



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΡΑΛΗΣ Σ.

ΘΕΜΑ 1

ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ
ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ THORNTHWAITE

ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

A.M. 19391084

23/12/2021

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	3
2. Η περιοχή μελέτης	3
3. Μέση μηνιαία θερμοκρασία και μέση μηνιαία βροχόπτωση.....	6
4. Διόρθωση μέσης βροχόπτωσης με χρήση της βροχοβαθμίδας	7
5. Μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο.....	9
6. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.....	10
6.1. Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας	11
6.2. Μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με άνοδο της θερμοκρασίας	12
6.3. Αλλαγή της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού των εδαφών	13
6.3.1. Αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού του εδάφους στα 150 mm.....	13
6.3.2. Μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού του εδάφους στα 50 mm.....	14
Βιβλιογραφία - Πηγές.....	15

Παράρτημα πινάκων

Πίνακας 1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και μέσος μηνιαίος νετός	6
Πίνακας 2: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και μέσος μηνιαίος νετός φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών	7
Πίνακας 3: Μέσος μηνιαίος νετός και η διόρθωση του με την χρήση της βροχοβαθμίδας.....	8
Πίνακας 4: Ηλιακή απόκλιση και μέση διάρκεια ημέρας ανά μήνα στην περιοχή μελέτης	9
Πίνακας 5: Παράμετροι υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου	9
Πίνακας 6: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της θερμοκρασίας	11
Πίνακας 7: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας	12
Πίνακας 8: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος	13
Πίνακας 9: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος	14

Παράρτημα εικόνων

Εικόνα 1: Γεωμορφολογικός χάρτης νήσου Ρόδου με όλες τις λεκάνες απορροής	4
Εικόνα 2: Εστιασμένο τμήμα γεωμορφολογικού χάρτη - Λεκάνη απορροής ποταμού Γαδουρά	5
Εικόνα 3: Τοπογραφικό διάγραμμα - Λεκάνη απορροής ποταμού Γαδουρά.....	5
Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μέσου μηνιαίου νετού	6
Εικόνα 5: Γραφική αναπαράσταση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μέσου μηνιαίου νετού φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών.....	7
Εικόνα 6: Γραφική αναπαράσταση μέσου μηνιαίου νετού και των διορθωμένων τιμών με την χρήση της βροχοβαθμίδας	8
Εικόνα 7: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου.....	10
Εικόνα 8: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της θερμοκρασίας.....	11
Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας.....	12
Εικόνα 10: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος	13
Εικόνα 11: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος	14

1. Εισαγωγή

Το παρόν θέμα εκπονείται στα πλαίσια του μαθήματος της **Τεχνικής Υδρολογίας** και έχει ως κύριο σκοπό την εξοικείωση στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής με την χρήση της μεθόδου **Thornthwaite**. Όλοι οι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί σε περιβάλλον **Microsoft Excel**. Κατά συνέπεια, οποιαδήποτε ακρίβεια στα δεκαδικά ψηφία και στην απεικόνιση των διαγραμμάτων, οφείλεται στο πρόγραμμα αυτό καθαυτό. Για την οπτικοποίηση των χαρτογραφικών δεδομένων και την εξαγωγή των χαρτών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **ArcGIS Pro** της **ESRI**. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των χαρτών προέρχονται από αρχεία shapefile (Ακτογραμμή της Ελλάδας και τοποθεσίες των μετεωρολογικών σταθμών της χώρας) τα οποία παρέχονται από πηγές δεδομένων για την εκπόνηση εργαστηριακών ασκήσεων στο μάθημα “Συστήματα και Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών”. Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), παρέχεται από την υπηρεσία Land Monitoring Service του Copernicus. Τέλος, σημειώνεται ότι χρησιμοποιείται το κόμμα (,) ως διαχωριστικό χιλιάδων και η τελεία (.) ως υποδιαστολή.

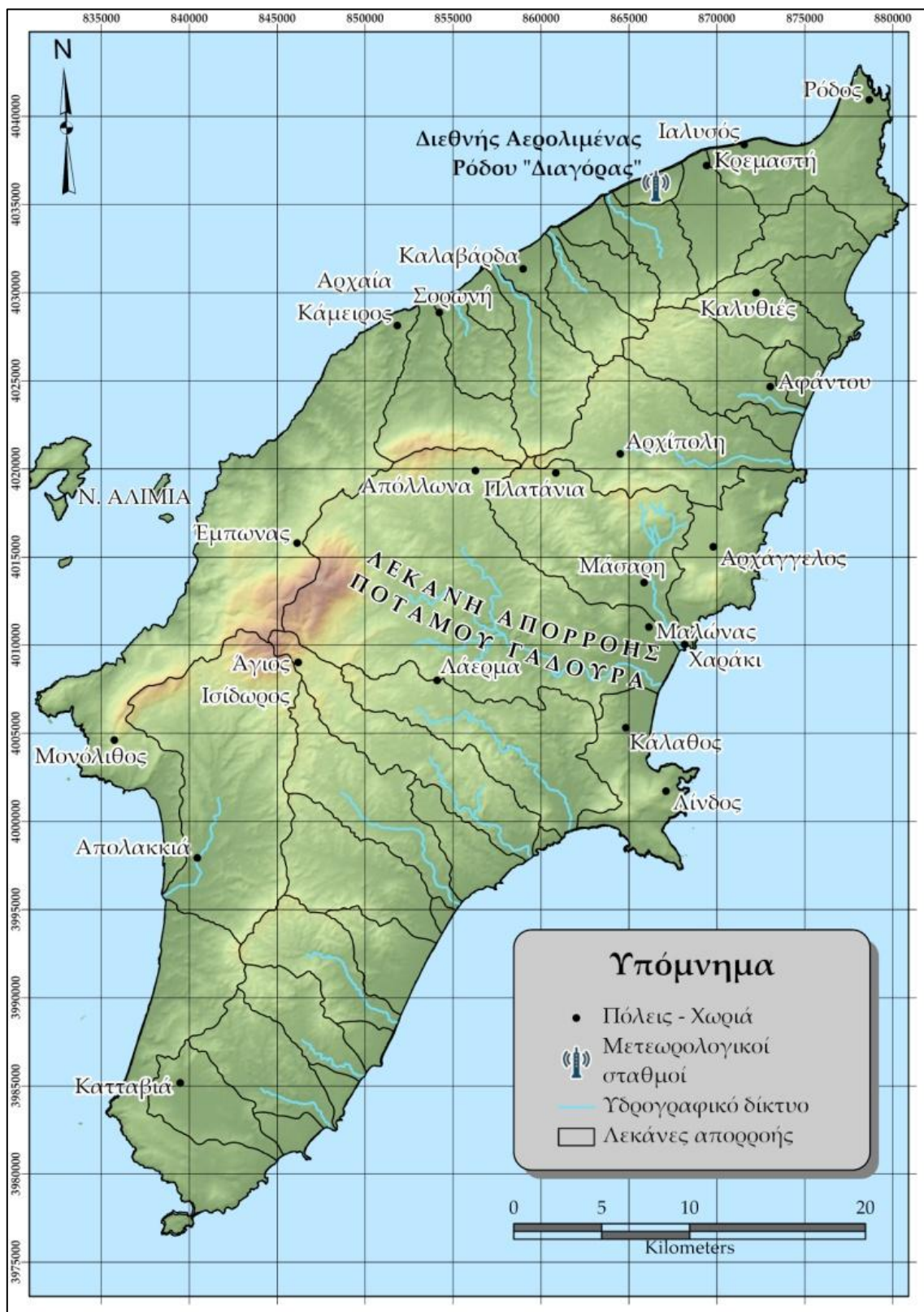
2. Η περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης έχει επιλεχθεί η **λεκάνη απορροής του ποταμού Γαδουρά** στο νησί της **Ρόδου**. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από επίσημες μετρήσεις της **Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.)** κατά τη χρονική περίοδο **1971 – 2000**. Ο μετεωρολογικός σταθμός που επιλέχθηκε για τη συλλογή των δεδομένων εδρεύει στον Διεθνή Αερολιμένα της Ρόδου “Διαγόρας”, καθώς είναι ο πλησιέστερος στην περιοχή που μελετάται. Οι συντεταγμένες του προαναφερθέντος σταθμού είναι (WGS84) $\varphi_{St} = 36^{\circ}.402$, $\lambda_{St} = 28^{\circ}.088$ και βρίσκεται σε υψόμετρο $Z_{St} = 11 \text{ m}$ από την μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ), ενώ απέχει περίπου **26 km** από το κέντρο της λεκάνης απορροής.

