

## ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1964 - 1998

Πεταλάς Χ.<sup>1</sup>, Πλιάκας Φ.<sup>2</sup>, Διαμαντής Ι.<sup>2</sup>, Καλλιώρας Α.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δ.Π.Θ., 67100 Ξάνθη, [cpetalas@civil.duth.gr](mailto:cpetalas@civil.duth.gr)

<sup>2</sup> Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., 67100 Ξάνθη, [fpiliakas@civil.duth.gr](mailto:fpiliakas@civil.duth.gr), [jdiam@civil.duth.gr](mailto:jdiam@civil.duth.gr), [akall@civil.duth.gr](mailto:akall@civil.duth.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αναφέρεται στην κατανομή και στην ποσοτική προσέγγιση των βροχοπτώσεων της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για την περίοδο 1964 έως 1998 και βασίζεται στα δεδομένα 64 βροχομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών εντός της ΠΑΜΘ και 5 σταθμών εκτός της ΠΑΜΘ. Η πυκνότητα των σταθμών κρίνεται ικανοποιητική σύμφωνα με τις προδιαγραφές της WMO. Για το σύνολο των σταθμών έγινε ο κατάλληλος έλεγχος ομοιογένειας και η απαραίτητη συμπλήρωση. Η κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την περιοχή. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο ορειογραφικός επηρεασμός, ενώ χαρακτηριστικό είναι το χαμηλό ύψος των βροχοπτώσεων στις παράκτιες περιοχές. Στις πυκνά δασωμένες περιοχές εμφανίζονται οι υψηλότερες βροχοπτώσεις, οι οποίες συνδέονται και με την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Η μέση βροχόπτωση της περιόδου 1964-1998 είναι 660 mm. Η μελέτη των δεδομένων όλων των σταθμών δείχνει μια σαφή τάση μείωσης των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 1964-1998 και την παρουσία μιας περιόδου ξηρασίας (1981 – 1993). Οι βροχερότεροι μήνες είναι ο Δεκέμβριος και ο Νοέμβριος, ενώ οι ξηρότεροι είναι οι θερινοί μήνες. Το 70.2 % των βροχοπτώσεων πέφτει το εξάμηνο Οκτωβρίου - Μαρτίου. Στο σύνολο των ημερήσιων βροχοπτώσεων το 76% έως 80% έχουν ύψος μικρότερο των 10 mm. Το ποσοστό των ετήσιων βροχοπτώσεων που απορρέει και/ή κατεισδύει κυμαίνεται σε αντιπροσωπευτικό αριθμό υδρολογικών και υδρογεωλογικών λεκανών από 23.5% έως 42.5%.

### 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή αναφέρεται στη μελέτη της κατανομής των βροχοπτώσεων στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (ΠΑΜΘ) κατά την περίοδο 1964 – 1998. Η αξιοπιστία του υδρολογικού ισοζυγίου έγκειται στη μέτρηση, εκτίμηση ή διερεύνηση φυσικών μεγεθών όπως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή καθώς και η θερμοκρασία, η οποία έμμεσα επηρεάζει την εξατμισοδιαπνοή και την επιφανειακή απορροή. Είναι αναγκαία η ορθή γνώση της χωροχρονικής κατανομής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η γνώση της εξατμισοδιαπνοής συνιστά έναν επιπλέον απαραίτητο όρο στη διαδικασία της ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, διότι άμεσα ή έμμεσα επηρεάζει το υδρολογικό ισοζύγιο. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται κυρίως από μετεωρολογικούς παράγοντες, τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, τη φύση του υπόγειου νερού και τον τύπο του εδάφους και της βλάστησης. Σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται λόγω των χωροχρονικών διακυμάνσεων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τόσο στην κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων όσο και στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Παράμετροι όπως η απορροή είναι αναγκαίο να μπορούν να προσδιοριστούν με αξιόλογη προσέγγιση. Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των βροχοπτώσεων, ο προσδιορισμός των οποίων συνήθως γίνεται με στατιστική ανάλυση και είναι πιθανολογικός ή ντετερμινιστικός. Ο υπολογισμός γενικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων εξαρτάται από εμπειρικές μεθόδους που βασίζονται σε πληροφορίες από μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων, σε

1054

στατιστικές και φυσικές έννοιες. Η χρησιμοποίηση της μιας ή της άλλης μεθόδου εξαρτάται από τις διαθέσιμες πληροφορίες και από τη φύση του προβλήματος του οποίου η λύση επιζητείται. Σε αρκετές περιπτώσεις η έλλειψη πληροφοριών οδηγεί στη χρησιμοποίηση πληροφοριών από γειτονικές περιοχές όταν πρόκειται ειδικά για περιορισμένου μεγέθους υδραυλικές κατασκευές ή υδρογεωλογικές μελέτες.

Για την εκτίμηση του ύψους των βροχοπτώσεων σε μία συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα κατά την εκτίμηση των βροχοπτώσεων είναι οι ελλείψεις στα δεδομένα. Πολλές μέθοδοι έχουν προταθεί και εφαρμοσθεί με σκοπό τον υπολογισμό σημειακών ή μέσων τιμών κατακρημνισμάτων σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν σταθμοί (Creutin & Obled 1982) με πλέον αξιόλογη αυτήν που προτείνεται από τους Bastin et al. (1984) η οποία είναι απλή και περιεκτική και δεν απαιτεί οποιαδήποτε μετεωρολογική ερμηνεία των βροχοπτώσεων. Οι Tabios & Salas (1985), αφού ανέλυσαν τις διάφορες τεχνικές εκτίμησης των βροχοπτώσεων σε περιοχές με έλλειψη βροχομετρικών σταθμών, κατέληξαν στην αποδοχή της μεθόδου Kriging ως μιας από τις πλέον έγκυρες διαδικασίες υπολογισμού της μέσης βροχόπτωσης μιας περιοχής. Παρά την τεράστια εξέλιξη της στατιστικής επιστήμης, αρκετά σημεία στον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης σε μια περιοχή με μη επαρκές δίκτυο σταθμών, εξακολουθούν να παραμένουν ασαφή, με αποτέλεσμα η έρευνα της αξιοπιστίας της εκτίμησης της μέσης βροχόπτωσης με τις διάφορες μεθόδους να συνεχίζεται εντατικά (Lebel et al., 1987).

