

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ
ΚΛΑΔΟΣ II
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΣΕ
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ
ΕΔΑΦΟΎΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μαρία Ν. Λαϊάκη, Γεωλόγος

Επιβλέπων: Ι. Τσίρος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2013

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ
ΚΛΑΔΟΣ II
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΣΕ
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ
ΕΔΑΦΟΎΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μαρία Ν. Λαϊάκη, Γεωλόγος

Επιβλέπων: Ι. Τσίρος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2013

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

“Συγκριτική μελέτη προσομοιώσεων υπολογιστικού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου σε περιοχές με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και εδαφοϋδρολογικά χαρακτηριστικά.”

Μαρία Ν. Λαϊάκη

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. ΤΣΙΡΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΜΕΛΗ: Γ. ΣΤΑΜΑΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

Ν. ΑΛΒΕΡΤΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ.Π.Α.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση περιοχών μέσω υπολογιστικού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες καθώς και εδαφοϋδρολογικά χαρακτηριστικά. Το μαθηματικό πρότυπο (υπολογιστικό μοντέλο SESOIL) που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στη δυναμική - στατιστική θεωρία υδατικού ισοζυγίου (θεωρία Eagleson). Οι προσομοιώσεις με το μαθηματικό μοντέλο έγιναν με χρήση μεγάλων χρονοσειρών υφιστάμενων κλιματικών δεδομένων από χαρακτηριστικές περιοχές. Έγινε λεπτομερής περιγραφή της κλιματικής κατάταξης των περιοχών (ταξινόμηση Köppen) και των κλιματικών δεδομένων τους. Ακολούθησε η παραμετροποίηση του υπολογιστικού μοντέλου. Στη συνέχεια, με τη χρήση του μοντέλου προσδιορίστηκαν οι παράμετροι: διήθηση, εξατμισοδιαπνοή, επιφανειακή απορροή και υπόγεια απορροή για κάθε εδαφικό τύπο σε κάθε περιοχή μελέτης σε ετήσια βάση. Στις περιοχές μελέτης, έγινε συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο σε επίπεδο κλιματικής περιοχής όσο και σε εδαφικό τύπο. Για τη στατιστική επεξεργασία, έγινε ανάλυση διασποράς και έλεγχος Kruskal-Wallis. Συγκεκριμένα, για κάθε μία από τις μεταβλητές πραγματοποιήθηκε: ανάλυση διασποράς με παράγοντα το μετεωρολογικό σταθμό και ανάλυση διασποράς με παράγοντα το έδαφος. Ο μη-παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis έγινε για τις μεταβλητές: διήθηση, εξατμισοδιαπνοή, επιφανειακή απορροή και υπόγεια απορροή. Οι εκτιμήσεις των διαφόρων παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου και τα συμπεράσματα που προέκυψαν μπορούν να αποβούν χρήσιμα σε αγροκλιματικές και υδρολογικές εφαρμογές και μελέτες.

Λέξεις-κλειδιά: υπολογιστικό μοντέλο, υδατικό ισοζύγιο, θεωρία Eagleson, μοντέλο Sesoil.

ABSTRACT

The purpose of this study is to compare the computational model water balance in areas characterized by different climatic conditions and soil properties. For the purposes of the present study, the dynamic statistical water balance theory of Eagleson was used which is employed in the SESOIL model. The model was applied to areas with different climatological conditions using long-term climatological data from standard meteorological stations. The data from the meteorological stations were grouped on the basis of climatic region using Köppen's system. For each climatic region, three different types of soil hydrology conditions were assumed. Then, the parameters: infiltration, evapotranspiration, surface runoff and groundwater runoff were estimated with the use of the model, for each soil type in each study area on annual basis. A comparative analysis of the results regarding climate regions and soil types along with statistical analyses of the results were also performed. The results of the present study may be useful for agrometeorological and agrohydrological applications.

Keywords: mathematical environmental modelling, water balance, Sesoil model, Eagleson.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική μελέτη προσομοιώσεων υπολογιστικού μοντέλου του υδατικού ισοζυγίου σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και εδαφοϋδρολογικά χαρακτηριστικά. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση μεγάλων χρονοσειρών κλιματικών δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών σε περιοχές με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Το μαθηματικό πρότυπο (μοντέλο) που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στη δυναμική - στατιστική θεωρία υδατικού ισοζυγίου του P. Eagleson.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της μελέτης έγινε από τον κ. Ιωάννη Τσίρο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, τον οποίο ευχαριστώ για την ουσιαστική καθοδήγηση και τις ανεκτίμητες παρατηρήσεις και συμβουλές του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Σταμάτη, Καθηγητή του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας και Γεωλογίας και τον κ. Νικόλαο Αλβέρτο, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Φυσικής, για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Επιθυμώ επίσης να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κ. Γεώργιο Παπαδόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Ανωτέρων Μαθηματικών & Θεωρητικής Μηχανικής για την πολύτιμη συμβολή του στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	- 8 -
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 8 -
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	- 9 -
3.1 ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	- 9 -
3.1.1. ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	- 9 -
3.1.2 ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	- 23 -
3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	- 27 -
3.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ	- 27 -
3.2.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	- 35 -
3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	- 36 -
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	- 37 -
5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 56 -
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 62 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	- 63 -

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση του υπολογιστικού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες καθώς και εδαφοϋδρολογικά χαρακτηριστικά.

Τα κεφάλαια που ακολουθούν αφορούν:

Κεφάλαιο 2: Σύντομη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά το υδατικό ισοζύγιο και τα μαθηματικά μοντέλα.

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου σε θεωρητικό και υπολογιστικό επίπεδο. Περιγραφή της κλιματικής κατάταξης των περιοχών και των κλιματικών δεδομένων τους και, τέλος, τον προσδιορισμό της παραμετροποίησης του μοντέλου.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων καθώς και τη στατιστική επεξεργασία τους.

Κεφάλαιο 5: Στατιστική επεξεργασία και συμπεράσματα της μελέτης.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Eagleson (1978) παρουσίασε ένα γενικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, μία αναλυτική περιγραφή ενός μονοδιάστατου υδρολογικού κύκλου, σε ετήσια βάση, ο οποίος βασίζεται σε δυναμικά μοντέλα των επιμέρους υδρολογικών διαδικασιών. Έκανε σύγκριση των προβλέψεων, σύμφωνα με το μοντέλο, με εμπειρικές παρατηρήσεις για χρονικό διάστημα πέντε χρόνων, με καταγραφές έντονης βροχόπτωσης σε περιοχές με υγρό και ξηρό κλίμα και προσδιορίστηκε άμεση συσχέτιση τους. Το μοντέλο είναι αρκετά ακριβές για να περιγράψει την απαραίτητη δυναμική του υδατικού ισοζυγίου, αλλά συγχρόνως και αρκετά απλό ώστε να επιτρέπει την αναλυτική επίλυση των εξισώσεων που υπεισέρχονται.

Το μοντέλο Sesoil αποτελεί την στατιστική αναλυτική προσέγγιση του ετήσιου υδατικού ισοζυγίου του Eagleson (1978) που συνδυάζει εδαφικό, ατμοσφαιρικό και “φυτικό” σύστημα (βλάστηση) .

Εφαρμογή του μοντέλου Sesoil και σύγκριση του με το μοντέλο Agtehm, δημιουργός του οποίου είναι οι Hetrick et al (1982), έγινε από τους Hetrick et al (1986) σε τέσσερις περιοχές με διαφορετικό τύπο εδαφών. Γενικά, τα αποτελέσματα των μοντέλων και οι πραγματικές μετρήσεις παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές των παραμέτρων: διήθησης, εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής και υπόγειας απορροής, εξαίρεση αποτελεί η εδαφική υγρασία.

Στην Ελλάδα, έχει γίνει εφαρμογή του μοντέλου στη λεκάνη του Πηνειού, στη Θεσσαλία (κεντρική Ελλάδα) από τους Bonazountas et al (2005). Τα υδατικά αποθέματα της περιοχής καλύπτουν τις τρεις βασικές χρήσεις: οικιακή, βιομηχανική και γεωργική. Το συνολικό μήκος του Πηνειού ποταμού είναι 206 km και η μέση ετήσια ροή 81 m³/s. Την περίοδο του καλοκαιριού, το ποτάμι δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής εξαιτίας της μειωμένης ροής του καθώς και της μόλυνσης του από την αγροχημική, οικιακή και βιομηχανική δραστηριότητα. Από τη σύγκριση των παρατηρήσεων και των εκτιμώμενων τιμών προκύπτει ότι το μοντέλο παρουσιάζει σε επαρκή βαθμό την πρόβλεψη της επιφανειακής απορροής και κατ' επέκταση της εξατμισοδιαπνοής και της υπόγειας απορροής.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

3.1.1. ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

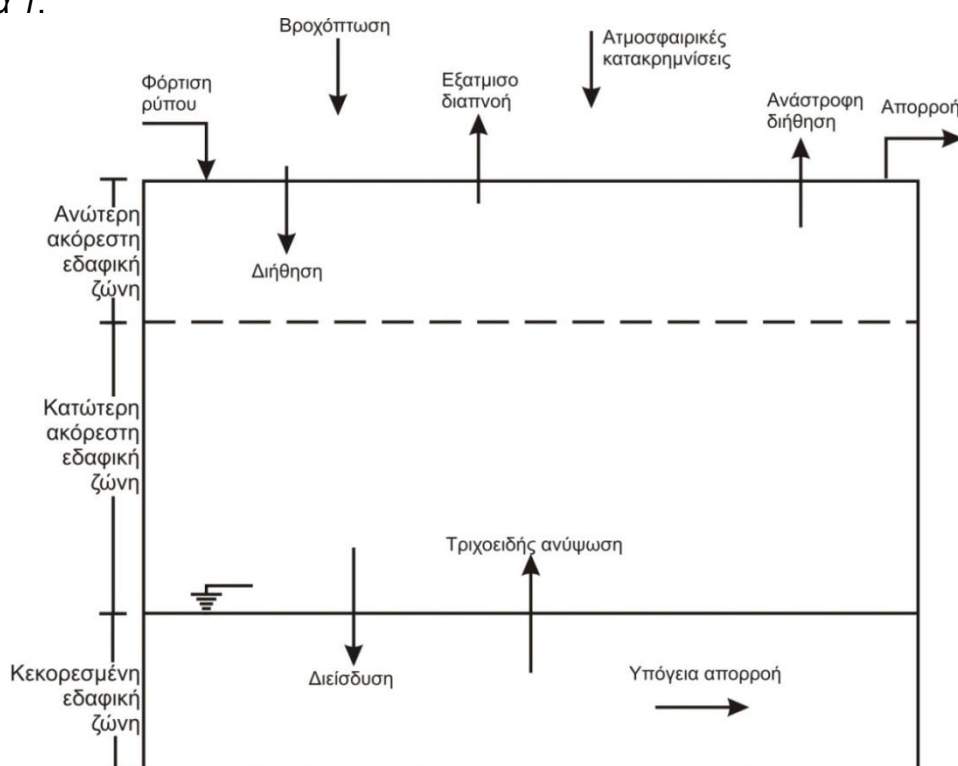
3.1.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα εργασία, η θεώρηση του υδρολογικού κύκλου βασίζεται στην θεωρία του Eagleson. Η εργασία του Eagleson παρουσιάζει ένα γενικό μοντέλο ετήσιου υδατικού ισοζυγίου βασισμένο σε απλοποιητικές παραδοχές για τις φυσικές διεργασίες και συνδυάζει το εδαφικό, ατμοσφαιρικό και φυτικό σύστημα.

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι αρκετά ακριβές για να περιγράψει την απαραίτητη δυναμική του συστήματος, αλλά παράλληλα απλό ώστε να επιτρέπει την αναλυτική επίλυση των εξισώσεων του. Το μοντέλο δίνει

στατιστική προσέγγιση στο συνδυασμό συστημάτων (για παράδειγμα, συσχέτιση εδαφικής υγρασίας με επιφανειακή απορροή) και είναι αρκετά απλό λόγω του μικρού αριθμού δεδομένων που απαιτεί.

Το μοντέλο προσομοιώνει τις επιφανειακές και τις υπόγειες διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου, όπως περιγράφονται από τους Bonazountas & Wagner στο σχήμα 1:



Σχήμα 1 - Διεργασίες υδρολογικού κύκλου, Bonazountas & Wagner (1984)

- Η βροχόπτωση (precipitation) περιλαμβάνει τη βροχή και το χιόνι.
- Η διήθηση (infiltration) εκφράζει την κίνηση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους μέσα στην εδαφική ζώνη. Κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος βροχής, ο ρυθμός διήθησης μειώνεται καθώς τα κενά του εδάφους γεμίζουν νερά. Συνήθως, περισσότερο από τη μισή ποσότητα νερού, που διηθείται, συγκρατείται στο έδαφος, μέχρι να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Ένα μέρος του διηθημένου νερού μπορεί να κινηθεί αργότερα διαμέσου της άνω εδαφικής ζώνης, ενώ ένα άλλο μέρος μπορεί να συγκρατηθεί προσωρινά σε κοιλότητες και μελλοντικά να τροφοδοτήσει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η ικανότητα της διήθησης είναι συνάρτηση της φυτικής κάλυψης, της μορφολογίας του εδάφους, συγκεκριμένα της

υφής, της δομής και του πορώδους του, καθώς και των υδρολογικών χαρακτηριστικών, όπως η εδαφική υγρασία.

- Η εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) εκφράζει τη μεταφορά νερού από το έδαφος, τη βλάστηση και τους υδάτινους αποδέκτες στην ατμόσφαιρα. Περιλαμβάνει δύο διαδικασίες, την ανάστροφη διήθηση (exfiltration) και τη διαπνοή (transpiration). Η διαπνοή είναι συνάρτηση της διαφοράς πίεσης υδρατμών ανάμεσα στον αέρα και την επιφάνεια των φύλλων. Φυτά με βαθιά ζώνη ριζοστρώματος συνεχίζουν να διαπνέουν και σε περιόδους ανεπαρκών βροχοπτώσεων.
- Η συγκράτηση (interception) εκφράζει την ποσότητα νερού που παραμένει στα φύλλα και στους κορμούς των φυτών. Αυτό το ποσό μπορεί να επιστρέψει ή να μην επιστρέψει με τη διαπνοή. Σε ένα μακροπρόθεσμο (long-term) υπολογισμό της επιφανειακής απορροής, οι ποσότητες του συγκρατούμενου νερού, κατά τη διάρκεια ενός απλού γεγονότος βροχής, είναι σχετικά μικρές. Η συγκράτηση είναι συνάρτηση του είδους και της έκτασης της βλάστησης, των εδαφικών και μετεωρολογικών χαρακτηριστικών.
- Η διείσδυση (percolation) προκαλεί τροφοδοσία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ο ρυθμός διείσδυσης είναι συνάρτηση κυρίως του ρυθμού διήθησης, της εδαφικής υγρασίας στην ακόρεστη εδαφική ζώνη και του βάθους του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων, η διείσδυση γίνεται αντίστροφη, δηλαδή τριχοειδής ανύψωση.

Οι θεμελιώδεις παραδοχές του μοντέλου είναι οι εξής:

- ⊙ Δεν λαμβάνεται υπόψη το χιόνι άμεσα, αλλά έμμεσα σαν ισοδύναμο ύψος βροχής.
- ⊙ Η επίδραση της βλάστησης λαμβάνεται υπόψη, μόνο ως προς το επίπεδο που επηρεάζει το μέτρο της ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας (albedo) και την επιφανειακή τραχύτητα.
- ⊙ Γίνεται μονοδιάστατη ανάλυση, που περιλαμβάνει μόνο κατακόρυφες διαδικασίες.

- Θ Όλες οι διαδικασίες είναι στατιστικές, όταν προσομοιώνονται σε ετήσιες διαδικασίες.

3.1.1.2. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Εξίσωση υδατικού ισοζυγίου

Το κατακόρυφο ισοζύγιο νερού σε μία μονάδα επιφανείας για ένα χρονικό διάστημα t είναι:

$$\int_0^t [i(t) - e_T(t) - v_s(t)] dt = \int_0^t [r_s(t) + r_g(t)] = \int_0^t y(t) dt \quad (1)$$

όπου

t : χρόνος

s : συγκέντρωση εδαφικής υγρασίας

$i(t)$: βροχόπτωση

$e_T(t)$: ρυθμός δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

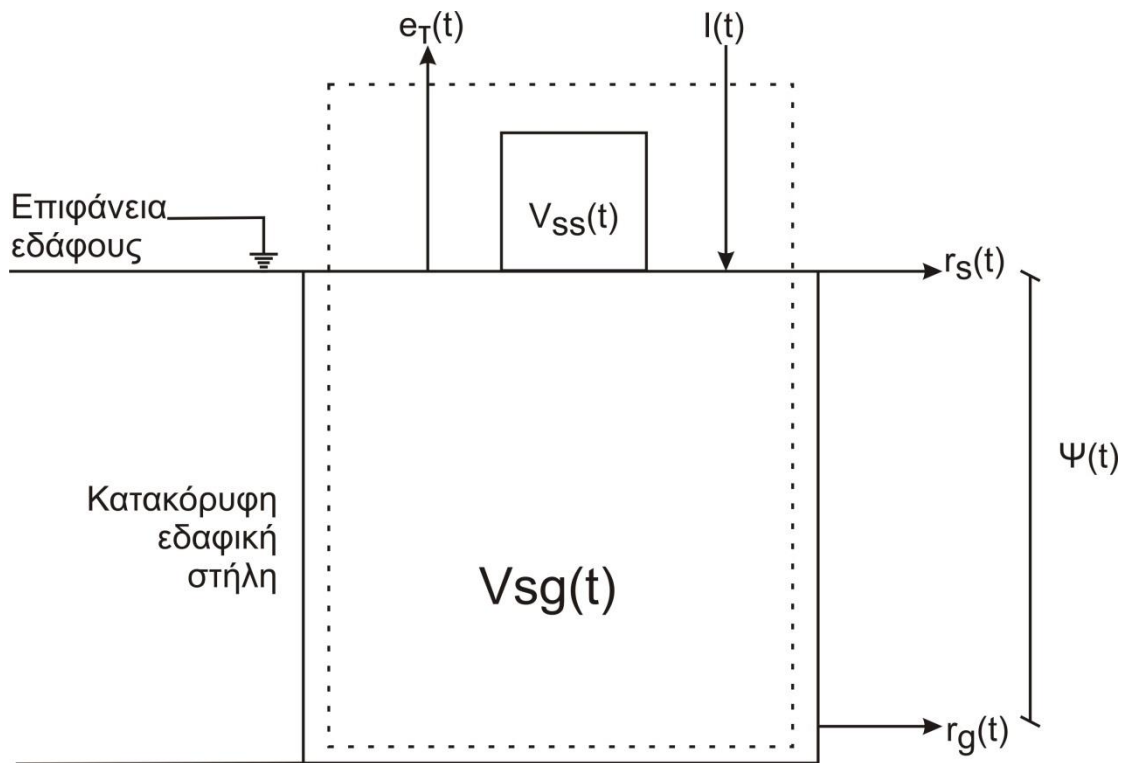
$v_s(t)$: ρυθμός αποθήκευσης υγρασίας στο έδαφος, στη βλάστηση, λίμνες κλπ.