Το νησί της Ρόδου βρίσκεται στο νοτιοανατολικό Αιγαίο και είναι το 4^ο μεγαλύτερο νησί της χώρας με έκταση **1,400.684 km²**, ακτογραμμή μήκους **253 km** και μόνιμο πληθυσμό **115,490 κατοίκων** (ΕΛΣΤΑΤ 2011). Το γεωγραφικό ανάγλυφο του νησιού παρουσιάζει ιδιαίτερη ποικιλομορφία, καθώς είναι χαρακτηριστική η ύπαρξη ορέων κυρίως στα δυτικά και κεντρικά τμήματα, όπως και εκτενείς πεδιάδες με πληθώρα καλλιεργειών γεωργικών προϊόντων. Το κλίμα που επικρατεί στο νησί είναι εύκρατο μεσογειακό με πολύ μεγάλο ποσοστό ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους. Έχει ήπιους χειμώνες με αρκετή υγρασία και βροχές, με συνήθη διάρκεια από τα μέσα Νοεμβρίου έως και τα τέλη Φεβρουαρίου, ενώ κατά τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο το κλίμα είναι αρκετά ζεστό και ξηρό, με θερμοκρασίες που ξεπερνούν κατά πολύ τον μέσο όρο θερμοκρασίας της χώρας.

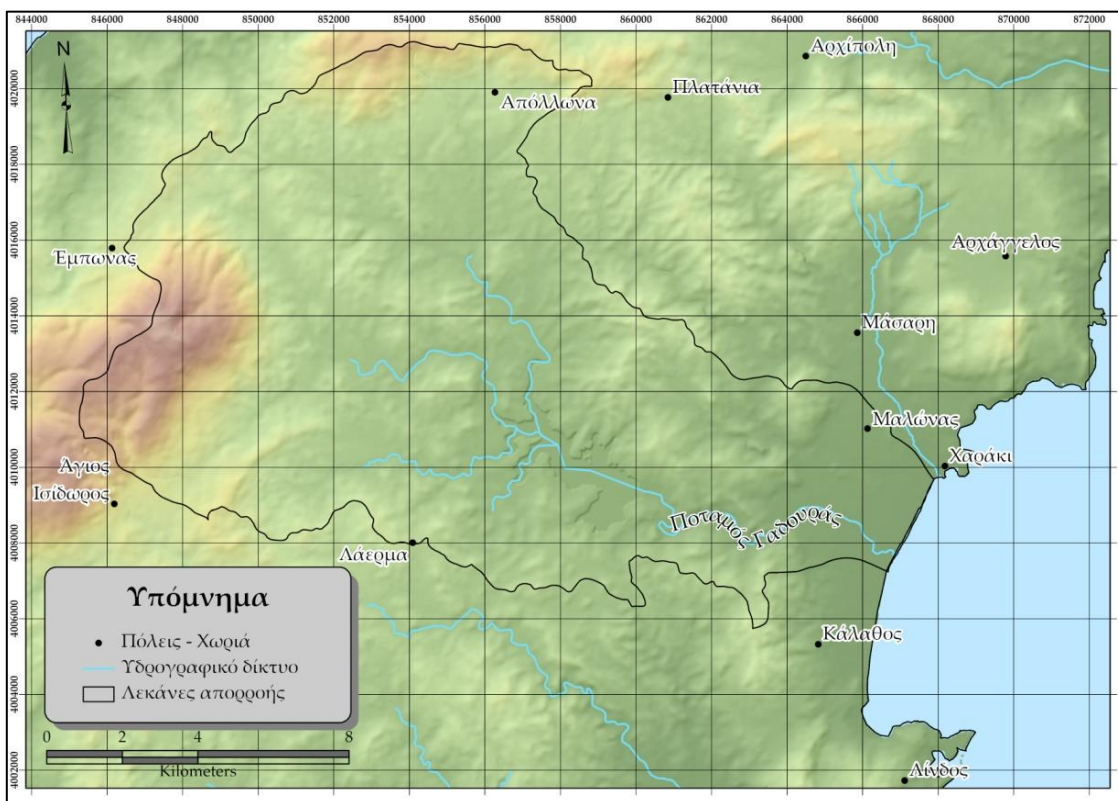
Η λεκάνη απορροής βρίσκεται περίπου στο κέντρο του νησιού και απορρέει στα ανατολικά όπου και εκβάλλει ο ποταμός Γαδουράς. Είναι η μεγαλύτερη στο νησί με συνολική έκταση $A_{Basin} = 189.79 \text{ km}^2$, περίμετρο $L_{Basin} = 74,518.484 \text{ m}$ και μέσο υψόμετρο $\bar{Z}_{Basin} = 287.202 \text{ m}$ από την ΜΣΘ.

Ακολουθεί γεωμορφολογικός χάρτης του νησιού της Ρόδου, όπου απεικονίζεται το ανάγλυφο του εδάφους και το δίκτυο των κυρίων ποταμών του νησιού, με τις επιμέρους λεκάνες απορροής.



Εικόνα 1: Γεωμορφολογικός χάρτης νήσου Ρόδου με όλες τις Λεκάνες απορροής

Στις επόμενες δύο εικόνες, παρουσιάζεται η επιλεγμένη περιοχή μελέτης, στην Εικόνα 2 ως εστιασμένο στιγμιότυπο του γεωμορφολογικού χάρτη του νησιού (βλ. Εικόνα 1) και στην Εικόνα 3 ως τοπογραφικό διάγραμμα με την παρουσία των ισοψών καμπυλών.



Εικόνα 2: Εστιασμένο τμήμα γεωμορφολογικού χάρτη - Λεκάνη απορροής ποταμού Γαδουρά



