδων στη Θεσσαλονίκη. Κατά τους χειμερινούς μήνες η περιοχή αυτή μεγίστων συχνοτήτων περιορίζεται σε 1 ή 2 ώρες ενώ τον Νοέμβριο απουσιάζει εντελώς.

Αντίθετα, τη χειμερινή περίοδο το μέγιστο συχνότητας ωρών έναρξης των επεισοδίων βροχής εντοπίζεται σε 3 ή 4 διαφορετικές περιοχές. Η πρώτη που εντοπίζεται την 1^η πρωινή ώρα, πιθανόν να είναι το αποτέλεσμα των θαλάσσιων επιδράσεων που δέχεται ο σταθμός της Θεσσαλονίκης κατά τη χειμερινή περίοδο. Η δεύτερη εντοπίζεται λίγες ώρες μετά την ανατολή του ηλίου και πιθανόν να είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο παραγόντων, της θαλάσσιας επίδρασης που δέχεται η πόλη της Θεσσαλονίκης το χειμώνα και της μέγιστης συχνότητας λήξης των βορειοδυτικών ανέμων στη Θεσσαλονίκη

που έχει εντοπιστεί εκείνες τις ώρες. Η τρίτη περίοδος εντοπίζεται κατά τη 14^η ώρα με μεγαλύτερο εύρος τον Δεκέμβριο.

Η μελέτη των λήξεων των επεισοδίων βροχής για την μελετούμενη περίοδο παρουσίασε μια μετατόπιση των περιόδων μέγιστης συχνότητας κατά μία ώρα περίπου όλων των περιόδων εκτός από εκείνα που εντοπίστηκαν την 1^η πρωινή ώρα. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί ότι το πλήθος αυτών των επεισοδίων ανήκει στην κατηγορία των θερμικών καταιγίδων οι οποίες έχουν μικρή διάρκεια με αποτέλεσμα να λήγουν την ίδια ώρα κατά την οποία ξεκίνησαν.

Η μελέτη της ημερήσιας πορείας των συχνοτήτων ωρών έναρξης των βροχοπτώσεων για το έτος, τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο έδειξε ότι μπορεί να θεωρηθεί ότι τα ετήσια μέγιστα ποσοστά ενάρξεων των επεισοδίων οφείλονται κυρίως στην ψυχρή περίοδο, για τα διαστήματα που η καμπύλη της ψυχρής περιόδου εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά από ότι η καμπύλη των ετήσιων δεδομένων (1^η, 3^η, 5^η έως 14^η ώρα). Αντίστοιχα στους θερμούς μήνες οφείλονται τη 2^η πρωινή ώρα και το διάστημα από την 15^η ώρα ως το τέλος της ημέρας, διάστημα όπου οι θερμοί μήνες εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά ενάρξεων επεισοδίων από ότι τα ετήσια δεδομένα. Τέλος την 4^η πρωινή ώρα το ποσοστό ενάρξεων επεισοδίων βροχής μοιράζεται ισόποσα σε θερμή και ψυχρή περίοδο.

Αντίστοιχα η ημερήσια πορεία των συχνοτήτων ωρών λήξης των επεισοδίων βροχής κατά το έτος, τη θερινή και τη χειμερινή περίοδο αυτού δείχνει μια μετατόπιση κατά μια ώρα των περιόδων μέγιστης συχνότητας στην πορεία των συχνοτήτων των ωρών λήξης σε σχέση με τις ώρες έναρξης. Παρατηρείται επίσης ότι από την 3^η πρωινή ώρα και μέχρι την 15^η τα μέγιστα ποσοστά οφείλονται στους χειμερινούς μήνες, ενώ από την 16^η ώρα και μέχρι την 2^η πρωινή στους θερινούς.