$r_s(t)$: ρυθμός επιφανειακής απορροής

$r_g(t)$: ρυθμός υπόγειας απορροής

$y(t)$: ρυθμός απόδοσης

Σχηματική αναπαράσταση της εξίσωσης (1), σύμφωνα τον Eagleson (1978), φαίνεται στο *σχήμα 2*.



Σχήμα 2 - Συνιστώσες υδατικού ισοζυγίου, Eagleson (1978)

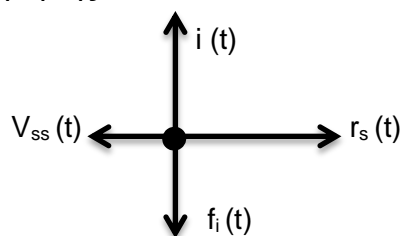
Οι συνιστώσες της βροχόπτωσης στην επιφάνεια του εδάφους αναλύονται στο σχήμα 3. Ισχύει η εξίσωση διατήρησης της μάζας:

$$\int_0^t i(t)dt - \int_0^t v_{ss}(t)dt - \int_0^t f_i(t)dt = \int_0^t r_s(t)dt \quad (2)$$

όπου

v_{ss} : ρυθμός συγκράτησης υγρασίας σε επιφανειακές κοιλότητες

$f_i(t)$: ρυθμός διήθησης



Σχήμα 3 - Συνιστώσες βροχόπτωσης στην επιφάνεια τους εδάφους, Eagleson (1978)

Υποθέτοντας πως η εξατμισοδιαπνοή προέρχεται από την επιφανειακή υγρασία και θεωρώντας μόνο τα συστήματα, που είναι στατικά σε ετήσιους μέσους όρους, προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση υδατικού ισοζυγίου:

$$E[P_A] - E[E_{TA}] = E[R_{SA}] + E[R_{GA}] = E[Y_A] \quad (3)$$

όπου

$E[X]$: μέσος όρος του μεγέθους X

P_A : ετήσια βροχόπτωση (βάθος, cm)

E_{TA} : ετήσια εξατμισοδιαπνοή (βάθος, cm)

R_{SA} : ετήσια επιφανειακή απορροή (βάθος, cm)

R_{gA} : ετήσια υπόγεια απορροή (βάθος, cm)

Y_A : ετήσια απόδοση (βάθος, cm)

Αν θεωρήσουμε ότι η εξάτμιση από τα νερά της επιφανειακής απορροής είναι αμελητέα, και αν αθροίσουμε για έναν αριθμό χρόνων, θα έχουμε ένα στατικό σύστημα και την εξίσωση:

$$E[P_A] - E[I_A] = E[R_{SA}] + E[E_{rA}] = E[R_{SA}^*] \quad (4)$$

όπου

I_A : ετήσια διήθηση, ίση με $\int_0^t f_i(t) dt$

E_{rA} : ετήσια απώλεια από επιφανειακή συγκράτηση

R_{SA}^* : ετήσιο πλεόνασμα βροχόπτωσης, ίσο με $R_{SA} + E_{rA}$

Αφαιρώντας τις εξισώσεις (3) και (4) μεταξύ τους έχουμε:

$$E[I_A] = E[E_{TA}] - E[E_{rA}] + E[R_{gA}] \quad (5)$$

Από τις (4) και (5) έχουμε:

$$I_A(P_A) = P_A - R_{SA}(P_A) = E_{TA}(P_A) + R_{gA}(P_A) \quad (6)$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}$
διήθηση βροχό- επιφανειακή εξατμισο- υπόγεια
πτωση απορροή διαπνοή απορροή

Η εξίσωση (6) ονομάζεται εξίσωση «εδαφικής υγρασίας s_0 », καθώς όλοι οι παράγοντες είναι συναρτήσεις της εδαφικής υγρασίας s_0 . Η εξίσωση περιέχει την παραδοχή σταθερής αποθήκευσης νερού στη δεδομένη περίοδο. Αυτή η παραδοχή είναι πιο κοντά στη πραγματικότητα σε ξηρά κλίματα, με εφήμερες βροχές, γιατί στο τέλος του χρόνου η αποθήκευση εδαφικής υγρασίας, παίρνει την ελάχιστη ετήσια τιμή.

Βροχόπτωση

Η διαδοχή γεγονότων βροχής αναπαρίσταται με μία κατανομή Poisson και ορθογωνικούς παλμούς. Η πιθανότητα να υπάρχει ένα γεγονός βροχής στο χρονικό διάστημα Δt είναι P και είναι αμελητέα για να υπάρχουν περισσότερα από ένα γεγονότα. Αυτό οδηγεί στην διωνυμική κατανομή της πιθανότητας $P_{\theta}(v)$ με $\theta=v$ βροχές σε συνολικό χρονικό διάστημα $t=m*\Delta t$ και $P_{\theta}(v)=(m/v)P^v(1-P)^{m-v}$ (7)

με μέση τιμή $E[\theta]=m$ και σκέδαση $Var[\theta]=mp(1-p)$

Αν θεωρήσουμε ότι $\Delta t \rightarrow 0$ τότε $P \rightarrow 0$ και $m \rightarrow \infty$ και $m.p = \omega.t$ όπου ω : ο μέσος όρος άφιξης γεγονότων βροχής.

Η εξίσωση (7) με κατανομή Poisson, μετατρέπεται σε

$$\frac{P_{\theta}(v)}{t^{(v)}} = \left\{ \frac{[(\omega t)^v e^{-\omega t}]}{v!} \right\} \quad v = 1, 2, 3.. \quad (8)$$

για μία πιθανότητα v βροχών σε t διάστημα. Με τις παραπάνω παραδοχές προκύπτει η αθροιστική συνάρτηση κατανομής για την σημειακή βροχόπτωση:

$$Prob \left[\frac{P_A}{m_{PA}} < z \right] = e^{-\omega m_{\tau}} \left[1 + \sum_{v=1}^{\infty} \frac{(\omega m_{\tau})^v}{v!} P[vk, \omega m_{\tau} kz] \right] \quad (9)$$

όπου

P_A : συνολική ετήσια βροχόπτωση (cm)

m_{PA} : μέση ετήσια βροχόπτωση (cm)

ω : ρυθμός άφιξης βροχών (days^{-1})

m_{τ} : μέση διάρκεια εποχής βροχοπτώσεων (days)

k : παράμετρος σχήματος της κατανομής γάμμα που ακολουθούν τα ύψη βροχής (h)

v : αριθμός βροχών

$P[,]$: ατελής γ -συνάρτηση του Pearson, όπου $P[\alpha, x] = \gamma[\alpha, x] / \Gamma(\alpha)$

z: ρ / m_{PA}

ρ : τιμή ετήσιας βροχόπτωσης (τυχαία μεταβλητή της P_A)

Γίνεται παραδοχή ότι τα ύψη βροχής ακολουθούν την γ -κατανομή καθώς περιγράφει αρκετά καλά τα πραγματικά δεδομένα και είναι αρκετά απλή, ώστε να λύνεται αναλυτικά.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής αυτής είναι:

$$f_H(h) = G(k, \lambda) = \frac{\lambda(\lambda h)^{k-1} e^{-\lambda h}}{\Gamma(k)} \quad (9)$$

με μέση τιμή $m_H = \frac{k}{\lambda} = \frac{m_{PA}}{\omega m_\tau}$ και σκέδαση $\sigma_H^2 = \frac{k}{(\lambda)^2}$

όπου

h: ύψος βροχής (cm)

λ : παράμετρος της γ -κατανομής του ύψους βροχής ίση με k/m_H (cm^{-1})

Η εξίσωση αναπαριστά με αρκετή ακρίβεια τη σχέση πιθανότητας πραγματικών ετήσιων βροχοπτώσεων για ξηρά και υγρά κλίματα.

Εδαφική Διήθηση

Μία σειρά από παραδοχές είναι απαραίτητες για να προσδιοριστούν οι στατιστικές εξισώσεις για την τριχοειδή ανύψωση, τη διήθηση, την ανάστροφη διήθηση και τη διείδυση (τροφοδοσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα):

- ✓ Το έδαφος είναι ομογενές.
- ✓ Δεν υπάρχει βλάστηση, χιόνι ή πάγος.
- ✓ Η κίνηση των υδρατμών θεωρείται αμελητέα.
- ✓ Η εδαφική ζώνη είναι πρακτικά άπειρη, όσον αφορά τις διαδικασίες της διήθησης και της ανάστροφης διήθησης.
- ✓ Η εδαφική υγρασία είναι χωρικά ομοιόμορφη στην αρχή κάθε βροχής και στο μεσοδιάστημα μεταξύ βροχών με τιμή 50, που δίνεται από μακροπρόθεσμο χρονικό και χωρικό μέσο όσο.

- ✓ Οι διαδικασίες της διήθησης (διήθηση, ανάστροφη διήθηση, τριχοειδή ανύψωση και διήθηση λόγω βαρύτητας) θεωρούνται στατιστικά ανεξάρτητες.
- ✓ Η διήθηση περιγράφεται από την εξίσωση Phillip.

Τριχοειδή ανύψωση από τον υπόγειο ορίζοντα (Capillary Rise from the water table)

$$w = \frac{mc + \frac{1}{2}}{mc - 1} K(1) \frac{\Psi(1)^{mc}}{Z} \quad (10)$$

$$\Psi(1) = \frac{\sigma_w}{\gamma_w} \frac{n}{k(1)\Phi(c)}^{1/2} \quad (11)$$

όπου

w: ταχύτητα τριχοειδούς ανύψωσης (cm / sec)

m: δείκτης κατανομής πόρων (-)

n: ενεργό πορώδες, ο λόγος του όγκου των κενών διαμέσου των οποίων μπορεί να κινηθεί το υπόγειο νερό ως προς το συνολικό όγκο του εδάφους (-)

c: δείκτης ασυνέχειας πόρων (-)

K(1): υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμένου εδάφους = $\frac{\gamma_w k(1)}{\mu_w}$ (cm / sec)

k(1): μέση πραγματική διαπερατότητα εδάφους κορεσμένου εδάφους (cm²)

Ψ(1): δυναμικό δυναμικού εδάφους (cm)

Z: βάθος υπόγειου ορίζοντα (cm)

σ_w: επιφανειακή τάση υδρατμών (dynes / cm)

Φ: παράμετρος σχήματος πόρων (-)

γ_w: ειδικό βάρος του νερού (dynes / cm³)

μ_w: δυναμικό ιξώδες ρευστού (poises)

Διήθηση (infiltration)

$$f_i(t, s_o) = (1 - s_o) \left[\frac{5nK(1)\Psi(1)\varphi_i(d, s_o)}{3\pi mt} \right]^{1/2} + \left(\frac{1}{2} \right) K(1)[1 + (s_o)^c]^{-w} \quad (12)$$

$$\varphi_i = 10 * \exp\left(0.66 + \frac{0.55}{m} + \frac{0.14}{m^2}\right) \quad (13)$$

όπου

f_i: ταχύτητα διήθησης (cm / sec)

n: ενεργό πορώδες (-)

ϕ_i : συνάρτηση διάδοσης διήθησης (-)

d: $c-1-(1/m)$

Ανάστροφη διήθηση (exfiltration)

$$f_e(t, s_o) = s_o^{1+\frac{d}{2}} \frac{nK(1)\Psi(1)\phi_e(d)^{1/2}}{\pi m t} + w \quad (14)$$

όπου

f_e : φαινομενική ταχύτητα ανάστροφης διήθησης (cm / sec)

ϕ_e : συνάρτηση διάδοσης ανάστροφης διήθησης (-)

Διείσδυση στον υπόγειο ορίζοντα (percolation to water table)

$$v(s_o) = K(1)s_o^c - w \quad (15)$$

όπου v: φαινομενική ταχύτητα διείσδυσης (cm / sec)

Ετήσια διήθηση και επιφανειακή απορροή

Οι κύριες παραδοχές είναι:

- ✓ Δεν γίνεται εξάτμιση από το νερό που συγκρατείται επιφανειακά.
- ✓ Δεν γίνεται διήθηση από το νερό, που συγκρατείται επιφανειακά, μετά την παύση της βροχόπτωσης.
- ✓ Δεν γίνεται είσοδος νερού από άλλες περιοχές.
- ✓ Η εδαφική υγρασία s_o είναι ομοιόμορφη στην αρχή κάθε βροχής.
- ✓ Η ένταση βροχής i και η διάρκεια t_r είναι στατιστικά ανεξάρτητες.

Μέση ετήσια επιφανειακή απορροή $E(R_{SA})$ (Annual Average Surface Runoff)

$$\frac{E[R_{SA}]}{mPA} = e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) / \sigma^\sigma \quad (16)$$

όπου

$$\sigma = \left[\frac{5n\eta^2 K(1)\Psi(1)(1-s_o)^2 \phi_i(d, s_o)}{6\pi\delta m} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$G = \left(\frac{aK(1)}{2} \right) [1 + (s_o)^c] - aw$$

η^{-1} : m_H , μέσο ύψος βροχής (cm)

δ^{-1} : m_{tr} , μέση διάρκεια βροχής (sec)

α^{-1} : m_H/m_{tr} , μέση έκταση βροχής (cm / sec)

Πραγματική διήθηση (Net infiltration)

$$E[I_A] = m_{PA} - E[R_{SA}] \quad (17)$$

$$\frac{E[I_A]}{E[PA]} = 1 - e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) / \sigma^\sigma = 1 - \xi \quad (18)$$

Δυναμική εξατμισοδιαπνοή

Οι κύριες παραδοχές είναι:

- ✓ Η εξίσωση ισορροπίας ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αντικαθιστώντας τις μεταβλητές με τους μέσους όρους τους.
- ✓ Οι μέσοι ρυθμοί μετάδοσης ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας είναι μηδέν.
- ✓ Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους μπορεί να αμεληθεί.

Ο μέσος ρυθμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση Penman για ενεργειακό ισοζύγιο:

$$e_p = \frac{q_i(1-A) - q_b + H}{\rho_e L_e (1 + \frac{\gamma}{\Delta})} \quad (19)$$

όπου

q_i : μέσος ρυθμός πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη ακτινοβολία (ly / min)

q_b : μέσος ρυθμός εκπομπής γήινης ακτινοβολίας (ly / min)

H : μέση υπολειμματική ροή αισθητής ενέργειας (ly / min)

A : μικρού μήκους κύματος albedo επιφανείας

ρ_e : πυκνότητα εξατμιζόμενου νερού (g / cm³)

L_e : θερμότητα εξάτμισης (cal / gr)

γ/Δ : ατμοσφαιρική παράμετρος (συνάρτηση θερμοκρασίας)

Την ετήσια εξατμισοδιαπνοή $E[E_{TA}]$ υπολογίζουμε με τις εξής παραδοχές:

- ✓ Εξάτμιση γίνεται μόνο από το νερό που έχει αρχικά διηθηθεί.
- ✓ Δεν υπάρχει επίδραση της βλάστησης στην κίνηση εδαφικής υγρασίας στην επιφάνεια.
- ✓ Η εδαφική υγρασία είναι ομοιόμορφη s_0 στην αρχή κάθε βροχής.
- ✓ Η απόκλιση του μέσου ρυθμού της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής είναι αμελητέα.
- ✓ $e_p \gg w$

$$\frac{E[E_{TA}]}{m_{PA}} = J(E) = 1 - \left[1 + 2^{\frac{1}{2}} E \right] e^{-E} + (2E)^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{3}{2}, E\right) \quad (20)$$

όπου

$$E = \frac{[2\beta n K(1)\Psi(1)\varphi_e(d)]}{[\pi m(e_p - w)^2]} (s_0)^{d+2}$$

β^{-1} : m_{tb} μέσος χρόνος μεταξύ βροχών (sec)

E : παράμετρος ανάστροφης διήθησης

Υπόγεια απορροή

Οι κύριες παραδοχές είναι οι εξής:

- ✓ Η διείσδυση στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της υγρής εποχής και μηδέν κατά τη διάρκεια της ξηράς εποχής.
- ✓ Η τριχοειδής ανύψωση από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα είναι σταθερή όλο το χρόνο.
- ✓ Το βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα είναι σταθερό $z = Z$

$$\frac{E[R_{gA}]}{m_{PA}} = \frac{m_r K(1)}{m_{PA}} (s_0)^2 - \frac{T_w}{m_{PA}} \quad (21)$$

Ετήσια εξίσωση υδάτινου ισοζυγίου

Το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο δίνεται από την εξίσωση:

$$E[I_A(s_o)] = E[E_{TA}(s_o)] + E[R_{gA}(s_o)] \quad (22)$$

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της μέσης ετήσιας καθαρής διήθησης, της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και της υπόγειας απορροής έχουμε:

$$[1 - e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) \sigma^{-\sigma}] = \frac{E_{PA}}{P_A} J(E) + \frac{m_{TK(1)}}{P_A} (s_o)^c - \frac{T_w}{P_A} \quad (23)$$



βροχόπτωση διήθηση επιφανειακή απορροή εξατμισοδιαπνοή υπόγεια απορροή

Η εξίσωση χρησιμοποιείται για να ορισθεί η εξαρτημένη μεταβλητή, s_o , που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει τους όρους του υδατικού ισοζυγίου συναρτήσει ανεξάρτητων παραμέτρων κλίματος και εδάφους.

Η ετήσια απόδοση νερού Y_A είναι:

$$Y_A(P_A) = R_{SA}[s_o(P_A)] + R_{gA}[s_o(P_A)] = g(P_A) \quad (24)$$

3.1.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΙΣΟΔΟΣ/ΕΞΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο περιλαμβάνει:

- ⊙ Υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας, s_o , βάσει των κλιματολογικών εδαφικών δεδομένων.
- ⊙ Υπολογισμό όλων των όρων του υδατικού ισοζυγίου βάσει της γνωστής εδαφικής υγρασίας, s_o .

Η εδαφική υγρασία s_o , υπολογίζεται από τη γνωστή εξίσωση υδατικού ισοζυγίου:

$$(1 - e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) \sigma^{-\sigma}) = \frac{E_{PA}}{m_{PA}} + \frac{m_{TK(1)}}{m_{PA}} (s_o)^c - \frac{T_w}{m_{PA}} \quad (25)$$

Λαμβάνοντας υπόψη την διήθηση, τροφοδοσία, απώλεια, βροχόπτωση, επιφανειακή απορροή, εξατμισοδιαπνοή, υπόγεια απορροή.