Η ΠΑΜΘ έχει έκταση 14.157,5 km<sup>2</sup> (10.7% της συνολικής έκτασης της χώρας) και πληθυσμό 562.000 κατοίκους. Στην προηγούμενη έκταση συμπεριλαμβάνονται η Θάσος και η Σαμοθράκη, έκτασης 556,84 km<sup>2</sup>. Η περιφέρεια αποτελείται από πεδινές ή λοφώδεις ζώνες που δομούνται από ιζηματογενείς σχηματισμούς νεογενούς μέχρι πρόσφατης ηλικίας, ορεινές περιοχές με πολυσχιδές ανάγλυφο, που δομούνται κυρίως από γνευσιοσχιστολιθικά πετρώματα, γρανίτες και ηφαιστίτες και ορεινές περιοχές με αδρό ανάγλυφο που δομούνται από μάρμαρα. Οι κυριότερες υδρολογικές λεκάνες της ΠΑΜΘ παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Στους διεθνείς ποταμούς συμπεριλαμβάνεται μόνο η έκτασή τους στην ελληνική επικράτεια.

Πίνακας 1. Οι κυριότερες υδρολογικές λεκάνες στην ΠΑΜΘ.

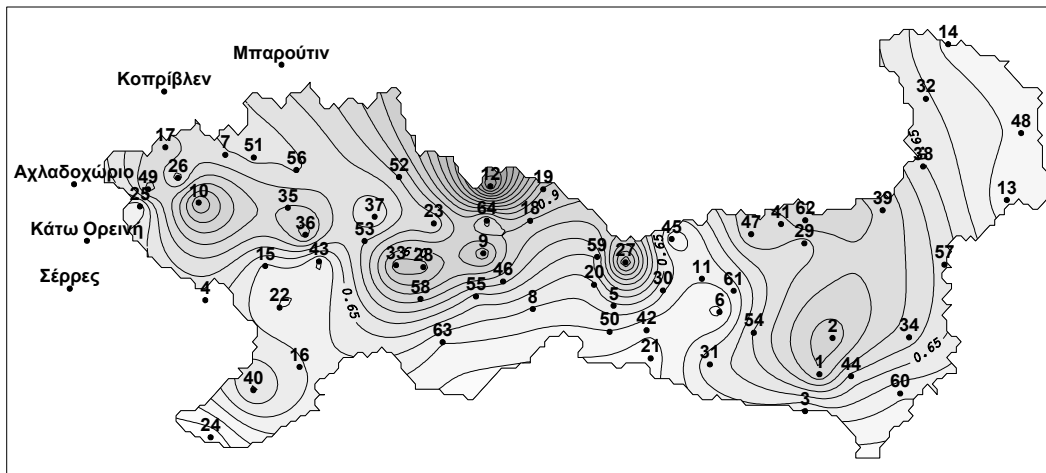
ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΣΕ km <sup>2</sup>	ΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ ΣΕ km <sup>2</sup>
π. Έβρου	321,0	π. Κοσύνθου	456,4
π. Άρδα	349,0	π. Νέστου	2042,0
π. Ερυθροπόταμου	981,0	π. Αγγίτη	2487,0
π. Λίσσου	1407,2	π. Βοσβόζη	164,6
π. Κομψάτου	556,4		

## 2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ

Η μελέτη της κατανομής των βροχοπτώσεων βασίστηκε στα δεδομένα 67 ελληνικών και δύο βουλγαρικών σταθμών από τους οποίους οι περισσότεροι είναι βροχομετρικοί. Οι ελληνικοί σταθμοί ανήκουν στο υπουργείο Γεωργίας (34) στη ΔΕΗ (24), στο ΥΠΕΧΩΔΕ (2) και στην ΕΜΥ (6). Αξίζει να σημειωθεί ότι πρόσφατα ένα μεγάλο μέρος των σταθμών που ανήκουν στο Υπουργείο Γεωργίας τέθηκαν εκτός λειτουργίας. Οι σταθμοί του Αμπελοουργικού Φυτωρίου και της Ξάνθης που λειτουργούν από τη δεκαετία του 1950 έπαψαν να λειτουργούν το 1999 και το 2001 αντίστοιχα, ενώ οι σταθμοί του Γέρακα και του Δημαρίου, έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας, το 1999 ο πρώτος και το 1980 ο δεύτερος, ενώ θα μπορούσαν, μαζί με το σταθμό της Ξάνθης, να λειτουργήσουν ως άριστοι προειδοποιητικοί σταθμοί σε περιπτώσεις πλημμυρικών γεγονότων. Γενικά οι σταθμοί καλύπτουν όλη την έκταση της ΠΑΜΘ και οι περισσότεροι μετρούν μόνο το ύψος των βροχοπτώσεων. Ένας περιορισμένος αριθμός καταγράφει παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η εξάτμιση, η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και η ηλιοφάνεια. Η θέση των σταθμών εμφανίζεται στο χάρτη του σχήματος 1. Ως περίοδος αξιολόγησης της κατανομής των βροχοπτώσεων επιλέχθηκε η κοινή για όλους τους σταθμούς περίοδος 1964 - 1998.