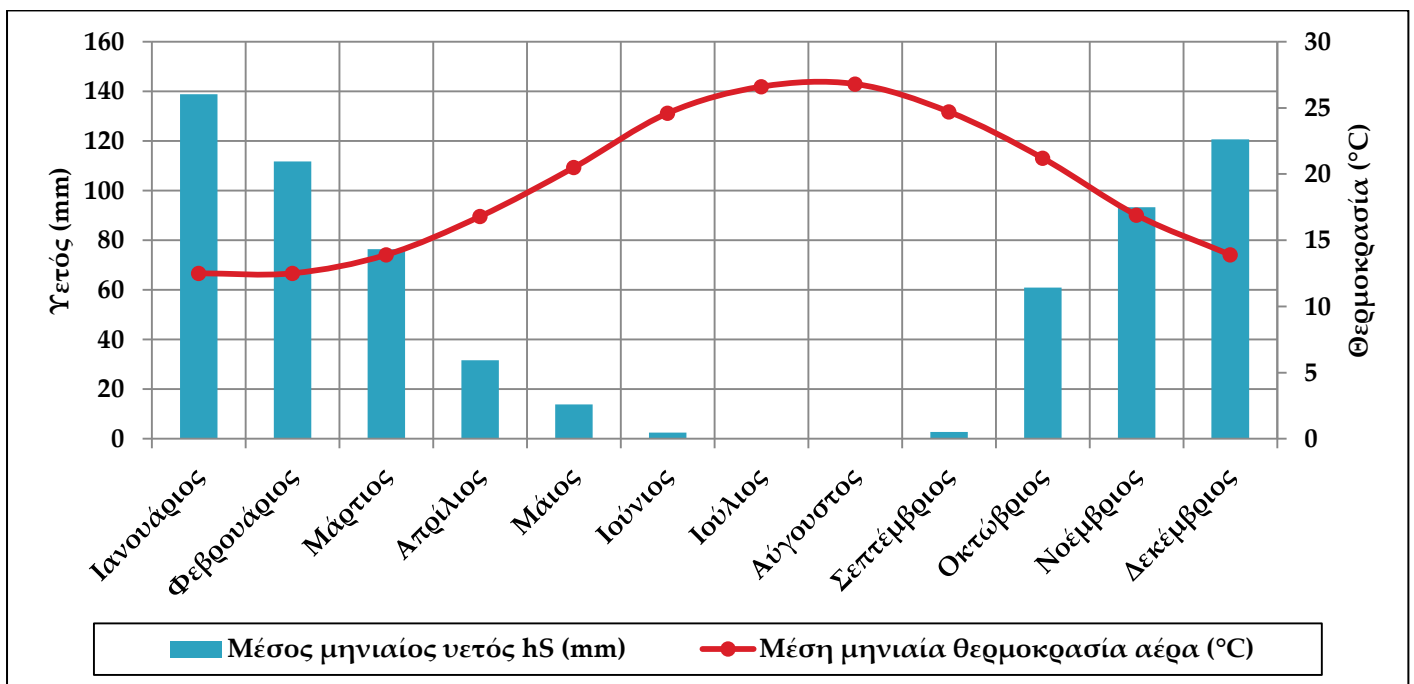
Εικόνα 3: Τοπογραφικό διάγραμμα - Λεκάνη απορροής ποταμού Γαδουρά

3. Μέση μηνιαία θερμοκρασία και μέση μηνιαία βροχόπτωση

Με βάση τις επίσημες μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη χρονική περίοδο 1971 – 2000 για όλους τους μήνες στο νησί της Ρόδου από τον μετεωρολογικό σταθμό αναφοράς, προκύπτουν η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και η μέση μηνιαία βροχόπτωση, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και το διάγραμμα που το συνοδεύει. Παρατηρείται ότι κατά τους μήνες Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο η βροχόπτωση είναι αμελητέα, συγκριτικά με τους υπόλοιπους μήνες, επομένως αυτοί οι μήνες αποκλείονται από την διόρθωση με την χρήση της βροχοβαθμίδας.

Μήνες	Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C)	Μέσος μηνιαίος νετός (mm)
Ιανουάριος	12.5	138.8
Φεβρουάριος	12.5	111.7
Μάρτιος	13.9	76.4
Απρίλιος	16.8	31.7
Μάιος	20.5	13.9
Ιούνιος	24.6	2.5
Ιούλιος	26.6	0.2
Αύγουστος	26.8	0.2
Σεπτέμβριος	24.7	2.8
Οκτώβριος	21.2	61.0
Νοέμβριος	16.9	93.3
Δεκέμβριος	13.9	120.7

Πίνακας 1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και μέσος μηνιαίος νετός



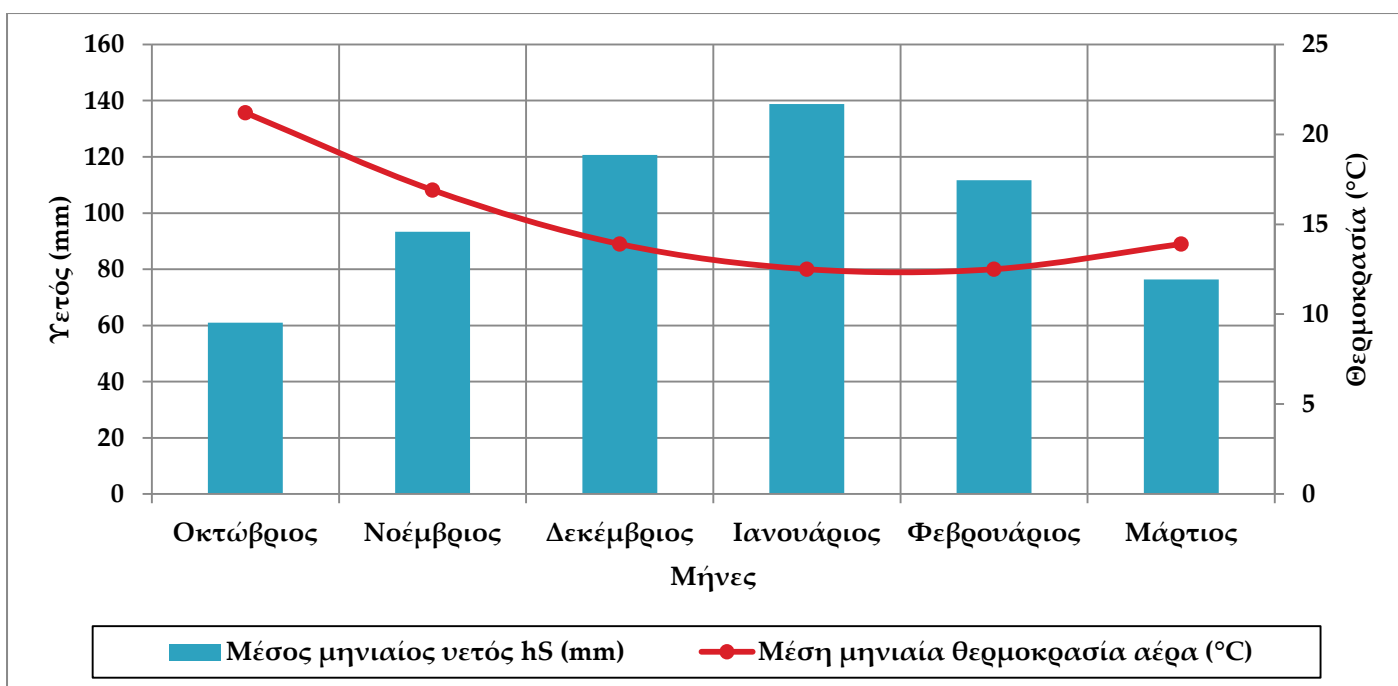
Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μέσου μηνιαίου νετού

4. Διόρθωση μέσης βροχόπτωσης με χρήση της βροχοβαθμίδας

Από τον παραπάνω πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα, επιλέγονται για διόρθωση του βροχομετρικού ύψους τους με την χρήση της βροχοβαθμίδας οι φθινοπωρινοί – χειμερινοί μήνες Οκτώβριος έως και Μάρτιος. Κατά συνέπεια, προκύπτει ο παρακάτω εστιασμένος πίνακας και το αντίστοιχο διάγραμμα.