Οι μεταβλητές εισόδου του μοντέλου είναι:

1. Κλιματολογικά δεδομένα

e_p (cm/day): ρυθμός εξατμισοδιαπνοής

L (°N): γεωγραφικό πλάτος περιοχής

T_a (°C): μέση ετήσια θερμοκρασία

S (ποσοστιαία): μέση ετήσια υγρασία αέρα

A (-): λευκαύγεια (albedo)

NN (ποσοστιαία): ποσοστό ωρών συννεφιάς

2. Δεδομένα βροχόπτωσης

m_{PA} (cm): μέση ετήσια βροχόπτωση

m_{tr} (days): μέση ετήσια διάρκεια βροχής

m_v (#): μέσος αριθμός γεγονότων βροχής ανά χρόνο

m_T (days): μέση διάρκεια εποχής βροχών

3. Εδαφολογικά δεδομένα

$k(1)$ (cm²): μέση πραγματική διαπερατότητα εδάφους κορεσμένου εδάφους

c (-): δείκτης ασυνέχειας πόρων εδάφους

n (-): μέσο πορώδες εδάφους

Οι μεταβλητές εξόδου του μοντέλου, εκφρασμένες σε ετήσιους μέσους όρους, είναι:

- s_o (-): εδαφική υγρασία
- $P_A = m_{PA}$ (cm): βροχόπτωση

$$P_A = \frac{[E[E_{PA}]J(E)+m_T K(1)(s_o)^c - T w]}{[1-e^{-G \xi}]} \quad (26)$$

όπου $\xi = e^{-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) / \sigma$

- I_A (cm): διήθηση

$$\frac{I_A}{P_A} = 1 - e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) \sigma^{-\sigma} \quad (27)$$

- E_{TA} (cm): εξατμισοδιαπνοή

$$\frac{E_{TA}}{P_A} = E_{PA} J(E) P_A \quad (28)$$

- R_{SA} (cm): επιφανειακή απορροή

$$\frac{R_{SA}}{P_A} = e^{-G-2\sigma} \Gamma(\sigma + 1) \sigma^{-\sigma} \quad (29)$$

- P_{GA} (cm): υπόγεια απορροή

$$\frac{R_{GA}}{P_A} = \frac{m_T K(1)}{P(A)} (S_0)^c - \frac{T_w}{P_A} \quad (30)$$

- Y_A (cm): ολική απόδοση

$$\frac{Y_A}{P_A} = \frac{P_{SA} + R_{GA}}{P_A} = 1 - \frac{E_{PA}}{P_A} \quad (31)$$

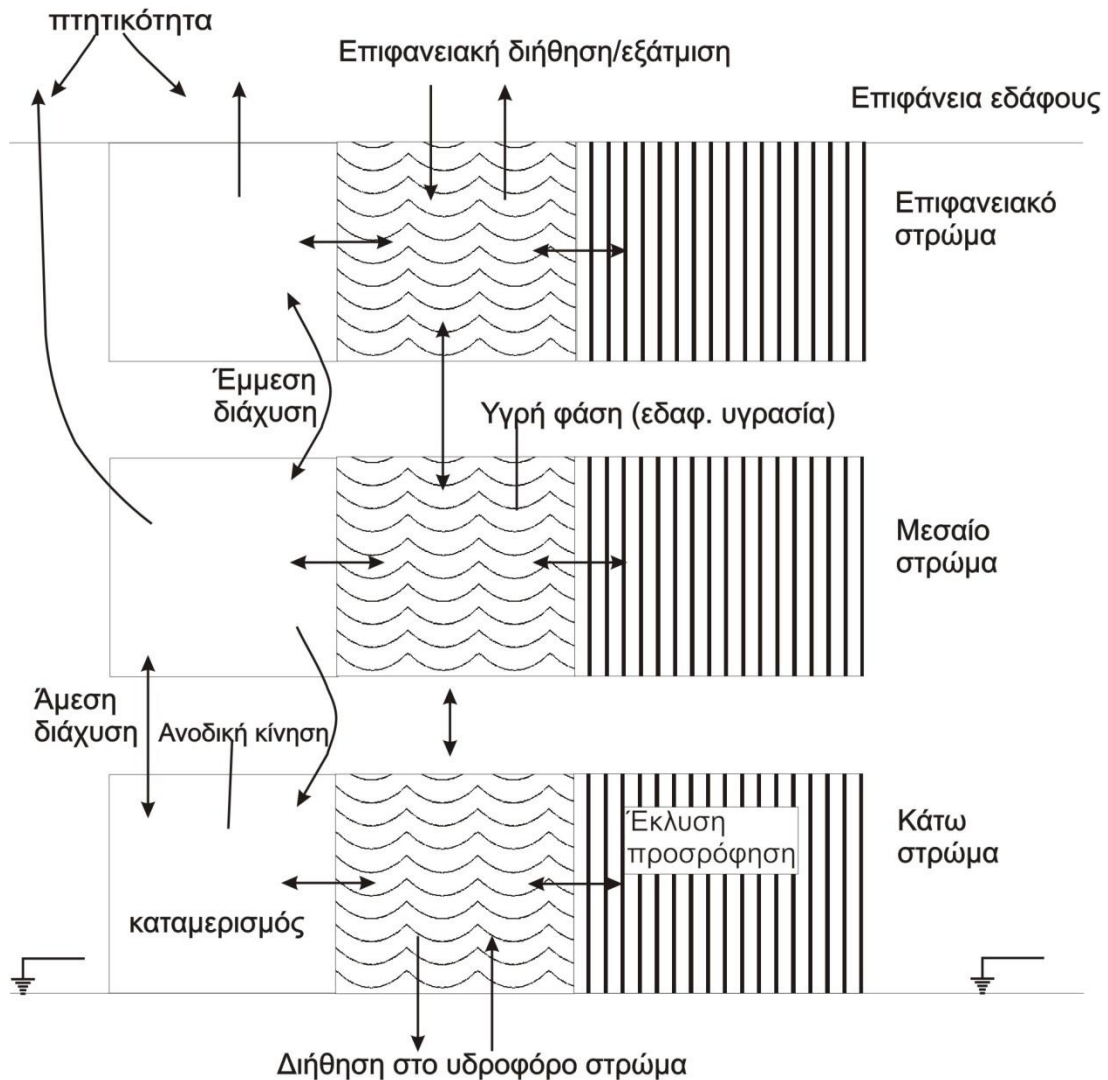
3.1.2 ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Στην παρούσα εργασία, το θεωρητικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου του Eagleson που περιγράφηκε προηγουμένως, χρησιμοποιήθηκε έτσι όπως αυτό έχει δομηθεί στο περιβαλλοντικό μοντέλο Sesoil (Hetrick et al. 1989)

Το Sesoil βασίζεται στο σκεπτικό διαμερισματικής ανάλυσης, όπως περιγράφεται στο *σχήμα 4*. Σε ένα διαμερισματικό μοντέλο, αντί της γενικής εξίσωσης ή συστήματος εξισώσεων που περιγράφουν την εξέλιξη μιας μεταβλητής μέσα σε ένα σύστημα, πραγματοποιούνται τα εξής βήματα:

- Διαχωρίζεται το βασικό διαμέρισμα σε υποδιαμερίσματα,
- Προσδιορίζονται οι εξισώσεις περιγραφής υδρολογικού κύκλου και ποιότητας για κάθε υποδιαμέρισμα χωριστά,

- Διαμορφώνεται το μοντέλο δυναμικής σύγχρονης ισορροπίας μεταξύ των υποδιαμερισμάτων και των διαδικασιών, και
- Συναθροίζονται συστήματα πολλών βασικών διαμερισμάτων για τη διαμόρφωση του εδαφικού χώρου, που αποτελεί το διαμερισματικό μοντέλο.



ΑΕΡΑΣ ΝΕΡΟ ΕΔΑΦΟΣ

Σχήμα 4 - Διαχωρισμός βασικού διαμερίσματος σε υποδιαμερίσματα, Bonazountas & Wagner (1984)

Το Sesoil χαρακτηρίζεται ως εποχιακό (seasonal) καθώς εκτιμά την κατανομή υγρασίας στην εδαφική ζώνη μετά από ορισμένη χρονική περίοδο, για παράδειγμα μήνας ή χρόνος, απευθείας και όχι αθροίζοντας τις εκτιμήσεις μετά από κάθε κύριο γεγονός βροχής, όπως τα υπάρχοντα μέχρι σήμερα

βιβλιογραφικά μοντέλα. Με τον τρόπο αυτό έχουμε εξοικονόμηση χρόνου καθώς και αριθμού δεδομένων εισόδου H/Y.

Το Sesoil σχεδιάστηκε με σκοπό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν:

- ✓ Μοντέλο ακόρεστης εδαφικής ζώνης (unsaturated soil zone model),
- ✓ Μοντέλο επιφανειακής απορροής (watershed model), και
- ✓ Μοντέλο εδαφικού υδροφόρου στρώματος (groundwater model).

Το Sesoil μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν αυτοδύναμο διαμερισματικό μοντέλο εδαφικής ζώνης είτε σε συνδυασμό με άλλα ατμοσφαιρικά ή υδατικά μοντέλα για το σχηματισμό ενός μοντέλου πολλών μέσων (multi-media model).

Οι προσομοιώσεις με το Sesoil δεν απαιτούν επίπονη και χρονοβόρα ρύθμιση παραμέτρων, για να συμφωνούν τα αποτελέσματα του με μετρημένες τιμές. Επίσης, δεν υπάρχουν πρακτικοί περιορισμοί στο μέγεθος και το σχήμα της εδαφικής ζώνης που θα επιλεγεί. Σε περίπτωση που επιλεγεί σχετικά μικρή εδαφική ζώνη, τότε το Sesoil λειτουργεί σαν αριθμητικό μοντέλο, σε αντίθετη περίπτωση μεγάλης ζώνης, γίνεται ένα διαμερισματικό μοντέλο επιφανειακής απορροής, παρ' όλου που δεν λαμβάνεται υπόψη η χωρική κατανομή της βροχής.

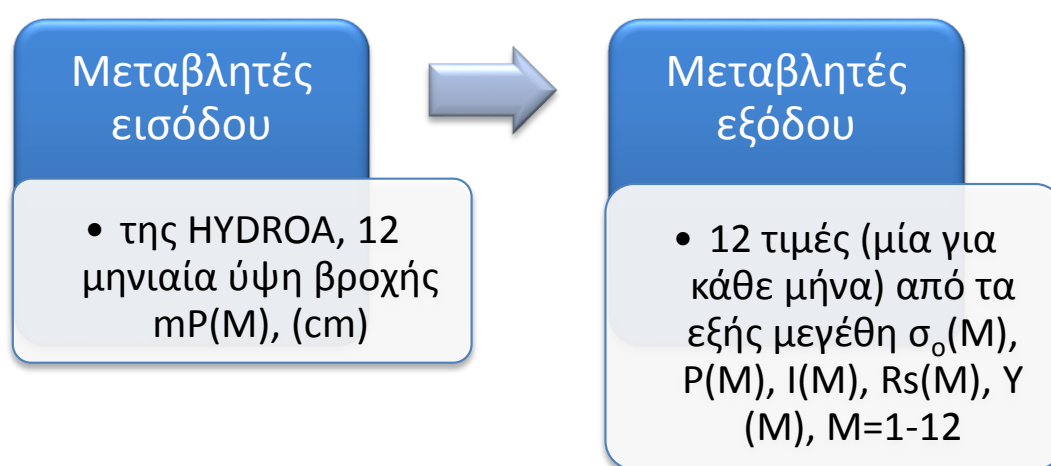
Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει κυρίως τις διεργασίες βροχής, διήθησης, ανάστροφης διήθησης, επιφανειακής απορροής, εξατμισοδιαπνοής, συμπεριφοράς εδαφικής υγρασίας, φόρτιση υδροφόρου ορίζοντα, τριχοειδούς ανύψωσης από τον υδροφόρο ορίζοντα κ.α.

Η υδρολογία του εδαφικού διαμερίσματος του Sesoil μπορεί να προσομοιωθεί σε ετήσια βάση και μηνιαία βάση. Οι προσομοιώσεις γίνονται με τη βοήθεια δύο υδρολογικών υπορουτίνων της HYDROA (ετήσια - option A) και της HYDROM (μηνιαία - option M). Η δεύτερη είναι επέκταση της πρώτης.

Στην υπορουτίνα HYDROM (μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο) για να μειωθεί το χρονικό διάστημα προσομοίωσης από ένα χρόνο σε ένα μήνα, μέχρι τώρα γινόταν εφαρμογή αριθμητικής λύσης πεπερασμένων διαφορών στη βασική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, στην προσπάθεια να ελαττωθεί η χρονική

κλίμακα των εξισώσεων. Για να αποφύγουμε όμως τις αριθμητικές επιλύσεις εξισώσεων, το Sesoil κάνει χρονική ανάλυση των εξισώσεων του, αυξάνοντας την κλίμακα του.

Η υδρολογική υπορουτίνα HYDROM χρησιμοποιεί την υπορουτίνα HYDROA 12 φορές για 12 τυπικούς χρόνους. Κάθε τυπικός χρόνος έχει βροχόπτωση 12 φορές τη βροχόπτωση του μήνα που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Στο τέλος αυτού του τυπικού χρόνου προσομοίωσης, οι ετήσιες μεταβλητές P_A , I_A , E_{TA} , R_{SA} , R_{GA} διαιρούνται διά 12 για να υπολογίσουμε τις μηνιαίες τιμές του θεωρούμενου μήνα, όπως φαίνεται στο *σχήμα 5*.



Σχήμα 5 - Η επέκταση του ετήσιου υδατικού ισοζυγίου σε μηνιαία βάση

Θεωρώντας την παραπάνω παραδοχή, η αποθήκευση εδαφικής υγρασίας στο τέλος του μήνα γίνεται σημαντική. Για να υπολογίσουμε αυτή τη μεταφορά της εδαφικής υγρασίας από το χρόνο $t-1$ στο χρόνο t , προστέθηκε ένας όρος αποθήκευσης εδαφικής υγρασίας $\Delta s_o = Z n [s_o(t) - s_o(t-1)]$ στην εξίσωση της βροχόπτωσης με σκοπό να ληφθεί υπόψη το έλλειμα ή η περίσσεια υγρασίας στο τέλος του μήνα.

Στην περίπτωση που ισχύει $m_{PA} = 0$, σύμφωνα με τη θεωρία του Eagleson, όπου $m_T \rightarrow 0$ και πολλές παράμετροι $(\alpha, \delta, \sigma, G) \rightarrow \infty$. Στην περίπτωση αυτή οι συναρτήσεις $\sigma(t-1)$ και $G(t-1)$ του προηγούμενου χρονικού βήματος $t-1$ χρησιμοποιούνται και για το χρονικό βήμα t .

3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.2.1. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί και τα χαρακτηριστικά τους που μελετήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Station Name	Athens	Atlanta	Buffalo	Burlington
State	Georgia	Georgia	New York	Vermont
ID	8	9	53	50
Time Year	57-88	48-88	48-88	48-88
% Cov	95	98	98	98
Lat	33:57	33:39	42:56	44:28
Long	83:19	84:26	78:44	73:09
Elev ft	800	1010	710	330
P _a in	49,72	48,25	37,92	33,94
Station Name	Daytona beach	Ely	Knoxville	Mobile
State	Florida	Nevada	Tennessee	Alabama
ID	69	17	24	63
Time Year	42-88	48-88	48-88	58-88
% Cov	98	98	98	94
Lat	29:44	39:17	35:48	30:41
Long	85:02	114:51	84:00	88:15
Elev ft	20	6260	950	210
P _a in	54,6	9,46	46,08	65,14
Station Name	Portland	Raleigh	Rochester	Seattle
State	Maine	North Carolina	New York	Washington
ID	49	20	70	63
Time Year	48-88	48-88	48-88	64-88
% Cov	98	98	98	96
Lat	43:39	35:52	43:07	47:27
Long	70:19	78:47	77:40	122:18
Elev ft	10	380	550	450
P _a in	43,51	41,5	31,49	37,1
Station Name	Spokane	Tucson		
State	Washington	Arizona		
ID	39	2		
Time Year	48-88	48-88		
% Cov	98	98		
Lat	47:38	32:08		
Long	117:32	110:57		
Elev ft	2360	2580		
P _a in:	16,81	11,61		

Πίνακας 1 - Μετεωρολογικοί σταθμοί.

Σήμερα, σύμφωνα με την άποψη πολλών κλιματολόγων, η κατάταξη του κλίματος κατά Köppen και Thornthwaite θεωρούνται οι επικρατέστερες. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η κατάταξη κατά Köppen, όπως περιγράφεται παρακάτω από τους Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας (2010).

Ο Γερμανός βιολόγος Vladimir Köppen (1846-1940), ρωσικής καταγωγής, αφιέρωσε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στη μελέτη κλιματολογικών θεμάτων. Η προσπάθειά του να συσχετίσει το κλίμα με τη βλάστηση αποτέλεσε το υπόβαθρο για την αρχική κλιματική κατάταξη του, γύρω στα 1900.

Το 1918 ο Köppen παρουσίασε την ομώνυμη κλιματική ταξινόμηση, η οποία μετά από μερικές βελτιώσεις αποτελεί σήμερα την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση στην κλιματολογία. Το κλιματικό πλαίσιο βασίζεται στο ετήσιο ύψος βροχής με την κατανομή του μέσα στο έτος και στις μηνιαίες και ετήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα. Η κατάταξη παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι είναι απλή στην εφαρμογή της και χρησιμοποιεί κλιματικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς.

Το κριτήριο προσδιορισμού του κλίματος μιας περιοχής, με βάση τη θερμοκρασία και τη βροχή, αποτέλεσε η φυσική βλάστηση. Είναι γεγονός ότι συγκεκριμένα είδη φυτών παρουσιάζουν περιορισμό στην εξάπλωσή τους, με περιορισμό την επικράτηση συγκεκριμένων συνθηκών θερμοκρασίας και βροχής. Οι δύο παράμετροι εξετάζονται χωριστά η καθεμία και σε συνδυασμό, αποτελούν το κύριο κλιματικό πλαίσιο για τις υποδιαίρεσεις του κλίματος.

Αρχικά, ο Köppen όρισε πέντε κατηγορίες γενικών κλιματικών τύπων βασιζόμενος στις παρακάτω φυτικές διαπλάσεις της γης:

- ✓ Το ισημερινό - τροπικό δάσος
- ✓ Τη σαβάνα και τη στέππα
- ✓ Την έρημο
- ✓ Τα δάση των κωνοφόρων και των φυλλοβόλων, και
- ✓ Την τούντρα

Για τη δημιουργία της ταξινόμησης ο Köppen, προσδιόρισε κάποια όρια που σχετίζονται με την ανάπτυξη των φυτών.

- Τα τροπικά φυτά απαιτούν χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία 18 °C και πάνω.

- Η ύπαρξη δασικής ζώνης επιβάλλει η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα να υπερβαίνει τους 10°C.
- Τα κλιματικά στοιχεία της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αποτελούν τη βάση της ταξινόμησης.
- Η εποχική κατανομή και τα ετήσια μεγέθη λαμβάνονται υπόψη.