Οι μετρήσεις των κατακρημνισμάτων υπόκεινται σε σειρά σφαλμάτων που συνήθως τείνουν να μειώσουν σε μικρό βαθμό την ποσότητα αυτών που κατακρατείται από τα βροχόμετρα και οφείλονται

στη δράση του ανέμου, στην ακατάλληλη τοποθεσία των βροχόμετρων και στην ανεπάρκεια των παρατηρητών. Η χωρικά ανομοιομορφή κατανομή των σταθμών αποτελεί ένα πρόσθετο πρόβλημα. Η πυκνότητα των σταθμών της ΠΑΜΘ μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική σύμφωνα με τις προδιαγραφές της World Meteorological Organization (1976) για ορεινές και πεδινές μεσογειακές περιοχές, που είναι αντίστοιχα ένας σταθμός ανά 100 ως 250 km<sup>2</sup> και ένας σταθμός ανά 600 έως 900 km<sup>2</sup>. Μια προσεκτικότερη όμως κατανομή των σταθμών και καλύτερα αποτελέσματα θα έδινε, αλλά και θα μπορούσε να καταργηθεί κάποιος αριθμός από αυτούς λόγω της μικρής απόστασης από άλλους σταθμούς.



40 μετεωρολογικός σταθμός αριθμημένος με βάση τους κωδικούς του Πίνακα 2

Σχήμα 1. Χάρτης με τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και την κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (σε mm) της περιόδου 1964-1998.

Η συντριπτική πλειοψηφία των σταθμών παρουσιάζεται πλήρης ή με ελάχιστες ελλείψεις. Αντίθετα λίγοι σταθμοί όπως, ο σταθμός της Μουσθένης (κωδικός 40) και οι ορεινοί σταθμοί του Δημαρίου (12), της Κερασσάς (27) και του Τρίκορφου (59) δεν λειτούργησαν για το μισό περίπου χρονικό διάστημα της υπό εξέταση περιόδου, ενώ ο σταθμός της Κομοτηνής (30) λειτούργησε από το 1950 μέχρι το 1984. Ο έλεγχος της ποιότητας των δεδομένων κάθε σταθμού έγινε μέσω της σύγκρισης του με ομάδα γειτονικών σταθμών βάσης με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Τσακίρης 1995). Λόγω του υψηλού βαθμού γραμμικής συσχέτισης ( $r^2 > 0.99$ ), των σταθμών που εξετάστηκαν και των γειτονικών τους σταθμών βάσης, οι διορθωτικές παρεμβάσεις ήταν ελάχιστες. Η συμπλήρωση των δεδομένων έγινε μέσω γραμμικής συσχέτισης (Τσακίρης 1995) και λόγω του υψηλού βαθμού γραμμικής συσχέτισης ( $r^2 > 0.80$ ) ήταν σχετικά περιορισμένη. Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Η/Υ "HYDROBANAL" (Παπαδόπουλος 1993).

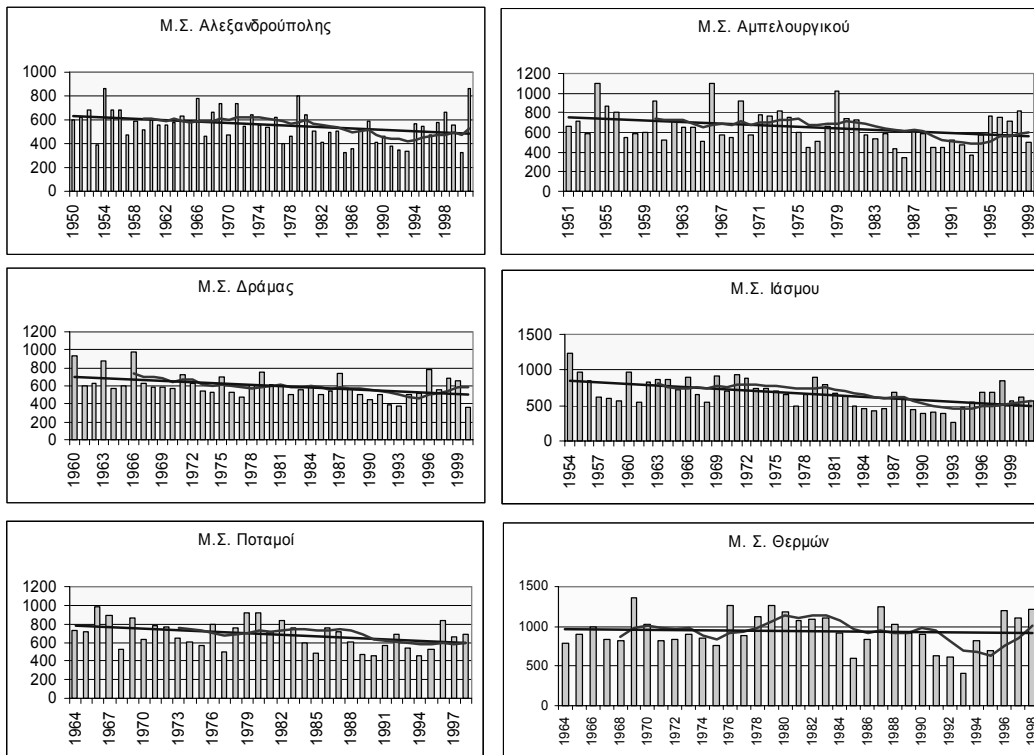
### 3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (Πίνακας 2) της περιόδου 1964-1998 με το υψόμετρο κάθε σταθμού είναι πολύ μικρός ( $r^2 < 0.41$ ) λόγω του έντονου επηρεασμού του ανάγλυφου και κατ' επέκταση των δημιουργουμένων μικροκλιμάτων. Έτσι, παρουσιάζονται τοπικά μικρές ανωμαλίες στην κατανομή των βροχοπτώσεων, ιδιαίτερα στις ορεινές λεκάνες. Στο μεγαλύτερο μέρος των σταθμών της πεδινής περιοχής η πορεία των κατακρημνισμάτων, με εξαίρεση ορισμένες εξάρσεις, δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην περιοχή είναι 660 mm. Οι ελάχιστες ετήσιες βροχοπτώσεις (ΕΒ) κυμαίνονται από 398,4 έως 916,1 mm, ενώ οι μέγιστες από 1.305,0 και 2.057,0 mm. Μια σαφής διαφοροποίηση παρατηρείται στις τιμές της ΜΕΒ των σταθμών σε ένα μεγάλο μέρος της ορεινής ζώνης σε σχέση με την πεδινή περιοχή με την εμφάνιση σημαντικά υψηλότερων τιμών.