Από την μελέτη της ημερήσιας πορείας των συχνοτήτων και των ποσοτήτων βροχής των ωριαίων βροχοπτώσεων προέκυψε ότι τους ψυχρούς μήνες οι μεγαλύτερες συχνότητες εμφανίζονται τις πρωινές ώρες και κυρίως μεταξύ 5^{ης} και 10^{ης} πρωινής με μόνη εξαίρεση το μήνα Δεκέμβριο. Αντίθετα, τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος – Αύγουστος) οι μεγαλύτερες συχνότητες παρατηρούνται αποκλειστικά μετά την 17^η ώρα της ημέρας. Η πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων, αναφερόμενη στο μέσο έτος παρουσιάζει σχεδόν ομαλή πορεία μέχρι και την 8^η πρωινή ώρα ενώ στη συνέχεια του 24ώρου εμφανίζει τριπλή κύμανση. Υψηλές συχνότητες ωριαίων βροχοπτώσεων παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις.

Η πορεία της καμπύλης των συχνοτήτων των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο είναι σχεδόν ομαλή από την αρχή της ημέρας και μέχρι την 11^η πρωινή ώρα με ένα μικρό μέγιστο την 2^η πρωινή και ελάχιστο την 11^η πρωινή. Επίσης παρατηρείται ότι είναι αυτή κυρίως που συμβάλλει στη διαμόρφωση της ετήσιας πορείας για το διάστημα 20^η – 24^η ώρα. Αντίθετα, η καμπύλη της ψυχρής περιόδου εμφανίζει τετραπλή κύμανση με κύριο μέγιστο την 7^η πρωινή ώρα και μπορεί να θεωρηθεί ότι οι ωριαίες βροχοπτώσεις της ψυχρής περιόδου του έτους είναι αυτές που καθορίζουν την πορεία των ετήσιων για το διάστημα από την 7^η μέχρι την 16^η ώρα, ενώ δεν επηρεάζουν καθόλου το διάστημα ανάμεσα στην 20^η και 24^η ώρα καθώς έχουν σχεδόν αντίθετη πορεία.

Όσον αφορά στην ποσότητα της βροχής τους χειμερινούς μήνες οι μεγαλύτερες ποσότητες βροχής εμφανίζονται τις πρωινές ώρες και κυρίως την 1^η, την 14^η ώρα, και μεταξύ 5^{ης} και 11^{ης} πρωινής. Τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος – Αύγουστος) τα περισσότερα χιλιοστά βροχής παρατηρούνται αποκλειστικά μετά την 17^η ώρα της ημέρας. Η πορεία των ωριαίων βροχοπτώσεων, αναφερόμενη στο μέσο έτος, παρουσιάζει τριπλή κύμανση. Γενικά, η όλη πορεία της καμπύλης δείχνει ότι κατά το δεύτερο 12ωρο της ημέρας οι βροχοπτώσεις είναι πολύ πιο έντονες από ότι το πρώτο 12ωρο. Η καμπύλη της πορείας των ωριαίων βροχοπτώσεων κατά τη θερμή περίοδο εμφανίζει περίπου την ίδια μορφή και πορεία με εκείνη του έτους γεγονός που σημαίνει ότι είναι αυτή που συμβάλλει στη διαμόρφωση της ετήσιας πορείας. Αντίθετα, αρκετά διαφορετική είναι η καμπύλη κατά την ψυχρή περίοδο.

Η μελέτη των συχνοτήτων και των πραγματικών ποσών βροχής των μέγιστων ωριαίων εντάσεων ανά επεισόδιο δείχνει ότι οι ζώνες μέγιστης συχνότητας των μέγιστων ωριαίων εντάσεων διαφέρουν από τη θερμή στην ψυχρή περίοδο. Κατά τη θερμή περίοδο παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση των μέγιστων συχνοτήτων από τις πρώτες απογευματινές προς τις πρώτες βραδινές ώρες. Για τη θερμή περίοδο τα περισσότερα χιλιοστά βροχής πέφτουν τις μεταμεσημβρινές ώρες, τις ώρες που εντοπίστηκαν και οι περισσότερες ενάρξεις επεισοδίων βροχής αλλά και τις ώρες που παρατηρείται η έναρξη των θερινών καταιγίδων στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