Για να εκφράσει τους κύριους κλιματικούς τύπους που επικρατούν στη γη, χρησιμοποίησε τρία σύνολα συμβόλων-γραμμάτων:

- Τα στοιχεία-σύμβολα του πρώτου συνόλου χαρακτηρίζονται από τα κεφαλαία γράμματα A, B, C, D, E και H του λατινικού αλφαβήτου και προσδιορίζουν γενικές θερμοκρασιακές καταστάσεις, εκτός από το B που προσδιορίζει αυτόματα τη βροχόπτωση ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Τα γράμματα A, B, C, D, E παριστάνουν τις βασικές πέντε κατηγορίες κλιμάτων, γιατί η κατηγορία με το γράμμα H αποτελεί μία παραλλαγή της αντίστοιχης της E. Οι κατηγορίες A, C, D και E χαρακτηρίζουν υγρά κλίματα, αφού το ύψος της βροχόπτωσης, στη διάρκεια ενός μέσου έτους υπερέχει του αντίστοιχου ύψους εξάτμισης. Η κατηγορία B χαρακτηρίζει ξηρά κλίματα, καθόσον η δυναμική εξατμισοδιαπνοή (PE) στη διάρκεια ενός μέσου έτους υπερέχει της βροχόπτωσης.

- Τα σύμβολα του δεύτερου συνόλου F, f, m, s, w και T προσδιορίζουν τα βροχομετρικά χαρακτηριστικά, εκτός από τα κεφαλαία F και T που αναφέρονται σε θερμοκρασίες.
- Τα σύμβολα του τρίτου συνόλου, που συμπληρώνουν τους κλιματικούς τύπους, a, b, c, d, h, k αναφέρονται σε ειδικότερες θερμοκρασιακές συνθήκες.

Συγκεκριμένα, για κάθε μια από τις πέντε κατηγορίες των κλιμάτων της κατάταξης Köppen, καθώς και τις διάφορες υποδιαιρέσεις αυτών έχουμε:

- Η κατηγορία A εκφράζει τροπικά κλίματα. Σ' αυτά όλες οι εποχές είναι θερμές, με μέση τιμή της θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα μεγαλύτερη των 18°C ($T_{\psi} > 18^{\circ}\text{C}$).
- Η κατηγορία B αντιπροσωπεύει γενικά ξηρά κλίματα, με υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες.
- Η κατηγορία C εκφράζει μεσόθερμα ή θερμά εύκρατα κλίματα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν βροχερά κλίματα με ήπιους χειμώνες. Η

μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα είναι μεγαλύτερη των $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ και του ψυχρότερου βρίσκεται ανάμεσα στους $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ($T_{\theta} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-3\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\psi} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- Η κατηγορία D αφορά τα μικρόθερμα ή κλίματα ψυχρού βροχερού δάσους με έντονους χειμώνες. Για τις τιμές της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου και ψυχρότερου μήνα ισχύει: $T_{\theta} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\psi} < -3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Η κατηγορία E χαρακτηρίζει τα πολικά ή αρκτικά κλίματα. Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα είναι μικρότερη των $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\theta} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Η κατηγορία H αναφέρεται στα κλίματα των μεγάλων υψομέτρων, γενικά πάνω από 1500 m και ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος. Αποτελεί παραλλαγή της E και περιλαμβάνει τα ορεινά κλίματα για τα οποία ισχύει $T_{\theta} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Καθεμία από τις παραπάνω κατηγορίες, εξαίρεση αποτελεί η H, υποδιαιρείται σε δύο ή περισσότερες δευτερεύουσες κατηγορίες, με την προσθήκη και ενός δεύτερου γράμματος από τα στοιχεία του συνόλου $\{F, f, m, s, w, T\}$. Τα κλίματα B, C και D υποδιαιρούνται σε άλλες κατηγορίες, χρησιμοποιώντας ως τρίτο γράμμα ένα από τα σύμβολα του τρίτου συνόλου $\{a, b, c, d, h, k\}$ που σχετίζονται με την πορεία της θερμοκρασίας. Έτσι, έχουμε:

Κλιματικός Τύπος A

f - υγρό-βροχερό δάσος. Το ύψος βροχής του ξηρότερου μήνα είναι τουλάχιστον ίσο με 60 χιλιοστά ($r_{\xi} \geq 60\text{ mm}$)

m - μουσωνικό. Έχει υπερβολική βροχόπτωση στη διάρκεια μερικών μηνών και ένας ή περισσότεροι ξηροί μήνες παρουσιάζουν μηνιαίο ύψος βροχής μικρότερο από 60 χιλιοστά και μεγαλύτερο ή ίσο του μεγέθους $100 - r/25$, όπου r το ετήσιο ύψος βροχής σε mm ($100 - r/25 \leq r_{\xi} < 60\text{ mm}$)

w - σαβάνα. Χαρακτηρίζεται από ξηρή χειμερινή περίοδο με μηνιαίο ύψος βροχής του ξηρότερου μήνα μικρότερο, τόσο των 60 χιλιοστών όσο και της ποσότητας $100 - r/25$ ($r_{\xi} < 100 - r/25 < 60\text{ mm}$)

Τελικοί συνδυαστικοί τύποι:

Af: Κλίμα τροπικού βροχερού δάσους. Όλοι οι μήνες είναι πολύ θερμοί και βροχεροί.

Am: Κλίμα τροπικό μουσωνικό. Εποχιακά σημειώνεται υπερβολική βροχόπτωση. Όλοι οι μήνες είναι πολύ θερμοί

Aw: Κλίμα τροπικής σαβάνας. Όλοι οι μήνες είναι πολύ θερμοί. Συνήθως, τα καλοκαίρια είναι βροχερά και οι χειμώνες ξηροί.

Κλιματικός Τύπος B

Στα ξηρά κλίματα δεν λαμβάνεται υπόψη μόνο το ύψος βροχής, αλλά κυρίως η εποχιακή κατανομή του. Μία από τις παρακάτω περιπτώσεις πρέπει να ισχύει για να θεωρηθεί ένας τύπος ότι ανήκει στα ξηρά κλίματα:

α. Περίπτωση, με βροχές το θέρος.

Αν συμβεί το 70% του r να πέφτει στη διάρκεια των 6 θερμότερων μηνών (Απρίλιος - Σεπτέμβριος), δηλαδή ισχύει $r_{\theta} \geq 0.7 r$, τότε ένας τύπος κλίματος χαρακτηρίζεται ότι ανήκει στην ομάδα B, αν είναι και $r < r_0 = 20T + 280$, όπου T: η τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας σε °C (r_{θ} : ολική βροχόπτωση του θερινού εξαμήνου σε mm).

β. Περίπτωση, με ξηρό θέρος.

Θα πρέπει το 70% του ετήσιου ύψους βροχής να πέφτει στη διάρκεια του ψυχρού εξαμήνου (Οκτώβριος – Μάρτιος, για το βόρειο ημισφαίριο), δηλαδή είναι $r_x \geq 0.7r$, όπου r_x είναι το ολικό ύψος βροχής του ψυχρού εξαμήνου. Αν συμβεί να ισχύει και η σχέση $r < r_0 = 20T$ τότε ο τύπος του κλίματος ανήκει στην κατηγορία B.

γ. Περίπτωση με ισοκατανομή περίπου του ύψους βροχής στις διάφορες εποχές.

Εδώ θα πρέπει να ισχύει η σχέση $r < r_0 = 20T + 140$. Συνεπώς, αν τα βροχομετρικά στοιχεία μιας περιοχής, σε συνδυασμό και με τα θερμομετρικά, πληρούν μία από τις τρεις παραπάνω περιπτώσεις, τότε ο τύπος κλίματος της περιοχής ανήκει στην κατηγορία B.

Ανάλογα με τα ποσά της βροχής διακρίνονται σε δύο τύπους:

- **S - κλίμα στέπας.** Στις περιοχές του κλιματικού αυτού τύπου υπάρχει βλάστηση που προϋποθέτει μία υψηλή, σχετικά, βροχόπτωση. Αν ισχύει μία από τις σχέσεις: $r < r_0 = 20T + 280$, $r < r_0 = 20T$, $r < r_0 = 20T + 140$ καθώς και η σχέση $r_0/2 < r < r_0$.
- **W - ερημικό κλίμα.** Τα ποσά της βροχής είναι πολύ μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα του τύπου S. Στην περίπτωση αυτή, ένας κλιματικός τύπος B για να χαρακτηριστεί ως ερημικός, θα πρέπει να ισχύει και η σχέση $r < r_0/2$, όπου το r_0 δίνεται από τις σχέσεις $r < r_0 = 20T + 280$, $r < r_0 = 20T$, $r < r_0 = 20T + 140$

Ανάλογα με τη μέση ετήσια θερμοκρασία διακρίνονται σε:

- **h - θερμό.** Η τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη των $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- **k - ψυχρό ή δροσερό.** Η τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του έτους να είναι μικρότερη των $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Τελικοί συνδυαστικοί τύποι:

- BSh : Τροπική στέπα. Είναι πολύ θερμό και ημίξηρο κλίμα.
- BSk : Στέπα των μέσων γεωγραφικών πλατών. Ψυχρό ή δροσερό κλίμα.
- BWh : Τροπική έρημος. Ξηρό και πολύ θερμό κλίμα.
- BWk : Έρημος των μέσων γεωγραφικών πλατών. Ξηρό και ψυχρό ή δροσερό κλίμα.

Κλιματικός Τύπος C

Οι κατηγορίες με βάση το δεύτερο σύνολο:

- **s - ξηρή περίοδος το θέρος.** Το ύψος της βροχόπτωσης του ξηρότερου θερμού μήνα θα πρέπει να είναι μικρότερο των 30 χιλιοστών ($r_{\xi} < 30\text{ mm}$) και μικρότερο του 1/3 του ύψους της βροχής του υγρότερου μήνα ($r_{\xi} < r_{\omega}/3$)
- **w - ξηρή περίοδος ο χειμώνας.** Το ύψος της βροχόπτωσης του ξηρότερου μήνα, κατά το ψυχρότερο μισό του έτους, θα πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/10 του βροχομετρικού ύψους του υγρότερου μήνα της θερμής περιόδου, δηλαδή $r_{\xi} < r_{\omega}/10$.
- **f - υγρό.** Η βροχή κατανέμεται ομοιόμορφα σ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το μηνιαίο ύψος βροχής του ξηρότερου μήνα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 30 χιλιοστών, δηλαδή $r_{\xi} > 30\text{ mm}$.

Για την ύπαρξη ξηρής περιόδου στη διάρκεια του θέρους, θα πρέπει να ισχύει η σχέση $r_{\omega(\text{χειμώνας})}/r_{\xi(\text{θέρος})} \geq 3$ και για την ξηρή περίοδο στη διάρκεια του χειμώνα πρέπει να ισχύει $r_{\omega(\text{θέρος})}/r_{\xi(\text{χειμώνας})} \geq 3$.

Οι κατηγορίες με βάση το τρίτο σύνολο:

- **a - κλίματα πολύ θερμού θέρους.** Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη των $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_{\theta} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$).

- **b - κλίματα θερμού θέρους.** Για την τιμή της T_{θ} θα πρέπει να έχουμε $T_{\theta} < 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Συγχρόνως, όμως, θα πρέπει τέσσερις τουλάχιστον θερμοί μήνες να έχουν μέση μηνιαία θερμοκρασία μεγαλύτερη των $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **c - κλίματα δροσερού θέρους.** Θα πρέπει να είναι $T_{\theta} < 22^{\circ}\text{C}$ και 1-3 μήνες με μέση τιμή της θερμοκρασίας τους ίση ή μεγαλύτερη των $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Τελικοί συνδυαστικοί τύποι:

- Cfa: Υγρό υποτροπικό. Ήπιοι χειμώνες, υγρές όλες οι εποχές. Μακρύ πολύ θερμό καλοκαίρι.
- Cfb: Θαλάσσιο. Ήπιοι χειμώνες, υγρές όλες οι εποχές, θερμό καλοκαίρι.
- Cfc: Θαλάσσιο. Ήπιοι χειμώνες και υγρές όλες οι εποχές του έτους. Δροσερά και μικρής διάρκειας καλοκαίρια.
- Csa: Κλίμα της ενδοχώρας της Μεσογείου (Μεσογειακό κλίμα). Ήπιοι χειμώνες, ξηρά και πολύ θερμά καλοκαίρια.
- Csb: Παράκτιο Μεσογειακό. Ήπιοι χειμώνες, με μικρής διάρκειας ξηρά και θερμά καλοκαίρια.
- Cwa: Υποτροπικό μουσωνικό. Ήπιοι και ξηροί χειμώνες, με πολύ ξηρά καλοκαίρια.
- Cwb: Τροπικό με κάποιο σχετικό υψόμετρο. Ήπιοι και ξηροί χειμώνες, με μικρής διάρκειας θερμό καλοκαίρι.

Κλιματικός Τύπος D

Οι κατηγορίες με βάση το δεύτερο σύνολο:

- **w - ξηρή περίοδος ο χειμώνας.** Το ύψος της βροχόπτωσης του ξηρότερου μήνα, κατά το ψυχρότερο μισό του έτους, θα πρέπει να είναι μικρότερο από το 1/10 του βροχομετρικού ύψους του υγρότερου μήνα της θερμής περιόδου, δηλαδή $r_{\xi} < r_{\nu}/10$.
- **f - υγρό.** Η βροχή κατανέμεται ομοιόμορφα σ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το μηνιαίο ύψος βροχής του ξηρότερου μήνα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 30 χιλιοστών, δηλαδή $r_{\xi} > 30\text{mm}$.
- **s - ξηρή περίοδος το θέρος.** Το ύψος της βροχόπτωσης του ξηρότερου θερμού μήνα θα πρέπει να είναι μικρότερο των 30 χιλιοστών ($r_{\xi} < 30\text{ mm}$) και μικρότερο του 1/3 του ύψους της βροχής του υγρότερου μήνα ($r_{\xi} < r_{\nu}/3$). Ο τύπος κλίματος s δεν συναντάται, κατά κανόνα, στα κλίματα D, παρά μόνο πάνω από μικρές περιοχές.

Για την ύπαρξη ξηρής περιόδου στη διάρκεια του θέρους, θα πρέπει να ισχύει η σχέση $r_{u(\text{χειμώνας})}/r_{ξ(\text{θέρος})} \geq 3$ και για την ξηρή περίοδο στη διάρκεια του χειμώνα πρέπει να ισχύει $r_{u(\text{θέρος})}/r_{ξ(\text{χειμώνας})} \geq 3$

Οι κατηγορίες με βάση το τρίτο σύνολο:

- **a - κλίματα πολύ θερμού θέρους.** Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα θα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη των 22°C ($T_{\theta}=22^{\circ}\text{C}$).
- **b - κλίματα θερμού θέρους.** Για την τιμή της T_{θ} θα πρέπει να έχουμε $T_{\theta} < 22^{\circ}\text{C}$. Συγχρόνως, όμως, θα πρέπει τέσσερις τουλάχιστον θερμοί μήνες να έχουν μέση μηνιαία θερμοκρασία μεγαλύτερη των 10°C .
- **c - κλίματα δροσερού θέρους.** Θα πρέπει να είναι $T_{\theta} < 22^{\circ}\text{C}$ και 1-3 μήνες με μέση τιμή της θερμοκρασίας τους ίση ή μεγαλύτερη των 10°C .
- **d - κλίματα με δριμείς χειμώνες.** Θα πρέπει να είναι $T_{\psi} < -38^{\circ}\text{C}$.

Τελικοί συνδυαστικοί τύποι:

- Dfa: Υγρό ηπειρωτικό. Δριμείς χειμώνες μεγάλης διάρκειας και πολύ θερμό καλοκαίρι. Όλες οι εποχές του έτους είναι υγρές.
- Dfb: Υγρό ηπειρωτικό. Δριμείς χειμώνες, με μικρής διάρκειας θερμό καλοκαίρι. Όλοι οι μήνες του έτους είναι υγροί.
- Dfc: Υπαρκτικό. Δριμείς χειμώνες, μικρής διάρκειας δροσερά καλοκαίρια και υγρές όλες οι εποχές
- Dfd: Υπαρκτικό. Εξαιρετικά ψυχροί χειμώνες με μικρής διάρκειας δροσερά καλοκαίρια. Υγρές είναι όλες οι εποχές.
- Dwa: Υγρό ηπειρωτικό. Δριμείς και ξηροί χειμώνες με μεγάλης διάρκειας και πολύ θερμά καλοκαίρια.
- Dwb: Υγρό ηπειρωτικό. Δριμείς και ξηροί χειμώνες με θερμά καλοκαίρια.
- Dwc: Υπαρκτικό. Δριμείς και ξηροί χειμώνες. Μικρής διάρκειας δροσερά και υγρά καλοκαίρια.
- Dwd: Υπαρκτικό. Εξαιρετικά ψυχροί και ξηροί χειμώνες. Μικρής διάρκειας δροσερά και ψυχρά καλοκαίρια.

Κλιματικός Τύπος E

Οι κατηγορίες με βάση το δεύτερο σύνολο:

- **T - κλίμα τούντρας.** Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 0 °C και 10 °C ($0^{\circ}\text{C} < T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$).
- **F - κλίμα πάγων.** Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0°C ($T_{\theta} < 0^{\circ}\text{C}$).

Τελικοί συνδυαστικοί τύποι:

- ET: Τούντρα. Πολύ βραχύ καλοκαίρι
- EF: Αιώνιοι πάγοι και χιόνια

Κλιματικός Τύπος Η (μοναδικός)

Οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις όπως και στον τύπο E, αλλά εδώ λαμβάνεται υπόψη το υψόμετρο (γενικά μεγαλύτερο των 1500 μ.) Δηλαδή ο τύπος Η χαρακτηρίζει μη διαφοροποιημένα κλίματα μεγάλων υψομέτρων. (Χρονοπούλου-Σερέλη & Φλόκας, 2010)

Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη κατά Köppen ομαδοποιήθηκαν οι σταθμοί με κριτήριο την κλιματική περιοχή που ανήκουν, στον παρακάτω πίνακα.

Κλιματική περιοχή	Σταθμός	Πολιτεία
B_s	Ely	Nevada
B_w	Tucson	Arizona
C_f	Mobile	Alabama
	Daytona beach	Florida
	Athens	Georgia
	Atlanta	Georgia
	Raleigh	North Carolina
D_f	Knoxville	Tennessee
	Spokane	Washington
	Seattle	Washington
	Portland	Maine
	Buffalo	New York
	Rochester	New York
	Burlington	Vermont

Πίνακας 2 – Ομαδοποίηση μετεωρολογικών σταθμών κατά Köppen

3.2.2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα κλιματικά δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών παραθέτονται σε πίνακες στο παράρτημα Ι.