διακυμάνσεις και άλλοτε όχι, ενώ η κατανομή τους παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις από αυτή των σταθμών της πεδινής περιοχής. Όλοι οι σταθμοί εμφανίζουν μειωμένες βροχοπτώσεις την περίοδο 1981-1993, με συχνή παρουσία τιμών ΜΕΒ τυπικών του ημίξηρου τύπου κλίματος.



Σχήμα 3. Πορεία των ετήσιων βροχοπτώσεων σε δύο πεδινούς (Αλεξανδρούπολης και Αμπελουργικού,) δύο ορεινούς (Ποταμοί και Θέρμες) και δύο σταθμούς των κρασπέδων της οροσειράς της Ροδόπης (Δράμας και Ιάσμου)

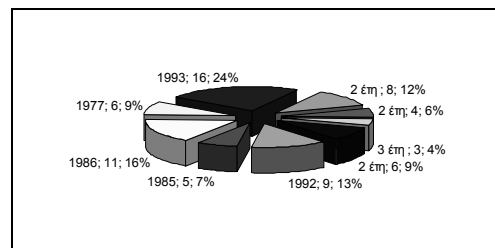
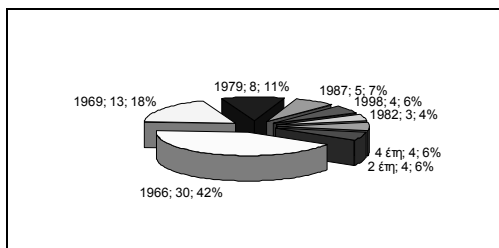
Επίσης, δεν παρατηρείται γενικά κάποια εμφανής τάση περιοδικότητας στην πορεία των ΜΕΒ. Στο σύνολο των σταθμών παρατηρείται τάση μείωσης των βροχοπτώσεων την περίοδο 1964-1998. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων με τη μορφή ισοϋέτιων καμπυλών, ενώ στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η πορεία των ΕΒ σε αντιπροσωπευτικούς, σύμφωνα με τις τοπογραφικές συνθήκες, σταθμούς της ΠΑΜΘ (πεδινούς, ορεινούς και σταθμούς των κρασπέδων της οροσειράς της Ροδόπης. Επίσης στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι ΜΕΒ και οι ακραίες τιμές αυτών για όλους τους σταθμούς εντός της ΠΑΜΘ. Οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις συνδέονται με την παρουσία πυκνά δασωμένων ορεινών περιοχών όπως οι περιοχές Γέρακα – Δημαρίου (υδρολογική λεκάνη του χειμ. Κόσυνθου), Γρανίτη, Άβαντα - Μικρού Δερείου. Τα δάση, μέσω της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων οργανικών aerosols, θα μπορούσαν να είναι αξιόλογα σημαντικά για το κλίμα μέσω της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων οργανικών aerosols που αποτελούν πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (CCNs) (Mäkelä et al. 1997 ; Kavouras et al. 1998 ; Kulmala et al. 1998). Η παρουσία πυρήνων συμπύκνωσης νεφών είναι ζωτικής σημασίας για τον σχηματισμό νεφών και η παρουσία τους μπορεί να επηρεάζει την ένταση των προκαλούμενων βροχοπτώσεων (Sumner 1988). Η παραλιακή ζώνη αποτελεί περιοχή με σαφώς μειωμένες βροχοπτώσεις που σε ορισμένες περιπτώσεις επεκτείνεται προς την ενδοχώρα (περιοχές Γρατινής και Καλαμπακίου).

Τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη τιμή ΕΒ δεν εμφανίζονται αντίστοιχα κατά το ίδιο υγρό ή ξηρό έτος, αλλά παρατηρείται κάποια διασπορά (μεγαλύτερη για το ξηρότερο έτος) στην υπό εξέταση περίοδο. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται τα ξηρότερα και υγρότερα έτη της περιόδου 1964 – 1998

καθώς επίσης και ο αριθμός των σταθμών, με το αντίστοιχο ποσοστό επί του συνόλου, στους οποίους εμφανίζονται. Το 1966 είναι το υγρότερο έτος σε 30 σταθμούς, ενώ το 1993 είναι το ξηρότερο έτος σε 16 σταθμούς.

#### 4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Οι βροχερότεροι μήνες είναι ο Δεκέμβριος και ο Νοέμβριος, ενώ οι ξηρότεροι είναι οι θερινοί μήνες. Παρατηρείται κάποια ισοκατανομή του όγκου των βροχοπτώσεων τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Μικρές διαφοροποιήσεις παρατηρούνται κατά το διάστημα Απριλίου – Σεπτεμβρίου, ενώ χαρακτηριστική κλιμακούμενη αύξηση παρατηρείται από τον Αύγουστο μέχρι το Δεκέμβριο. Οι υψηλότερες τιμές των μηνιαίων βροχοπτώσεων παρουσιάζονται στους ορεινούς σταθμούς, όπως π.χ. του Γέρακα και του Δημαρίου, ενώ οι χαμηλότερες παρουσιάζονται στους σταθμούς της πεδινής ζώνης. Στο σχήμα 5 εμφανίζονται οι μέσες και μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις σε έξι σταθμούς, δύο της πεδινής περιοχής, δύο των κρασπέδων και δύο της ορεινής περιοχής. Η βροχερότερη εποχή είναι ο χειμώνας και ακολουθούν με φθίνουσα σειρά και με σταθερή μείωση το φθινόπωρο, η άνοιξη και το θέρος (η ξηρότερη εποχή με μόλις το 11.5 % του συνολικού όγκου των βροχοπτώσεων). Το 70.2% των βροχοπτώσεων πέφτει το εξάμηνο Οκτωβρίου - Μαρτίου. Κατά τους υπόλοιπους μήνες οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις και γενικά είναι χαμηλές. Οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις όλων των σταθμών φαίνονται στον πίνακα 2.



