

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΗΜΗΤΡΑ ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ

ΑΕΜ: 4778

GGN 837Υ: ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

«Υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη της Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο
Thornthwaite και αξιολόγηση του κλιματικού μοντέλου RegCM3»

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ ΤΟΛΙΚΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ – ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Κωνσταντία Τολίκα για τις πολύτιμες συμβουλές και για την υποστήριξη που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης με τη μέθοδο Thornthwaite. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται για την περίοδο 1958-2000 με βάση τις μετρήσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης και στη συνέχεια γίνεται ο αντίστοιχος υπολογισμός και σύγκριση για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100 με βάση τα προσομοιωμένα δεδομένα που δίνονται από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM3 με τελικό στόχο την αξιολόγηση του μοντέλου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

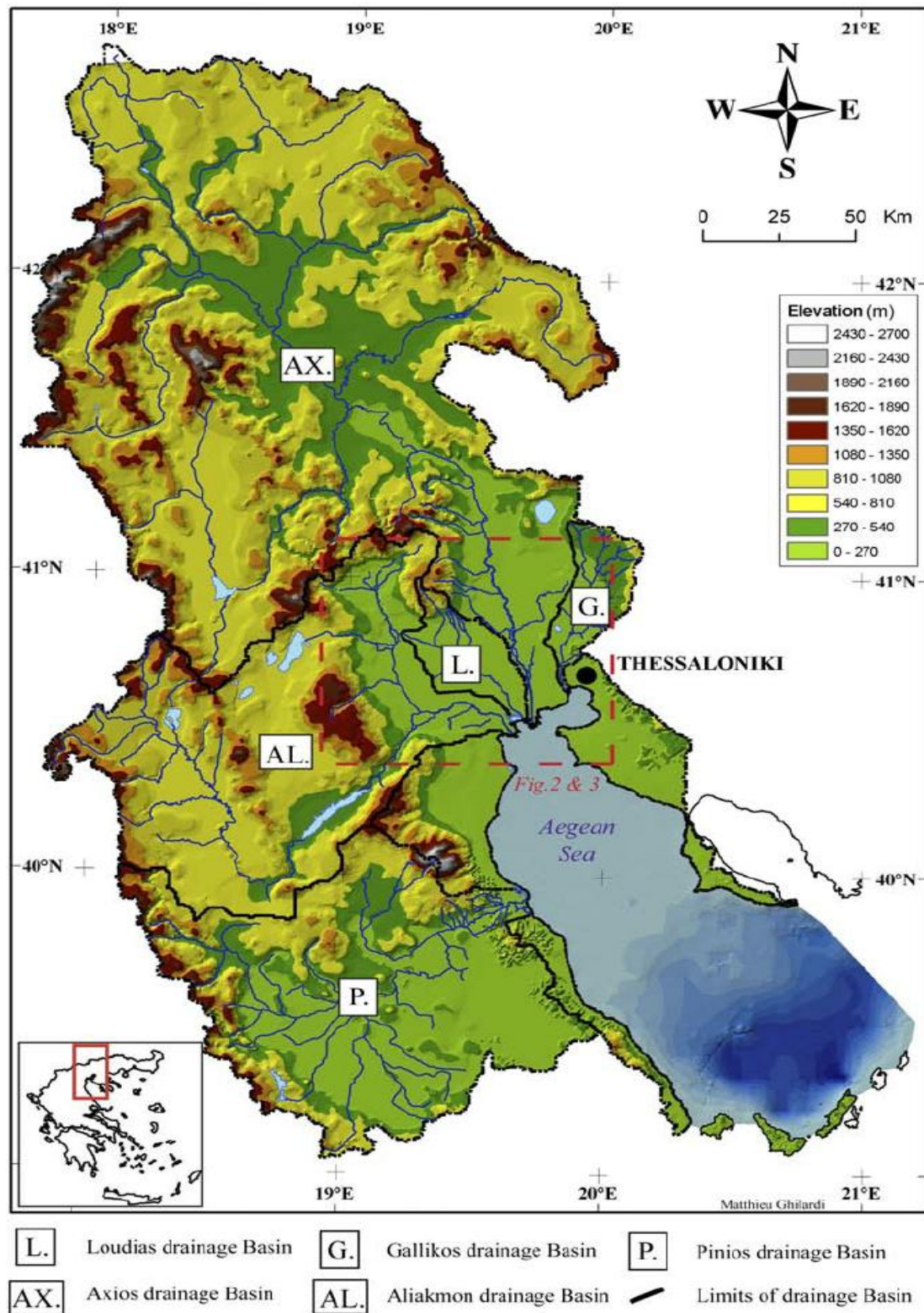
1. Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά Στοιχεία	1
1.1.1 Θερμοκρασία	3
1.1.2 Βροχόπτωση	3
2. Δεδομένα – Μεθοδολογία	5
2.1 Κλιματικό μοντέλο και Σενάριο Εκπομπών SRES A ₁ B	5
2.2 Εξατμισοδιαπνοή και Μέθοδος Thornthwaite	6
2.3 Ακρίβεια της Μεθόδου Thornthwaite	7
3. Αποτελέσματα	9
3.1 Ανάλυση Δεδομένων για την Περίοδο 1958-2000	9
3.1.1 Θερμοκρασία	9
3.1.2. Βροχόπτωση	11
3.1.3.Εξατμισοδιαπνοή	12
3.2 Ανάλυση Προσομοιωμένων Δεδομένων για την Περίοδο 1958-2000 και Αξιολόγηση του Μοντέλου	17
3.3 Συγκριτική Ανάλυση Προσομοιωμένων Δεδομένων και Αξιολόγηση του Μοντέλου	23
3.3.1 Περίοδος 1971-2000	23
3.3.2 Περίοδος 2071-2100	28
4. Συμπεράσματα	32
Παράρτημα 1	34
Παράρτημα 2	43
Βιβλιογραφία.....	48

1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να εξηγήσει τον όρο της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής όπως αυτή υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite για τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα δεδομένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας όπως αυτά μετρήθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό του πανεπιστημίου (σημεία πλέγματος ενός δυναμικού περιοχικού μοντέλου) σε ημερήσια βάση για τα έτη 1958-2000. Σε δεύτερο επίπεδο, θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των πραγματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από το σταθμό της Θεσσαλονίκης με αυτά που προσομοιώνει το μοντέλο RegCM3 και στη συνέχεια θα γίνει μια εκτίμηση για το πώς θα μεταβληθούν οι παράμετροι της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο μέλλον και συγκεκριμένα την περίοδο 2071-2100.

1.1 Γενικά Στοιχεία

Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης εκτείνεται προς τα δυτικά έως και την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης-Κατερίνης, προς τα βόρεια έως την Π.Γ.Δ.Μ. και προς τα νότια μέχρι τον κόλπο του Θερμαϊκού. Στα δυτικά οριοθετείται από τα Πιέρια όρη και το Βέρμιο, ενώ ανατολικά οριοθετείται από το όρος Χολωμώντας. Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης καλύπτει χερσαίο και θαλάσσιο χώρο έκτασης 4.200km^2 και 4.000km^2 αντίστοιχα και διαρρέεται από τέσσερις ποταμούς, τον Αξιό, το Λουδία, το Γαλλικό και τον Αλιάκμονα. Παρακάτω δίνεται ένας χάρτης όπου φαίνεται οριοθετημένη η λεκάνη απορροής της Θεσσαλονίκης, καθώς και οι λεκάνες απορροής των προαναφερθέντων ποταμών (εικόνα 1).



Εικόνα 1. Λεκάνη της Θεσσαλονίκης. Στην εικόνα φαίνονται οι λεκάνες απορροής των ποταμών Αξιός, Λουδίας, Γαλλικός και Αλιάκμονας (Ghilardi et al., 2008).

1.1.1 Θερμοκρασία

Με τον όρο θερμοκρασία εννοείται η μετεωρολογική παράμετρος που αντιπροσωπεύει την αντικειμενική μέτρηση της ζέστης και του κρύου. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με θερμόμετρα και οι μετρήσεις δίνονται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$), βαθμούς Kelvin (K) και βαθμούς Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Στην παρούσα εργασία όλες οι θερμοκρασίες δίνονται σε βαθμούς Κελσίου. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας γίνονται συνήθως τοπικά για άμεση ή μετέπειτα επεξεργασία και αξιολόγηση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα επιφάνειας οι οποίες μετρώνται σε μετεωρολογικούς σταθμούς χρησιμοποιώντας θερμόμετρα τα οποία συνήθως τοποθετούνται σε κλωβό Stevenson, όπως προβλέπεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (World Meteorological Organization).

1.1.2 Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση κατατάσσεται στα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα μαζί με το χιονόνερο, το χιόνι και το χαλάζι. Η βροχόπτωση αποτελεί έναν από τους παράγοντες του υδρολογικού ισοζυγίου, όπως αυτό ορίζεται από τη σχέση:

$$P=E+R-I$$

Όπου: P είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δρόσος, πάχνη)

E είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

R είναι η επιφανειακή απορροή

I είναι η κατείσδυση

Η σημασία της βροχόπτωσης έγκειται στο γεγονός ότι ευθύνεται για την ανανέωση και τη διατήρηση των αποθεμάτων των επιφανειακών και υπόγειων υδροφορέων και τη συντήρηση της εδαφικής υγρασίας. Η βροχόπτωση μετράται σε χιλιοστά (mm) και η μέτρησή της γίνεται με ειδικά όργανα, όπως είναι τα βροχόμετρα και οι βροχογράφοι. Η βροχόπτωση ανάλογα με

την έντασή της κατατάσσεται σύμφωνα με το Μετεωρολογικό Γλωσσάρι της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Εταιρείας στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ασθενής (<2mm/ώρα)
- Μέτρια (2-6mm/ώρα)
- Ισχυρή(>6mm/ώρα)

Ο Μετεωρολογικός Οργανισμός του Ηνωμένου Βασιλείου (Met Office) εισάγει και μία επιπλέον κατηγορία έντασης βροχόπτωσης, τη βίαιη (>50mm/ώρα), φαινόμενο στατιστικά σπάνιο.

2. Δεδομένα – Μεθοδολογία

2.1 Κλιματικό μοντέλο και Σενάριο Εκπομπών SRES A1B

Τα προσομοιωμένα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία δίνονται από το κλιματικό μοντέλο RegCM3. Πρόκειται για ένα περιοχικό κλιματικό μοντέλο 3^{ης} γενιάς (Regional Climate Model) το οποίο αναπτύχθηκε αρχικά από το National Center for Atmospheric Research στα τέλη της δεκαετίας του 1980 (Dickinson et al., 1989; Giorgi and Bates, 1989). Το δυναμικό κομμάτι της αρχικής έκδοσης του μοντέλου, προκύπτει από το μέσης κλίμακας μοντέλο MN4 το οποίο είναι συμπίεστο αριθμητικό πρότυπο πεπερασμένων διαφορών με υδροστατική ισορροπία και κατακόρυφες σ-συνιστώσες (sigma vertical coordinate). Αργότερα το μοντέλο τροποποιήθηκε για να μειωθεί η οριζόντια διάχυση που οφείλεται σε απότομες τοπογραφικές κλίσεις, με αποτέλεσμα ο δυναμικός πυρήνας της πρόσφατης έκδοσης του RegCM να είναι η υδροστατική έκδοση του μέσης κλίμακας μοντέλου MM5 (Jacob et al., 2007). Τα δεδομένα του μοντέλου έχουν χωρική ανάλυση 25x25 km και καλύπτουν μια περίοδο από το έτος 1950 έως και το έτος 2100. Για τις μελλοντικές εκτιμήσεις χρησιμοποιείται το σενάριο εκπομπών SRES A1B.

Το σενάριο αυτό ανήκει στην οικογένεια σεναρίων A1 που έχουν αναπτυχθεί από το IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Η οικογένεια A1 σεναρίων εκτιμά ότι κατά τα έτη 2000-2100 θα υπάρξει ταχύτατη οικονομική ανάπτυξη όπως και αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η κορύφωση της οποίας θα επέλθει στα μέσα περίπου του αιώνα. Κατά το δεύτερο μισό του αιώνα εκτιμάται μείωση του πληθυσμού, καθώς και εφαρμογή νέων και αποτελεσματικότερων τεχνολογιών. Παρουσιάζεται σύγκλιση μεταξύ των περιοχών, τόσο κοινωνικά όσο και πολιτισμικά και οι διαφορές παύουν να είναι τόσο έντονες με αποτέλεσμα σταδιακά να εξαλείφονται. Από τεχνολογικής άποψης, το A1B σενάριο προβλέπει ότι όλες οι πηγές ενέργειας θα χρησιμοποιούνται εξίσου.

Σύμφωνα με τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν από το IPCC αναμένονται μελλοντικές μεταβολές των μετεωρολογικών παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη. Το σενάριο A1B εκτιμά πως η θερμοκρασία θα αυξηθεί περίπου από 2.3°C έως 5.3°C στη Βόρεια Ευρώπη, ενώ στις χώρες της Μεσογείου η αύξηση υπολογίζεται να είναι ελαφρώς μικρότερη, δηλαδή από 2.1 °C έως 5.1 °C. Αύξηση εκτιμάται και στη μέση βροχόπτωση για τη Βόρεια Ευρώπη, ενώ αντιθέτως στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου οι βροχοπτώσεις αναμένεται να ελαττωθούν. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει και στην αύξηση της εξάτμισης.

2.2 Εξατμισοδιαπνοή και Μέθοδος Thornthwaite

Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή εννοείται η ποσότητα του νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τις συνδυαστικές λειτουργίες της εξάτμισης από όλες τις υδάτινες επιφάνειες και της διαπνοής μέσω των φυτών. Η εξατμισοδιαπνοή διακρίνεται σε πραγματική και δυνητική.

Σύμφωνα με τον Penman (1948,1956), «η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που εξατμίζεται σε συγκεκριμένο χρόνο από έδαφος καλυμμένο με ομοιόμορφη χαμηλή βλάστηση και στο οποίο υπάρχει απεριόριστη διαθεσιμότητα νερού». Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από μετεωρολογικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία κ.ά. και παίρνει υψηλότερες τιμές με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ μειώνεται με την αύξηση της σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μέγιστες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής να παρατηρούνται τους θερινούς μήνες.

Ο Thornthwaite (1944) δίνει έναν διαφορετικό ορισμό για τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή σύμφωνα με τον οποίο «αν προκύψει απώλεια νερού από το έδαφος για να χρησιμοποιηθεί από τη βλάστηση, τότε η ποσότητα νερού που χάνεται ισούται με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή» (Fetter, 2000).

Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στην παρούσα εργασία έγινε με τη μέθοδο Thornthwaite, η οποία προτείνει μία εμπειρική σχέση μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα. Πρόκειται για τη σχέση:

$$ET_0 = 1.6 \left(\frac{10T}{T} \right)^a$$

Όπου: ET_0 = η μέση μηνιαία τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε mm

T = η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

a = συντελεστής που δίνεται από τη σχέση

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + 17.92 \times 10^{-3}I + 0.49239$$

$$I = \text{ο ετήσιος θερμικός δείκτης, } I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

Η σχέση της εξατμισοδιαπνοής με τη βροχόπτωση προέκυψε μετά από πολλές μελέτες. Παρατηρείται ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αυξάνεται με την αύξηση των ετήσιων κατακρημνισμάτων με αποτέλεσμα να τείνει προς μία οριακή τιμή που είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία. Η οριακή αυτή τιμή ταυτίζεται με την τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και μπορεί να προκύψει μόνο αν υπάρχουν συνθήκες ικανές (ικανό ύψος κατακρημνισμάτων) ώστε να δημιουργηθεί δυνητική εξατμισοδιαπνοή (Σούλιος, 2010). Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής είναι η μέθοδος Blaney-Criddle, η μέθοδος Penman, και η μέθοδος Ivanov.

2.3 Ακρίβεια της Μεθόδου Thornthwaite

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος Thornthwaite είναι εμπειρική και για το λόγο αυτό έχουν διατυπωθεί πολλές αντιρρήσεις σχετικά με τα αποτελέσματά της. Ένα από τα βασικά προβλήματα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι λαμβάνονται υπ' όψιν συγκεκριμένες παράμετροι και παραλείπονται άλλες, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία (η οποία χρησιμοποιείται στη μέθοδο Penman), η υγρασία της ατμόσφαιρας, ο άνεμος κ.ά. Το μεγάλο πλεονέκτημα, ωστόσο, της μεθόδου του Thornthwaite είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί για

οποιαδήποτε περιοχή υπάρχουν καταγεγραμμένες οι μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες και τα αποτελέσματα είναι σχετικά ακριβή παρά τους περιορισμούς (Palmer and Havens, 1958).

3. Αποτελέσματα

3.1 Ανάλυση Δεδομένων για την Περίοδο 1958-2000

3.1.1 Θερμοκρασία

Στην περίπτωση της μελέτης της θερμοκρασίας για την περιοχή της Θεσσαλονίκης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα για την περίοδο 1958-2000, με βάση τα οποία στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τα έτη 1958-2000. Οι υψηλότερες τιμές για την περιοχή της Θεσσαλονίκης παρατηρήθηκαν τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο) με τις μέγιστες να σημειώνονται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο θερμότερος μήνας ήταν ο Ιούλιος του έτους 1988 καθώς η θερμοκρασία ανήλθε σε 28.6 °C. Οι μικρότερες τιμές παρατηρήθηκαν τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο, Φεβρουάριο). Η χαμηλότερη τιμή σημειώθηκε τον Ιανουάριο του έτους 1981 και ανήλθε σε 3.1 °C (σχήμα 1). Στο σχήμα 2 δίνεται η ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας η οποία παρουσιάζει ανοδική τάση, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 0.0024°C ανά έτος.