3.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για το μοντέλο, επιλέχθηκαν τρία είδη εδαφών: αργιλοπηλώδες, ιλοπηλώδες, αμμοπηλώδες. Οι τιμές των παραμέτρων τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

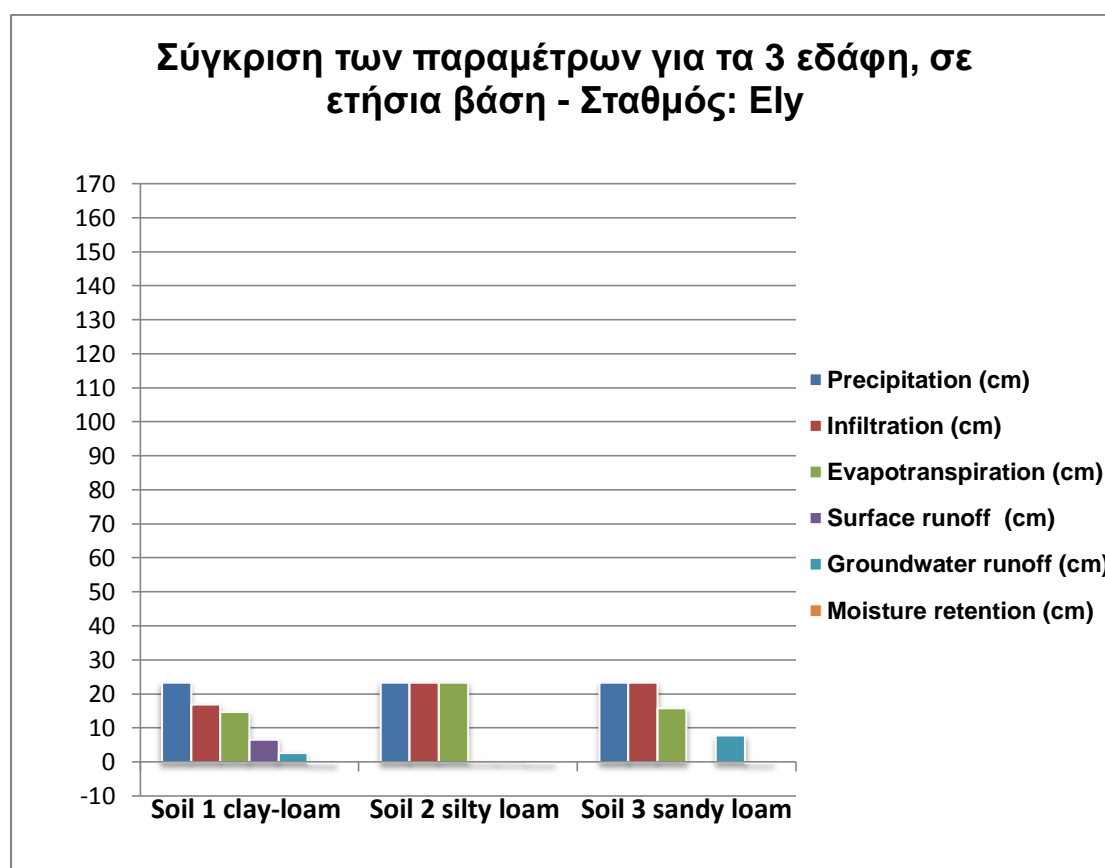
Παράμετρος	Μονάδες	Περιγραφή	Έδαφος 1	Έδαφος 2	Έδαφος 3
K(1)	cm ²	Μέση πραγματική διαπερατότητα κορεσμένου εδάφους	2.8*10 ⁻¹	1.2*10 ⁻¹	2.5*10 ⁻¹
n	-	Ενεργό πορώδες	0.350	0.350	0.250
c	-	Δείκτης ασυνέχειας πόρων εδάφους	10	6	4
z	cm	Βάθος υπόγειου υδροφόρου οριζοντα	100	100	100

Πίνακας 3 – Τιμές παραμέτρων εδαφών

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κλιματική περιοχή B_s (ξηρό κλίμα, τύπος: στεππώδες ημίξηρο)

- Πολιτεία, Nevada – Σταθμός: Ely



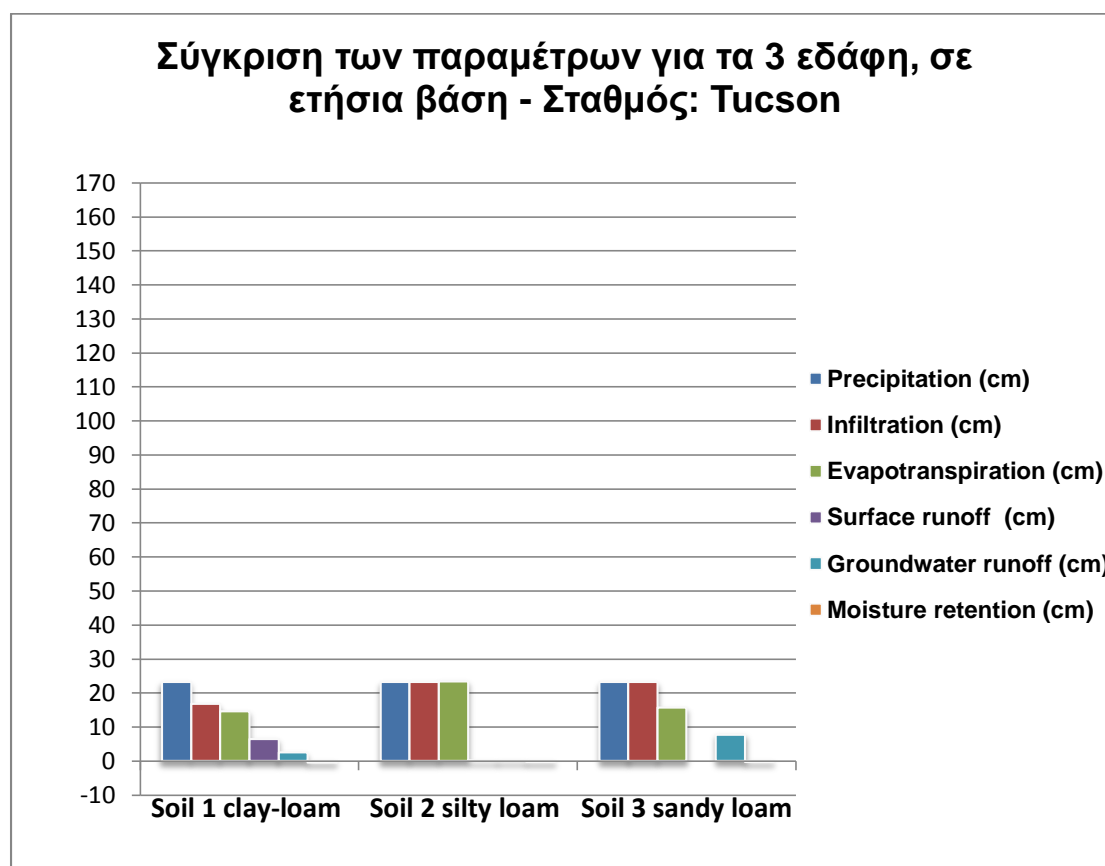
Σχήμα 6 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Ely

Ely	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	72,315	63,077	27,685	11,113	-1,875
Soil 2	99,717	100,047	0,056	0,540	-0,874
Soil 3	99,936	67,454	0,000	33,283	-0,801

Με βάση την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen, ο σταθμός Ely στην πολιτεία Nevada, ανήκει στην κλιματική περιοχή Bs όπου πρόκειται για ξηρό, στεππώδες ημίξηρο τύπο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 24,03 cm, όπως φαίνεται και στο *σχήμα 6*. Στο αργιλοπηλώδες έδαφος (έδαφος 1), το νερό κυρίως διηθείται και μεγάλο μέρος αυτού επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Στο ιλυοπηλώδες έδαφος (έδαφος 2) οι σχεδόν μηδενικές τιμές επιφανειακής απορροής οφείλονται στο γεγονός του ότι το σύνολο του νερού διηθείται ενώ στη συνέχεια όλη η ποσότητα του νερού που διηθήθηκε απομακρύνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής με αποτέλεσμα οι τιμές της υπόγειας απορροής να είναι μηδενικές. Ο λόγος που το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια μπορεί να είναι κάποιο αδιαπέρατο κατώτερο στρώμα που δε το αφήνει να διεισδύσει πιο κάτω και στη συνέχεια κάποιες δυνάμεις το ωθούν προς την επιφάνεια. Σίγουρα όμως δεν έχει σχέση με μεγάλη διαπερατότητα ή παρουσία χλόης. Το αμμοπηλώδες έδαφος (έδαφος 3) παρουσιάζει υψηλή διήθηση, εξατμισοδιαπνοή καθώς και υπόγεια απορροή. Επειδή όλο το νερό διηθείται η επιφανειακή απορροή είναι μηδενική. Γενικά, παρατηρούμε σταδιακή αύξηση της διήθησης από το αργιλοπηλώδες έδαφος στο αμμοπηλώδες έδαφος και μείωση της επιφανειακής απορροής αντίστοιχα. Μεγαλύτερη ικανότητα εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζει το ιλυοπηλώδες έδαφος και μεγαλύτερη τιμή υπόγειας απορροής εμφανίζει το αμμοπηλώδες έδαφος.

Κλιματική περιοχή Bw (ξηρό, τύπος: ερημικός)

- Πολιτεία: Arizona – Σταθμός: Tucson



Σχήμα 7 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Tucson

Tucson	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	63,799	54,286	36,201	8,202	1,308
Soil 2	99,128	98,879	0,740	-1,871	2,120
Soil 3	99,730	66,852	0,190	31,580	1,298

Με βάση την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen, ο σταθμός Tucson στην πολιτεία Arizona, ανήκει στην κλιματική περιοχή B_w όπου πρόκειται για ξηρό, ερημικό τύπο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 29,49 cm, με βάση το σχήμα

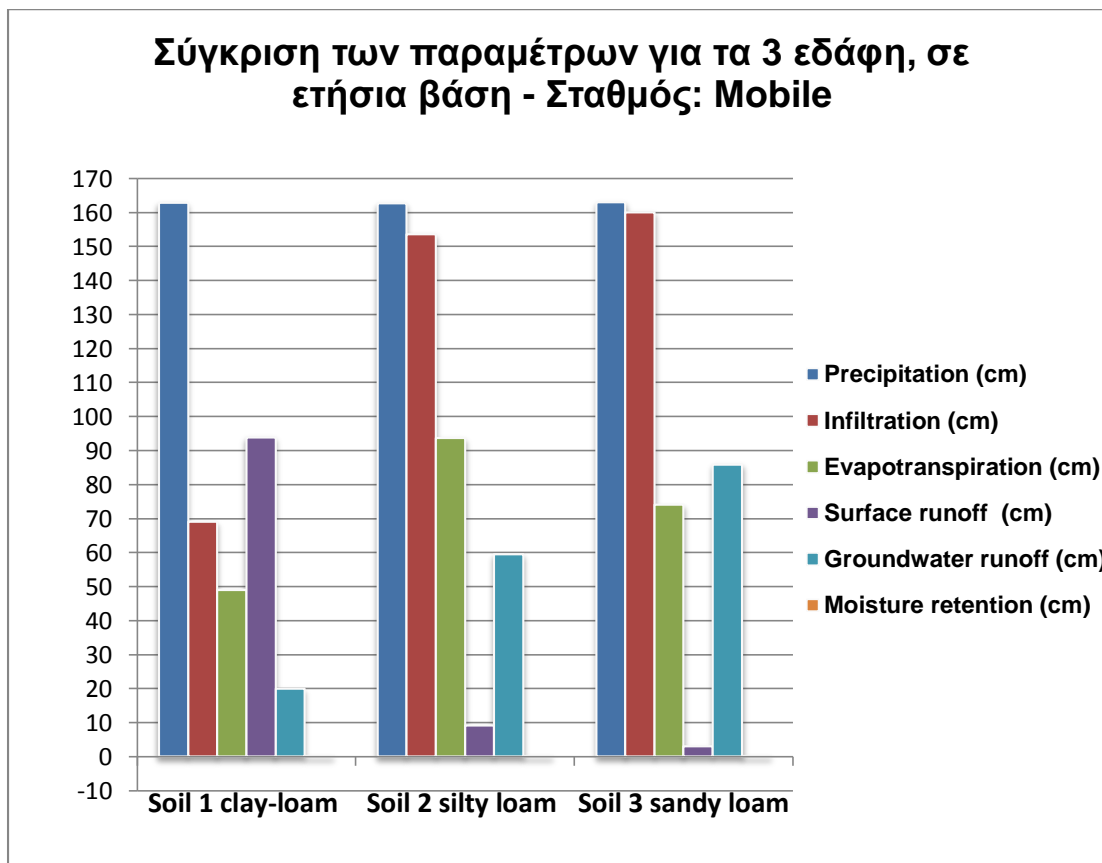
7. Στο αργιλοπηλώδες έδαφος, το νερό κυρίως διηθείται και στη συνέχεια το μεγαλύτερο μέρος του επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Στο ιλυοπηλώδες έδαφος, το σύνολο σχεδόν του νερού διηθείται με αποτέλεσμα να μη γίνεται επιφανειακή απορροή και στη συνέχεια σχεδόν όλη η ποσότητα του διηθούμενου νερού απομακρύνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής καθώς η υπόγεια απορροή είναι μηδενική. Το αμμοπηλώδες έδαφος παρουσιάζει υψηλές τιμές διήθησης, συνεπώς χαμηλές τιμές επιφανειακής απορροής και υψηλές τιμές εξατμισοδιαπνοής σε σχέση με την υπόγεια απορροή. Γενικά, παρατηρείται αύξηση της διήθησης από το αργιλοπηλώδες έδαφος στο αμμοπηλώδες έδαφος, σε αντίθεση με την μείωση της επιφανειακής απορροής όπου οι μηδενικές τιμές του ιλυοπηλώδους και αμμοπηλώδους εδάφους υπονοούν ότι το νερό που φτάνει στην επιφάνεια τους κατεισδύει. Η εξατμισοδιαπνοή έχει παραπλήσιες τιμές για το αργιλοπηλώδες και το αμμοπηλώδες και αυξημένη τιμή για το ιλυοπηλώδες έδαφος. Η υπόγεια απορροή νερού παρουσιάζει μικρές τιμές για το αργιλοπηλώδες έδαφος που εξηγείται από τις χαμηλές τιμές διήθησης λόγω του μικρού πορώδους των εδαφών. Το αμμοπηλώδες έδαφος έχει το μεγαλύτερο πορώδες από όλα τα εδάφη. Το ιλυοπηλώδες έδαφος δεν έχει επιφανειακή και υπόγεια απορροή, όλο το νερό διηθείται και στη συνέχεια εξατμίζεται.

Σύγκριση Bs – Bw

Ο τύπος B αντιπροσωπεύει ξηρό κλίμα, με υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Τα κριτήρια διάκρισης ανάμεσα στον ξηρό τύπο B και τους υπόλοιπους υγρούς τύπους γίνεται με βάση βροχομετρικά και θερμομετρικά κριτήρια που είναι η ετήσια βροχή σε cm και η μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C. Στο συγκεκριμένο τύπο δεν υπάρχουν θερμοκρασιακοί περιορισμοί. Ανάλογα με τα ποσά της βροχής διακρίνονται στους τύπους: στεπικός – τύπος s και ερημικός – τύπος w. Συγκεκριμένα, το κλίμα του σταθμού Ely χαρακτηρίζεται ως ξηρό των μέσων γεωγραφικών πλατών και του Tucson ως ερημικό των μέσων γεωγραφικών πλατών. Οι σταθμοί παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές των παραμέτρων με ελάχιστη αυξημένη βροχόπτωση στο σταθμό Tucson.

Κλιματική περιοχή C_i (μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό – υγρό με ισοκατανομή βροχής)

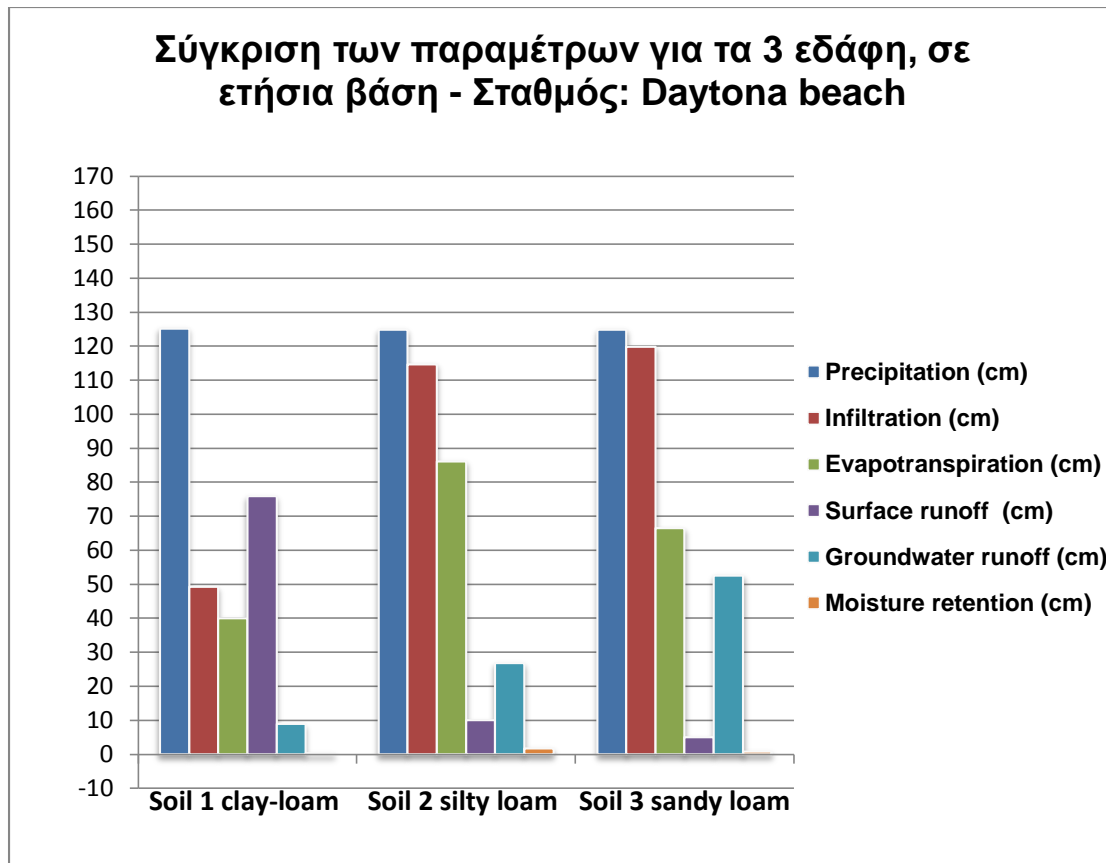
- Πολιτεία: Alabama– Σταθμός: Mobile



Σχήμα 8 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Mobile

Mobile	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	42,380	30,134	57,620	12,226	0,019
Soil 2	94,392	57,633	5,607	36,579	0,181
Soil 3	98,124	45,399	1,875	52,659	0,066