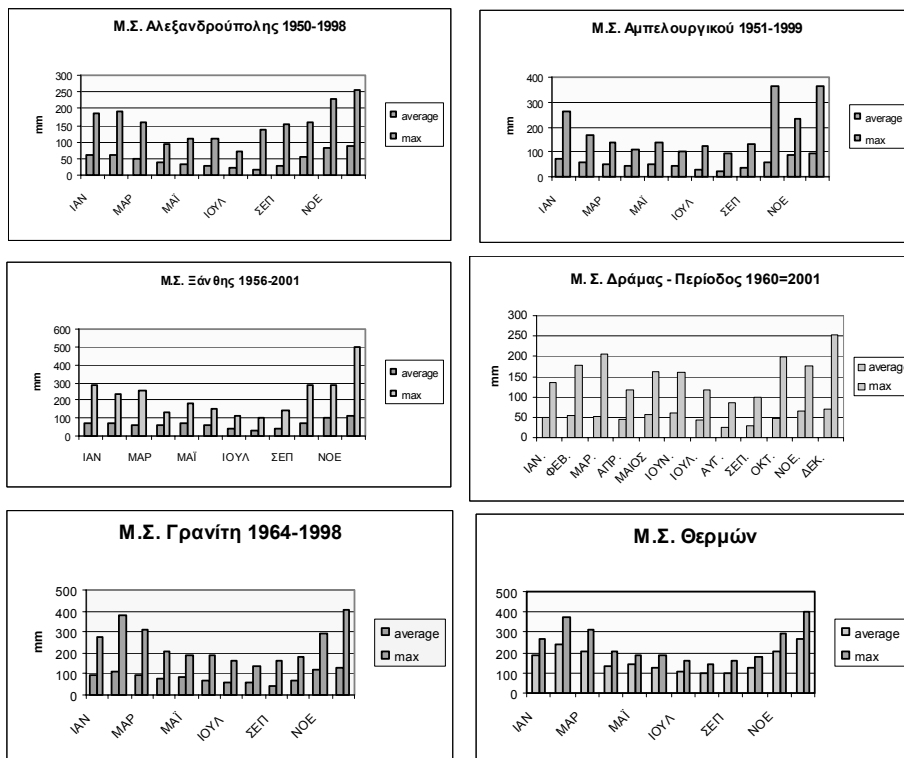
Σχήμα 4. Τα ξηρότερα και υγρότερα έτη της περιόδου 1964 -1998 και ο αριθμός των σταθμών στους οποίους εμφανίζονται.

#### 5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ KRIGING

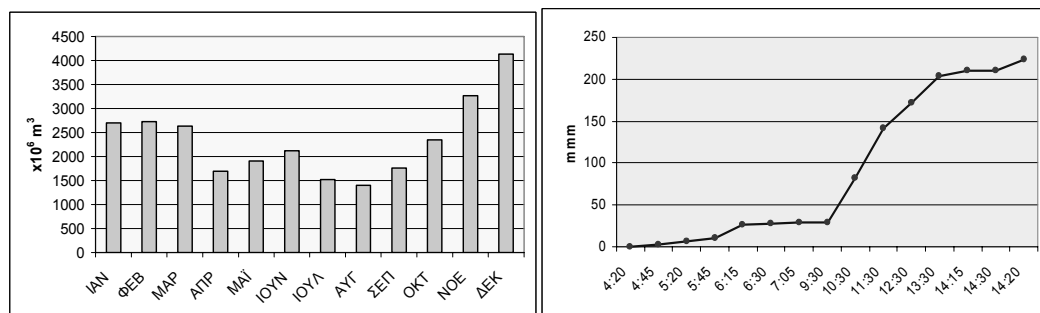
Για τον υπολογισμό του όγκου των κατακρημνισμάτων, σε όλη την έκταση της ΠΑΜΘ αλλά και σε επί μέρους υδρολογικές και υδρογεωλογικές λεκάνες αυτής, εφαρμόστηκε μια παραλλαγή της μεθόδου των ισοϋέτιων καμπύλων, η οποία στηρίχθηκε στην επεξεργασία των διαθέσιμων πληροφοριών με τη στατιστική μέθοδο Kriging η οποία εφαρμόστηκε αφού προηγήθηκε η ψηφιοποίηση της ΠΑΜΘ από χάρτη κλίμακας 1:200.000 και η ψηφιοποίηση των υδρολογικών και υδρογεωλογικών λεκανών από χάρτες κλίμακας 1:50000. Στο σχήμα 6α παρουσιάζεται ο μέσος μηνιαίος όγκος βροχοπτώσεων για την περίοδο 1964 – 1998. Ο όγκος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην ΠΑΜΘ, την περίοδο 1964-1980, ανέρχεται στα 9.622 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, ενώ η αντίστοιχη τιμή για την περίοδο 1981-1993 είναι 7.967 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, γεγονός που καταδεικνύει μείωση της τάξης του 17,20%. Όταν η ανάλυση της περιόδου 1981-1993 επεκτείνεται έως το 1998, η μείωση είναι 13,28% και η ΜΕΒ ανέρχεται στα 8.344 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Επίσης, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των βροχοπτώσεων της ξηρής περιόδου για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολης, Αμπελουργικού, Ιάσμου, Κομοτηνής, Ξάνθης και Πόρτης με εκείνες της προηγούμενης περιόδου η οποία όμως επεκτείνεται μέχρι τη δεκαετία του 1950. Η σύγκριση δεν παρουσίασε κάποια σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με την προηγούμενη σύγκριση, καθώς παρατηρούνται οι ίδιες πτωτικές τάσεις.