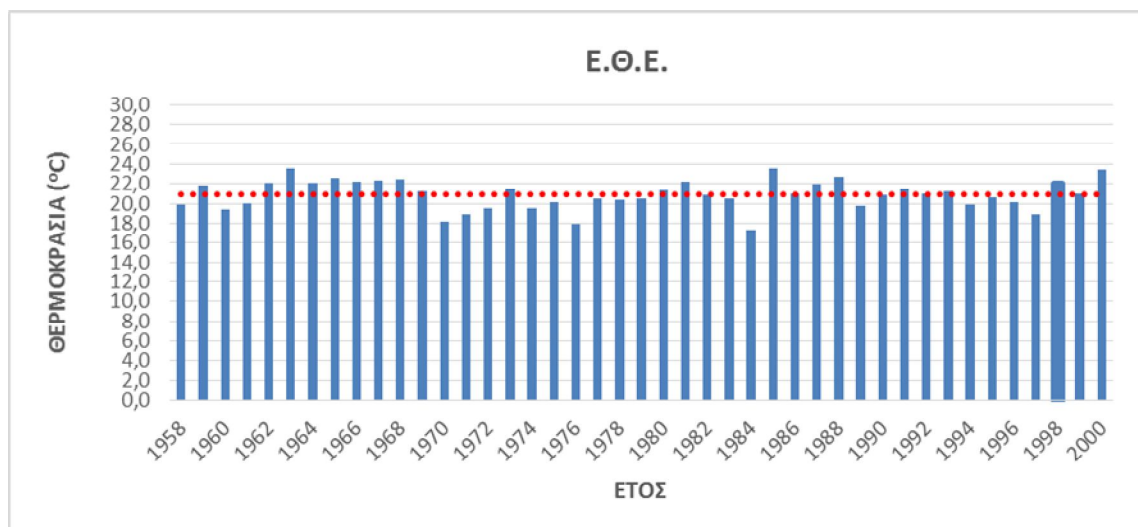


Σχήμα 1. Απεικόνιση ακραίων μηνιαίων θερμοκρασιών. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες και το έτος κατά το οποίο καταγράφηκαν και με κίτρινο χρώμα οι μικρότερες.



Σχήμα 2. Ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας.

Κατά την εν λόγω περίοδο δεν υπήρχε μέση μηνιαία θερμοκρασία χαμηλότερη των 3 °C. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μεταβολή των τιμών του Ετήσιου Θερμομετρικού Εύρους (Ε.Θ.Ε.) για τα έτη 1958-2000 (σχήμα 3). Το Ε.Θ.Ε. προκύπτει από την αφαίρεση της μέσης θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα από τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα και χρησιμοποιείται για τη διάκριση του κλίματος μιας περιοχής.



Σχήμα 3. Ετήσια διακύμανση Ε.Θ.Ε.

Όπως φαίνεται στο σχήμα (σχήμα 3), το Ε.Θ.Ε παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις. Η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται τα έτη 1963 και 1985 (23,6°C) ενώ η χαμηλότερη το έτος

1984 (17.3°C). Σύμφωνα με την κατάταξη Gorczynski το κλίμα της Θεσσαλονίκης είναι θαλάσσιο, αφού οι τιμές του Ε.Θ.Ε. κυμαίνονται μεταξύ 10 και 25°C.

3.1.2. Βροχόπτωση

Για τα έτη 1958-2000 εξετάστηκαν και τα δεδομένα της βροχόπτωσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων κατά την περίοδο 1958-2000 σημειώνεται την υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους, δηλαδή τους μήνες Οκτώβριο έως και Απρίλιο. Οι πιο ξηροί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ωστόσο σημειώνονται και περιστατικά όπου και τους χειμερινούς μήνες το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής είναι 0, όπως για παράδειγμα ο Ιανουάριος του 1990 και 1992. Αξίζει, ακόμη, να σημειωθεί ότι τον Ιούλιο του 1972 το ύψος της βροχής έφτασε τα 118.8 mm, τιμή που ξεπερνά αντίστοιχες τιμές των χειμερινών μηνών. Οι ακραίες τιμές που πήρε η βροχόπτωση τον κάθε μήνα φαίνονται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4. Απεικόνιση ακραίων τιμών βροχόπτωσης.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το ετήσιο ύψος βροχής σε χιλιοστά (σχήμα 5). Όπως φαίνεται, το μεγαλύτερο ύψος βροχής καταγράφηκε το 1987 (650.4mm), τιμή ιδιαίτερα υψηλή για τα δεδομένα της Θεσσαλονίκης, ενώ η χαμηλότερη παρατηρήθηκε το 2000 (231.7 mm). Από το σχήμα διαπιστώνεται μια πτωτική τάση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης στην

εξεταζόμενη περίοδο των 43 ετών, δηλαδή υπάρχει μείωση της βροχόπτωσης 2.1754mm/έτος.



Σχήμα 5. Ετήσια μεταβολή της βροχόπτωσης.

3.1.3. Εξατμισοδιαπνοή

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή της Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1958-2000. Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής έγινε για την περίοδο 1958-2000 και παρουσιάζεται στα συγκεντρωτικά μηνιαία διαγράμματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για όλα τα έτη ανά μήνα.

Πιο αναλυτικά, κατά το μήνα Ιανουάριο οι ακρότατες τιμές που σημειώθηκαν στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ήταν 0.4mm και 2.3mm τα έτη 2000 και 1971 αντίστοιχα. Στο διάγραμμα φαίνεται και η γραμμή τάσης που προκύπτει από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και δείχνει ουσιαστικά τις μέσες τιμές. Στην περίπτωση του Ιανουαρίου, η γραμμή τάσης δείχνει μικρή άνοδο με το πέρασμα των ετών και επιβεβαιώνεται από την εξίσωσή της, $y = 0.0067x + 0.9761$. Όλα τα διαγράμματα για την περίοδο 1958-2000 βρίσκονται στο παράρτημα 1. Η κλίση της γραμμής τάσης δείχνει αν θα υπάρχει άνοδος ή

πτώση της παραμέτρου ανά έτος. Στην προκειμένη περίπτωση, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή παρουσίασε άνοδο 0.0067mm/έτος. Παρατηρείται ότι οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής για όλα τα έτη κατά το μήνα Ιανουάριο κυμαίνονται από 0.4 έως 1.9mm ενώ μόνο το έτος 1971 η τιμή υπερβαίνει τα 2mm (2.3mm). Το ίδιο έτος σημειώθηκε και η υψηλότερη θερμοκρασία για τον Ιανουάριο που έφτασε τους 8.9°C ενώ η βροχόπτωση μετρήθηκε σε 52.7mm, τιμή μεσαίου μεγέθους συγκρινόμενη με τα υπόλοιπα έτη. Η υψηλή τιμή της εξατμισοδιαπνοής για το 1971 δικαιολογείται, αφού η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται άμεσα από τις τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης και ο Ιανουάριος του 1971 ήταν ο θερμότερος στην περίοδο 1958-2000.

Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής για το Φεβρουάριο παρουσιάζουν μια ανοδική γραμμή τάσης, η οποία, όμως, είναι πολύ μικρή ($y=1E-05x+2.6553$). Οι ακρότατες τιμές είναι 0.4mm το έτος 1965 και 3.1mm το έτος 1977. Τόσο το έτος 1965 όσο και το έτος 1977 παρουσιάζουν κάποιες ιδιαιτερότητες. Το Φεβρουάριο του έτους 1965 σημειώθηκε η χαμηλότερη θερμοκρασία συγκριτικά με τον ίδιο μήνα των υπόλοιπων ετών η οποία ανήλθε σε 3.2°C, ενώ ο Φεβρουάριος του 1977 ήταν ο θερμότερος με τη θερμοκρασία να φτάνει τους 11.4°C. Ακόμη, ο Φεβρουάριος του 1977 ήταν ιδιαίτερα ξηρός, αφού η βροχόπτωση δεν ξεπέρασε τα 10mm.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή το Μάρτιο παρουσίασε τις ακρότατες τιμές τα έτη 1987 και 1990. Το έτος 1987 είχε τη μικρότερη τιμή, 1mm. Ο Μάρτιος του 1987 ξεχωρίζει ακόμη γιατί τότε σημειώθηκε η χαμηλότερη τιμή της θερμοκρασίας του αντίστοιχου μήνα για την περίοδο 1958-2000 που έφτασε στους 5.6°C. Ο Μάρτιος του 1990 είχε τόσο τη μεγαλύτερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής, 4.2mm, όσο και την υψηλότερη θερμοκρασία η οποία ανήλθε σε 13.6°C. Επιπλέον, ο Μάρτιος αυτού του έτους ήταν ο ξηρότερος στην περίοδο των 43 ετών με συνολικό ύψος βροχής 1mm. Τα δεδομένα του Μαρτίου παρουσιάζουν μια πολύ μικρή άνοδο που δίνεται από την εξίσωση της γραμμής τάσης, $y=1E-05x+2.6553$.

Για το μήνα Απρίλιο οι ακραίες τιμές σημειώθηκαν τα έτη 1997 και 1989, κατά τα οποία η εξατμισοδιαπνοή πήρε τη μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή της αντίστοιχα. Το έτος 1997 η εξατμισοδιαπνοή έφτασε τα 2.9mm και το έτος 1989 τα 6.1mm. Η θερμοκρασία του Απριλίου το 1997 ήταν η χαμηλότερη για τα έτη 1958-2000 (10.5°C), ενώ ο Απρίλιος του 1989 ήταν από τους πιο θερμούς της εξεταζόμενης περιόδου με τη θερμοκρασία να φτάνει τους 16.4°C. Τα δύο αυτά έτη δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαιτερότητα σχετικά με τη βροχόπτωση, αφού και τα 2 έτη ήταν σχετικά υγρά. Σε αντίθεση με τους προηγούμενους μήνες, ο Απρίλιος παρουσιάζει πτωτική γραμμή τάσης με πολύ μικρή κλίση και εξίσωση $y = -0.0001x + 4.8219$.

Η μεγαλύτερη τιμή εξατμισοδιαπνοής για το Μάιο σημειώθηκε το έτος 1968 το οποίο, επίσης, παρουσιάζει θερμοκρασιακό μέγιστο με θερμοκρασία 22°C και έφτασε τα 9.8mm. Η μικρότερη τιμή της, η οποία υπολογίζεται στα 6.6mm σημειώθηκε το Μάιο του έτους 1989. Το ίδιο έτος σημειώνεται και η μικρότερη θερμοκρασία για τον ίδιο μήνα, η οποία είναι 17.1°C. Τα έτη 1968 και 1980 παρουσιάζουν ομοιότητα στο ύψος βροχής που μετρήθηκε, το οποίο είναι 75mm και 71mm αντίστοιχα. Ο Μάιος όπως και ο Απρίλιος έχει πτωτική γραμμή τάσης με εξίσωση $y = -0.0062x + 8.0792$, δηλαδή οι τιμές κατά μέσο όρο τείνουν να μειώνονται από έτος σε έτος.

Οι ακραίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τον Ιούνιο σημειώθηκαν η μικρότερη το έτος 1983 με τιμή 9.7mm και η μεγαλύτερη το έτος 1995 με τιμή 12.4mm. Ο Ιούνιος του 1983 ήταν ο πιο υγρός της περιόδου των 43 ετών με συνολικό ύψος βροχής 121.1mm. Η τιμή αυτή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τις τιμές των υπόλοιπων ετών. Ωστόσο, η θερμοκρασία για το ίδιο έτος ήταν 21.8°C, παρόμοια δηλαδή με των υπόλοιπων ετών. Το έτος 1995 εκτός από τη μεγαλύτερη τιμή στην εξατμισοδιαπνοή επιδεικνύει και την υψηλότερη θερμοκρασία για το μήνα Ιούνιο, με 25.3°C. Η γραμμή τάσης για το μήνα Ιούνιο παρουσιάζει ανοδική πορεία, σε αντίθεση με τους μήνες Απρίλιο και Μάιο και η εξίσωσή της

είναι $y = 0.0181x + 10.659$. Η κλίση της εξίσωσης (0.0181) είναι η μεγαλύτερη μεταξύ των 12 μηνών, δηλαδή υπάρχει αισθητή άνοδος των τιμών με την πάροδο των ετών.

Στο μήνα Ιούλιο παρατηρείται μια αύξηση των τιμών συγκριτικά με τους προηγούμενους μήνες. Η μικρότερη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σημειώθηκε το έτος 1969 το οποίο εμφανίζεται και ιδιαιτέρως ξηρό, αφού τον Ιούλιο το ύψος βροχής ήταν μόνο 2.1mm. Η μέγιστη τιμή της εξατμισοδιαπνοής σημειώθηκε το έτος 1988 με τιμή 15.3mm. Το ίδιο έτος η θερμοκρασία του Ιουλίου ήταν η υψηλότερη, σε σύγκριση με με τον ίδιο μήνα των υπόλοιπων ετών και έφτασε τους 28.6°C. Η βροχόπτωση για το ίδιο έτος κυμάνθηκε σε μεσαία επίπεδα με 25.1mm. Και ο Ιούλιος παρουσιάζει ανοδική γραμμή τάσης, με λίγο μικρότερη κλίση από αυτή του Ιουνίου ($y = 0.0132x + 12.695$).

Τον Αύγουστο οι ακραίες τιμές σημειώθηκαν τα έτη 1976 και 1998. Το έτος 1976 η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είχε τη μικρότερη τιμή της, 10.4mm. Το ίδιο έτος παρουσιάζει ακρότατο και στη βροχόπτωση η οποία εκτιμήθηκε στα 76.8mm, τιμή που αποτελεί τη μεγαλύτερη για τον ίδιο μήνα την περίοδο 1958-2000. Η μεγαλύτερη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής υπολογίστηκε για το έτος 1998 και είναι 14.6mm. Το ίδιο έτος ήταν και το θερμότερο, με τη μηνιαία θερμοκρασία να φτάνει τους 27.8°C. Η βροχόπτωση για το ίδιο έτος ήταν αρκετά χαμηλή (4.8mm). Ο Αύγουστος όπως και οι άλλοι δύο καλοκαιρινοί μήνες παρουσιάζει ανοδική γραμμή τάσης, ωστόσο παρατηρείται πτώση της κλίσης της εξίσωσης, $y = 0.008x + 12.656$.

Ο Σεπτέμβριος παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή της εξατμισοδιαπνοής το έτος 1978 με τιμή 8.3mm και τη μέγιστη τιμή το έτος 1994 με τιμή 12.2mm. Το ίδιο έτος παρουσιάζει και άλλες ιδιαιτερότητες με την υψηλότερη θερμοκρασία στους 25°C, καθώς και παντελή έλλειψη βροχόπτωσης. Το διάγραμμα της εξατμισοδιαπνοής για το Σεπτέμβριο δείχνει ανοδική τάση, με κλίση μεγαλύτερη από το αντίστοιχο του Αυγούστου. Η εξίσωση της γραμμής τάσης είναι $y = 0.0099x + 9.6015$.

Για το μήνα Οκτώβριο οι ακραίες τιμές σημειώθηκαν τα έτη 1972 και 1966, κατά τα οποία η εξατμισοδιαπνοή πήρε τη μικρότερη και μεγαλύτερη τιμή της αντίστοιχα. Το έτος 1972 η εξατμισοδιαπνοή έφτασε τα 4.4mm και το έτος 1966 τα 8.6mm. Η θερμοκρασία του Απριλίου το 1972 ήταν η χαμηλότερη για τα έτη 1958-2000 (13.4°C), ενώ ο Απρίλιος του 1966 ήταν ο θερμότερος της εξεταζόμενης περιόδου με τη θερμοκρασία να φτάνει τους 20.6°C. Τα δύο αυτά έτη ως προς τη βροχόπτωση χαρακτηρίζονται ιδιαίτερα υγρά. Πιο συγκεκριμένα, το έτος 1972 παρατηρείται η δεύτερη υψηλότερη τιμή της βροχόπτωσης με συνολικό ύψος 110.6mm. Σε αντίθεση με τους προηγούμενους μήνες, ο Οκτώβριος παρουσιάζει πτωτική γραμμή τάσης με εξίσωση $y = -0.0027x + 6.4261$.

Οι ακρότατες τιμές της εξατμισοδιαπνοής για το μήνα Νοέμβριο παρατηρούνται τα έτη 1988 και 2000. Το 1988 η εξατμισοδιαπνοή πήρε τη μικρότερη τιμή της, η οποία ήταν 1.5mm και το 2000 τη μεγαλύτερη, 5.1mm. Τα δύο αυτά έτη παρουσιάζουν και θερμοκρασιακές ιδιαιτερότητες. Το 1988 σημειώθηκε η χαμηλότερη μηνιαία θερμοκρασία η οποία ήταν 7.2°C, ενώ αντίστοιχα το 2000 παρατηρήθηκε η υψηλότερη θερμοκρασία για το Νοέμβριο η οποία έφτασε τους 15.3°C. Όσον αφορά στη βροχόπτωση και τα δύο έτη παρουσιάζουν βροχόπτωση, ωστόσο το 2000 ήταν πιο ξηρό από το 1988. Και ο Νοέμβριος παρουσιάζει πτωτική γραμμή τάσης με αρκετά μεγάλη κλίση, συγκριτικά με τους υπόλοιπους μήνες. Η εξίσωση της γραμμής τάσης είναι $y = -0.0204x + 4.0266$.

Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής για το Δεκέμβριο παρουσιάζουν μια πτωτική γραμμή τάσης. Οι ακρότατες τιμές είναι 0.6mm το έτος 1991 και 3.3mm το έτος 1960. Κατά τα έτη 1991 και 1960 παρατηρούνται η χαμηλότερη και η υψηλότερη θερμοκρασία αντίστοιχα. Η θερμοκρασία για το Δεκέμβριο του 1991 ήταν 4°C και για τον ίδιο μήνα του 1960 11.6°C. Αντίστοιχες διαφορές παρατηρούνται και στη βροχόπτωση των δύο ετών, αφού το 1991 το ύψος βροχής σημείωσε τη δεύτερη μικρότερη τιμή (4.1mm) ενώ το έτος 1960 το συνολικό

ύψος βροχής για το Δεκέμβριο ήταν 146mm, δηλαδή η δεύτερη μεγαλύτερη τιμή για την περίοδο 1958-2000.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις εξάγονται τα εξής συμπεράσματα: στις περισσότερες περιπτώσεις, το έτος που παρουσιάζει την υψηλότερη θερμοκρασία έχει και τη μεγαλύτερη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τον κάθε μήνα. Από τον Ιανουάριο έως το Μάρτιο σημειώνεται ανοδική τάση της παραμέτρου, ωστόσο παρατηρείται μια σταδιακή μείωση της κλίσης της εξίσωσης στη γραμμή τάσης. Τους μήνες Απρίλιο και Μάιο η γραμμή τάσης είναι πτωτική, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες και το Σεπτέμβριο σημειώνει ανοδική πορεία με σταδιακή πτώση της κλίσης. Το τελευταίο τρίμηνο η γραμμή τάσης μεταβαίνει πάλι σε πτωτική.

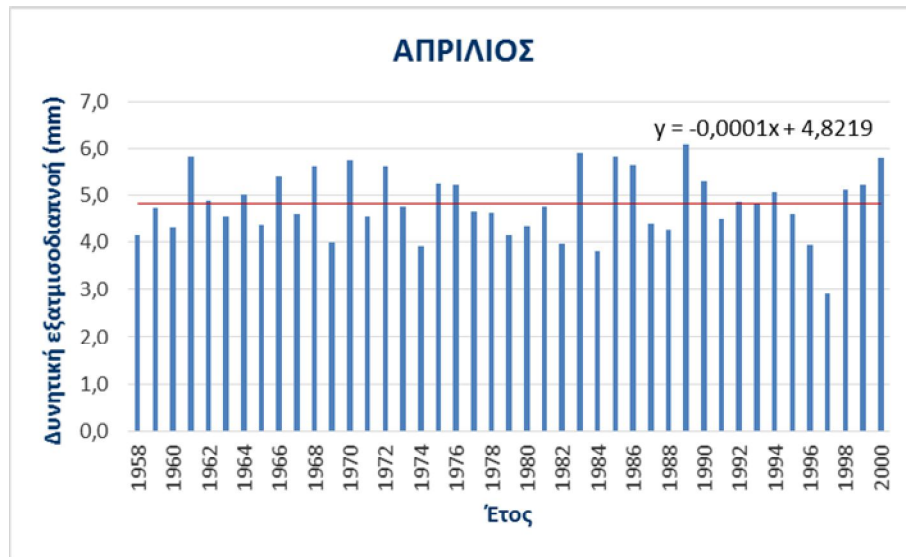
3.2 Ανάλυση Προσομοιωμένων Δεδομένων για την Περίοδο 1958-2000 και Αξιολόγηση του Μοντέλου

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε και για τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου και τα αποτελέσματα που προέκυψαν θα αναλυθούν παρακάτω.

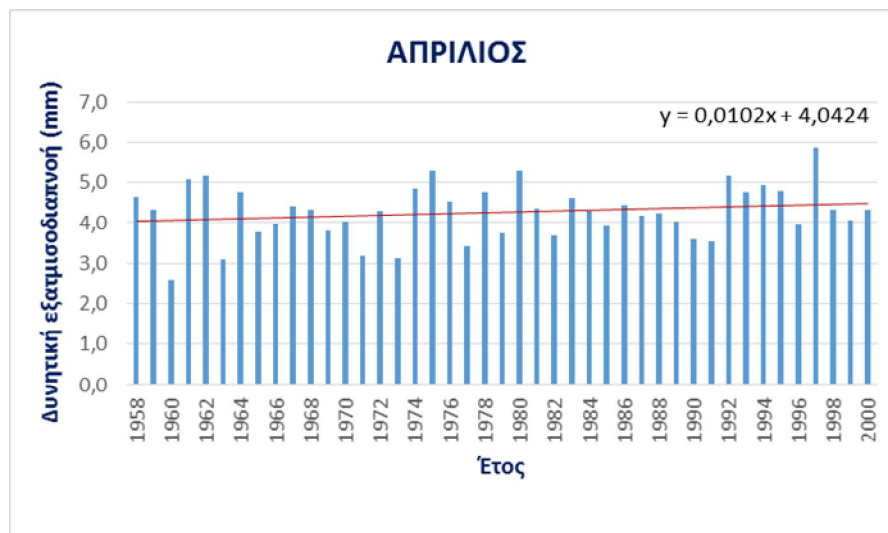
Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας του μοντέλου καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1950-2100. Κάνοντας χρήση των δεδομένων υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τα έτη 1958-2000 και προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα. Για τους μήνες Ιανουάριο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Δεκέμβριο όπως φαίνεται στα διαγράμματα τόσο των πραγματικών δεδομένων όσο και των δεδομένων του μοντέλου, τα δεδομένα παρουσιάζουν ίδια μεταβολή, δηλαδή η κλίση της γραμμής τάσης έχει το ίδιο πρόσημο και οι τιμές της είναι παρόμοιες. Μάλιστα, για το μήνα Μάιο η κλίση της γραμμής τάσης είναι ίδια. Αντίθετα, για τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Αύγουστο και Νοέμβριο η τιμή της κλίσης της εξίσωσης τάσης διαφέρει αρκετά, με τις τιμές του μοντέλου να είναι μεγαλύτερες και η

κλίση των δεδομένων να αποτυπώνεται πιο έντονα. Αυτό φαίνεται πιο έντονα το μήνα Μάρτιο, όπου για τα πραγματικά δεδομένα η κλίση της γραμμής τάσης είναι θετική αλλά πολύ μικρή ($y=1E-05x+2.6553$) ενώ για τα δεδομένα του μοντέλου η χαρακτηριστική εξίσωση είναι $y=0,0101x+2.2608$. Τέλος, τις μεγαλύτερες διαφορές παρουσιάζουν οι μήνες Απρίλιος, Σεπτέμβριος και Οκτώβριος. Για τον Απρίλιο, τα πραγματικά δεδομένα δείχνουν μια πτωτική τάση με κλίση -0.0001 , ενώ τα δεδομένα του μοντέλου προβλέπουν αύξηση στις τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς η γραμμή τάσης έχει κλίση 0.0102 (σχήμα 6 και σχήμα 7). Το ίδιο ισχύει και για τον Οκτώβριο, με το μοντέλο να δείχνει ανοδική τάση ($y=0.0005x+5.5478$) ενώ τα πραγματικά δεδομένα δείχνουν μια πτωτική τάση στις τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που φαίνεται από την εξίσωση της γραμμής τάσης

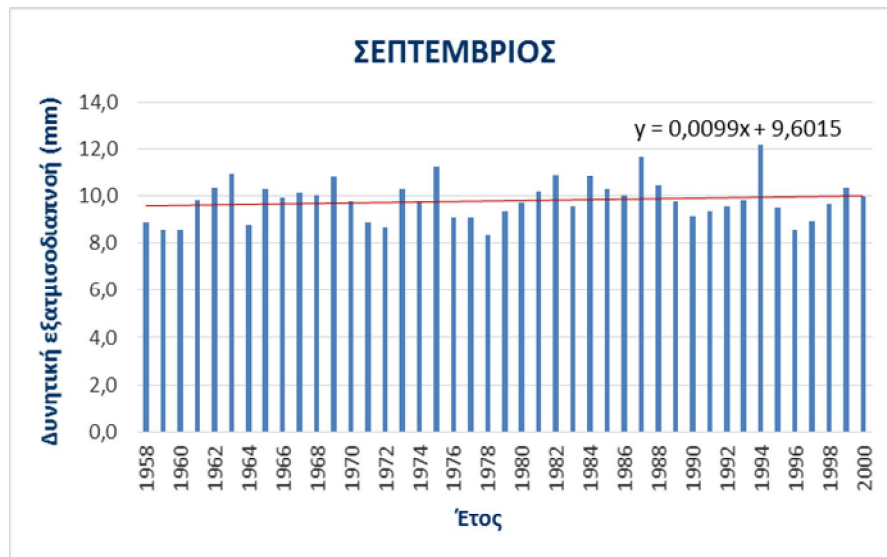
$y = -0.0027x+6.4261$ (βλ. Οκτώβριος, παράρτημα 1). Για το Σεπτέμβριο ισχύει το αντίθετο, αφού το μοντέλο προβλέπει πτωτική τάση ($y = -0.0059x+9.0281$) ενώ στην πραγματικότητα υπήρξε μια άνοδος στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή την περίοδο 1958-2000 (σχήμα 8 και σχήμα 9). Οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών δεδομένων και των τιμών του μοντέλου για την εξατμισοδιαπνοή οφείλονται στο γεγονός ότι οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των παραμέτρων της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας διαφοροποιούνται τόσο ποσοτικά όσο και ως προς το έτος στο οποίο παρατηρούνται.



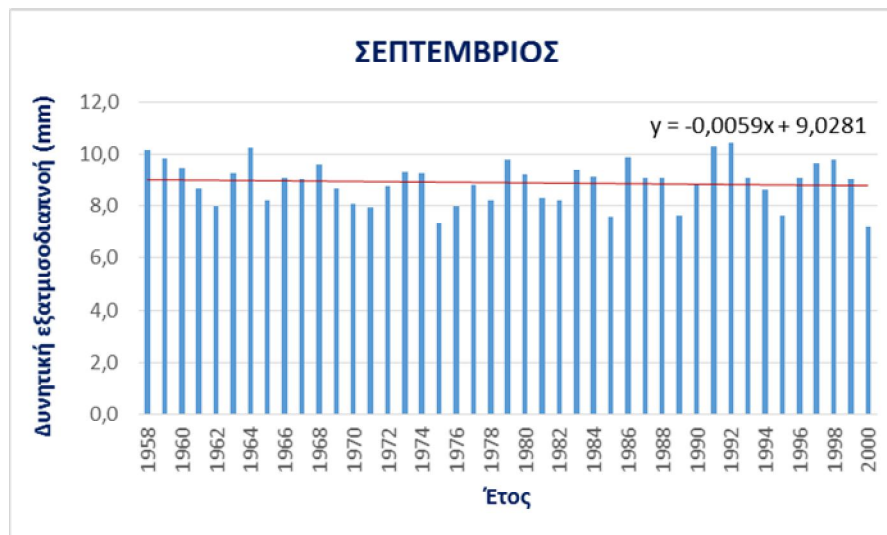
Σχήμα 6. Δεδομένα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από πραγματικά δεδομένα για τον Απρίλιο. Εδώ φαίνεται πτώση 0.0001mm/έτος.



Σχήμα 7. Δεδομένα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από το μοντέλο για τον Απρίλιο. Παρατηρείται η ανοδική τάση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά 0.0102mm/έτος.



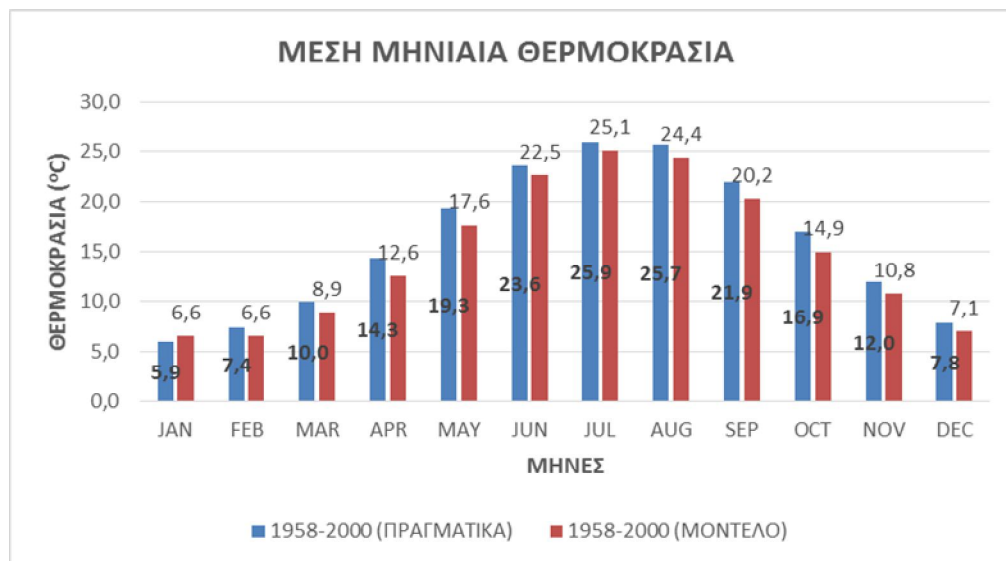
Σχήμα 8. Δεδομένα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από πραγματικά δεδομένα για τον Σεπτέμβριο. Εδώ φαίνεται άνοδος 0.0099mm/έτος.



Σχήμα 9. Δεδομένα δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από το μοντέλο για το Σεπτέμβριο. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σχήμα φαίνεται πτωτική τάση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά 0.0059mm/έτος.

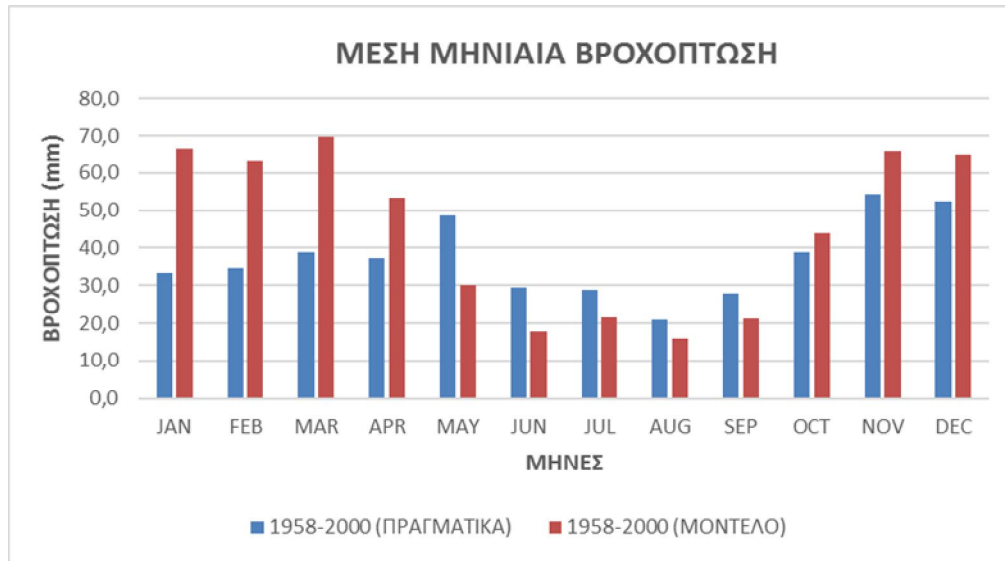
Στο σχήμα 10 αποτυπώνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των πραγματικών δεδομένων και των προσομοιωμένων δεδομένων από το μοντέλο για την περίοδο 1958-2000. Παρατηρείται ότι για όλους τους μήνες, με εξαίρεση τον Ιανουάριο το μοντέλο προέβλεψε χαμηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Οι τιμές των πραγματικών δεδομένων κυμαίνονται μεταξύ 5.9°C και 25.9°C με τη μικρότερη να καταγράφεται τον Ιανουάριο και τη

μεγαλύτερη τον Ιούλιο. Η απόκλιση που παρουσιάζουν οι τιμές των δύο περιόδων δεν ξεπερνάει τους 2°C.