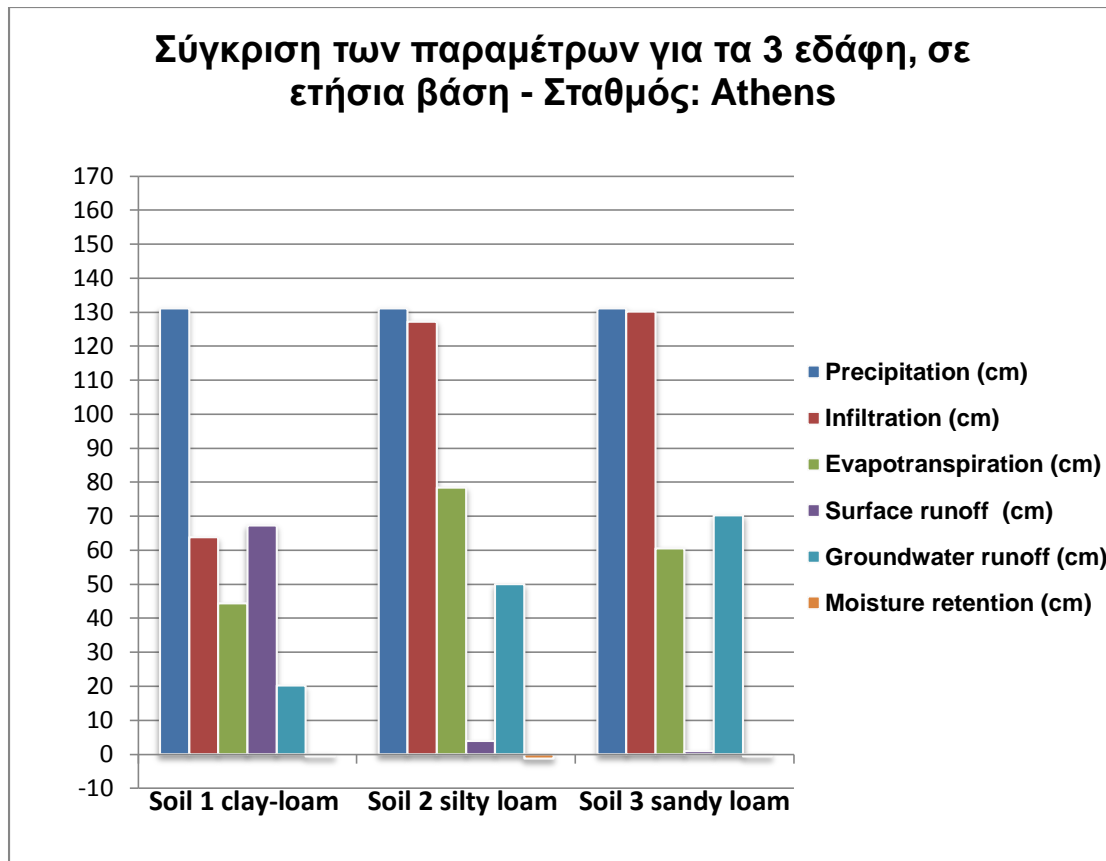
- Πολιτεία: Florida – Σταθμός: Daytona beach



Σχήμα 9 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Daytona beach

Daytona beach	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	39,314	31,933	60,686	7,147	0,234
Soil 2	91,902	68,952	8,098	21,522	1,428
Soil 3	95,955	53,224	4,045	42,095	0,636

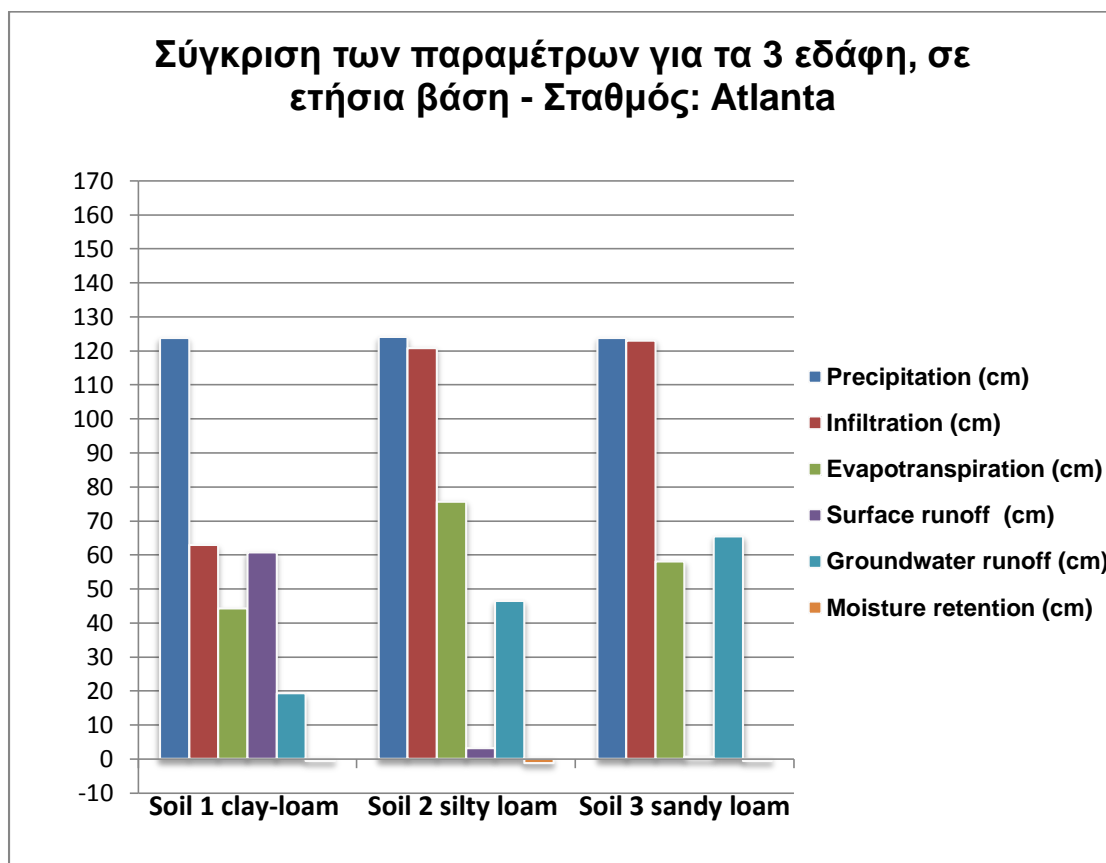
- Πολιτεία: Georgia – Σταθμός: Athens



Σχήμα 10 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Athens

Athens	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	48,705	33,842	51,295	15,396	-0,533
Soil 2	96,988	59,827	3,012	38,093	-0,931
Soil 3	99,252	46,137	0,748	53,543	-0,428

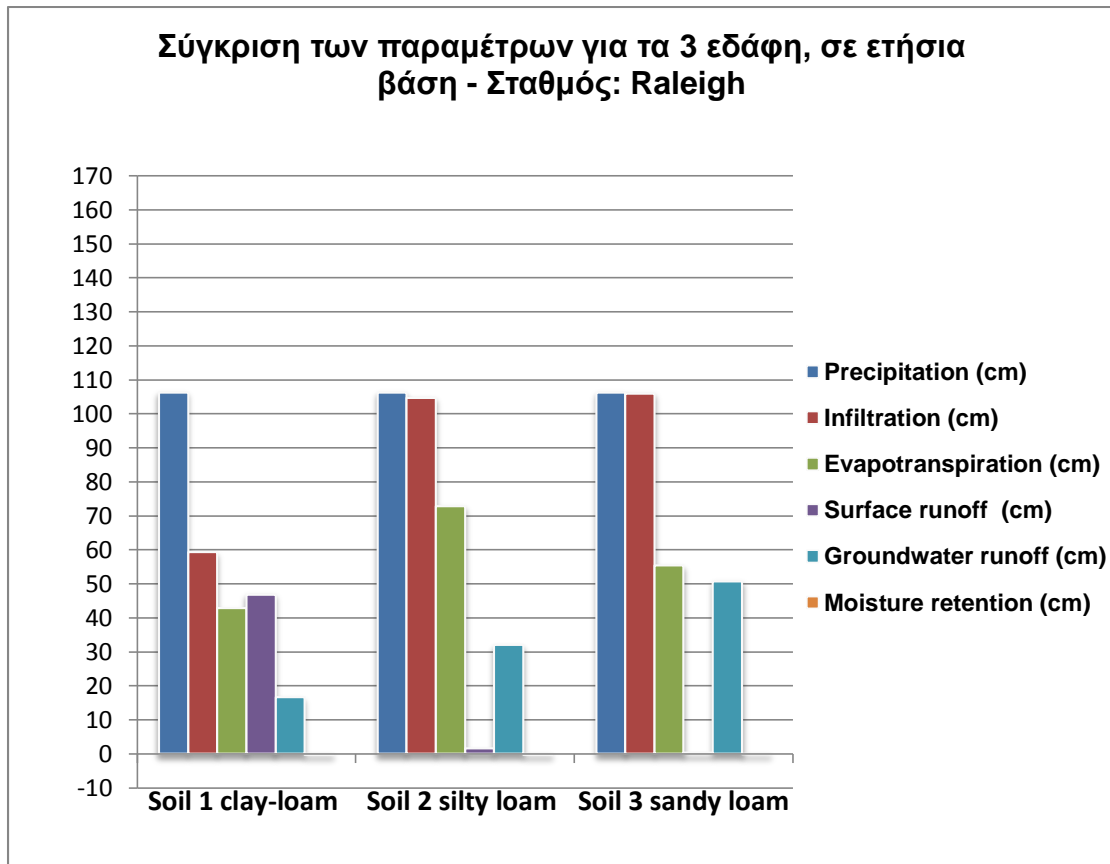
- Πολιτεία: Georgia – Σταθμός: Atlanta



Σχήμα 11 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Atlanta

Atlanta	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	50,894	35,795	49,106	15,593	-0,494
Soil 2	97,407	60,959	2,593	37,410	-0,962
Soil 3	99,390	46,954	0,610	52,889	-0,453

- Πολιτεία: North Carolina – Σταθμός: Raleigh



Σχήμα 12 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Raleigh

Raleigh	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	55,892	40,366	44,108	15,772	-0,246
Soil 2	98,501	68,600	1,499	30,118	-0,217
Soil 3	99,685	52,083	0,315	47,738	-0,135

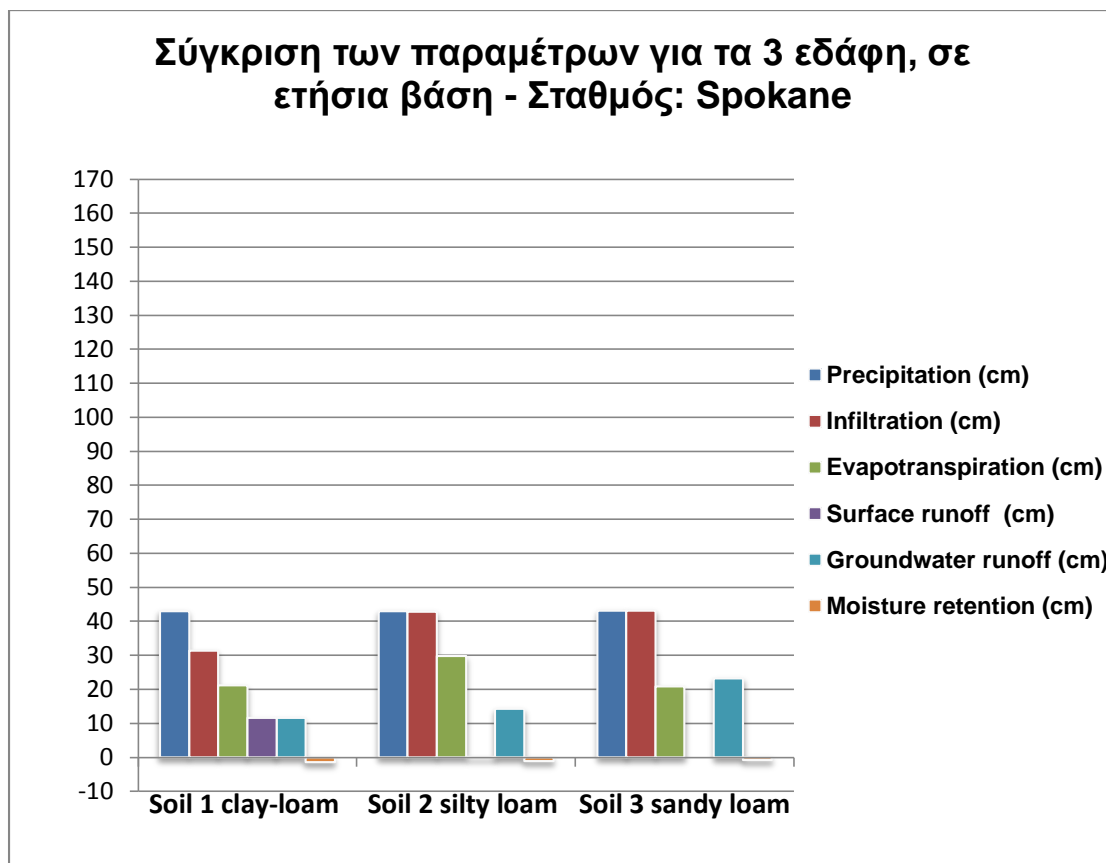
- Πολιτεία: Tennessee – Σταθμός: Knoxville



Σχήμα 13 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Knoxville

Knox ville	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	75,724	60,489	24,276	16,001	-0,768
Soil 2	98,874	80,635	1,095	18,646	-0,405
Soil 3	99,422	64,725	0,563	3,957	-0,354

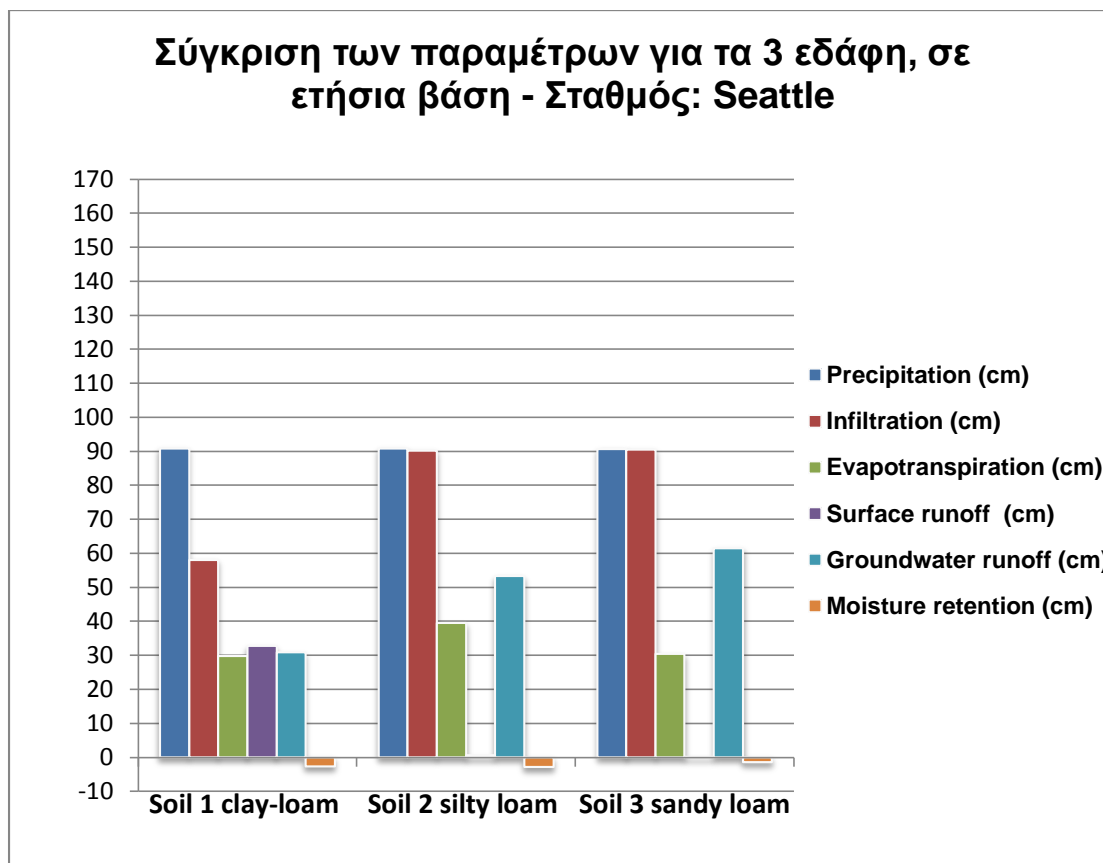
- Πολιτεία: Washington – Σταθμός: Spokane



Σχήμα 14 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Spokane

Spokane	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	72,889	49,170	27,111	26,971	-3,255
Soil 2	99,814	69,323	0,100	33,140	-2,649
Soil 3	99,981	48,206	0,000	53,660	-1,883

- Πολιτεία: Washington – Σταθμός: Seattle



Σχήμα 15 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Seattle

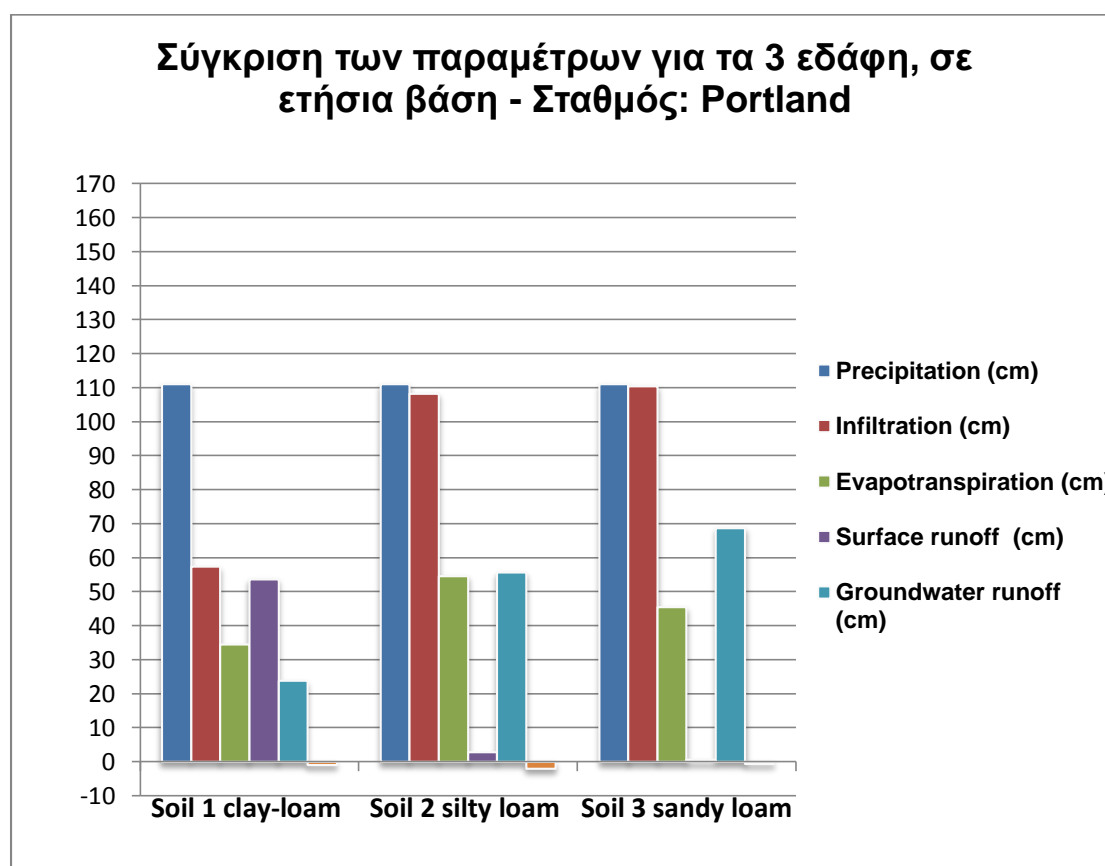
Seattle	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	63,914	32,782	36,085	34,087	-2,955
Soil 2	99,367	43,639	0,626	58,845	-3,117
Soil 3	99,940	33,600	0,029	67,903	-1,563