Μήνες	Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα (°C)	Μέσος μηνιαίος υετός (mm)
Οκτώβριος	21.2	61.0
Νοέμβριος	16.9	93.3
Δεκέμβριος	13.9	120.7
Ιανουάριος	12.5	138.8
Φεβρουάριος	12.5	111.7
Μάρτιος	13.9	76.4

Πίνακας 2: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και μέσος μηνιαίος υετός φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών



Εικόνα 5: Γραφική αναπαράσταση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και μέσου μηνιαίου υετού φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών

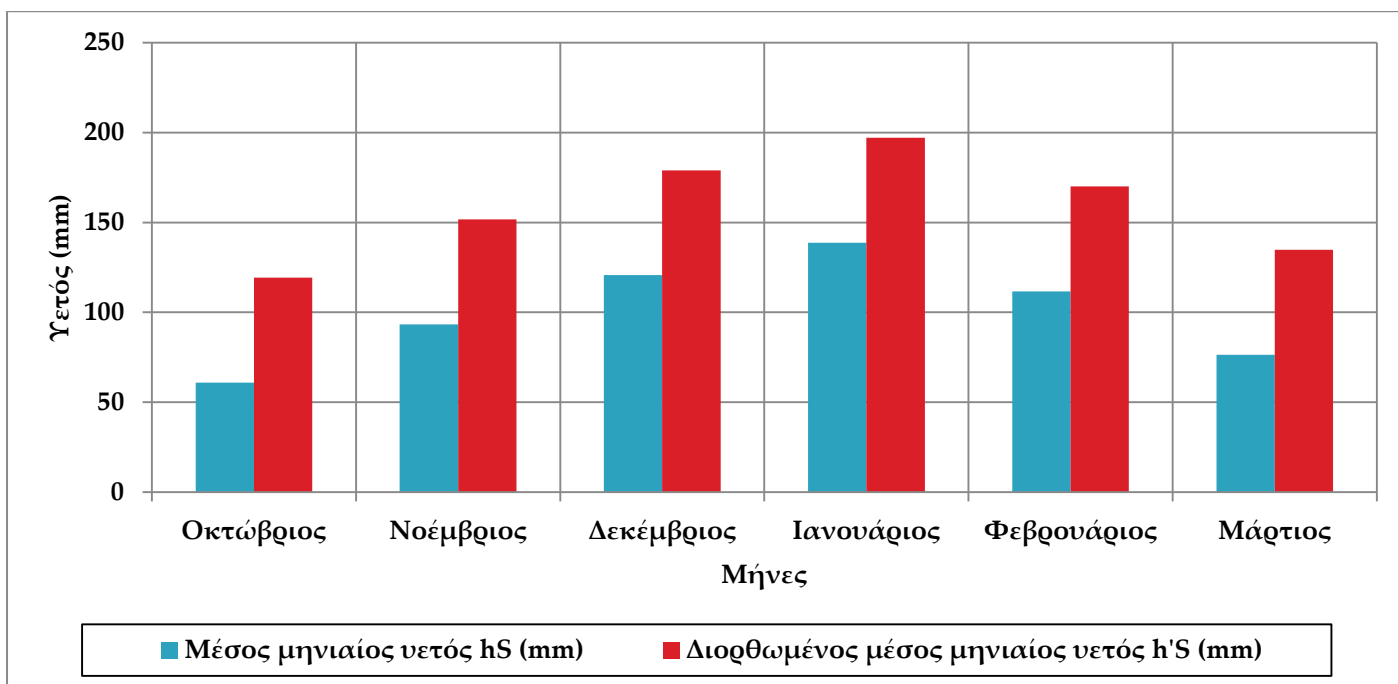
Για λόγους αποφυγής μεγάλων βροχομετρικών υψών, προτιμάται να χρησιμοποιηθεί ως βροχοβαθμίδα, αυτή που αντιστοιχεί στις περιφέρειες **Μακεδονίας - Ηπείρου**, όπου συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας, έχουν την χαμηλότερη τιμή βροχοβαθμίδας. Η συγκεκριμένη βροχοβαθμίδα προκύπτει από την εξίσωση ευθείας $y = 0.2112x + 756.75$. Αναλύοντας την παραπάνω εξίσωση, προκύπτει ότι η κλίση αυτής, δηλαδή το $b = 0.2112$, ισούται με την βροχοβαθμίδα και η τεταγμένη επί της αρχής, δηλαδή το $a = 756.75$, ισούται με την μέση βροχόπτωση σε απόλυτο υψόμετρο 0, δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας.

Επομένως, η βροχοβαθμίδα ισούται με **21.1 mm βροχής ανά 100 m μεταβολής υψομέτρου** και η μέση βροχόπτωση στην επιφάνεια της θάλασσας ισούται με **756.75 mm βροχής**. Βάσει της σχέσης $h'_{S_i} = h_{S_i} + b * (\bar{Z}_{Basin} - Z_{St})$, γίνεται η διόρθωση της βροχόπτωσης για τους μήνες Οκτώβριο – Μάρτιο με τη χρήση της βροχοβαθμίδας, όπου το h_{S_i} είναι η μέση μηνιαία βροχόπτωση και h'_{S_i} η διορθωμένη μέση μηνιαία βροχόπτωση για κάθε μήνα που εξετάζεται.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα, παρουσιάζονται οι διορθωμένες τιμές της μηνιαίας βροχόπτωσης με την χρήση της βροχοβαθμίδας. Παρατηρείται, ότι η βροχόπτωση όλων των μηνών που εξετάζονται έχει σχεδόν διπλασιαστεί, γεγονός που προκύπτει από την μεγάλη διαφορά υψομέτρου μεταξύ του μετεωρολογικού σταθμού και της λεκάνης απορροής. Η υψομετρική διαφορά είναι $\Delta Z = \bar{Z}_{Basin} - Z_{St} = 287.202 - 11 \rightarrow \Delta Z = 276.202 \text{ m}$.

Μήνες	Μέσος μηνιαίος νετός h_S (mm)	Διορθωμένος μέσος μηνιαίος νετός h'_S (mm)
Οκτώβριος	61.0	119.3
Νοέμβριος	93.3	151.6
Δεκέμβριος	120.7	179.0
Ιανουάριος	138.8	197.1
Φεβρουάριος	111.7	170.0
Μάρτιος	76.4	134.7

Πίνακας 3: Μέσος μηνιαίος νετός και η διόρθωση του με την χρήση της βροχοβαθμίδας



Εικόνα 6: Γραφική αναπαράσταση μέσου μηνιαίου νετού και των διορθωμένων τιμών με την χρήση της βροχοβαθμίδας

5. Μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο

Μετά την διόρθωση της βροχοπτώσης για κάθε μήνα με την χρήση της βροχοβαθμίδας, ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου για κάθε μήνα του έτους. Ως γενικός κανόνας, μια λεκάνη απορροής θεωρείται η κατάλληλη χωρική μονάδα ώστε να εφαρμοστεί η αρχή διατήρησης της μάζας, δηλαδή ένα ισοζύγιο. Στην προκειμένη περίπτωση η σχέση που χαρακτηρίζει το υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η εξής: $P = ET + R$, όπου P οι κατακρημνίσεις, ET η εξατμισοδιαπνοή και R η απορροή των υδάτων. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα υπολογισμού του μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου με την μέθοδο Thornthwaite (**Thornthwaite Water Balance Ελληνικά.xls**), αρχικά εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος του μετεωρολογικού σταθμού $\varphi_{St} = 36^{\circ}.402$, έτσι ώστε να υπολογισθούν η ηλιακή απόκλιση και η διάρκεια ημέρας, για κάθε μήνα και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Μήνες	Ηλιακή απόκλιση (degrees)	Διάρκεια ημέρας (hr)
Ιανουάριος	-21.3	9.8
Φεβρουάριος	-13.3	10.7
Μάρτιος	-2.0	11.8
Απρίλιος	9.8	13.0
Μάιος	18.9	13.9
Ιούνιος	23.3	14.5
Ιούλιος	21.3	14.2
Αύγουστος	13.7	13.4
Σεπτέμβριος	3.0	12.3
Οκτώβριος	-9.0	11.1
Νοέμβριος	-18.6	10.1
Δεκέμβριος	-23.3	9.5