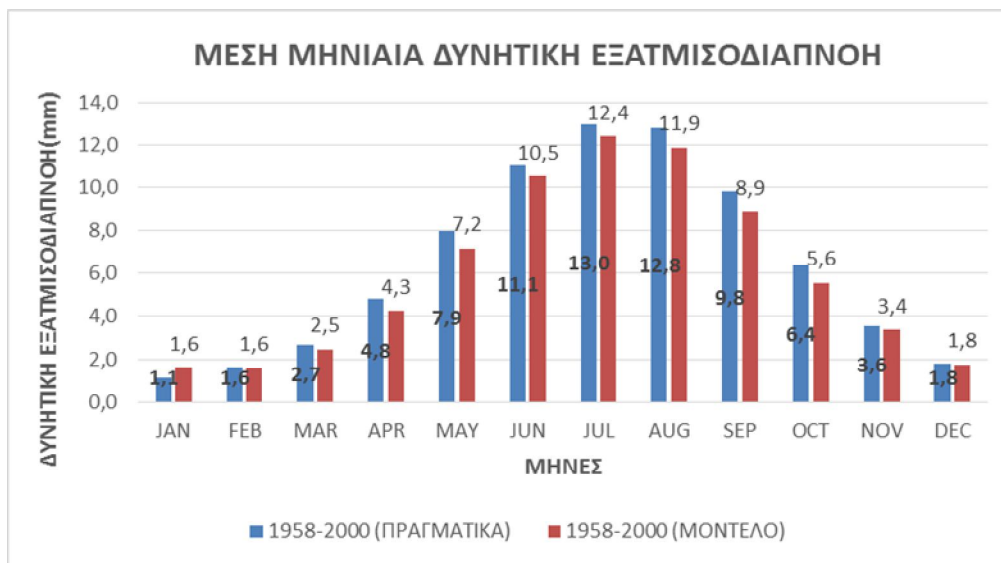
Σχήμα 10. Συγκριτικές τιμές των πραγματικών δεδομένων και των δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο 1958-2000.

Τα δεδομένα της βροχόπτωσης δεν παρουσιάζουν την ίδια κανονικότητα με αυτά της θερμοκρασίας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 11, οι τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερες για τα προσομοιωμένα δεδομένα κατά τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο και για τους μήνες Οκτώβριο έως και Δεκέμβριο. Αντίθετα, τους θερμότερους μήνες (Μάιο έως και Σεπτέμβριο) οι τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης που προέβλεψε το μοντέλο ήταν σημαντικά μικρότερες συγκριτικά με αυτές που δίνονται από τα πραγματικά δεδομένα. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των δεδομένων παρατηρείται τους τρεις πρώτους μήνες, δηλαδή τον Ιανουάριο, το Φεβρουάριο και το Μάρτιο και υπολογίζεται περίπου σε 30mm.



Σχήμα 11. Συγκριτικές τιμές των πραγματικών δεδομένων και των δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 1958-2000.

Τέλος, η ίδια ανάλυση έγινε και για τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής της περιόδου 1958-2000 τόσο για τα πραγματικά όσο και για τα προσομοιωμένα δεδομένα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 12. Παρατηρείται ότι για τους περισσότερους μήνες τα πραγματικά δεδομένα έχουν μεγαλύτερες τιμές μέσης μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Εξάιρεση αποτελούν ο Ιανουάριος, οπότε τα προσομοιωμένα δεδομένα παρουσιάζουν αύξηση σε σχέση με τα πραγματικά, καθώς και ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος, οπότε οι τιμές ταυτίζονται. Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι τα δεδομένα της θερμοκρασίας και της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα (δηλαδή κατά μέσο όρο οι τιμές των πραγματικών δεδομένων είναι μεγαλύτερες από αυτές των προσομοιωμένων). Αυτό τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στην παρούσα εργασία έγινε με τη μέθοδο Thornthwaite, η οποία χρησιμοποιεί τα δεδομένα της θερμοκρασίας και έτσι αναμένεται η διακύμανση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής να προσομοιάζει αυτή της θερμοκρασίας.



Σχήμα 12. Συγκριτικές τιμές των πραγματικών δεδομένων και των δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο 1958-2000

3.3 Συγκριτική Ανάλυση Προσομοιωμένων Δεδομένων και Αξιολόγηση του Μοντέλου

Στη συνέχεια, τα δεδομένα του μοντέλου χωρίστηκαν σε περιόδους 30 ετών ώστε να δοθεί και μια εκτίμηση της μελλοντικής αλλαγής της εξεταζόμενης παραμέτρου σύμφωνα με τα προσομοιωμένα δεδομένα του περιοχικού μοντέλου RegCM3. Οι περίοδοι στις οποίες χωρίστηκαν τα δεδομένα είναι η περίοδος 1971-2000 και 2071-2100.

3.3.1 Περίοδος 1971-2000

Για την περίοδο αυτή αναλύθηκαν τα δεδομένα της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε μηνιαία βάση. Από τις αναλύσεις προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα. Για το μήνα Ιανουάριο, η μεγαλύτερη θερμοκρασία σημειώνεται το έτος 1999, οπότε η τιμή της έφτασε τους 9.2°C. Το έτος 1983 η θερμοκρασία πήρε τη μικρότερη τιμή της (1.1°C). Η βροχόπτωση για το έτος 1984 ήταν πολύ μικρή, δεδομένου ότι η μέση βροχόπτωση δεν ξεπέρασε τα 5mm. Συνολικά, ο Ιανουάριος του 1983 ήταν ιδιαίτερα ξηρός και ψυχρός, αφού τότε η βροχόπτωση παίρνει τη δεύτερη μικρότερη τιμή η οποία είναι

8.7mm. Αντιθέτως, ο Ιανουάριος του έτους 1999 ήταν αρκετά βροχερός με το ύψος βροχής να φτάνει στα 116.4mm. Στην περίπτωση του Ιανουαρίου παρατηρείται ότι η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας συμπίπτει χρονικά με τη μεγαλύτερη τιμή της βροχόπτωσης, δηλαδή ο μήνας αυτός ήταν τόσο υγρός όσο και αρκετά θερμός σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη της μελέτης. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή φτάνει τα 3.1mm το έτος 1981. Από το διάγραμμα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, προκύπτει ότι η γραμμή τάσης παρουσιάζει άνοδο, αναμένεται δηλαδή μια αύξηση της τιμής της εξατμισοδιαπνοής κατά 0.0167mm ανά έτος. Τα διαγράμματα της περιόδου 1971-2000 βρίσκονται στο παράρτημα 2.

Ο Φεβρουάριος για αυτή την περίοδο παρουσιάζει αρκετά μεγάλη διακύμανση μέσω των μηνιαίων θερμοκρασιών, καθώς και μέσου μηνιαίου ύψους βροχής. Η μικρότερη θερμοκρασία καταγράφεται το έτος 1979 και είναι στους 4°C και η μεγαλύτερη καταγράφεται 10 χρόνια αργότερα, το έτος 1989, και φτάνει στους 17.8° C, θερμοκρασία που προσεγγίζει τιμές εαρινών μηνών. Η βροχόπτωση παρουσιάζει το ελάχιστο το έτος 1978, οπότε και έφτασε τα 9.7mm, ενώ το έτος 1987 το ύψος βροχής έφτασε τα 162.8mm. Το έτος 2000 η δυνητική εξατμισοδιαπνοή πήρε τη μεγαλύτερη τιμή, 3.9mm και σε γενικές γραμμές παρουσιάζει ανοδική τάση της τάξης των 0.0159mm/έτος.

Ο Μάρτιος, επίσης, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση μεταξύ των ακρότατων τιμών των παραμέτρων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, οι ακρότατες τιμές της θερμοκρασίας σημειώθηκαν τα έτη 1977 και 1978 με τιμές 11.6°C και 3.9°C αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι οι ακρότατες θερμοκρασίες του Μαρτίου –σύμφωνα με το μοντέλο- ήταν χαμηλότερες από αυτές του Φεβρουαρίου για την περίοδο 1971-2000. Η μέγιστη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σημειώθηκε το έτος 2000 (3.92mm), ακριβώς όπως και το Φεβρουάριο. Όπως διαπιστώνεται από τα διαγράμματα της ετήσιας μεταβολής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η εξίσωση τάσης για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο ταυτίζεται και τα δεδομένα δείχνουν άνοδο της τιμής της παραμέτρου ($y=0,0159x+2,2599$).

Αυτό σημαίνει ότι οι δύο μήνες παρουσιάζουν μικρές διαφορές στα δεδομένα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης.

Τον Απρίλιο οι ακρότατες τιμές της θερμοκρασίας σημειώνονται τα έτη 1996 (η μεγαλύτερη) και 1978 (η μικρότερη). Οι τιμές που αντιστοιχούν σε αυτά τα έτη είναι 14.5°C και 8.9°C . Η διακύμανση μεταξύ των 2 τιμών είναι της τάξης των 5.6°C , διαφορά αισθητά μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε τους προηγούμενους μήνες. Δεν ισχύει όμως το ίδιο για το ύψος βροχής, καθώς το έτος 1991 το ύψος βροχής υπολογίστηκε στα 129.4mm, ενώ ο Απρίλιος του έτους 1997 ήταν ο ξηρότερος για την περίοδο 1971-2000, καθώς το ύψος της βροχόπτωσης ήταν μόλις 6.5mm. Σύμφωνα με το μοντέλο, η μεγαλύτερη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τον Απρίλιο σημειώθηκε το έτος 1993 κι έφτασε τα 12.6mm.

Το μήνα Μάιο, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 14.3°C που είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία που σημειώνεται το έτος 1971, έως 19.5°C που είναι η υψηλότερη θερμοκρασία και σημειώνεται το έτος 1982. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντικό εύρος μεταξύ των τιμών. Αντιθέτως, όσο αφορά στα δεδομένα της βροχόπτωσης, παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά τιμών, καθώς η μέγιστη βροχόπτωση είναι 60.5mm το έτος 1972 και η ελάχιστη είναι 7.8mm για το έτος 1993. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή παίρνει τη μέγιστη τιμή της το 1992 και φτάνει τα 8.7mm. Οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, επίσης, δεν παρουσιάζουν μεγάλο εύρος, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Από τη γραμμή τάσης διαπιστώνεται μικρή άνοδος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ($0.0098\text{mm}/\text{έτος}$).

Τον Ιούνιο, οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες σύμφωνα με το μοντέλο κυμαίνονται μεταξύ 19.8°C το 1990 και 26.1°C το 1999. Παρατηρείται άνοδος των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας συγκριτικά με τους προηγούμενους μήνες. Η βροχόπτωση παίρνει τη μικρότερη τιμή της το 1988 με ύψος βροχής 2.2mm και τη μεγαλύτερη το 1998 με 83mm βροχής. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή φτάνει στο μέγιστο το έτος 1978 με τιμή 13.13mm. Οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής είναι αισθητά μεγαλύτερες συγκριτικά με τους προηγούμενους μήνες, γεγονός που τεκμηριώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και την

ελάττωση των βροχοπτώσεων κατά τους θερινούς μήνες. Τα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζουν αμελητέα άνοδο, της τάξης των 0.0074mm/έτος.

Οι ακρότατες τιμές της μηνιαίας θερμοκρασίας για το μήνα Ιούλιο είναι υψηλότερες από τους προηγούμενους μήνες. Η μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία φτάνει τους 26.9°C το 2000 και η ελάχιστη φτάνει τους 21.3°C το 1992. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση παρουσιάζει πτώση και οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 1.1mm το 1989 και 73.4mm το 2000. Το έτος 2000 παρουσιάζει μέγιστο ως προς τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σημειώνεται το έτος 1993, οπότε και έφτασε τα 14.2mm. Από τη γραμμή τάσης του διαγράμματος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρατηρείται ανοδική τάση ($y=0,026x+12,075$).

Οι ακρότατες τιμές της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για τον Αύγουστο είναι χαμηλότερες σε σχέση με τον Ιούλιο. Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται το έτος 1989 και είναι 26.2°C και η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται το 1992 και είναι 21.8°C. Το ύψος βροχής για τον Αύγουστο κυμαίνεται από 1.8mm (1991) έως 55.4mm (1979). Ο Αύγουστος ήταν ο ξηρότερος από τους θερινούς μήνες για την περίοδο 1971-2000, αφού το μέγιστο ύψος βροχής δεν ξεπέρασε τα 60mm. Η μέγιστη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει μικρές διαφορές με αυτές των προηγούμενων μηνών και υπολογίζεται 14.3mm για το έτος 1992. Γενικά ο Αύγουστος παρουσιάζει ανοδική τάση στα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με αύξηση των τιμών με ρυθμό 0.0283mm/έτος.

Το Σεπτέμβριο παρατηρείται πτώση στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Η υψηλότερη φτάνει τους 22.4°C το έτος 1985 και η χαμηλότερη τους 17.8°C το έτος 1996. Οι ακραίες τιμές για τη βροχόπτωση υπολογίζονται 1.5mm η μικρότερη για το έτος 1990 και 78.8mm η μεγαλύτερη για το έτος 1971. Συνέπεια της πτώσης της θερμοκρασίας είναι και η πτώση των τιμών της παραμέτρου της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η μέγιστη τιμή της υπολογίζεται σε 10.42mm το έτος 1992, τιμή μικρότερη συγκριτικά με τους προηγούμενους μήνες. Ωστόσο,

οι τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για το Σεπτέμβριο, δείχνουν ανοδική τάση για την περίοδο 1971-2000 και αυξάνονται κατά 0.0149mm/έτος.

Τον Οκτώβριο παρατηρείται περαιτέρω πτώση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, με την υψηλότερη να καταγράφεται τον Οκτώβριο του έτους 1988 και να φτάνει τους 19.6°C και τη χαμηλότερη να καταγράφεται τον Οκτώβριο του επόμενου έτους, δηλαδή το 1989, και να μην ξεπερνάει τους 11°C. Η βροχόπτωση παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Τον Οκτώβριο του έτους 1987, το ύψος βροχής δεν ξεπερνά τα 2mm (1.6mm). Αντίθετα, ο Οκτώβριος του 2000 φαίνεται ως ο πιο βροχερός της περιόδου, αφού το ύψος βροχής φτάνει τα 154.5mm. Ανάλογη της πτώσης της θερμοκρασίας και της αυξημένης βροχόπτωσης είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, η οποία παρουσιάζει πτώση, συγκρινόμενη με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή του Σεπτεμβρίου. Η μέγιστη τιμή της υπολογίζεται στα 7.28mm το έτος 1995. Ο Οκτώβριος του 1995 ήταν ξηρός (2.5mm) και η μέση μηνιαία θερμοκρασία του είναι λίγο μεγαλύτερη της χαμηλότερης τιμής (13.1°C). Τα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζουν ανοδική τάση, με ρυθμό αύξησης 0.0278mm/έτος, όπως φαίνεται από την εξίσωση της γραμμής τάσης η οποία είναι $y=0,0278x+5,0453$.

Το Νοέμβριο οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 6.9°C (1991) και 13.5°C (1994). Παρατηρείται, δηλαδή, μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Η βροχόπτωση παίρνει τιμές μεταξύ 4.9mm (1973) και 127.1mm (1988). Η μέγιστη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής καταγράφεται το έτος 1973 και υπολογίζεται σε 4.65mm. Η πτώση στην τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής συγκριτικά με τον Οκτώβριο τεκμηριώνεται από την πτώση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας και από την αυξημένη βροχόπτωση. Ωστόσο, ο Νοέμβριος είναι ο πρώτος μήνας κατά τον οποίο τα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζουν πτωτική και όχι ανοδική τάση. Δηλαδή, για το μήνα Νοέμβριο της περιόδου 1971-2000, σύμφωνα με το μοντέλο, η εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει πτώση 0,015mm/έτος.

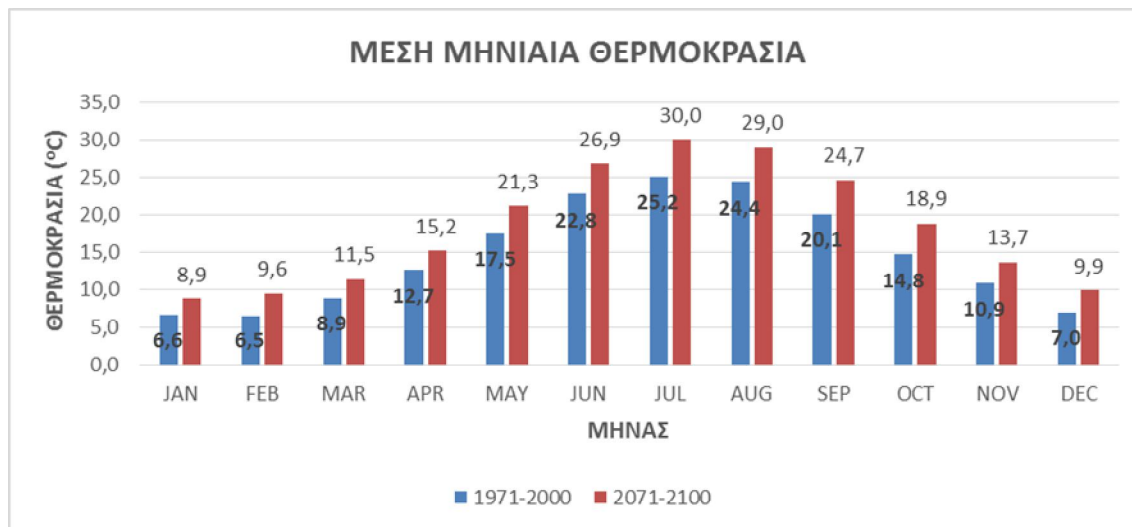
Τέλος, οι ακρότατες τιμές για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του Δεκεμβρίου σημειώνονται τα έτη 1983 και 1992 με τιμές 4.6°C και 9.2°C αντίστοιχα. Το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται μεταξύ 6.2mm (1986) και 231.7mm (1985). Η απόκλιση μεταξύ των δύο τιμών είναι πολύ μεγάλη και η τιμή των 231.7mm είναι η μεγαλύτερη, με σημαντική διαφορά, που καταγράφεται για όλους τους μήνες και όλα τα έτη για την περίοδο 1971-2000. Η μέγιστη τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής υπολογίζεται 3.11mm για το Δεκέμβριο του έτους 1971. Ο Δεκέμβριος, όπως και ο Νοέμβριος, παρουσιάζει πτωτική τάση στα δεδομένα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η πτώση των τιμών είναι της τάξης των 0.0066mm/έτος όπως διαπιστώνεται από την εξίσωση της γραμμής τάσης, $y = -0,0066x + 1,8334$.