Τους ψυχρούς μήνες η κατανομή των ζωνών μέγιστης συχνότητας μέγιστων ωριαίων εντάσεων είναι διαφορετική και πιθανόν να οφείλεται στις θαλάσσιες επιδράσεις που δέχεται η Θεσσαλονίκη τη χειμερινή περίοδο.

Η ημερήσια πορεία των συχνοτήτων των ωριαίων εντάσεων κατά το έτος, τη θερμή και την ψυχρή περίοδο αυτού έδειξε ότι τα ετήσια μέγιστα ποσοστά ωριαίων μέγιστων

τιμών βροχής έως και την 14^η ώρα οφείλονται κυρίως στους ψυχρούς μήνες ενώ από την 14^η έως την 24^η ώρα στις συχνότητες των μέγιστων ωριαίων εντάσεων συνεισφέρουν κυρίως οι θερμοί μήνες.

Η κατάταξη των μέγιστων ωριαίων εντάσεων σε κλάσεις έδειξε ότι όσο μεταβαίνουμε από τις κλάσεις με τις μικρότερες εντάσεις σε αυτές με τις μεγαλύτερες μετατοπίζεται το μέγιστο συχνοτήτων προς τους θερινούς μήνες. Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι οι δύο πρώτες κλάσεις (μικρών εντάσεων) χαρακτηρίζουν το χειμώνα, οι δύο επόμενες (μετρίων εντάσεων) το φθινόπωρο και οι τρεις τελευταίες (μεγάλων εντάσεων) καθαρά το καλοκαίρι.

Η μηνιαία κατανομή συχνοτήτων (%) των μέγιστων ωριαίων εντάσεων κατά επεισόδιο (αθροιστικά και για τις 7 κλάσεις) έδειξε ότι οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις με μικρές αποδόσεις σε χιλιοστά βροχής υπερισχύουν τους χειμερινούς μήνες, οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις μέσης απόδοσης χαρακτηρίζουν τους μεταβατικούς μήνες από το θέρος στο χειμώνα και αντίστροφα, ενώ οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις υψηλής απόδοσης σε χιλιοστά βροχής εμφανίζουν μέγιστες σχετικές συχνότητες τους θερμούς μήνες του έτους λόγω της εμφάνισης κυρίως των θερινών καταιγίδων χαρακτηριστικό των οποίων είναι η μικρή διάρκεια και η μεγάλη ένταση.

Οι αναλύσεις των πραγματικών υψών βροχής που οφείλονται στις μέγιστες ωριαίες εντάσεις ανά επεισόδιο, έδειξαν ότι οι 3 ή ίσως 4 πρώτες κλάσεις χαρακτηρίζουν τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες ενώ οι υπόλοιπες (κλάσεις υψηλής βροχόπτωσης) συνεισφέρουν σημαντικά στους θερινούς μήνες του έτους αλλά και στους χειμερινούς όπου οι αντίστοιχες τιμές συχνοτήτων εμφάνισης ήταν οριακές.

Μελετώντας τις μέγιστες ωριαίες εντάσεις βροχόπτωσης ανά έτος βρέθηκαν τιμές από 8,1 χιλιοστά (το 1997) έως 55,5 χιλιοστά (το 1995). Ο μέσος όρος της χρονοσειράς βρέθηκε ίσος με 20,4 χιλιοστά, ενώ σε αυτές τις 57 ώρες έφτασαν στο έδαφος συνολικά 1166,0 χιλιοστά βροχής. Βρέθηκε ότι στη χρονοσειρά αυτή το καλοκαίρι συνεισφέρει μέγιστα με ποσοστό 50,9 %, ακολουθεί η άνοιξη και το φθινόπωρο με 24,6 % και 22,8% αντίστοιχα, και τέλος ο χειμώνας με ελάχιστο ποσοστό 1,8%.