## 6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Οι ημερήσιες βροχοπτώσεις μελετήθηκαν για τους σταθμούς Ορεσιιάδας, Αλεξανδρούπολης και Καβάλας (παλιό αεροδρόμιο) και για την περίοδο 1950-1990. Σε ποσοστά από 76% έως 80% αυτές είναι μικρότερες των 10 mm. Σε ποσοστά από 17% έως 21% εντοπίζονται στο πεδίο από 10 έως 30 mm. Σε ποσοστά από 2% έως 3% εντοπίζονται στο πεδίο 30 έως 50 mm. Τέλος στο πεδίο από 50 έως 100 mm εντοπίζονται ποσοστά μεταξύ 0% και 1%. Λίγες ημερήσιες βροχοπτώσεις, μια έως τρεις ημέρες σε σύνολο 3365 ημερών, εμφανίζουν βροχόπτωση μεγαλύτερη των 100 mm. Η κατανομή αυτή δείχνει ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ημερήσιων βροχοπτώσεων αναλώνεται για τις ανάγκες της εξαμυσοδιαπνοής ιδιαίτερα κατά τους ξηρούς μήνες.



Σχήμα 5. Μέσες και μέγιστες μηνιαίες βροχοπτώσεις σε αντιπροσωπευτικούς σταθμούς.



Σχήμα 6α. Μέσος μηνιαίος όγκος βροχοπτώσεων για την περίοδο 1964-1998. Σχήμα 6β. Αθροιστική καμπύλη ύψους βροχής όπως προκύπτει από την ταινία του βροχογράφου και αναφέρεται στο ακραίο πλημμυρικό γεγονός της 30/11/1996 στην Ξάνθη.

Η Ξάνθη αποτελεί τη μόνη περιοχή της ΠΑΜΘ για την οποία υπάρχουν στοιχεία για κάποιο πλημμυρικό γεγονός. Στο σχήμα 7β παρουσιάζεται η αθροιστική καμπύλη ύψους βροχής όπως προκύπτει από την ταινία του βροχογράφου του σταθμού του Γέρακα και αναφέρεται στο ακραίο πλημμυρικό γεγονός της 30/11/1996 στην Ξάνθη. Το πλημμυρικό αυτό γεγονός απείλησε την πόλη της Ξάνθης και την ευρύτερη περιοχή. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε διάστημα τριών ωρών και 30 λεπτών έπεσαν πάνω από 170 mm βροχής. Την ίδια μέρα καταγράφηκε ραγδαιότητα 59 mm/ώρα. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει την μεγαλύτερη επικινδυνότητα όσον αφορά την εμφάνιση πλημμυρικών γεγονότων και παρόμοια γεγονότα εμφανίστηκαν και τα έτη 1990 και 1969. Τα γεγονότα αυτά εμφανίστηκαν προς το τέλος Νοεμβρίου ή αρχές Δεκεμβρίου. Η εμφάνιση εδώ πλημμυρικών γεγονότων συνδέεται με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στη λεκάνη του χειμ. Κόσυνθου, τη βροχερότερη λεκάνη της ΠΑΜΘ.

## 7 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ ΤΗΣ ΠΑΜΘ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων επιβάλλει την ακριβή εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται κυρίως από μετεωρολογικούς παράγοντες, τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, το υπόγειο νερό και τον τύπο του εδάφους και της βλάστησης. Αυτή είναι μικρή κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αυξάνει ραγδαία την άνοιξη, φθάνει τη μέγιστη τιμή της γενικά τον Ιούλιο και μειώνεται ραγδαία κατά το φθινόπωρο με το τέλος της βλαστικής περιόδου. Η ετήσια πορεία της παραμένει σχεδόν η ίδια από έτος σε έτος. Η εξατμισοδιαπνοή είναι συχνά μεγαλύτερη από τις βροχοπτώσεις κατά τους θερινούς μήνες και σημαντικά μικρότερη από αυτές κατά τη διάρκεια του χειμώνα και κατά τους δύο πρώτους μήνες της άνοιξης. Γενικά κατά την περίοδο Δεκεμβρίου – Μαρτίου οι αλλαγές στην εξατμισοδιαπνοή όπως και στην εδαφική υγρασία είναι πάρα πολύ μικρές. Η μέτρησή της, η ακρίβεια, η αξιοπιστία ή ακόμη και η απλή προσέγγιση της εξακολουθεί να αποτελεί θέμα προς συζήτηση. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή σπάνια υπολογίζεται και κυρίως μόνο στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων. Οι εμπειρικές σχέσεις όπως αυτή των Thornthwaite & Mather (1957) θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (Lerner 1990). Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε σημαντικές λεκάνες της ΠΑΜΘ για την περίοδο 1964-1998 υπολογίστηκε με τη χρησιμοποίηση της εμπειρικής σχέσης των Thornthwaite & Mather (1957). Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος του Thornthwaite βασίζεται στην υπόθεση ότι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ( $E_T_p$ ) εξαρτάται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες και αγνοεί την επίδραση της πυκνότητας και ωριμότητας της βλάστησης, η μέθοδος αυτή εξακολουθεί να είναι πολύτιμη (Fetter 1994). Στην πεδινή ζώνη λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών οι τιμές της  $E_T_p$  είναι κάπως μεγαλύτερες από εκείνες των ορεινών περιοχών. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρά τις οποιεσδήποτε αμφισβητήσεις (Sequin 1975) αποτελεί για τον ελληνικό χώρο μια πάρα πολύ χρήσιμη και αξιόλογη προσέγγιση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα, για τις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται μηνιαία δεδομένα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, τα οποία καλύπτουν μια περίοδο με ελάχιστη διάρκεια ενός μηνός (Μπαλαφούτης 1988). Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε η τιμή ικανότητας κατακράτησης S του εδάφους 100 mm, με εξαίρεση τις καρστικές περιοχές (50 mm). Η τιμή των 100 mm χρησιμοποιήθηκε και από το Μπαλαφούτη (1988) για τη μελέτη του ισοζυγίου του ύδατος στον ελληνικό χώρο καθώς και από άλλους ερευνητές όπως οι Giles & Flokas (1985). Κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Απριλίου παρατηρείται ταύτιση της πραγματικής με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, ενώ κατά την περίοδο Μαΐου – Σεπτεμβρίου η πραγματική εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει δραματική μείωση με εμφάνιση σχεδόν μηδενικών τιμών τον Αύγουστο. Η επιφανειακή απορροή άλλοτε άμεσα και άλλοτε έμμεσα συντελεί στο φυσικό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων της ΠΑΜΘ. Εάν εξαιρέσει κανείς τις μεγάλες λεκάνες - Νέστου, Κομψάτου, Λίσσου, Άρδα, Έβρου και Ερυθροποτάμου - στις υπόλοιπες λεκάνες παρατηρούνται απορροές μόνο εποχιακά κατά την υγρή περίοδο (από Νοέμβριο έως Μάιο), χαρακτηριστικό του ημίξηρου Μεσογειακού κλίματος.