3.3.2 Περίοδος 2071-2100

Για να γίνουν καλύτερα αντιληπτές οι διαφορές των δύο περιόδων, δημιουργήθηκαν διαγράμματα τα οποία δείχνουν τις αλλαγές στις παραμέτρους της θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής στο παρόν (περίοδος 1971-2000) και στο μέλλον (περίοδος 2071-2100), πάντα με βάση τα προσομοιωμένα δεδομένα του μοντέλου.

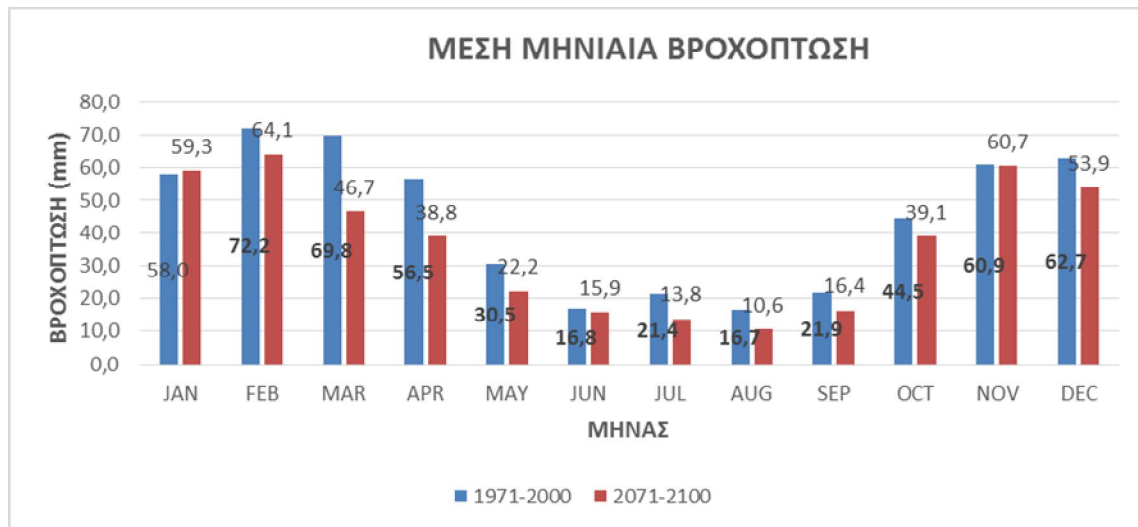
Στο σχήμα 13 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την περίοδο 1971-2000 και 2071-2100. Παρατηρείται μια γενικότερη άνοδος της θερμοκρασίας για όλους τους μήνες του έτους για τα μελλοντικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, η άνοδος της θερμοκρασίας υπολογίζεται από 2.2°C έως και 4.9°C. Η μικρότερη άνοδος υπολογίζεται για το μήνα Ιανουάριο, ενώ η μεγαλύτερη για το μήνα Ιούλιο. Άνοδος στη μέση μηνιαία θερμοκρασία σημαίνει ότι θα σημειώνονται περισσότερες ζεστές μέρες τη χειμερινή περίοδο και ημέρες καύσωνα την καλοκαιρινή περίοδο. Παρατηρώντας τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών, εντοπίζονται έτη για τα οποία η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιούλιο

προβλέπεται ότι θα ξεπερνάει τους 34°C. Αντίστοιχα υψηλές τιμές παρατηρούνται και για τους χειμερινούς μήνες, όπου η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Ιανουάριο ξεπερνά τους 11°C.



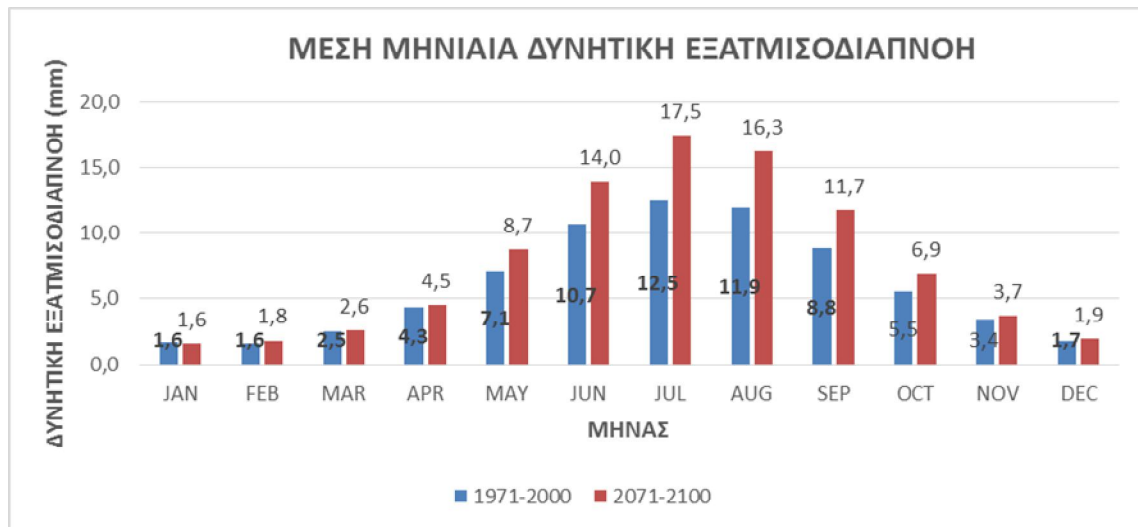
Σχήμα 13. Συγκριτικές τιμές των προσομοιωμένων δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100

Στο σχήμα 14 απεικονίζονται τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης. Σε αντίθεση με τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, το μοντέλο εκτιμά μείωση των μέσων μηνιαίων κατακρημνισμάτων για την περίοδο 2071-2100. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το μοντέλο εκτιμά ότι η πτώση στο ύψος της βροχόπτωσης αφορά όλους τους μήνες, με εξαίρεση τον Ιανουάριο, οπότε σημειώνεται μια πολύ μικρή αύξηση του ύψους βροχής την περίοδο 2071-2100. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφορά των τιμών των δύο περιόδων δεν ξεπερνάει τα 10mm εκτός από τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο που το ύψος της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερο κατά 23.1mm και 17.7mm αντίστοιχα για την περίοδο 1971-2000.



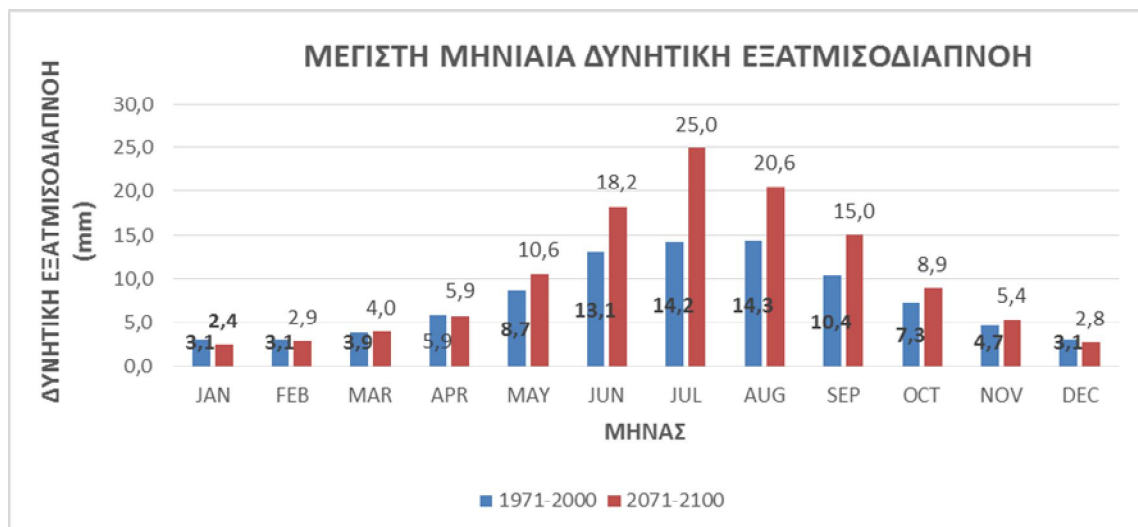
Σχήμα 14. Συγκριτικές τιμές των προσομοιωμένων δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία βροχόπτωση για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100

Το σχήμα 15 απεικονίζει τις διαφορές στις μέσες μηνιαίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει μια μικρή αύξηση την περίοδο 2071-2100, χωρίς όμως οι διαφορές να είναι πολύ σημαντικές. Οι σημαντικότερες διαφορές εκτιμώνται για τους μήνες της καλοκαιρινής περιόδου και φτάνουν τα 5mm για τον Ιούλιο. Η αύξηση των τιμών της μέσης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής βρίσκεται σε συμφωνία με τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας οι οποίες, επίσης, φαίνεται πως θα παρουσιάσουν άνοδο την τριακονταετία 2071-2100.



Σχήμα 15. Συγκριτικές τιμές των προσομοιωμένων δεδομένων του μοντέλου για τη μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100

Συμπληρωματικά, στο σχήμα 16 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που εκτιμάται από το μοντέλο ότι θα σημειωθούν κάθε μήνα για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100.



Σχήμα 16. Συγκριτικές τιμές των προσομοιωμένων δεδομένων του μοντέλου για τη μέγιστη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τις περιόδους 1971-2000 και 2071-2100

4. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας και λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite για τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης και δευτερευόντως η αξιολόγηση του περιοχικού μοντέλου RegCM3 εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα. Από τις αναλύσεις προκύπτει ότι για την περίοδο 1958-2000 οι εκτιμήσεις του μοντέλου έδειξαν χαμηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες από αυτές που καταγράφηκαν στους μετεωρολογικούς σταθμούς. Χαμηλότερη εκτιμήθηκε και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Αντιθέτως, η μέση μηνιαία βροχόπτωση για τους μήνες Ιανουάριο έως και Απρίλιο και Οκτώβριο έως και Δεκέμβριο (δηλαδή για την υγρή περίοδο ενός υδρολογικού έτους) ήταν αυξημένη σε σύγκριση με τις μετρήσεις που προέκυψαν από τα πραγματικά δεδομένα. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει συμπεριφορά ανάλογη της θερμοκρασίας, καθώς με βάση τους υπολογισμούς από τη μέθοδο του Thornthwaite εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία.

Η βασική αξιολόγηση του μοντέλου προκύπτει συγκρίνοντας τα προσομοιωμένα δεδομένα του μοντέλου με τα δεδομένα που μετρήθηκαν απευθείας στο μετεωρολογικό σταθμό. Όπως προαναφέρθηκε, τα δεδομένα των μετρήσεων από το μετεωρολογικό σταθμό αφορούν την περίοδο 1958-2000. Παρατηρείται, λοιπόν, μια απόκλιση μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας, η οποία είναι απόρροια της αδυναμίας των περιοχικών κλιματικών μοντέλων να αναπαραστήσουν πιστά τις κλιματικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Σημαντικό ρόλο για τον προηγούμενο περιορισμό παίζει η μεταβλητότητα του κλίματος μιας περιοχής η οποία συμβαίνει με φυσικούς τρόπους (Ακύλας et al., 2005).

Η ανάλυση των προσομοιωμένων δεδομένων έδειξε ότι για την περίοδο 2071-2100 οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες θα είναι αυξημένες σε σχέση με τις θερμοκρασίες προηγούμενων ετών. Ακόμη, εκτιμάται μελλοντική πτώση στις τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης. Και στην περίπτωση των μελλοντικών δεδομένων η μέση μηνιαία δυνητική

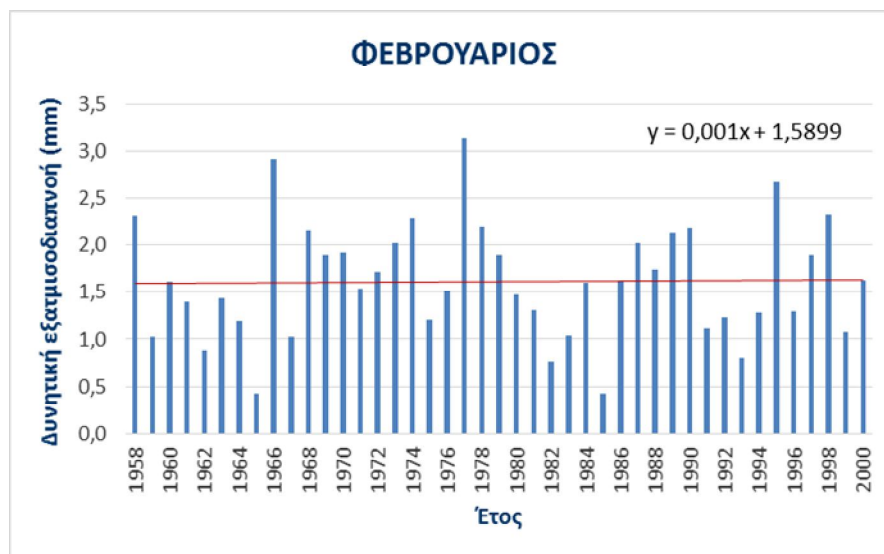
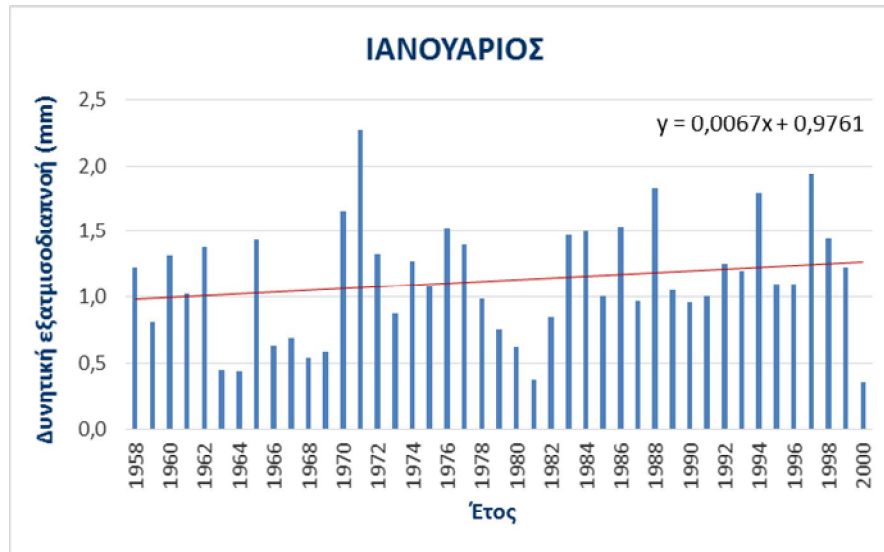
εξατμισοδιαπνοή είναι ανάλογη της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, οπότε αναμένεται μικρή αύξηση των τιμών για την περίοδο 2071-2100.