Μέγιστη απόδοση σε χιλιοστά βροχής έδωσαν οι μέγιστες ωριαίες εντάσεις τους θερινούς μήνες (913,3 χιλιοστά), ακολουθεί το φθινόπωρο με 708,5 χιλιοστά, η άνοιξη με 623,1 χιλιοστά και τέλος ο χειμώνας με 421,0 χιλιοστά. Η μέγιστη απόδοση τους θερινούς μήνες οφείλεται στις θερμικές καταιγίδες που εκδηλώνονται στη Θεσσαλονίκη το

καλοκαίρι και έχουν μικρή διάρκεια και μεγάλη ένταση με αποτέλεσμα να δίνουν υψηλές τιμές ωριαίων εντάσεων.

Η τάση των μέγιστων ωριαίων εντάσεων βρέθηκε πτωτική στο μελετούμενο διάστημα τόσο για τα ετήσια όσο και για τα εποχικά δεδομένα. Όλες οι χρονοσειρές (ετήσια και εποχικά δεδομένα) παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις σε επιμέρους χρονιές. Μεγαλύτερη τάση παρουσιάζουν το έτος και το φθινόπωρο με εξισώσεις $y = -0,1105x + 238,69$ και $y = -0,1335x + 276,14$ αντίστοιχα. Όλες οι τάσεις που υπολογίστηκαν βρέθηκαν στατιστικά μη σημαντικές.

Η εφαρμογή της μεθόδου Gumbel για την στατιστική επεξεργασία των ακραίων ωριαίων τιμών βροχόπτωσης για την πόλη της Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιώντας τα επεξεργασμένα στοιχεία του βροχογράφου του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1947 – 2003, έδωσε παρόμοια αποτελέσματα τόσο σε ετήσια όσο και σε εποχική βάση.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι 57 μεγαλύτερες ακραίες τιμές της χρονοσειράς ανεξαρτήτως σε πιο έτος ανήκουν (πρώτη μέθοδος) και στη συνέχεια μία ακραία τιμή για κάθε έτος (δεύτερη μέθοδος). Προέκυψε ότι η πρώτη μέθοδος δίνει μεγαλύτερες περιόδους επανάληψης για μικρές ωριαίες εντάσεις τόσο στα ετήσια όσο και στα εποχικά δεδομένα. Η δεύτερη μέθοδος αντίθετα κρίνεται πιο αυστηρή όταν πρόκειται για μεγαλύτερες περιόδους επανάληψης (πάνω από 30 χρόνια) καθώς δίνει μεγαλύτερες αναμενόμενες ακραίες τιμές μέγιστων ωριαίων εντάσεων.

Και οι δύο μέθοδοι βρέθηκαν να υπερεκτιμούν τα πραγματικά δεδομένα και σε ετήσια και σε εποχική κλίμακα. Η υπερεκτίμηση αυτή είναι μεγαλύτερη για το καλοκαίρι και την άνοιξη. Είναι, επίσης, σημαντική και στις άλλες εποχές, καθώς επίσης και στα ετήσια δεδομένα. Από τις δύο μεθόδους μεγαλύτερη υπερεκτίμηση παρουσιάζει η πρώτη μέθοδος σε όλες τις εποχές.

Η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το τεχνικό έργο για το οποίο εφαρμόστηκε και το χρόνο ζωής αυτού. Όταν πρόκειται για έργα με μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής η δεύτερη μέθοδος κρίνεται καλύτερη καθώς είναι πιο «αυστηρή» και επομένως πιο ασφαλής.

8. Βιβλιογραφία

Αναγνωστοπούλου Χ., (2003). “Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο”. Διδακτορική διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ 219, 2003.