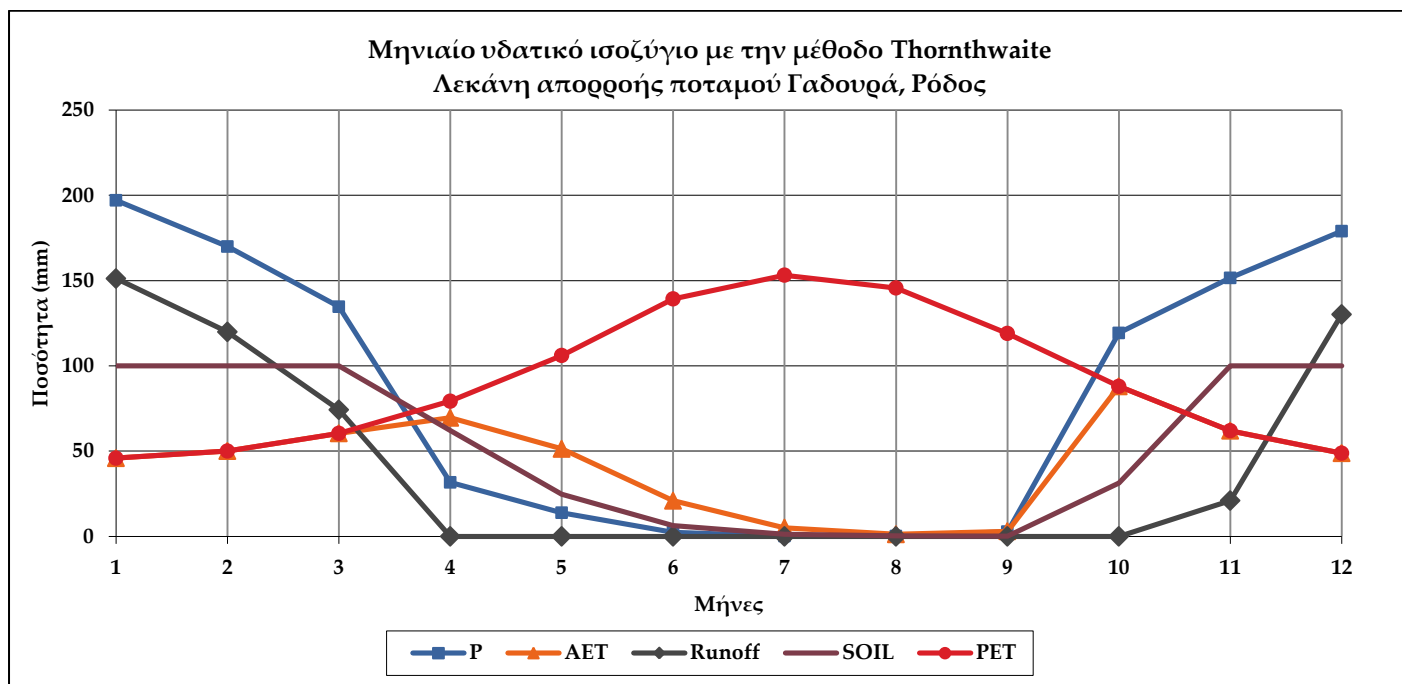
Πίνακας 4: Ηλιακή απόκλιση και μέση διάρκεια ημέρας ανά μήνα στην περιοχή μελέτης

Στη συνέχεια, ορίζεται η μέγιστη αποθηκευτικότητα του εδάφους σε νερό (Available Water Capacity) ή (AWC) σε 100 mm και κατασκευάζεται ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας και το αντίστοιχο διάγραμμα τα οποία περιέχουν όλες τις απαραίτητες ποσότητες καθ' όλο το έτος ώστε να υπολογισθεί το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής. Διευκρινίζεται ότι επειδή η μέση θερμοκρασία κατά τους χειμερινούς μήνες δεν πέφτει κάτω από τους 6 °C, δεν υπάρχει χιόνι στην περιοχή μελέτης, επομένως ως κατακρημνίσεις θεωρούνται μόνο οι βροχοπτώσεις.

Μήνες	Κατακρημνίσεις P (mm)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή AET (mm)	Απορροή Runoff (mm)	Εδαφική υγρασία SOIL (mm)	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET (mm)	Θερμοκρασία T (°C)
Ιανουάριος	197.1	45.9	151.2	100.0	45.9	12.5
Φεβρουάριος	170.0	50.1	119.9	100.0	50.1	12.5
Μάρτιος	134.7	60.5	74.2	100.0	60.5	13.9
Απρίλιος	31.7	69.6	0.0	62.1	79.3	16.8
Μάιος	13.9	51.3	0.0	24.7	106.1	20.5
Ιούνιος	2.5	20.9	0.0	6.3	139.3	24.6
Ιούλιος	0.2	5.1	0.0	1.4	153.2	26.6
Αύγουστος	0.2	1.2	0.0	0.3	145.7	26.8
Σεπτέμβριος	2.8	3.0	0.0	0.1	119.0	24.7
Οκτώβριος	119.3	88.0	0.0	31.4	88.0	21.2
Νοέμβριος	151.6	62.0	21.0	100.0	62.0	16.9
Δεκέμβριος	179.0	48.8	130.2	100.0	48.8	13.9
Έτος	Σ=1003.0	Σ=506.4	Σ=496.6	Σ=626.3	Σ=1097.9	M.O.=19.2

Πίνακας 5: Παράμετροι υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου

Βάσει του Πίνακα 5, σχεδιάζεται το διάγραμμα που αναπαριστά το μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο της επιλεγμένης λεκάνης απορροής, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 7: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου

Εξετάζοντας τα παραπάνω δεδομένα και το αντίστοιχο διάγραμμα, παρατηρούνται έντονες, σχετικές ως προς το νησί, κατακρημνίσεις (**P**) κατά τους χειμερινούς κυρίως μήνες, όπου το ύψος βροχής ξεπερνάει τα 150 mm. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον κορεσμό του εδάφους σε νερό, καθώς κατά τους μήνες Νοέμβριο έως και Μάρτιο, η εδαφική υγρασία (**SOIL**) έχει την μέγιστη δυνατή τιμή της. Παράλληλα, είναι εμφανές από το σχετικό διάγραμμα ότι η απορροή (**Runoff**) των υδάτων εντός της περιοχής που μελετάται μεγιστοποιείται κατά τους μήνες αυτούς, ιδιαίτερα δε τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα, από τον Οκτώβριο έως και τα μέσα Μαρτίου, οι κατακρημνίσεις (**P**) υπερβαίνουν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (**AET**), με αποτέλεσμα να υπάρχει περίσσεια νερού. Από τα μέσα Μαρτίου έως και τον Ιούλιο, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (**AET**) υπερβαίνει τις κατακρημνίσεις (**P**), ακολουθώντας φθίνουσα πορεία, ωστόσο αυτό ερμηνεύεται με την συνέχεια ύπαρξης εδαφικής υγρασίας (**SOIL**). Παρατηρώντας τους μήνες Απρίλιο έως και Οκτώβριο, είναι εμφανής η έλλειψη βροχοπτώσεων, καθώς η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (**PET**) υπερβαίνει κατά πολύ την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (**AET**), με την κορύφωση του φαινομένου να εντοπίζεται το μήνα Ιούλιο. Αποτέλεσμα αυτού είναι η σημαντική μείωση της εδαφικής υγρασίας (**SOIL**), κυρίως τους θερινούς μήνες, γεγονός που οδηγεί σε μερική ξηρασία του εδάφους και αυξημένη ανάγκη για νερό.

6. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Είναι πλέον γεγονός ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια πραγματικότητα την οποία επί σειρά δεκαετιών ερευνητές και επιστήμονες προέβλεπαν, κρούοντας τον κώδωνα του κινδύνου για επιπτώσεις που μπορεί να επέλθουν σε πολλούς τομείς, εάν δεν ληφθούν εγκαίρως τα απαραίτητα μέτρα. Στις περισσότερες των περιπτώσεων ο κόσμος πλήττεται ήδη από φαινόμενα που αποτελούν απόρροια της κλιματικής αλλαγής, όπως είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και η ξηρασία.

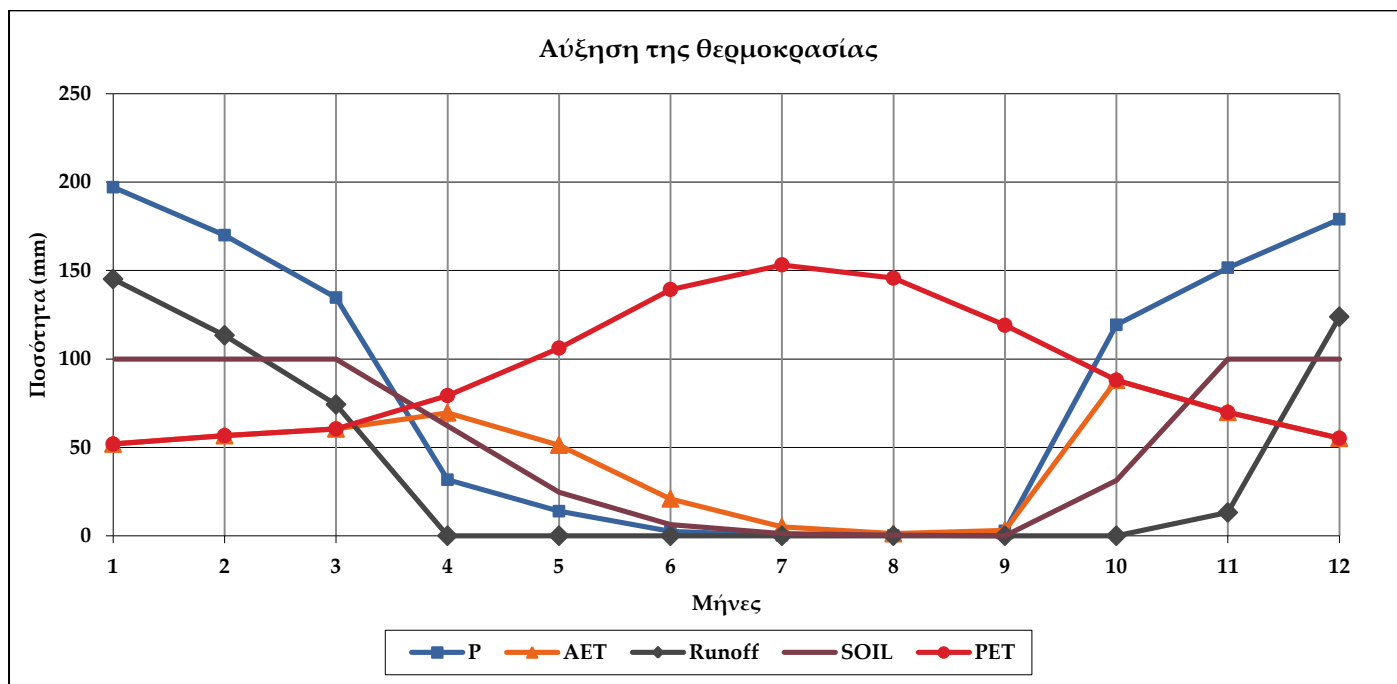
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την μοντελοποίηση των προαναφερθέντων φαινομένων, με εφαρμογή στην περιοχή μελέτης.

6.1. Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας

Το 1^ο πειραματικό στάδιο, αφορά την αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας των χειμερινών μηνών Νοέμβριο έως και Φεβρουάριο, κατά 2 °C, προσομοιάζοντας έτσι ένα φαινόμενο παγκόσμιας θέρμανσης. Εφαρμόζοντας την παραπάνω πειραματική διαδικασία στα στοιχεία του Πίνακα 5, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Μήνες	Κατακρημνίσεις P (mm)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή AET (mm)	Απορροή Runoff (mm)	Εδαφική υγρασία SOIL (mm)	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET (mm)	Θερμοκρασία T (°C)
Ιανουάριος	197.1	51.9	145.2	100.0	51.9	14.5
Φεβρουάριος	170.0	56.7	113.3	100.0	56.7	14.5
Μάρτιος	134.7	60.5	74.2	100.0	60.5	13.9
Απρίλιος	31.7	69.6	0.0	62.1	79.3	16.8
Μάιος	13.9	51.3	0.0	24.7	106.1	20.5
Ιούνιος	2.5	20.9	0.0	6.3	139.3	24.6
Ιούλιος	0.2	5.1	0.0	1.4	153.2	26.6
Αύγουστος	0.2	1.2	0.0	0.3	145.7	26.8
Σεπτέμβριος	2.8	3.0	0.0	0.1	119.0	24.7
Οκτώβριος	119.3	88.0	0.0	31.4	88.0	21.2
Νοέμβριος	151.6	69.8	13.2	100.0	69.8	18.9
Δεκέμβριος	179.0	55.2	123.8	100.0	55.2	15.9
Έτος	Σ=1003.0	Σ=533.2	Σ=469.8	Σ=626.3	Σ=1124.7	M.O.=19.9

Πίνακας 6: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της θερμοκρασίας



Εικόνα 8: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της θερμοκρασίας

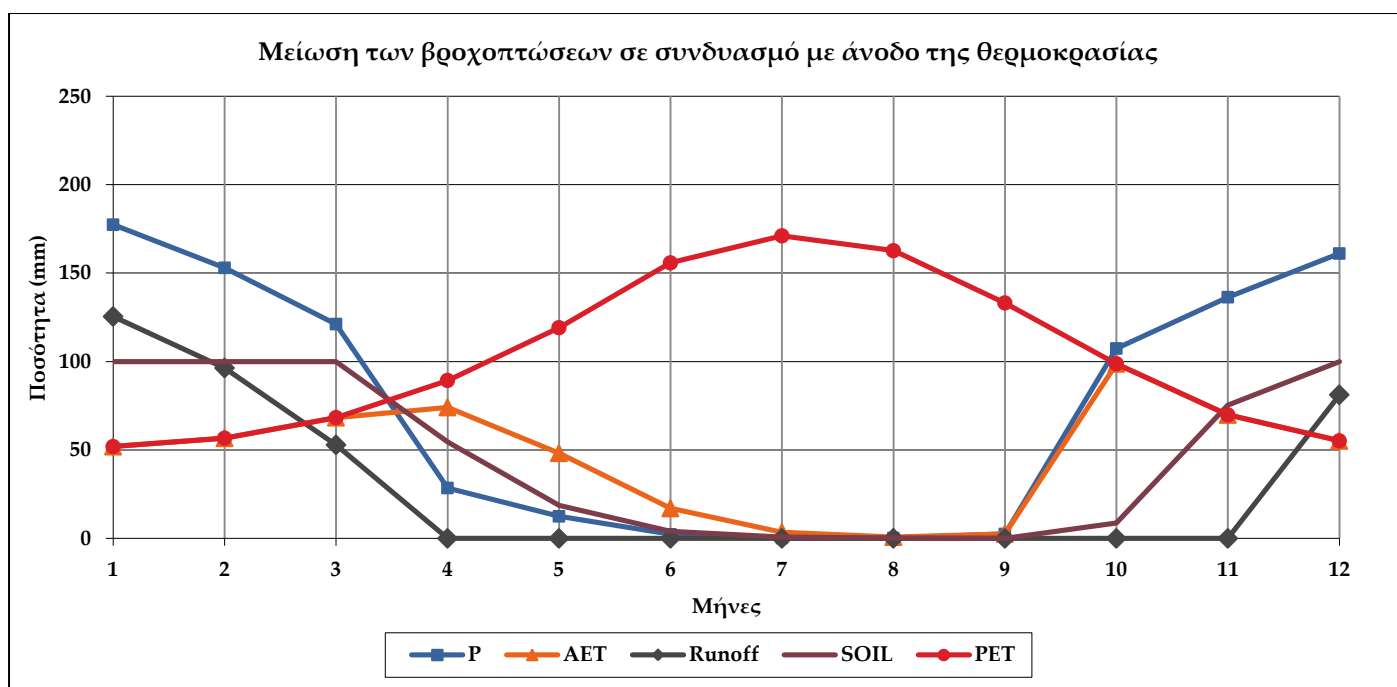
Η πρώτη σημαντική μεταβολή που παρατηρείται, είναι η αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά 0.7 °C. Οι κατακρημνίσεις (P) και η εδαφική υγρασία (SOIL) παραμένουν αμετάβλητες, με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, ενώ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET) και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AET) αυξήθηκαν περίπου 5.3 % και 2,4 % αντίστοιχα. Μείωση παρατηρήθηκε στην απορροή των υδάτων (Runoff) της τάξης του 5.4 %.