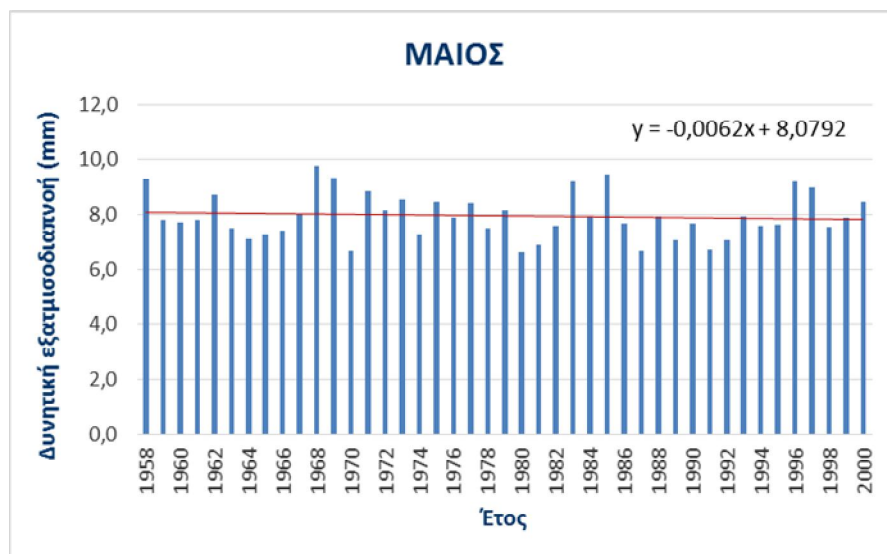
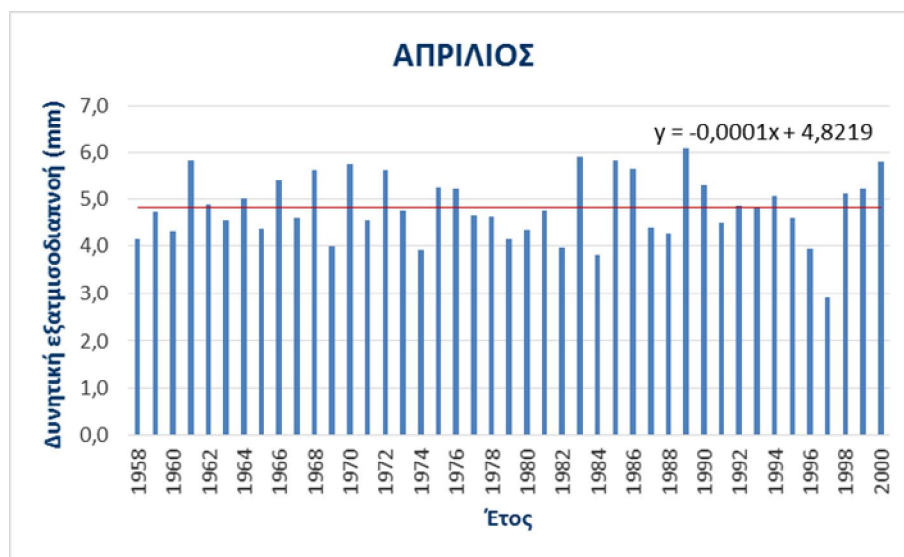
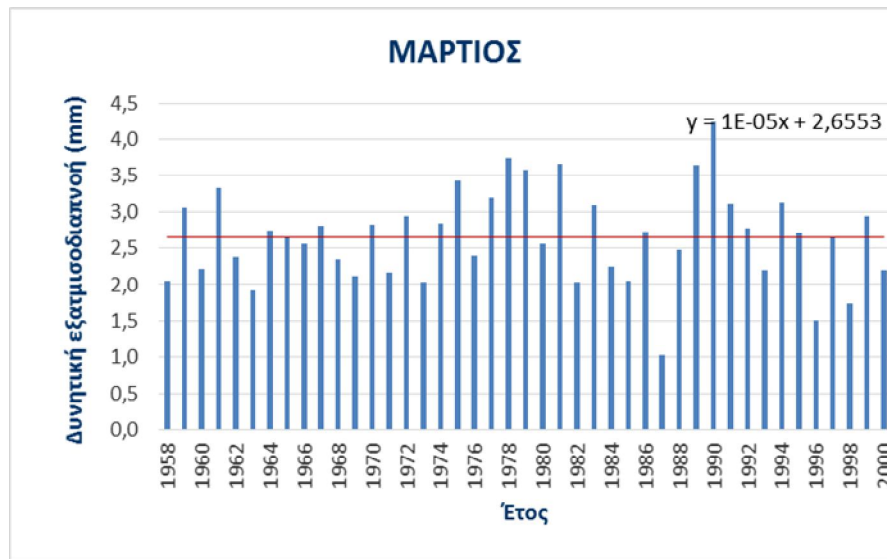
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη είναι γενικά σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του A1B σεναρίου, σύμφωνα με το οποίο η μέση θερμοκρασία θα σημειώσει μελλοντική αύξηση. Αύξηση αναμένεται και στις μέσες τιμές της εξάτμισης, άρα κατ' επέκταση και στις τιμές της εξατμισοδιαπνοής. Αντίθετα, οι μέσες τιμές των κατακρημνισμάτων αναμένεται να παρουσιάσουν πτώση, αυξάνοντας το πλήθος των ξηρών και θερμών ημερών. Συνοπτικά, οι μεταβολές που παρατηρούνται στις παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης είναι οι αναμενόμενες στα πλαίσια των μελλοντικών αλλαγών στην περιοχή της Μεσογείου.

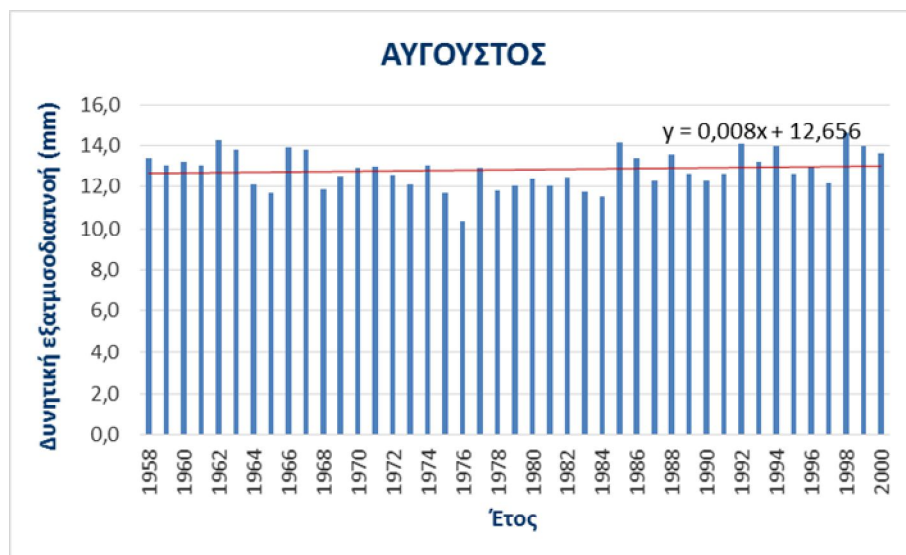
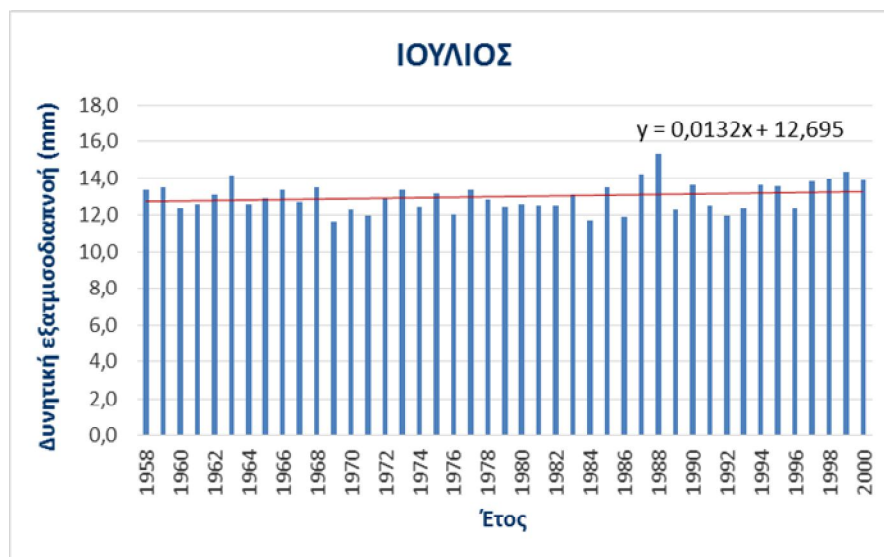
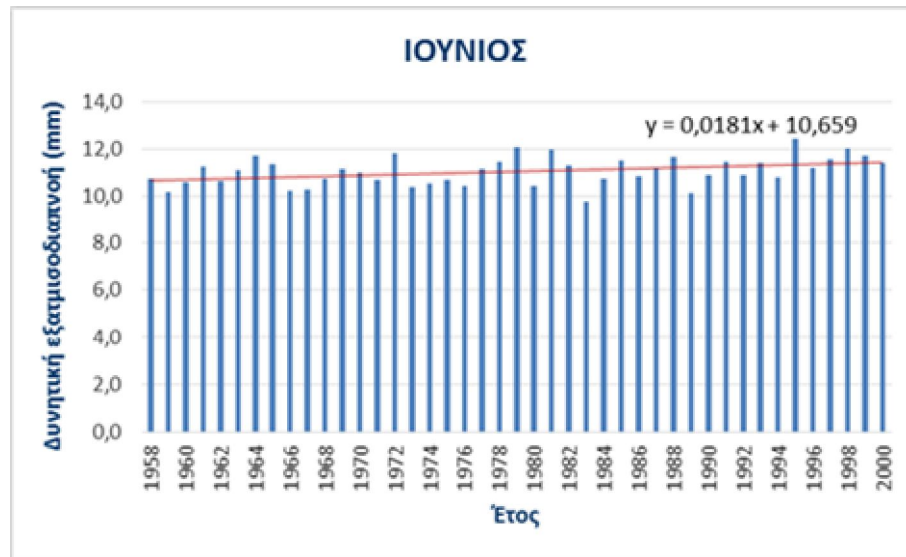
Παράρτημα 1:

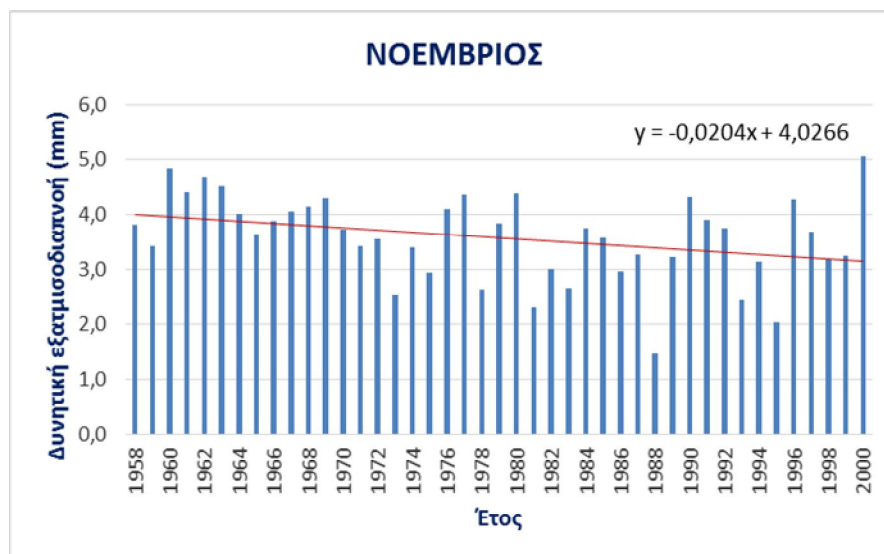
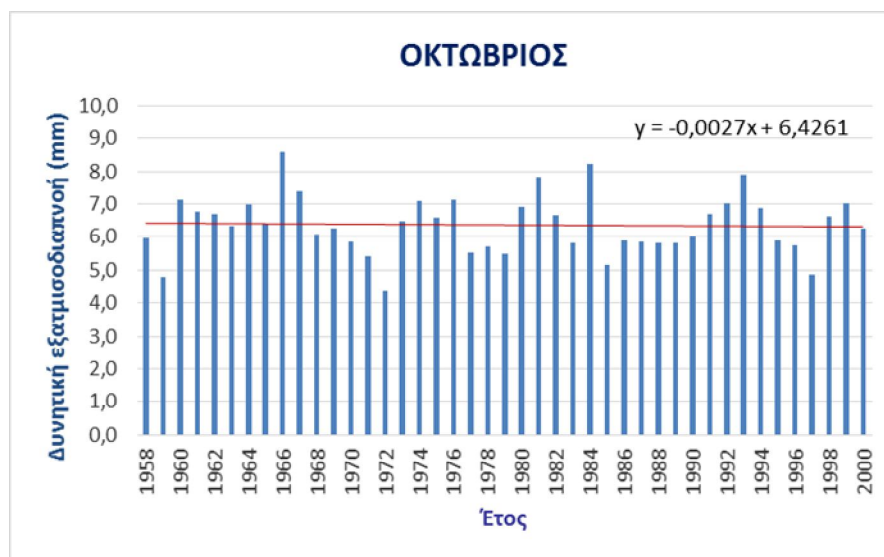
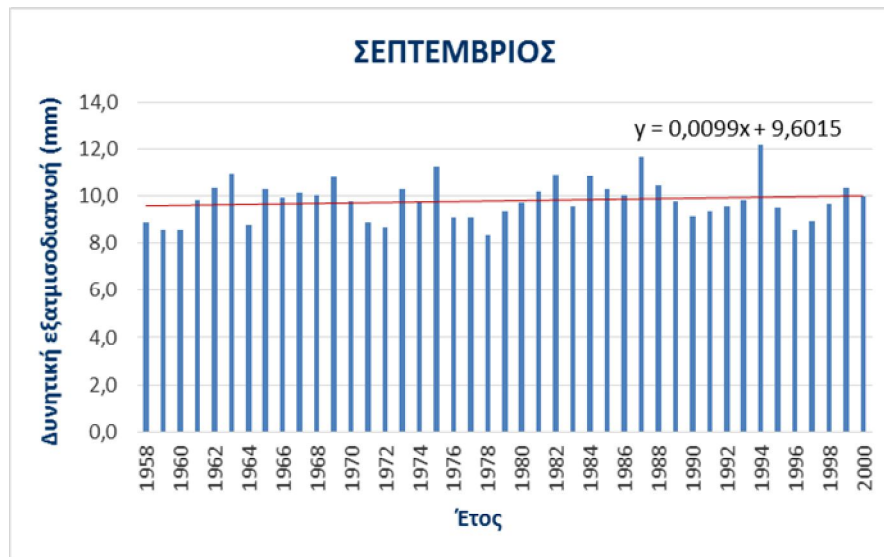
Διαγράμματα ετήσιας μεταβολής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο 1958-2000

Πραγματικά δεδομένα



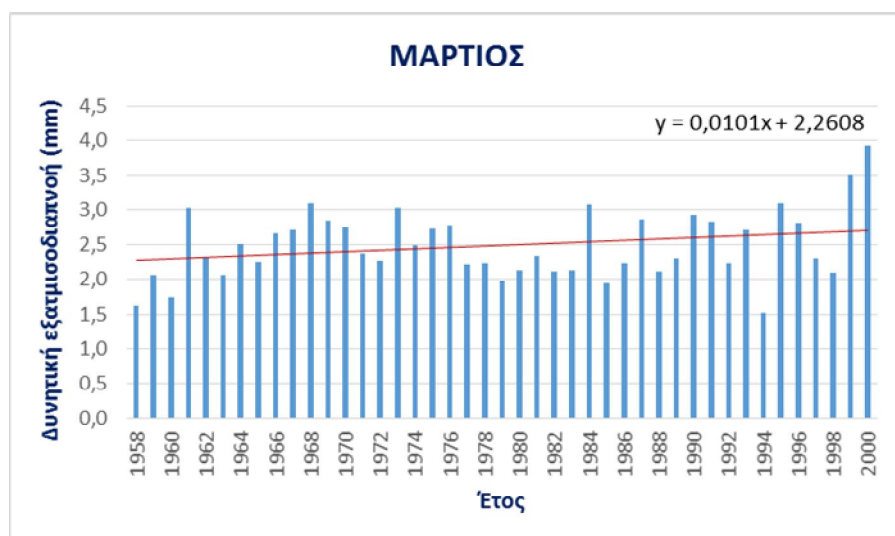
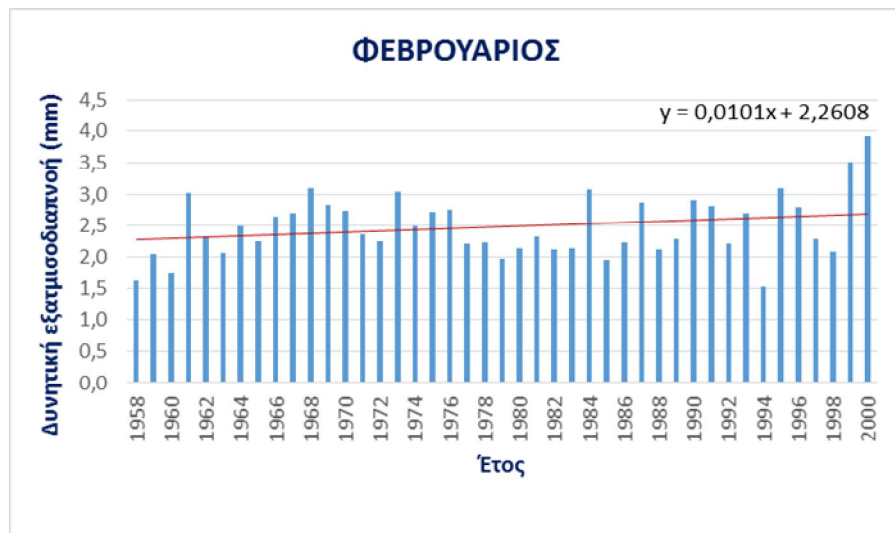
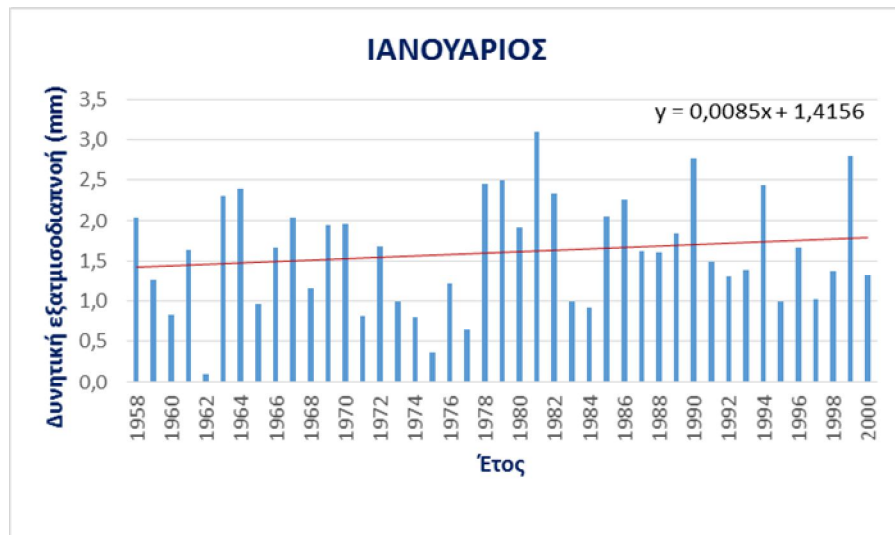