Αναγνωστοπούλου Χ., Τολίκα Κ. και Μαχαίρας Π. (2004). “Μελέτη των τάσεων των ακραίων καιρικών συνθηκών στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο για το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα (Μέρος Β-Θερμοκρασία)”. *Ανακοίνωση στο 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Λευκωσία 28-30 Σεπτεμβρίου 2004.

Αναγνωστοπούλου Χ., Τολίκα Κ. Μιχαηλίδου Χ. και Μαχαίρας Π. (2006). “Μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο: θεωρία και εφαρμογή των κατανομών GEV (Generalized Extreme Value distribution) και PARETO”. *Υπο δημοσίευση στα Πρακτικά του 8^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Αθήνα 24-26 Μαΐου, 2006.

Αρσένη – Παπαδημητρίου Α., (1992). “Ισχυρές βροχοπτώσεις στη Θεσσαλονίκη”. *Λειψυδρία και Πλημμύρες Πρακτικά Συμποσίου*, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη 17 & 18 Μαρτίου 1992, 274-284.

Αρσένη – Παπαδημητρίου Α., (1994). “Επανεκτίμηση της ενδοετήσιας μεταβολής των βροχοπτώσεων στον ελληνικό χώρο”. *Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσσαλονίκη 29-30 Σεπτεμβρίου 1994, 369-381.

Καραπιέρης Α., (1973). “Η κατανομή των βροχοπτώσεων εις τον Ελληνικό χώρο”. *Δελτίο Ελλην. Γεωλογ. Εταιρ., τόμος XI, Τεύχος Ι^ο*, 1-27, 1973.

Κυριαζόπουλος Β., (1939). “Το κλίμα της Ελληνικής κεντρικής Μακεδονίας”. Υπουργείο Γεωργίας, δημοσιεύματα Γεωργικής Φυσικής και Κλιματολογίας, αριθμ. 14, 1939.

Λυκούδης Σ., Προέδρου Μ., Κοντογιαννίδης Σ., Τσελεπιδάκι Η., (1994). “Μελέτη των τάσεων του νετού για διάφορες βροχομετρικές δίαιτες του Βορειοελλαδικού χώρου”. *Πρακτικά 2^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσσαλονίκη 29-30 Σεπτεμβρίου 1994, 359-368.

Μαχαίρας Π., Μπαλαφούτης Χρ., (1980). “Ο ημερήσιος ρυθμός της βροχής στη Θεσσαλονίκη κατά τη θερμή περίοδο”. *Μετεωρολογικά Νο* 69, 151-157.

Μαχαίρας Π., Γκίκα Σ., (1987). “Χαρακτηριστικά των ωριαίων βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη”. *Πρακτικά 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, Θεσσαλονίκη 7, 8, 9 Οκτωβρίου 1987, 577-586.

Μαχαίρας Π., (1992). “Αίτια και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο”. *Λειψυδρία και Πλημμύρες Πρακτικά Συμποσίου*, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη 17 & 18 Μαρτίου 1992, 159-169.

Μαχαίρας Π., Αναγνωστοπούλου Χρ., Πατρίκας Ι., Κολυβά-Μαχαίρα Φ., (1999). “Στατιστική ανάλυση των ημερήσιων βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη”. *Διαχείριση Υδατικών Πόρων στις ευαίσθητες περιοχές του Ελλ. Χώρου*. *Πρακτικά 4^{ου} Εθνικού Συνεδρίου*, Τεύχος Α, Βόλος, 122-128, 1999.

Μπαλαφούτης Χρ., Μαχαίρας Π., (1980). “Οι καταιγίδες στην περιοχή της Θεσσαλονίκης κατά τη θερμή περίοδο”. *Πρακτικά 1^{ου} Ελληνο-Βρεττανικού Κλιματολογικού Συνεδρίου*, Αθήνα, 57-67.