Οι σταθμοί Mobile της πολιτείας Alabama, Daytona beach της πολιτείας Florida, Athens και Atlanta της Georgia, Knoxville της Tennessee, Raleigh της North Carolina, Spokane και Seattle της Washington ανήκουν στην κλιματική περιοχή C_i, μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό κλίμα, υγρό με ισοκατανομή βροχής στην κατάταξη κατά Köppen. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 105,41 cm για το σταθμό Raleigh μέχρι 165,46 cm για το σταθμό Mobile με

εξαίρεση ο σταθμός Spokane με 42,7 cm και ο Seattle με 94,23 cm, με βάση τα διαγράμματα σύγκρισης των παραμέτρων στα εδάφη. Το αργιλοπηλώδες έδαφος παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερες τιμές επιφανειακής απορροής σε σχέση με τα άλλα δύο εδάφη που παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές, γεγονός που οφείλεται στο ενεργό πορώδες που αυξάνεται από τα αργιλοπηλώδη προς τα αμμοπηλώδη εδάφη. Στην περίπτωση του αργιλοπηλώδους εδάφους, το ελάχιστο ενεργό πορώδες που χαρακτηρίζει το έδαφος αυτό, εξαιτίας της αργίλου, δεν επιτρέπει τη διακίνηση του νερού διαμέσου των πόρων του στους κατώτερους εδαφικούς ορίζοντες με αποτέλεσμα το νερό να ρέει επιφανειακά. Ακριβώς αντίστροφα λειτουργεί η διήθηση και η υπόγεια απορροή. Η εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει μέγιστες τιμές στο ιλυοπηλώδες έδαφος, ακολουθεί το αμμοπηλώδες και το αργιλοπηλώδες. Γενικά, το ιλυοπηλώδες και το αμμοπηλώδες έδαφος έχουν μεγαλύτερο ενεργό πορώδες από το αργιλοπηλώδες. Ένα αργιλοπηλώδες έδαφος δεσμεύει το νερό που κατεισδύει και έχει την τάση να διογκώνεται. όσο το νερό κατεισδύει στην μάζα του δεσμεύεται διότι το έδαφος αυτό εξαιτίας της αργίλου έχει την τάση να διογκώνεται. Το νερό δεν μετακινείται μέσα στη μάζα του γι' αυτό και δεν παρουσιάζει ενεργό πορώδες.

Κλιματική περιοχή Df (μικρόθερμο ψυχρού βροχερού δάσους ή ψυχρό – υγρό με ισοκατανομή βροχής)

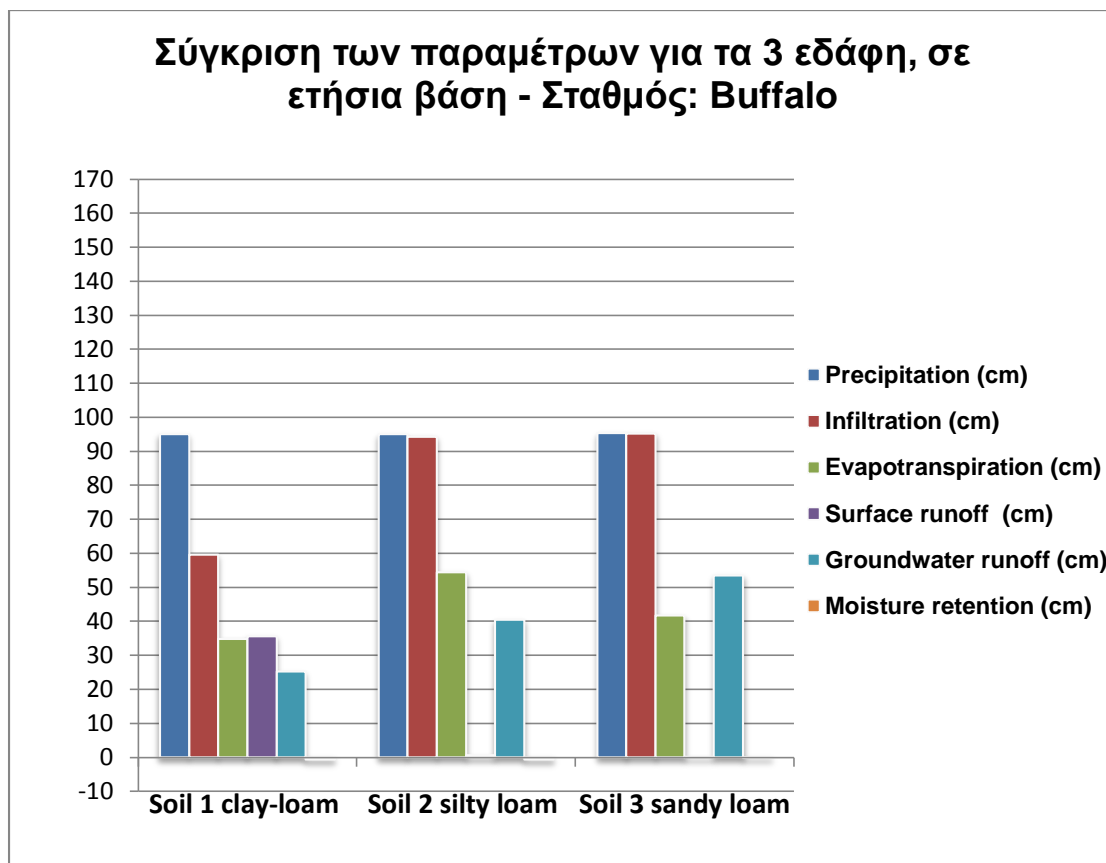
- Πολιτεία: Maine – Σταθμός: Portland



Σχήμα 16 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Portland

Portland	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	51,717	31,111	48,283	21,447	-0,840
Soil 2	97,467	49,163	2,534	50,169	-1,865
Soil 3	99,457	41,001	0,530	61,797	-0,637

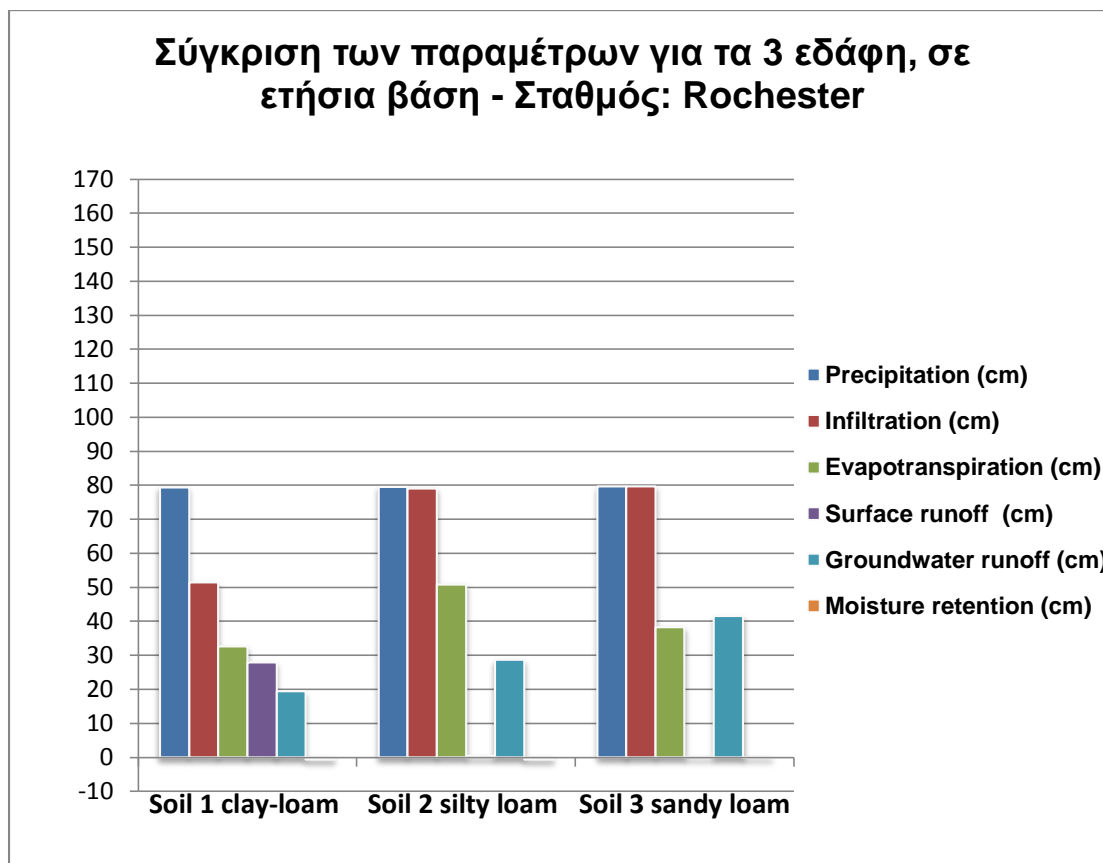
- Πολιτεία: New York – Σταθμός: Buffalo



Σχήμα 17 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Buffalo

Buffalo	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	62,603	36,663	37,397	26,523	-0,581
Soil 2	99,325	57,259	0,676	42,648	-0,582
Soil 3	99,891	43,834	0,066	56,187	-0,130

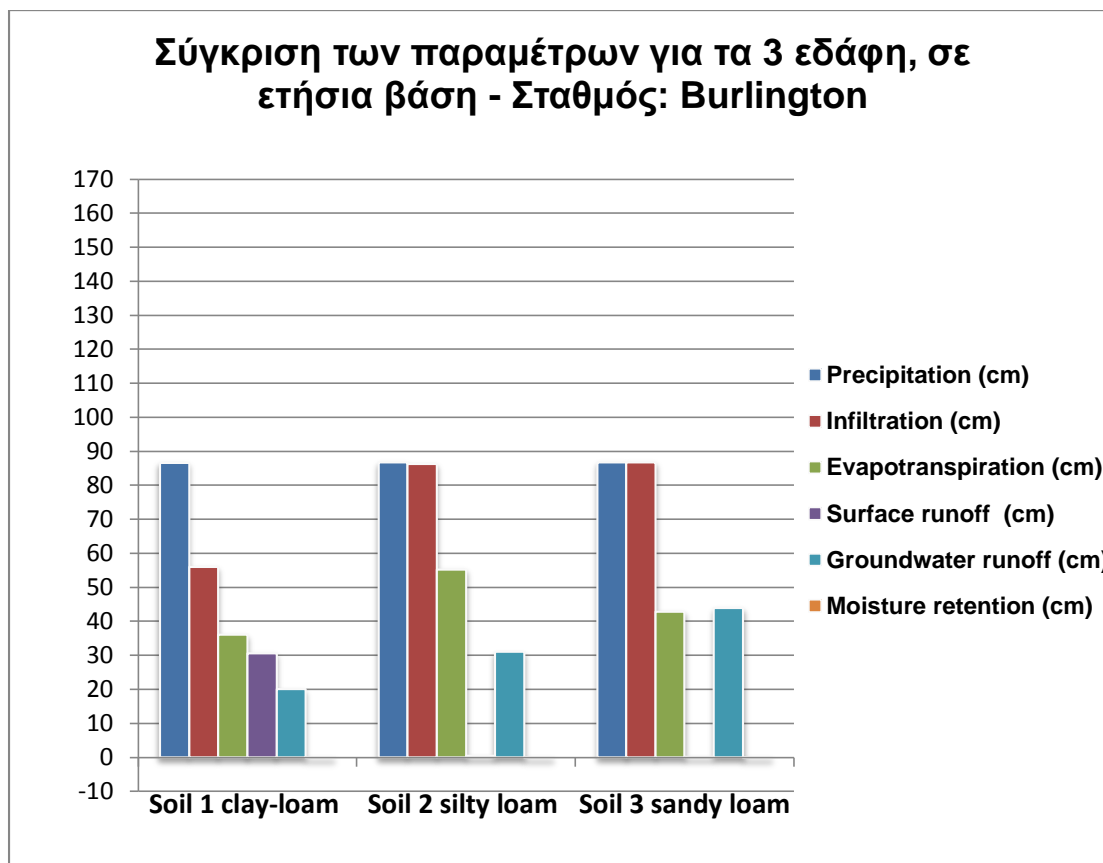
- Πολιτεία: New York – Σταθμός: Rochester



Σχήμα 18 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Rochester

Rochester	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	64,784	41,120	35,216	24,397	-0,733
Soil 2	99,460	64,017	0,528	36,174	-0,732
Soil 3	99,916	48,027	0,038	52,175	-0,286

- Πολιτεία: Vermont – Σταθμός: Burlington



Σχήμα 19 – Παράμετροι εδαφών, σταθμός Burlington

Burlington	% of Precipitation – Βροχόπτωσης				
	Infiltration Διήθηση	Evapotranspiration Εξατμισοδιαπνοή	Surface runoff Επιφανειακή απορροή	Groundwater runoff Υπόγεια απορροή	Moisture retention Υγρασία
Soil 1	64,634	41,750	35,366	23,118	-0,235
Soil 2	99,457	63,715	0,543	35,908	-0,166
Soil 3	99,925	49,350	0,013	50,646	-0,070

Οι σταθμοί Portland της πολιτείας Maine, Norfolk της πολιτείας Nebraska, Buffalo και Rochester της New York καθώς και Burlington της Vermont ανήκουν στην κλιματική περιοχή Df, μικρόθερμο ψυχρό βροχερό δάσος ή ψυχρό – υγρό κλίμα με ισοκατανομή βροχής, με βάση την κατάταξη κατά Köppen. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 80 cm για το σταθμό Rochester μέχρι 110 cm για το σταθμό Portland, σύμφωνα με τα διαγράμματα

σύγκρισης των παραμέτρων. Το αργιλοπηλώδες έδαφος παρουσιάζει τη μέγιστη επιφανειακή απορροή ενώ μηδενικές τιμές έχει το ιλυοπηλώδες και αμμοπηλώδες έδαφος. Αντίστροφα λειτουργεί η διήθηση και η υπόγεια απορροή. Η εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει μέγιστες τιμές στο ιλυοπηλώδες έδαφος, ακολουθεί το αμμοπηλώδες, το αργιλοπηλώδες. Οι σταθμοί Portland, Buffalo, Rochester και Burlington παρουσιάζουν μέγιστη τιμή της εξατμισοδιαπνοής 50-60% της βροχόπτωσης.

Ανάλυση των παραμέτρων σε ετήσια βάση

Επιφανειακή απορροή

Κλιματικές περιοχές που χαρακτηρίζονται ξηρές με στεππώδες ή ερημικό τύπο, παρουσιάζουν μηδενική επιφανειακή απορροή στο ιλυοπηλώδες και αμμοπηλώδες έδαφος. Συγκεκριμένα, ο σταθμός Ely και Tucson παρουσιάζουν ανάλογες τιμές. Στην κλιματική περιοχή με μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό κλίμα (Cf) διακρίνουμε δύο ομάδες μέγιστων τιμών της επιφανειακής απορροής. Η πρώτη περιλαμβάνει τιμές της τάξεως 77-87% και η δεύτερη 58-70% της βροχόπτωσης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι σταθμοί Mobile, Daytona beach, Athens, Atlanta, Raleigh και στη δεύτερη οι Knoxville, Spokane, Seattle. Στην κλιματική περιοχή ψυχρού κλίματος με δριμείς χειμώνες (Df), η επιφανειακή απορροή έχει μηδενικές τιμές στο ιλυοπηλώδες και αμμοπηλώδες έδαφος.

Εξατμισοδιαπνοή

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζει μέγιστες τιμές στο ιλυοπηλώδες έδαφος και ακολουθεί το αμμοπηλώδες και το αργιλοπηλώδες. Κλιματικές περιοχές που χαρακτηρίζονται ξηρές με στεππώδες ή ερημικό τύπο, ο σταθμός Ely και Tucson, παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό εξατμισοδιαπνοής, 100% της βροχόπτωσης. Στην κλιματική περιοχή με μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό κλίμα (Cf) οι μέγιστες τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι 57-68%. Εξαίρεση αποτελεί η πολιτεία Tennessee με τιμή 80% και η Washington στο σταθμό Seattle με τιμή 43% της βροχόπτωσης. Στην κλιματική περιοχή ψυχρού κλίματος με δριμείς χειμώνες (Df), η εξατμισοδιαπνοή έχει μέγιστες τιμές της τάξεως 49-66% της βροχόπτωσης.

Διήθηση

Οι τιμές της διήθησης αυξάνονται σταδιακά από το αργιλοπηλώδες έδαφος, στο ιλυοπηλώδες και αμμοπηλώδες έδαφος. Στην κλιματική περιοχή B, ξηρού τύπου, οι τιμές κυμαίνονται από 60% για το αργιλοπηλώδες μέχρι 100% της βροχόπτωσης για το αμμοπηλώδες. Στην κλιματική περιοχή με μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό κλίμα (Cf) διακρίνουμε δύο ομάδες τιμών της εξατμισοδιαπνοής. Η πρώτη περιλαμβάνει τιμές για το αργιλοπηλώδες έδαφος 40-50% και η δεύτερη 80-90% της βροχόπτωσης. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι σταθμοί Mobile, Daytona beach, Athens, Atlanta, Raleigh και στη δεύτερη οι Knoxville, Spokane, Seattle. Στην κλιματική περιοχή ψυχρού κλίματος με δριμείς χειμώνες (Df), η διήθηση έχει τιμές της τάξεως 50-60% της βροχόπτωσης για το αργιλοπηλώδες έδαφος και σχεδόν 100% για το αμμοπηλώδες.

Υπόγεια απορροή

Κλιματικές περιοχές που χαρακτηρίζονται ξηρές με στεππώδες ή ερημικό τύπο, παρουσιάζουν υπόγεια απορροή με ποσοστό 0-30 % της βροχόπτωσης, αυξανόμενη από το αργιλοπηλώδες έδαφος στο αμμοπηλώδες έδαφος. Συγκεκριμένα, ο σταθμός Ely και Tucson παρουσιάζουν ανάλογες τιμές. Στην κλιματική περιοχή με μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό κλίμα (Cf) οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 4 και 50% της βροχόπτωσης. Στην κλιματική περιοχή ψυχρού κλίματος με δριμείς χειμώνες (Df), η υπόγεια απορροή έχει τιμές της τάξεως 20-60% της βροχόπτωσης.