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει τις απορροές και τις κατεισδύσεις, καθώς και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο 1964 -1998, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite & Mather (1975). Για τη λεκάνη του Τεμένους διατίθενται και πραγματικές μετρήσεις. Η



μέση απορροή και η κατεισδυσή, κυμαίνεται από 23,45% έως 42,51%, η ελάχιστη από 0,93% έως 21,28% και η μέγιστη από 47,43 έως 67,26% των βροχοπτώσεων. Η μέση πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ETr) κυμαίνεται από 57,49% έως 74,42%, η ελάχιστη από 32,74% έως 52,57% και η μέγιστη από 97,07 έως 78,72% των βροχοπτώσεων. Αξίζει να σημειωθεί η ιδιαίτερα μικρή απόκλιση των τιμών των παραπάνω παραμέτρων που προσεγγίστηκαν στη λεκάνη του Τεμένους με τη μέθοδο Thornthwaite and Mather (1957) από τις πραγματικές μετρήσεις. Στο παράκτιο τμήμα του Ν. Ροδόπης, όπως διαπιστώνεται από τα δεδομένα του πίνακα 3, το άθροισμα του μέσου ετήσιου ύψους της απορροής και της ποσότητας που κατεισδύει, αποτελεί περίπου το 23,45% των ετήσιων βροχοπτώσεων, ενώ το ποσοστό αυτό κυμαίνεται μεταξύ 2,80% και 57,37%. Η απορροή των περισσότερων μηνών είναι μηδενική και εμφανίζεται κυρίως την περίοδο Δεκεμβρίου-Μαρτίου. Πλημμυρική μορφή λαμβάνει η απορροή σε σπάνιες περιπτώσεις και μόνο όταν το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης ξεπερνά τα 50 mm.

Πίνακας 3. Απορροές, κατεισδύσεις και πραγματική εξατμισοδιαπνοή στην ΠΑΜΘ ως ποσοστά επί τοις % των βροχοπτώσεων.

		Ποσοστά επί τοις % των βροχοπτώσεων			MEB 1964-1998 (mm)
		Μέση	Ελάχιστη	Μέγιστη	
Παράκτια περιοχή Ν. Ροδόπης <sup>†</sup>	[Απορροές + Κατεισδυσή]	23,45	2,8	57,37	628
	Etr	76,55	97,2	42,63	
Λοφώδης ζώνη βόρεια π. Ερυθροποτάμου*	[Απορροές + Κατεισδυσή]	25,58	0,93	47,43	562
	Etr	74,42	99,07	52,57	
Λεκάνη π. Κομψάτου*	[Απορροές + Κατεισδυσή]	41,48	16,6	67,26	923
	Etr	58,52	83,4	32,74	
Καρστική ζώνη ορέων Λεκάνης*	[Απορροές + Κατεισδυσή]	42,51	21,28	66,14	853
	Etr	57,49	78,72	33,86	
Λεκάνη π. Νέστου στο Τέμενος*	[Απορροές + Κατεισδυσή]	38,38	17,3	53,72	838
	Etr	61,62	82,7	46,28	
Λεκάνη π. Νέστου στο Τέμενος**	[Απορροές]	37,96	18,83	57,95	
	Etr	62,04	81,17	42,05	

\*Υπολογισμός με τη μέθοδο Thornthwaite & Mather (1957)