Μπαλαφούτης Χ., (1977). “Συμβολή εις την μελέτην του κλίματος της Μακεδονίας και δυτικής Θράκης”. Διδακτορική Διατριβή, Φυσικομαθηματική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Πέννας Π., (1992). “Συμβολή στη μελέτη των βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη”. *Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσσαλονίκη 21-23 Μαΐου 1992, 139-145.

Σαχσαμάνογλου Χ., Μακρογιάννης Τ., Ρωσσίδης Ζ., (1992). “Χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου”. *Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσσαλονίκη 21-23 Μαΐου 1992, 113-120.

Σαχσαμάνογλου Χ.Σ., Μακρογιάννης Τ.Ι., Μπλούτσος Α.Α., (1992). “Η βροχόπτωση στην περιοχή της Μακεδονίας και Θεσσαλίας σε σχέση με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας”. *Λειψυδρία και Πλημμύρες Πρακτικά Συμποσίου*, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη 17 & 18 Μαρτίου 1992, 192-205

Τολίκα Κ., Αναγνωστοπούλου Χ. και Μαχαίρας Π. (2004). “Μελέτη των τάσεων των ακραίων καιρικών συνθηκών στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο για το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (Μέρος Α-Βροχόπτωση)”. *Ανακοίνωση στο 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο*

Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Λευκωσία 28-30 Σεπτεμβρίου 2004.

Angouridakis V.I. and Machairas P., (1973). “Precipitation in Thessaloniki (I)”. *Meteorologica No 32*, Publ. of the Met.-Climat. Institute, Univ. of Thessaloniki.

Angouridakis V.E., Flocas A.A., (1979). “Precipitation probabilities over Greece during the cold period”. *Sci. Annales. Fac., Phys. Maths., Univ. Thessaloniki*, **19**, 11-37, 1979.

Giles B.D., Flocas A.A., (1990). “Diurnal Rainfall Variations at Thessaloniki, Greece”. *Theor. Appl. Climatol.* **41**, 221-225, 1990.

Jacobeit J., (1987). “Variations of trough positions and precipitation patterns in the Mediterranean area”. *J. Climatol.*, **7**, 453-476, 1987.

Maheras P., (1988). “Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century”. *J. Climatol.*, **8**, 179-189, 1988.

Maheras P. and Kolyva-Mahera F., (1990). “Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the twentieth century”. *Int. J. Climatol.*, **10**, 495-504, 1990.

Maheras P., Balafoutis Cr., Vafiadis M., (1992). “Precipitation in the Central Mediterranean during the last century”. *Theor. Appl. Climatol.*, **45**, 209-216.

Maheras P. and Anagnostopoulou Chr., (2003). “Circulation types and their influence on the interannual variability and Precipitation changes in Greece”. *Mediterranean Climate, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 215-239, 2003.

Maheras P., Tolika K., Anagnostopoulou Chr., Vafiadis M., Patrikas I. and Flocas H. (2004). “On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece”. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1695-1712, 2004.

New M., Todd M., Hulme M. and Jones Ph., (2001). “Precipitation Measurements and Trends in the Twentieth century”. *Int. J. Climatol.* **21**, 1899-1922 2001.

Norrant C. and Douguedroit A., (2006). “Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000)”. *Theor. Appl. Climatol.* **83**, 89-106, 2006.

Rockel B. and Karstens U., (2001). “Development of the water budget for three extra-tropical cyclones with intense rainfall over Europe”. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **77**, 75-831, 2001.

Xoplaki E., Luterbacher J., Burkard R., Patrikas I., Maheras P., (2000). “Connection between the large-scale 500hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime”. *Clim. Res.* Vol **14**, 129-146, 2000.

Wilks D. S., (1995). “*Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*”. Academic Press, 467 pp, 1995.

USGS, (2000). Available on internet at [http:// ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/greek.html](http://ga.water.usgs.gov/edu/wcpagesize/greek.html).