6.2. Μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με άνοδο της θερμοκρασίας

Στο 2^ο πειραματικό στάδιο, μειώνεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση κατά 10 % για όλους του μήνες του έτους, προσομοιάζοντας έτσι ένα φαινόμενο ξηρασίας στην περιοχή μελέτης. Εφαρμόζοντας την παραπάνω πειραματική διαδικασία στα στοιχεία του Πίνακα 5, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Μήνες	Κατακρημνίσεις P (mm)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή AET (mm)	Απορροή Runoff (mm)	Εδαφική υγρασία SOIL (mm)	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET (mm)	Θερμοκρασία T (°C)
Ιανουάριος	177.4	51.9	125.5	100.0	51.9	14.5
Φεβρουάριος	153.0	56.7	96.3	100.0	56.7	14.5
Μάρτιος	121.2	60.5	60.7	100.0	68.3	13.9
Απρίλιος	28.5	68.3	0.0	60.2	89.3	16.8
Μάιος	12.5	49.1	0.0	23.6	119.2	20.5
Ιούνιος	2.3	19.9	0.0	6.0	155.8	24.6
Ιούλιος	0.2	4.9	0.0	1.3	171.1	26.6
Αύγουστος	0.2	1.2	0.0	0.3	162.7	26.8
Σεπτέμβριος	2.5	2.7	0.0	0.1	133.1	24.7
Οκτώβριος	107.4	88.0	0.0	19.5	98.7	21.2
Νοέμβριος	136.4	69.8	0.0	86.1	69.8	18.9
Δεκέμβριος	161.1	55.2	92.0	100.0	55.2	15.9
Έτος	Σ=902.7	Σ=528.2	Σ=374.5	Σ=604.9	Σ=1231.9	M.O.=19.9

Πίνακας 7: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας



Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την άνοδο της θερμοκρασίας

Ο συνδυασμός της μείωσης των βροχοπτώσεων με παράλληλη άνοδο της θερμοκρασίας, οδήγησε σε μείωση της απορροής των υδάτων (**Runoff**) και της εδαφικής υγρασίας (**SOIL**) κατά 24.6 % και 3.4 % αντίστοιχα, αποτέλεσμα λογικό, καθώς υπάρχουν λιγότερες κατακρημνίσεις. Αύξηση παρουσιάστηκε στην πραγματική (**AET**) και στην δυνητική (**PET**) εξατμισοδιαπνοή της τάξης των 4.3 % και 12.2 % αντίστοιχα. Οι αυξομειώσεις των προαναφερθέντων τιμών και ο συνδυασμός αυτών, έχει ως φυσικό επακόλουθο μεγαλύτερες περιόδους ξηρασίας, όπως παρατηρείται και στο αντίστοιχο διάγραμμα.

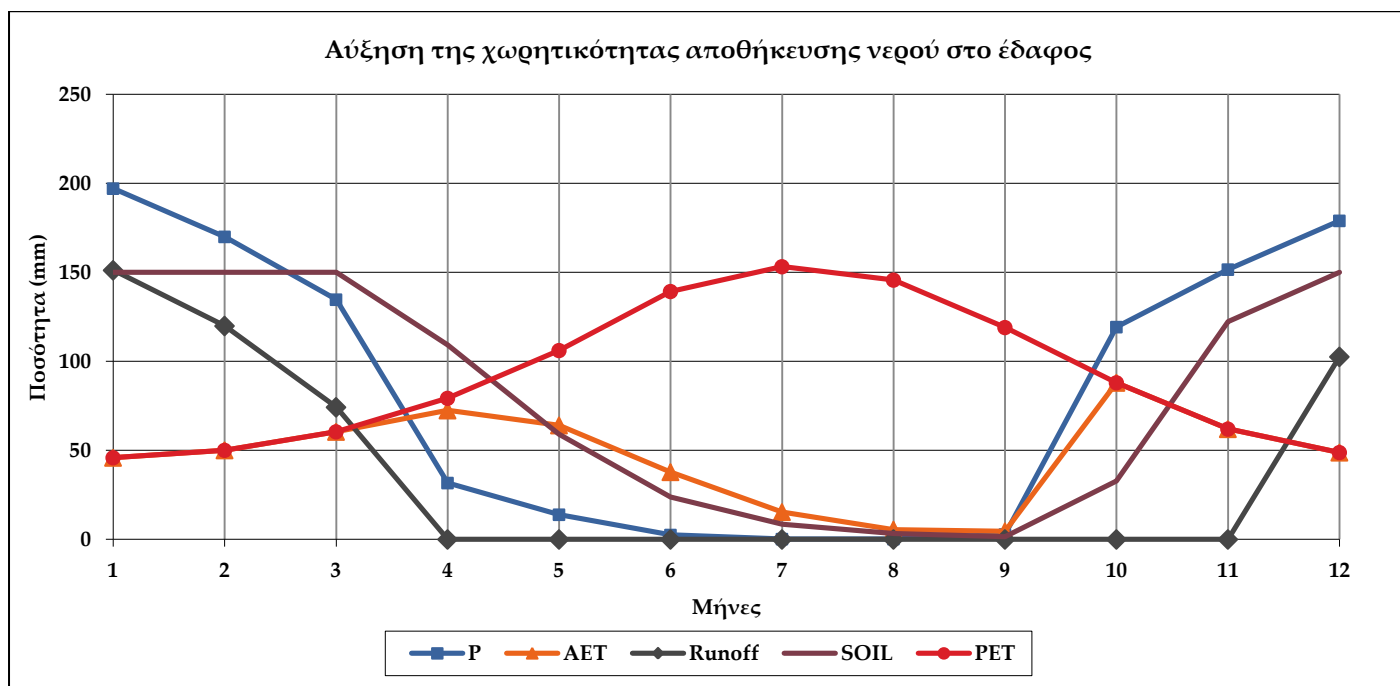
6.3. Αλλαγή της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού των εδαφών

Τέλος, μεταβάλλεται η χωρητικότητα αποθήκευσης νερού στο έδαφος, χωρίς να αλλάξει η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Έτσι, υπολογίζονται οι παράμετροι του υδατικού ισοζυγίου στις περιπτώσεις που υπάρχει παχύ στρώμα χώματος, δηλαδή σε πεδινές περιοχές, όπου η **AWC** είναι μεγαλύτερη και σε περιπτώσεις ύπαρξης λεπτού στρώματος χώματος, δηλαδή σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές, όπου η **AWC** λαμβάνει μικρότερες τιμές. Εφαρμόζοντας την παραπάνω πειραματική διαδικασία στα στοιχεία του Πίνακα 5, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