\*\*Υπολογισμός από πραγματικές μετρήσεις της απορροής

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ΠΑΜΘ μέχρι το 1998 υπήρχε ένα ικανοποιητικό δίκτυο μετεωρολογικών και βροχομετρικών σταθμών. Η επεξεργασία των δεδομένων του δικτύου αυτού βοήθησε στην κατανόηση των χαρακτηριστικών των ετήσιων, μηνιαίων και ημερήσιων βροχοπτώσεων. Γενικά παρατηρείται σαφής διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών αυτών κατά υδρολογική ή υδρογεωλογική λεκάνη. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι για την περίοδο 1964-1998 660 mm. Το 70.2% των βροχοπτώσεων πέφτει το εξάμηνο Οκτωβρίου - Μαρτίου. Δεν παρατηρείται εμφανής τάση περιοδικότητας στις ΕΒ. Η περίοδος 1981-1993 χαρακτηρίζεται ως περίοδος ξηρασίας, με συχνή παρουσία τιμών τυπικών του ημίξηρου τύπου κλίματος και θα μπορούσε να επαναληφθεί στο μέλλον. Οι ορεινές περιοχές, ιδιαίτερα οι πιά δασωμένες, δέχονται μεγαλύτερο ύψος ετήσιων βροχοπτώσεων συγκριτικά με τις πεδινές περιοχές. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη λεκάνη του χειμ. Κόσυνθου όπου έχουμε εμφάνιση πλημμυρικών γεγονότων. Στο σύνολό τους οι σταθμοί εμφανίζουν σαφή τάση σημαντικής μείωσης των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 1964 -1998. Το 23.5% έως 42.5% των ετήσιων βροχοπτώσεων απορρέει και/ή κατεισδύει και τα ποσοστά αυτά θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη κατά την αξιοποίηση των υδατικών πόρων της ΠΑΜΘ. Σήμερα υπάρχει επιτακτική ανάγκη για βελτίωση του δικτύου των σταθμών.

1062

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bastin G. B., Lorent C., Duque & Gevers M. 1984. Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gauge stations. *Water resources Research*, V. 20, No. 4, pp. 463 – 470.
- Creutin J. D. & Obled C. 1982. Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison. *Water Resources Research*, V. 18, No. 2, pp. 413 – 431.
- Fetter C. V. 1994. *Applied Hydrogeology*, 3<sup>rd</sup> Edition, Macmillan College Publishing Company, New York, 691 p.
- Giles B. D. & Flocas, A. A. 1985. Evaporation in Crete a preliminary investigation. *Proceeding of 3<sup>rd</sup> Hellenic – British Climatological Congress*, Athens, pp. 238 – 257.
- Kavouras, I.G., Michalopoulos N. & Stephanou E.G. 1998. Formation of atmospheric particles from organic acids produced by forests, *Nature*, No. 395, pp. 683-686.
- Kulmala, M., Toivonen, A., Mäkeläle, J.M., & Laaksonen, A. 1998. Analysis of the growth of nucleation mode particles observed in Boreal Forest. *Tellus*, 50B, pp. 449-462.
- Lebel T. G., Bastin G., Obled C., & Creutin J. D. 1987. On the accuracy of areal rainfall estimation: A case study, *Water Resources Research*, V. 23, No. 11, pp. 2123 – 2134.
- Lerner D. L., Mansel – Moulin, M., Dellow, D. G. & Lloyd, J. W., 1982. Groundwater studies in Lima, Peru. Optimal application of water resources. *Proceedings Exeter Symposium*, IAHS Publ. No. 135, pp. 17 – 30.
- Mäkeläle, J.M., Aalto, P., Jokinen, V., Pohja, T., Nissinen, A., Palmroth, S., Markkanen, T., Seitsonen, K., Lihavainen, H., & Kulmala, M. 1997. Observations of ultrafine aerosol particle formation and growth in boreal forest. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1219-1222.
- Μπαλαφούτης Χ. 1988. Το ισοζύγιο του ύδατος στον ελλαδικό χώρο. Επιστημονική επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., Παράρτημα Αρ. 3, Τόμος 1, Θεσσαλονίκη, σελ. 142.
- Παπαδόπουλος Κ. 1993. HYDROBANAL. Μια βάση αρχαιοθέτησης, ελέγχου της αξιοπιστίας, επεξεργασίας και ανάλυσης υδρομετεωρολογικών δεδομένων, 2<sup>ο</sup> Υδρογεωλογικό Συνέδριο – Πάτρα.
- Sequin B. 1975. Etude compare de methods d' estimation d' ETP en climate Mediterranee du Sud de la France (Region d' Anignon). *Annales agronomiques*, V. 26, No. 2, pp. 671 – 691.
- Sumner, G. 1988. *Precipitation – Process and Analysis*. John Wiley & Sons, New York, pp. 44-106.
- Tabios III G. Q. & Salas J. D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Bulletin*, V. 21, No. 3, pp. 365 – 380.
- Thornthwaite C. W. & Mather J. R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in climatology*. John Hopking University, V. 10, No. 3.
- Τσακίρης, Γ. 1995. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις "Συμμετρία", Αθήνα 1995, σ. 131-139.
- World Meteorological Organization (WMO). 1976. Hydrological network design and information transfer, WMO Operational Hydrology Report, No. 8, 185 p.

## ABSTRACT

### **STUDY OF THE DISTRIBUTION OF PRECIPITATION IN DISTRICT OF EASTERN MACEDONIA AND THRACE FOR THE PERIOD 1964 - 1998**

Petalas C.<sup>1</sup>, Pliakas F.<sup>2</sup>, Diamantis I.<sup>2</sup>, Kallioras A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Department of Environmental Engineering, Democritus University of Thrace, 67100, Xanthi, xpetalas@civil.duth.gr*

<sup>2</sup> *Section of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi, fpliakas@civil.duth.gr, jdiam@civil.duth.gr, akall@civil.duth.gr*

This paper refers to the distribution and the quantitative approach of the precipitation of the Region of Eastern Macedonia and Thrace for the period 1964 – 1998 and it is based on data from 64 meteorological stations. The distribution of the precipitation varies significantly according to each different location. The mountainous terrain plays a significant role on the distribution of precipitation while the low height of precipitation is easily observed within the coastal zone. The dense forested areas are characterized by high precipitation heights and flood events. The mean precipitation for the period 1964–1998 is 660 mm. The elaboration of the rainfall data shows a distinct reduction during 1964–1998 with a drought period between 1981 and 1993. December and November are found to be the most wet months, while it is observed that 70.2% of the precipitation occurs between October and March. It is estimated that 76% to 80% of the precipitation are lower than 10 mm. The percentage of annual precipitation which outflows and/or infiltrates ranges between 23.5%

1063

to 42.5%.

1064