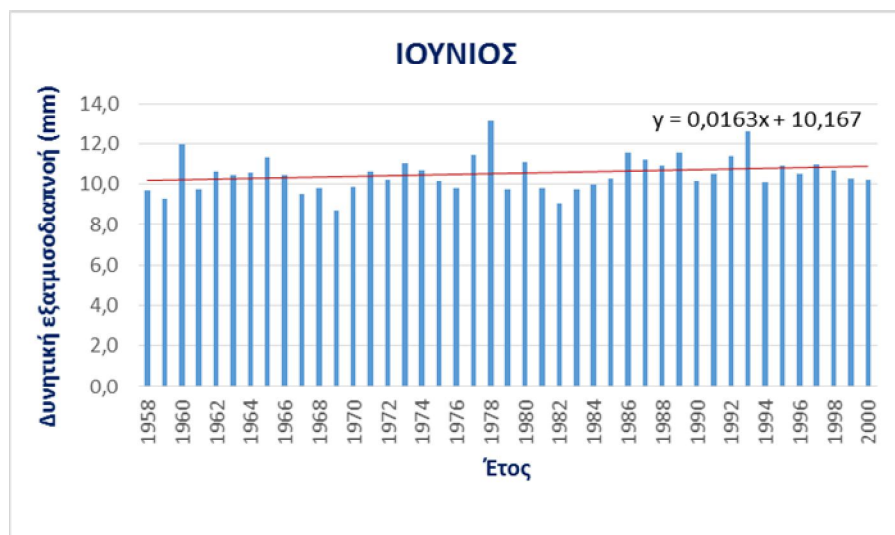
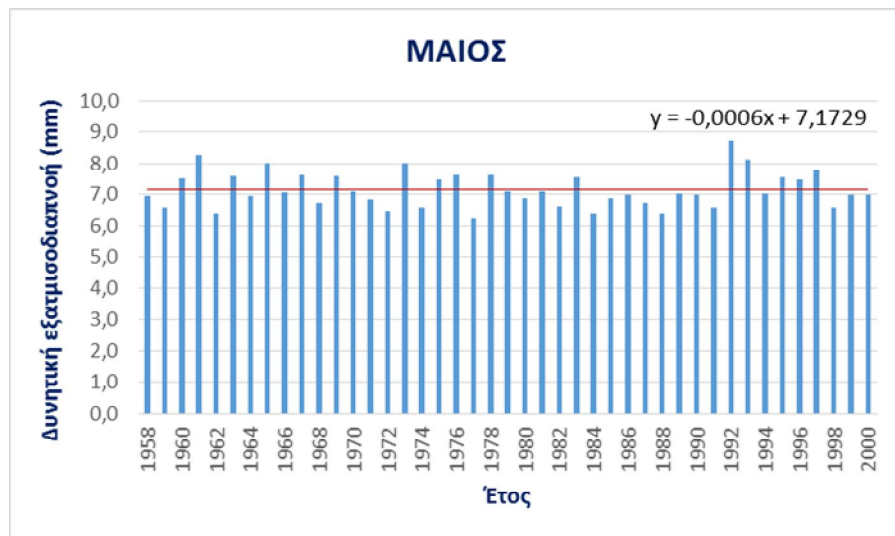
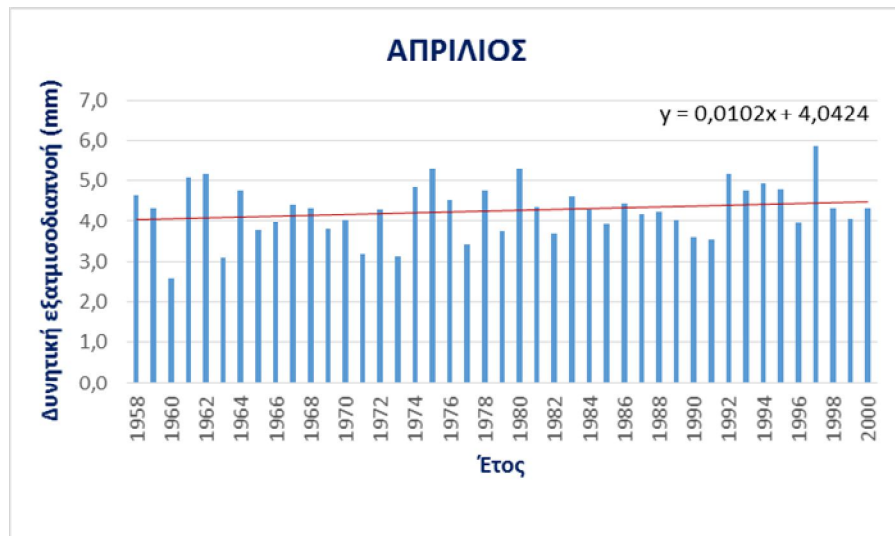


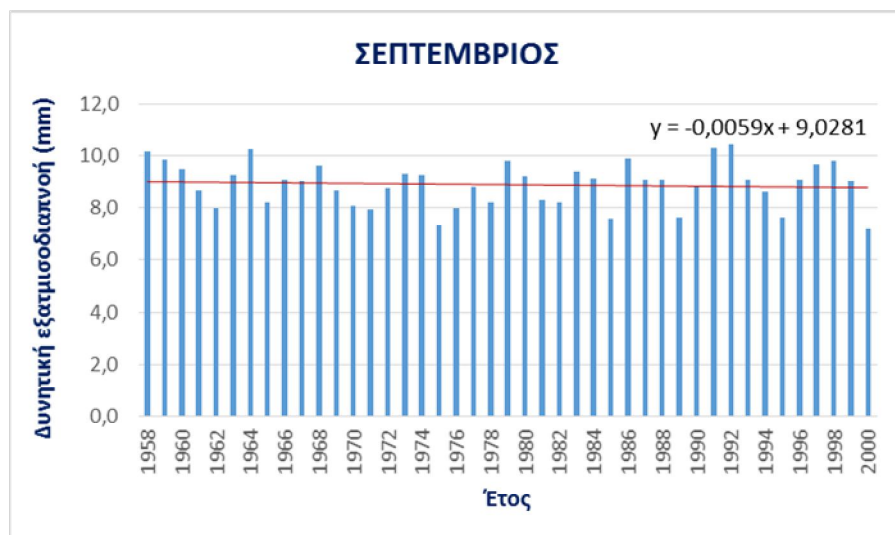
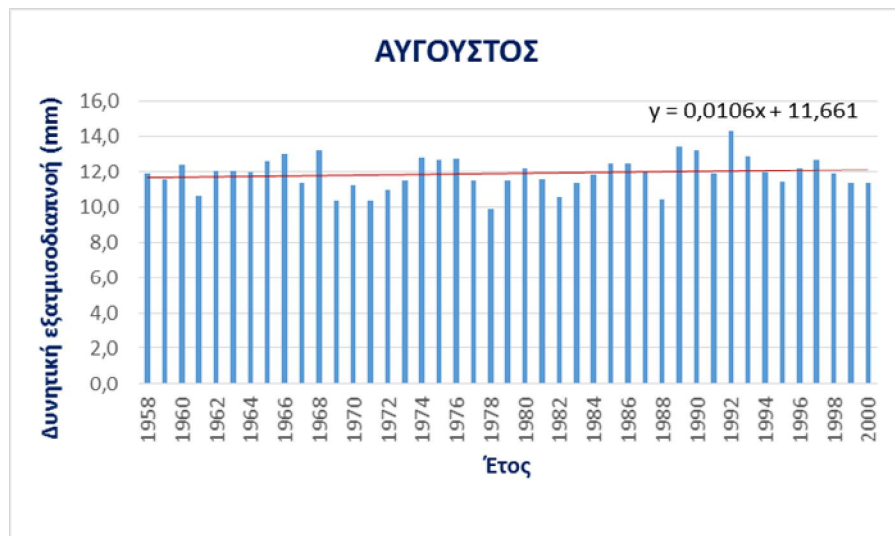
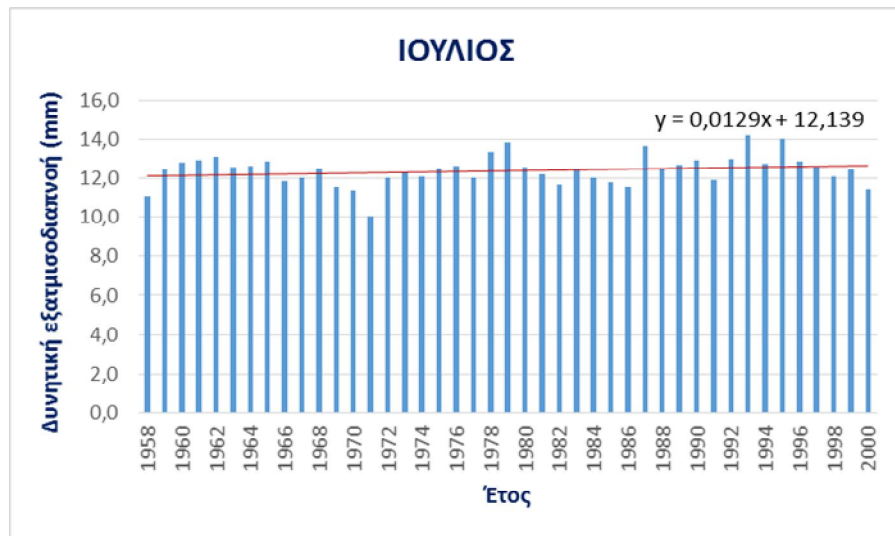


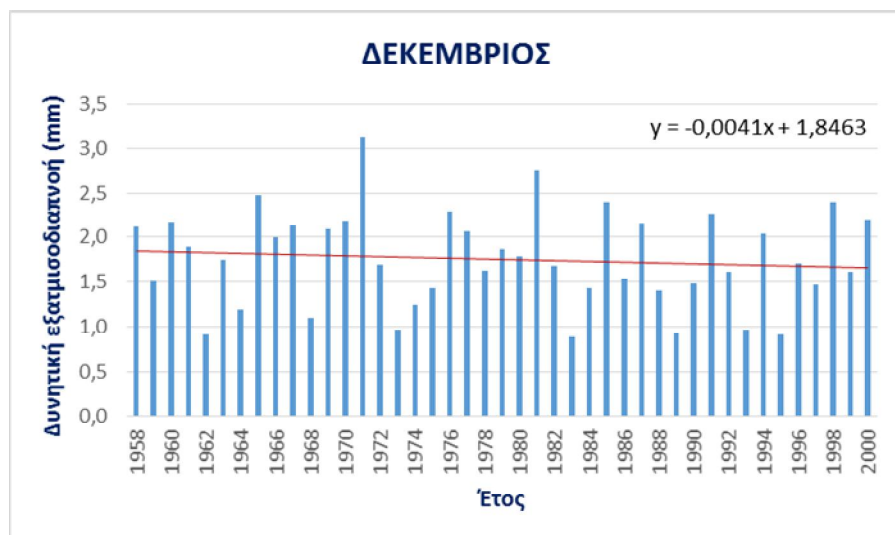
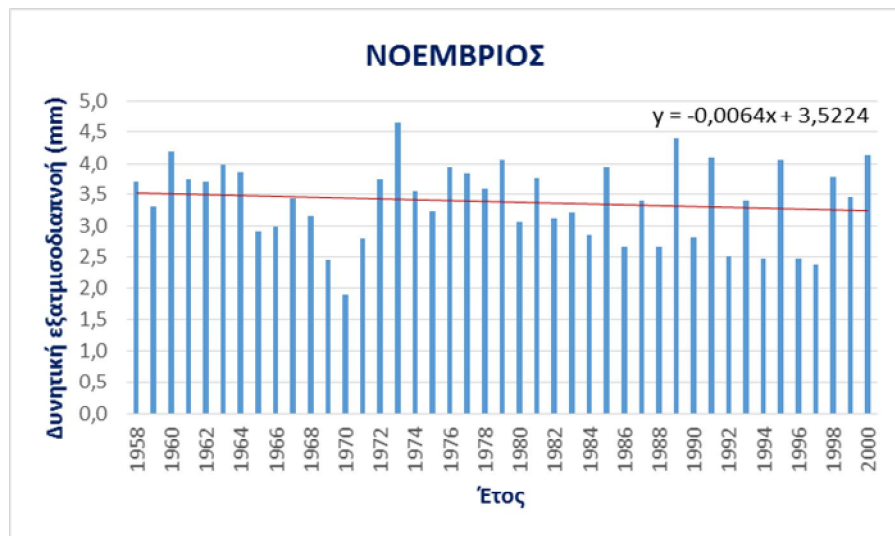
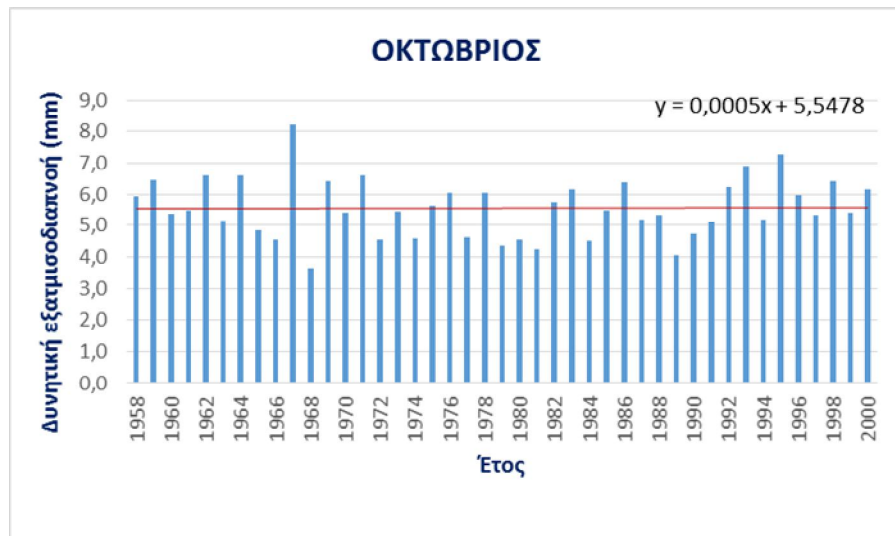