6.3.1. Αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού του εδάφους στα 150 mm

Μήνες	Κατακορημνίσεις P (mm)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή AET (mm)	Απορροή Runoff (mm)	Εδαφική υγρασία SOIL (mm)	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET (mm)	Θερμοκρασία T (°C)
Ιανουάριος	197.1	45.9	151.2	150.0	45.9	12.5
Φεβρουάριος	170.0	50.1	111.9	150.0	50.1	12.5
Μάρτιος	134.7	60.5	74.2	150.0	60.5	13.9
Απρίλιος	31.7	72.5	0.0	109.2	79.3	16.8
Μάιος	13.9	64.1	0.0	59.1	106.1	20.5
Ιούνιος	2.5	37.8	0.0	23.7	139.3	24.6
Ιούλιος	0.2	15.4	0.0	8.6	153.2	26.6
Αύγουστος	0.2	5.5	0.0	3.2	145.7	26.8
Σεπτέμβριος	2.8	4.5	0.0	1.5	119.0	24.7
Οκτώβριος	119.3	88.0	0.0	32.8	88.0	21.2
Νοέμβριος	151.6	62.0	0.0	122.4	62.0	16.9
Δεκέμβριος	179.0	48.8	102.6	150.0	48.8	13.9
Έτος	Σ=1003.0	Σ=555.0	Σ=448.0	Σ=960.5	Σ=1097.9	M.O.=19.2

Πίνακας 8: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος



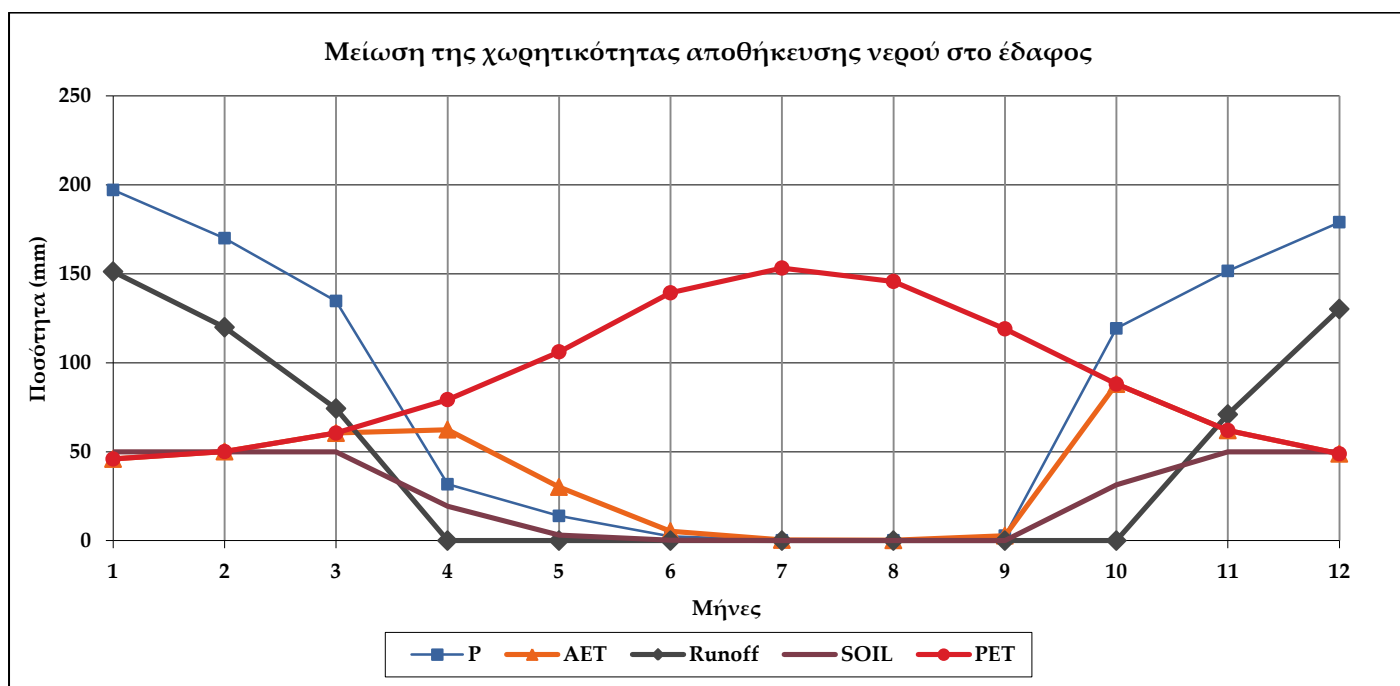
Εικόνα 10: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος

Η αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος στα 150 mm, οδήγησε σε αύξηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET) κατά 9.6 %, η οποία εντοπίζεται κυρίως τους μήνες Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο. Επίσης, υπήρξε σημαντική αύξηση στην εδαφική υγρασία (SOIL), της τάξης του 53.4 %, γεγονός το οποίο συνδέεται με τη μείωση της απορροής των υδάτων κατά 9.8 %.

6.3.2. Μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού του εδάφους στα 50 mm

Μήνες	Κατακρημνίσεις P (mm)	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή AET (mm)	Απορροή Runoff (mm)	Εδαφική υγρασία SOIL (mm)	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET (mm)	Θερμοκρασία T (°C)
Ιανουάριος	197.1	45.9	151.2	50.0	45.9	12.5
Φεβρουάριος	170.0	50.1	119.9	50.0	50.1	12.5
Μάρτιος	134.7	60.5	74.2	50.0	60.5	13.9
Απρίλιος	31.7	62.4	0.0	19.3	79.3	16.8
Μάιος	13.9	30.2	0.0	3.1	106.1	20.5
Ιούνιος	2.5	5.4	0.0	0.2	139.3	24.6
Ιούλιος	0.2	0.4	0.0	0.0	153.2	26.6
Αύγουστος	0.2	0.2	0.0	0.0	145.7	26.8
Σεπτέμβριος	2.8	2.8	0.0	0.0	119.0	24.7
Οκτώβριος	119.3	88.0	0.0	31.3	88.0	21.2
Νοέμβριος	151.6	62.0	70.9	50.0	62.0	16.9
Δεκέμβριος	179.0	48.8	130.2	50.0	48.8	13.9
Έτος	Σ=1003.0	Σ=456.5	Σ=546.5	Σ=303.9	Σ=1097.9	M.O.=19.2

Πίνακας 9: Παράμετροι υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος



Εικόνα 11: Γραφική αναπαράσταση του υδατικού ισοζυγίου μετά την μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος

Η μείωση της χωρητικότητας αποθήκευσης νερού στο έδαφος στα 50 mm, οδήγησε σε μείωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET) κατά 9.8 %, η οποία εντοπίζεται κυρίως τους μήνες Απρίλιο έως και Σεπτέμβριο. Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στην εδαφική υγρασία (SOIL), της τάξης του 51.5 %, γεγονός το οποίο συνδέεται με τη αύξηση της απορροής των υδάτων περίπου κατά 10 %.

Βιβλιογραφία - Πηγές

Copernicus, n.d. *Land Monitoring Service*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>

[Πρόσβαση 2021].

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, n.d. *Κλιματικός Ατλαντας της Ελλάδας*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>

[Πρόσβαση 2021].

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, n.d. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx>

[Πρόσβαση 2021].

Καραλής, Σ. Η., 2021. *Τεχνική Υδρολογία*, Αθήνα: Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής, ΠΑ.Δ.Α..