Προσομοιωμένα δεδομένα



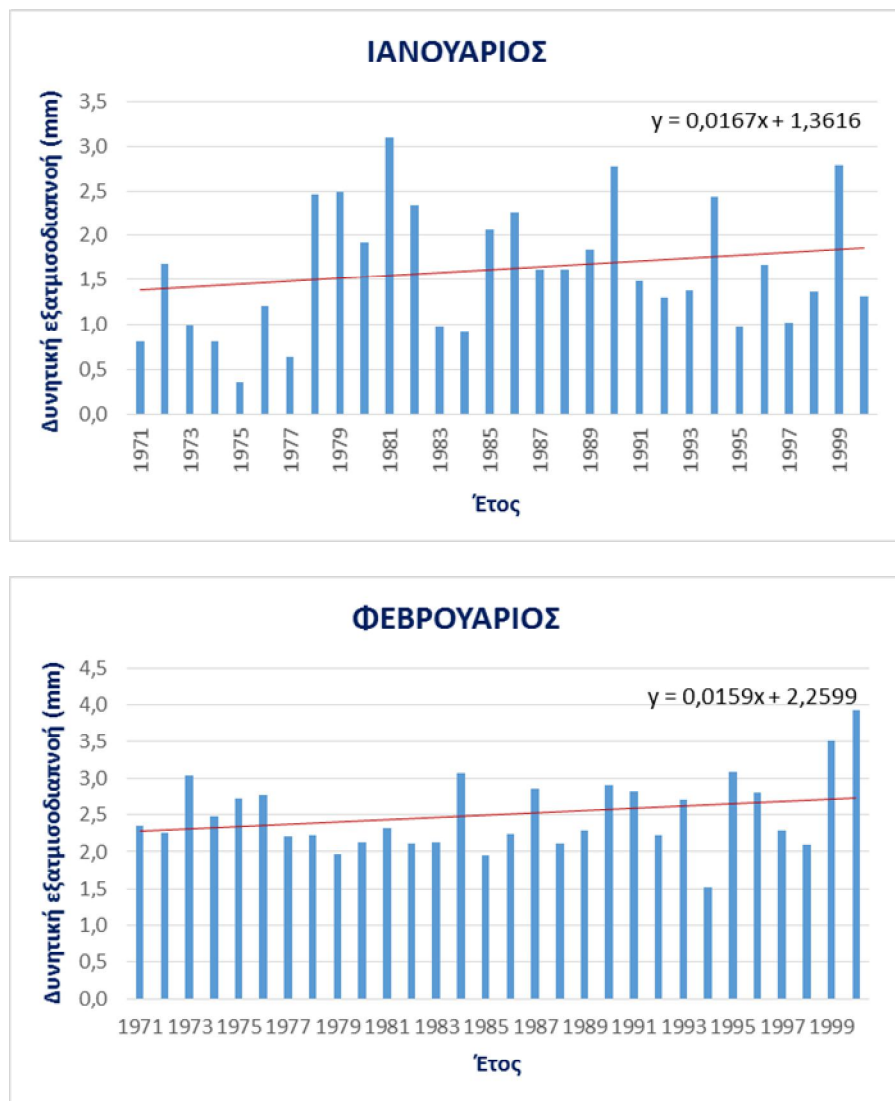


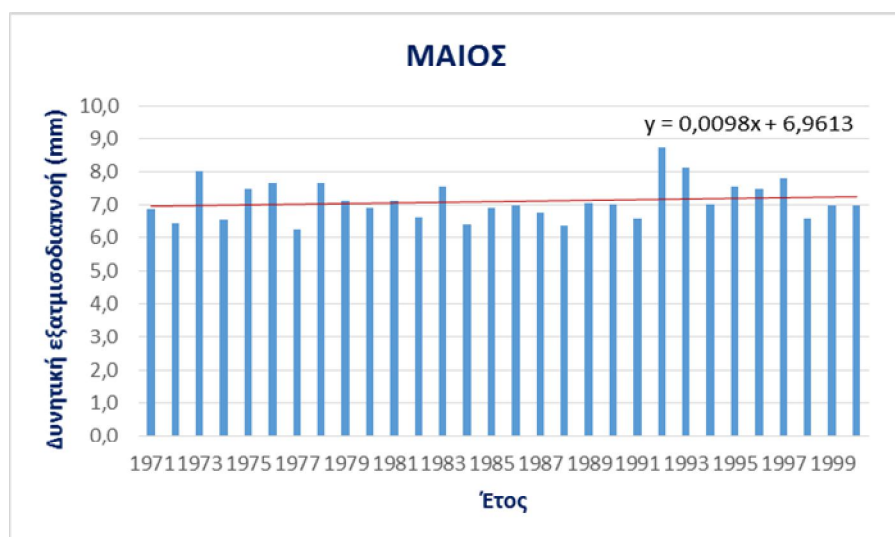
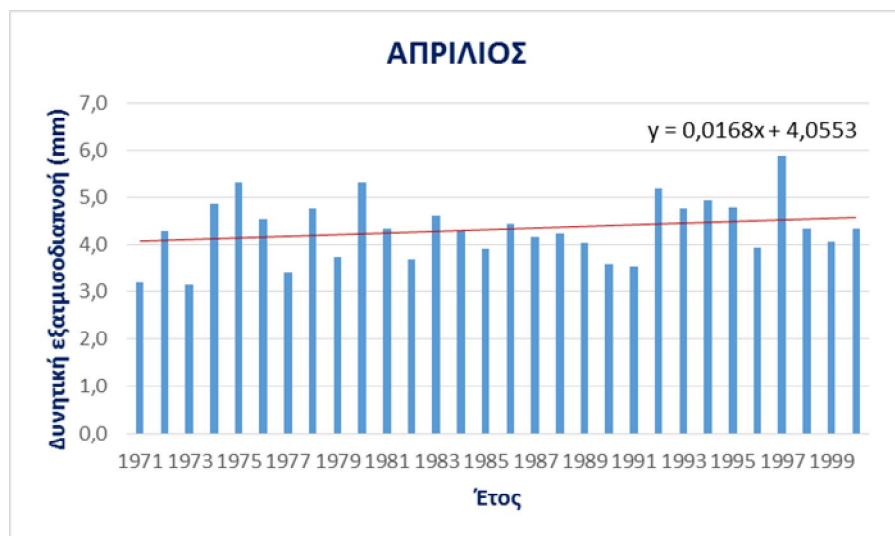
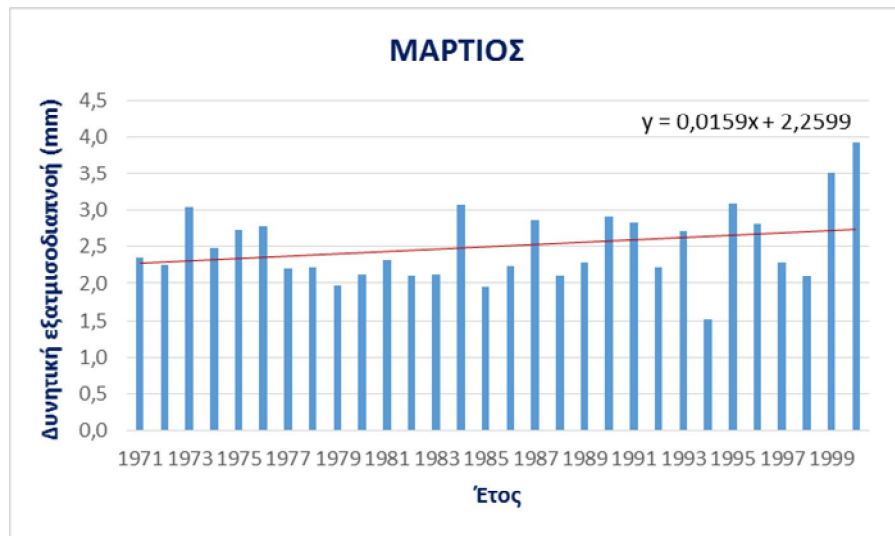


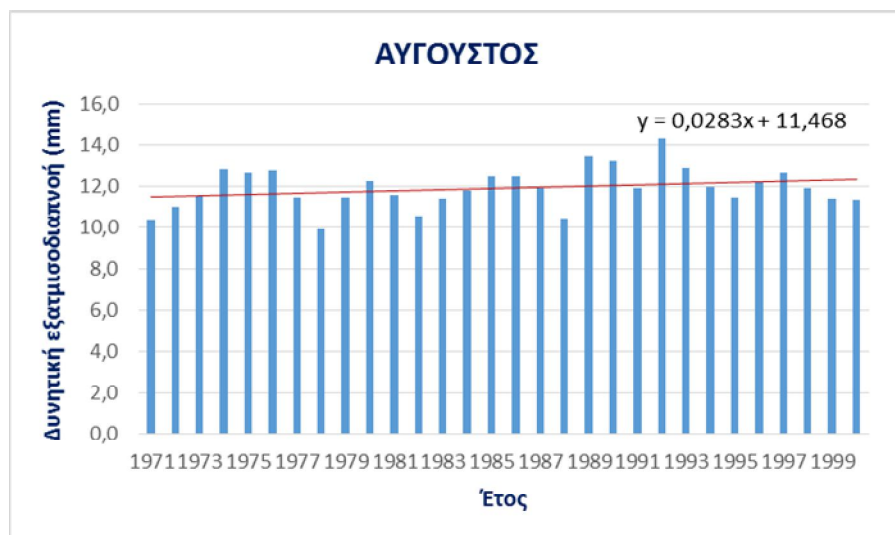
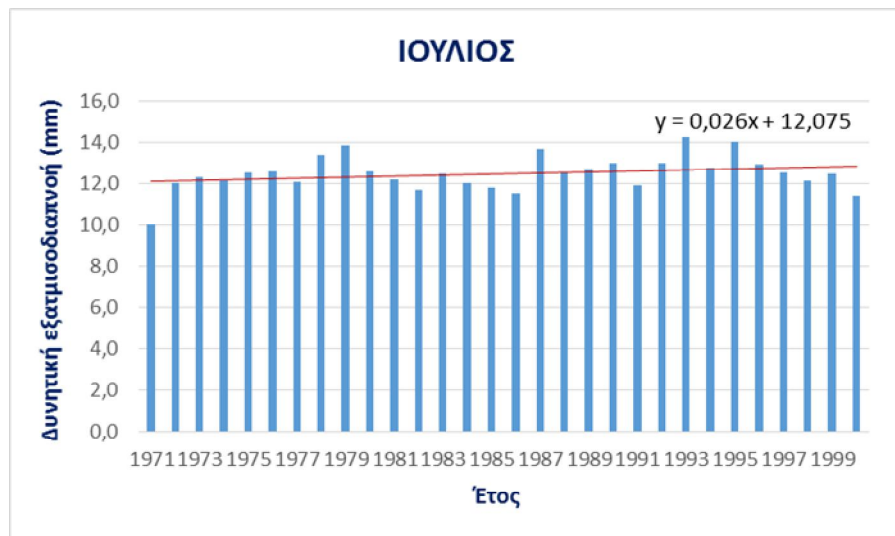
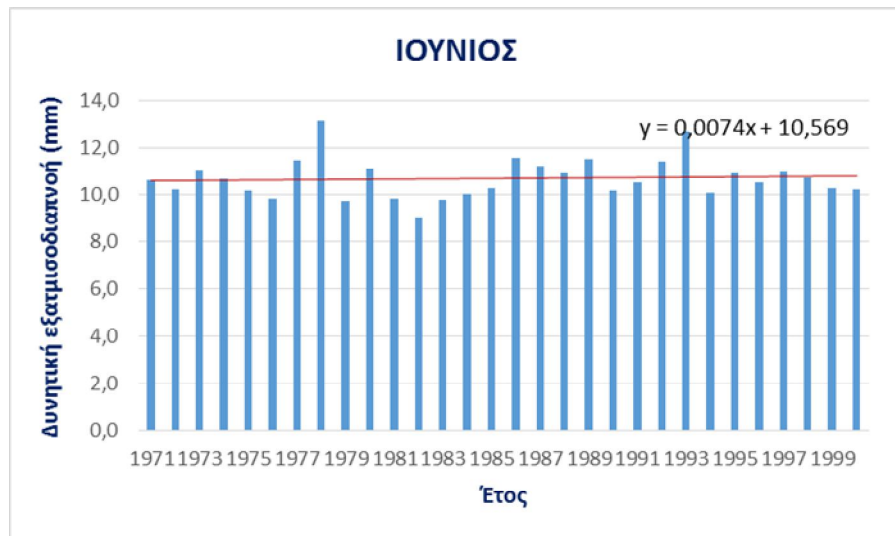


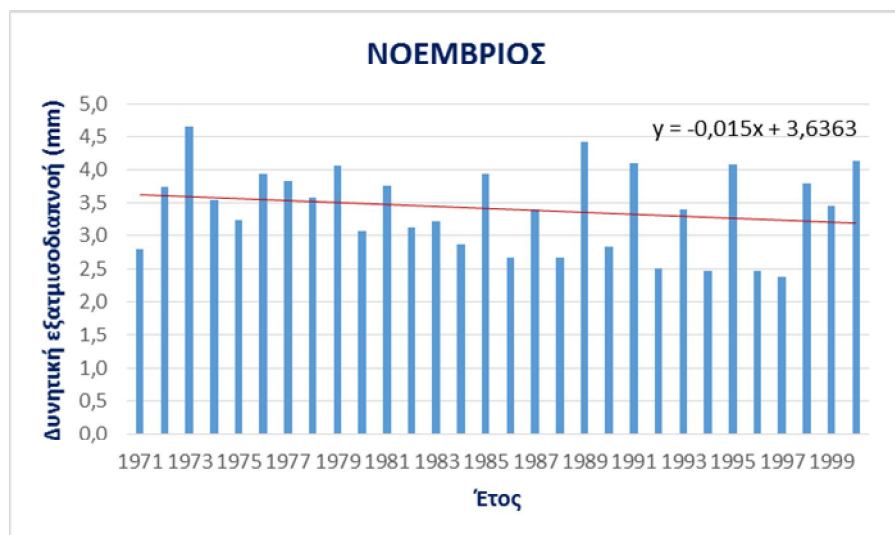
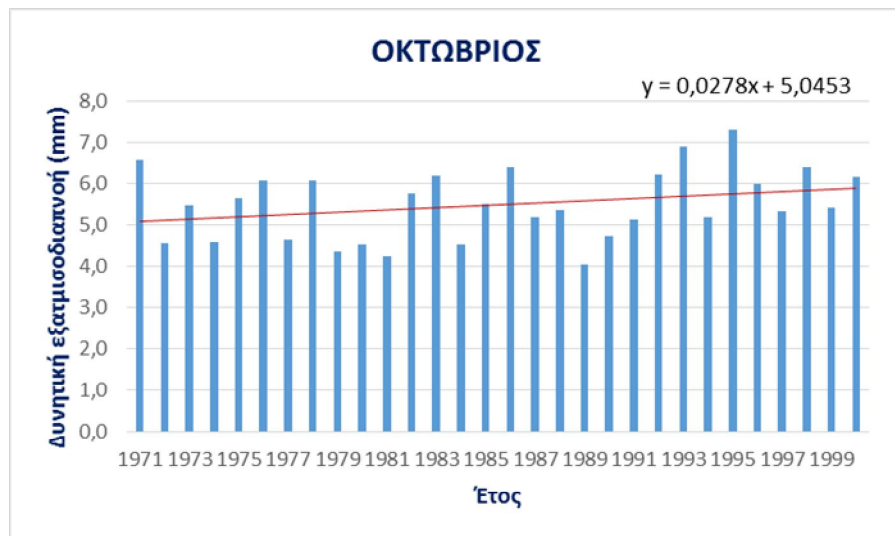
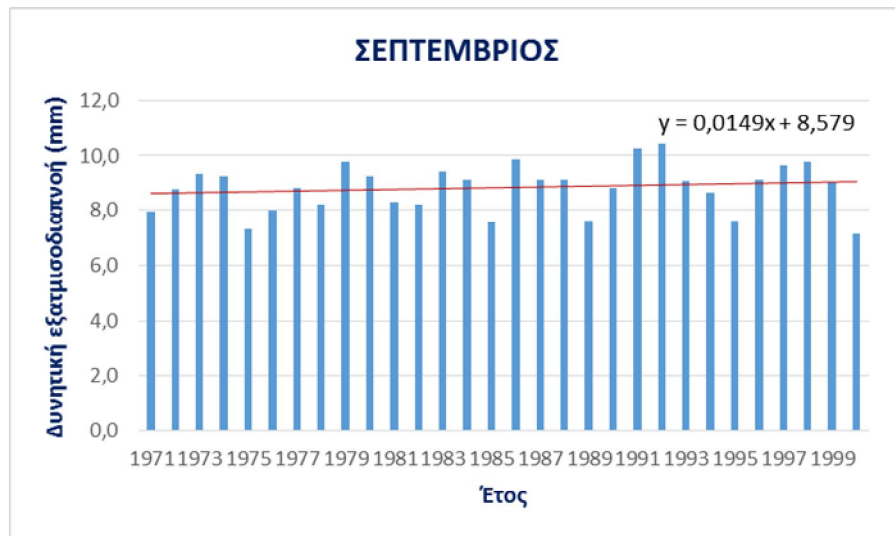
Παράτημα 2:

Ετήσια διαγράμματα μεταβολής της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο 1971-2000











Βιβλιογραφία

Dickinson RE., R.M. Errico, F. Giorgi and G.T. Bates (1989): Regional climate model for the Western United States. *Climate Change*, 15, 383-422.

Fact sheet No. 3 – Water in the atmosphere (2012). *National Meteorological Library and Archive*

http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/4/1/No.03_Water_in_the_Atmosphere.pdf

Fetter C.W. (2001): *Applied Hydrology*. 4th Edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall

Ghilardi M., Kunesch S., Styllas M., Fouache E. (2008): Reconstruction of Mid-Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece), based on microfaunal identification, magnetic susceptibility and grain-size analyses. *Geomorphology*

Giorgi, F., Bates G. T. (1989): The Climatological Skill of a Regional Model over Complex Terrain. *Monthly Weather Review*, 2325-2347.

Intergovernmental Panel on Climate Change <https://www.ipcc.ch/>

Jacob N., Childs P., Croke M., Liu Y. (2007): The effects of horizontal grid spacing and vertical resolution on TAMDAR data assimilation in short-range mesoscale forecasts. *National Center for Atmospheric Research*, 1-8.

Palmer W.C., Havens A.V. (1958): A graphical technique for determining evapotranspiration by the Thornthwaite method. *Monthly Weather Review* 123-128.

Penman H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society, Series A*, 193, 120-145.

Penman H.L. (1956): Estimating evaporation. *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 31, 43.

Rain. *American Meteorological Society, Glossary of Meteorology*

<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Rain>

Thorntwaite C. W. (1948): An Approach toward a Rational Classification of Climate.

Geographical Review, Vol. 38, No. 1. 55-94.

World Meteorological Organization http://www.wmo.int/pages/index_en.html

Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ. (2005).: Κλιματική αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο

Ανάλυση παρατηρήσεων: τάσεις των τελευταίων 100 ετών. *Παρατηρητήριο Κλιματικών*

Αλλαγών, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών [http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EL-](http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EL-EKETA-1513-KLIMATIKH-ALLAGH-STON-ELLADIKO-XORO-by-AKYLAS-at-EAA-in-TEXN-EKTHESH-PP-111-Y-2005.pdf)

[EKETA-1513-KLIMATIKH-ALLAGH-STON-ELLADIKO-XORO-by-AKYLAS-at-](http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EL-EKETA-1513-KLIMATIKH-ALLAGH-STON-ELLADIKO-XORO-by-AKYLAS-at-EAA-in-TEXN-EKTHESH-PP-111-Y-2005.pdf)

[EAA-in-TEXN-EKTHESH-PP-111-Y-2005.pdf](http://library.certh.gr/libfiles/PDF/EL-EKETA-1513-KLIMATIKH-ALLAGH-STON-ELLADIKO-XORO-by-AKYLAS-at-EAA-in-TEXN-EKTHESH-PP-111-Y-2005.pdf)

Σούλιος Γ. Χ. (2010): *Γενική Υδρογεωλογία*. 1^{ος} Τόμος, 2^η Έκδοση. Θεσσαλονίκη: University

Studio Press.