5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα του μοντέλου επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου Statgraphics. Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση διασποράς (ANalysis Of VAriance, ANOVA) και έλεγχος Krustal-Wallis για κάθε μία από τις μεταβλητές.

Η ανάλυση διασποράς είναι μέθοδος στατιστικού ελέγχου υποθέσεων που αναφέρονται σε περισσότερους από δύο πληθυσμούς. Η ανάλυση διασποράς προτάθηκε από τον Sir Ronald A. Fisher το 1918. Ευρέως έγινε γνωστή μετά το 1925 όταν εκδόθηκε το κλασικό πλέον βιβλίο του R. A. Fisher, *Statistical Methods for Research Workers*. Ο Kruskal-Wallis είναι μη-παραμετρικός έλεγχος και εφαρμόζεται σε προβλήματα στα οποία θέλουμε να συγκρίνουμε δύο ή περισσότερους πληθυσμούς από ανεξάρτητα δείγματα. Οι υποθέσεις είναι: H_0 - τα k δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό, H_1 - τουλάχιστον ένα δείγμα προέρχεται από διαφορετικό πληθυσμό. Αν η μηδενική υπόθεση απορριφθεί τότε τουλάχιστον δύο πληθυσμοί διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ως προς τη διάμεση τιμή τους.

Για κάθε μία από τις μεταβλητές πραγματοποιήθηκε:

A. ANOVA με ένα παράγοντα: σταθμός

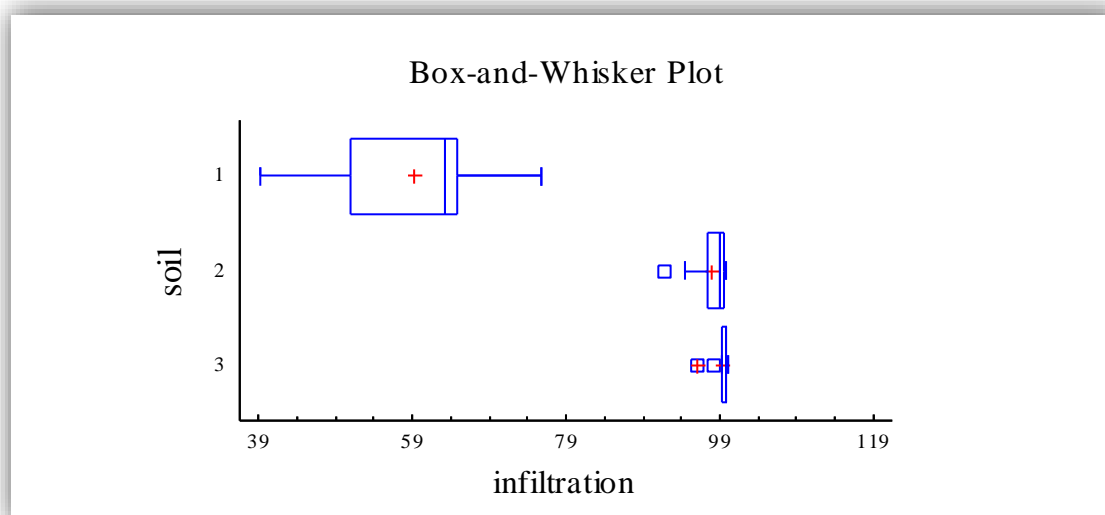
B. ANOVA με ένα παράγοντα: έδαφος

Ως προς τον παράγοντα A (σταθμός) ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις εφαρμογής της ANOVA για όλες τις μεταβλητές και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών σε όλες τις μεταβλητές.

Ως προς τον παράγοντα B (έδαφος) δεν μπορεί να εφαρμοστεί ANOVA γιατί δεν ικανοποιείται η βασική προϋπόθεση που είναι η ισότητα των διασπορών των πληθυσμών από τους οποίους προέρχονται τα δείγματα. Γι' αυτό εφαρμόστηκε ο μη-παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis για τις παρακάτω μεταβλητές: διήθηση, εξατμισοδιαπνοή, επιφανειακή απορροή και υπόγεια απορροή.

Διήθηση-Infiltration

Kruskal-Wallis Test for infiltration by soil		
Soil	Sample Size	Average Rank
1	14	7.5
2	14	24.4643
3	14	32.5357
Test statistic = 30.3814 P-Value = 2.52787E-7		

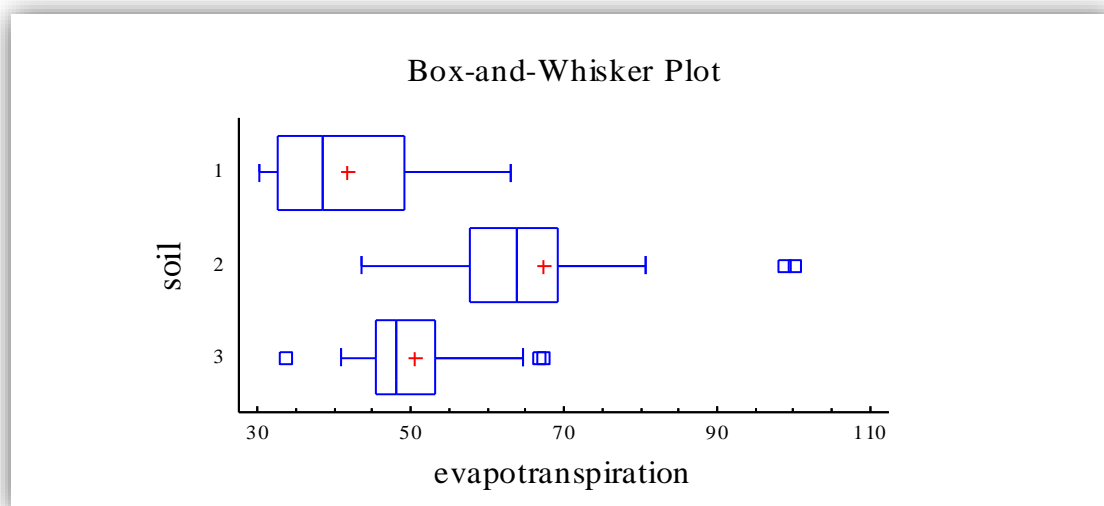


Σχήμα 20 – Διάγραμμα διήθηση-έδαφος, έλεγχος Kruskal-Wallis

Ο έλεγχος Kruskal-Wallis για τη μεταβλητή διήθηση δείχνει ότι ο παράγοντας έδαφος είναι στατιστικά σημαντικός με $P\text{-value}=2,5 * 10^{-7}$. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα υποστηρίζουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην διήθηση μεταξύ των τριών εδαφών. Η πιθανότητα αυτό το συμπέρασμα να είναι λάθος είναι $P<0.001$. Από το σχήμα 6 φαίνεται ότι η διήθηση στα εδάφη 2 και 3 δεν διαφέρει (αποτελούν ομάδα) ενώ η διήθηση στο έδαφος 1 διαφέρει τόσο με το έδαφος 2 όσο και με το έδαφος 3.

Εξατμισοδιαπνοή - Evapotranspiration

Kruskal-Wallis Test for evapotranspiration by soil		
Soil	Sample Size	Average Rank
1	14	12.0714
2	14	31.8571
3	14	20.5714
Test statistic = 18.3284 P-Value = 0.000104721		

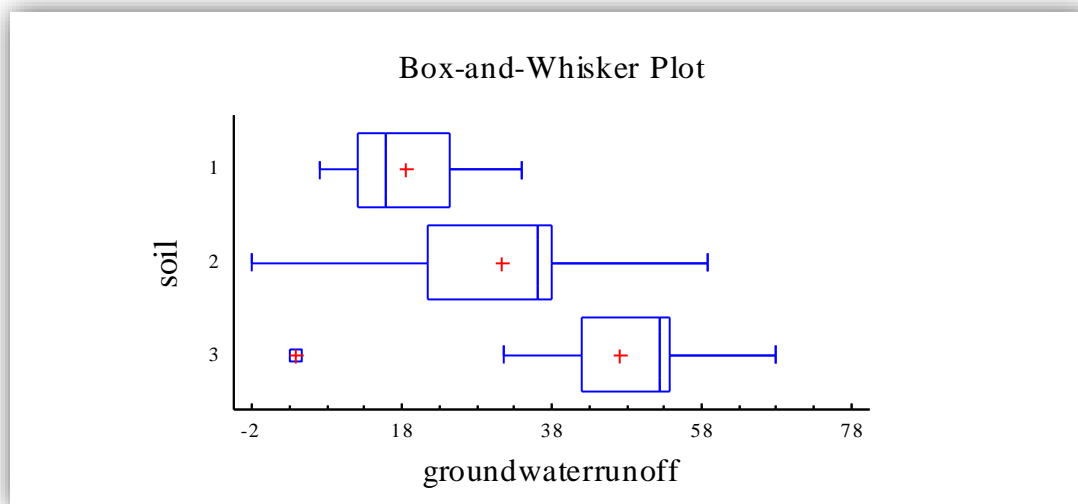


Σχήμα 21 – Διάγραμμα εξατμισοδιαπνοή-έδαφος, έλεγχος Kruskal-Wallis

Ο έλεγχος Kruskal-Wallis για τη μεταβλητή εξατμισοδιαπνοή δείχνει ότι ο παράγοντας έδαφος είναι στατιστικά σημαντικός με $P\text{-value}=10 * 10^{-5}$. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα υποστηρίζουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην διήθηση μεταξύ των τριών εδαφών. Η πιθανότητα αυτό το συμπέρασμα να είναι λάθος είναι $P<0.001$. Από το σχήμα 7 φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή στα εδάφη 1 και 3 δεν διαφέρει (αποτελούν ομάδα) ενώ η διήθηση στο έδαφος 2 διαφέρει τόσο με το έδαφος 1 όσο και με το έδαφος 3.

Υπόγεια απορροή – Groundwater runoff

Kruskal-Wallis Test for groundwater runoff by soil		
Soil	Sample Size	Average Rank
1	14	11.5714
2	14	21.5
3	14	31.4286
Test statistic = 18.3398 P-Value = 0.000104126		

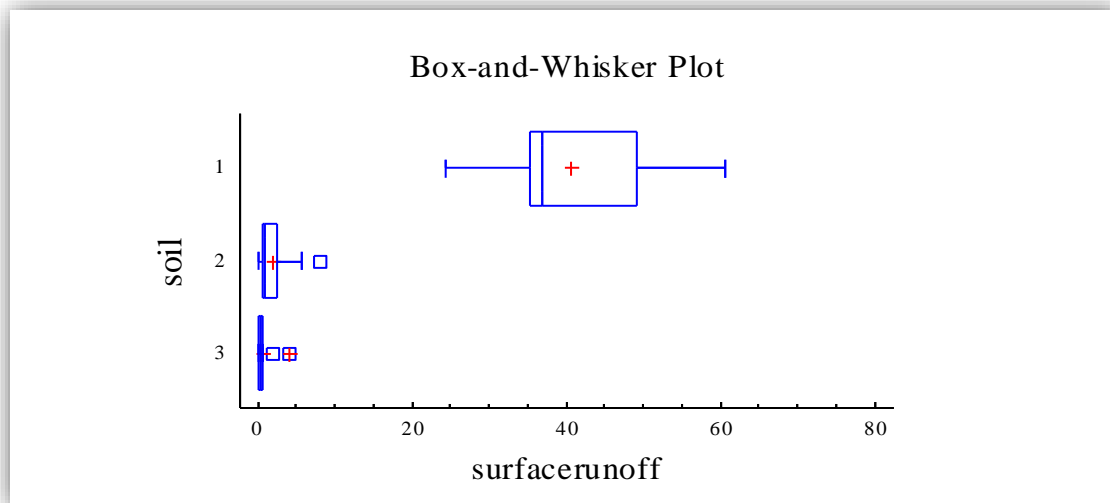


Σχήμα 22 – Διάγραμμα υπόγεια απορροή-έδαφος, έλεγχος Kruskal-Wallis

Ο έλεγχος Kruskal-Wallis για τη μεταβλητή υπόγεια απορροή δείχνει ότι ο παράγοντας έδαφος είναι στατιστικά σημαντικός με $P\text{-value}=10 * 10^{-5}$. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα υποστηρίζουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην διήθηση μεταξύ των τριών εδαφών. Η πιθανότητα αυτό το συμπέρασμα να είναι λάθος είναι $P<0.001$. Από το σχήμα 8 φαίνεται ότι η υπόγεια απορροή και στα τρία εδάφη διαφέρουν.

Επιφανειακή απορροή – Surface runoff

Kruskal-Wallis Test for surface runoff by soil		
Soil	Sample Size	Average Rank
1	14	35.5
2	14	18.3571
3	14	10.6429
Test statistic = 30.1192 P-Value = 2.88204E-7		



Σχήμα 23 – Διάγραμμα επιφανειακή απορροή-έδαφος, έλεγχος Kruskal-Wallis

Ο έλεγχος Kruskal-Wallis για τη μεταβλητή επιφανειακή απορροή δείχνει ότι ο παράγοντας έδαφος είναι στατιστικά σημαντικός με $P\text{-value}=2,8 \cdot 10^{-7}$. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα υποστηρίζουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην διήθηση μεταξύ των τριών εδαφών. Η πιθανότητα αυτό το συμπέρασμα να είναι λάθος είναι $P<0.001$. Από το σχήμα 9 φαίνεται ότι η υπόγεια απορροή στα εδάφη 2 και 3 δεν διαφέρει (αποτελούν ομάδα) ενώ η διήθηση στο έδαφος 1 διαφέρει.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με δύο παράγοντες και αλληλεπίδραση, με βάση την κλιματική περιοχή των σταθμών και τα εδάφη, για τους παράγοντες: διήθηση, εξατμισοδιαπνοή, επιφανειακή και υπόγεια απορροή. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται με επιφύλαξη, καθώς δεχόμαστε ότι ισχύει η παραδοχή ότι τα δείγματα (δηλαδή οι παρατηρήσεις σε κάθε επέμβαση) προέρχονται από κανονικούς πληθυσμούς με ίσες διασπορές και παράλληλα σε δύο από τις τέσσερις επεμβάσεις έχουμε μόνο από μία παρατήρηση. Για τη διήθηση, η κλιματική περιοχή και η αλληλεπίδραση δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P\text{-value}$, κλιματικής περιοχής: 0,39 και $P\text{-value}$, αλληλεπίδρασης: 0,81). Για την εξατμισοδιαπνοή, η κλιματική περιοχή είναι στατιστικά σημαντική και η αλληλεπίδραση δεν έχει στατιστικά σημαντικές διαφορές ($P\text{-value}$, κλιματικής περιοχής: 0,00 και $P\text{-value}$, αλληλεπίδρασης: 0,55). Για τη επιφανειακή

απορροή, η κλιματική περιοχή και η αλληλεπίδραση δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (P-value, κλιματικής περιοχής: 0,37 και P-value, αλληλεπίδρασης: 0,82). Για τη υπόγεια απορροή, η κλιματική περιοχή και η αλληλεπίδραση δεν έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές (P-value, κλιματικής περιοχής: 0,0015 και P-value, αλληλεπίδρασης: 0,56).

Με δεδομένο ότι η κλιματική περιοχή Bs-ξηρό κλίμα, στεππώδες ημίξηρο και Bw-ξηρό κλίμα, ερημικό έχουν μόνο μία παρατήρηση, έγινε παραμετρικός και μη-παραμετρικός έλεγχος μεταξύ των κλιματικών περιοχών Cf-μεσόθερμο ή εύκρατο θερμό – υγρό με ισοκατανομή και Df-μικρόθερμο ψυχρού βροχερού δάσους ή ψυχρό-υγρό με ισοκατανομή βροχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστική διαφορά των παραμέτρων της διήθησης, εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής και υπόγειας απορροής τόσο στο t-test (παραμετρικός έλεγχος) όσο και στο Mann-Whitney (μη-παραμετρικός έλεγχος). Συγκεκριμένα, στη διήθηση P-value, t-test: 0,7424, P-value, M. Whitney: 0,2754, στην εξατμισοδιαπνοή P-value, t-test: 0,4697, P-value, M. Whitney: 0,5347, στην επιφανειακή απορροή P-value, t-test: 0,7418, P-value, M. Whitney: 0,2609 και στην υπόγεια απορροή P-value, t-test: 0,2402, P-value, M. Whitney: 0,2754.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., Φλόκας, Α. 2010 Μαθήματα γεωργικής μετεωρολογίας και κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη.

Bonazountas, M. and Wagner, J. 1984 SESOIL: a seasonal soil compartment model, Arthur D. Little, Inc., Cambridge.

Bonazountas, M., Panagoulia, D., Passas, N., Syrios, K., Grammatikogiannis, A. 2005 Water balance estimation via Sesoil: Pinios river basin, Greece. Bull Eng Geol Environ 64:111-116.

Eagleson, P. 1978. Climate, Soil and Vegetation. Water resources research, vol. 14, N^o5.

Hetrick, D.M., Holdeman, J.T., Luxmoore, R.J. 1982 AGTEHM: Documentation of modifications to the terrestrial ecosystem hydrology model (TEHM) for agricultural applications. ORNL/ TM-7856, Oak Ridge National Laboratory, Oak Rodge, Tennessee, 119 pp.

Hetrick, D.M., Travis, C.C., Shirley, P.S., Etnier, E.L. 1986 Model predictions of watershed hydrologic components: comparison and verification. Water resources bulletin, vol.22 No. 5.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κλιματικά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών, όπου TA=temperature (°C), NN=cloud cover (fraction), S=relative humidity (fraction), A=albedo (-), REP=evapotranspiration (cm/day), MPM=precipitation (cm), MTR=mean time rain (days), MN=mean storm number (-), MT=mean season (days).

Σταθμός: Athens – Πολιτεία: Georgia

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	16.11	10.16	6.00	5.61	6.66	10.27	15.77	20.00	23.66	25.05	24.72	21.66
NN	0.45	0.50	0.65	0.65	0.65	0.59	0.55	0.55	0.59	0.59	0.50	0.50
S	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75
A	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	7.61	8.86	10.96	12.43	11.44	14.83	10.86	12.73	9.99	12.67	9.90	8.71
MTR	0.48	0.46	0.53	0.62	0.57	0.49	0.43	0.39	0.33	0.28	0.28	0.48
MN	3.84	4.80	5.65	6.08	5.52	6.56	5.40	5.76	5.38	6.96	5.25	3.96
MT	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40

Σταθμός: Atlanta – Πολιτεία: Georgia

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	16.11	10.16	6.00	5.61	6.66	10.27	15.77	20.00	23.66	25.05	24.72	21.66
NN	0.45	0.50	0.65	0.65	0.65	0.59	0.55	0.55	0.59	0.59	0.50	0.50
S	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75
A	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	6.56	9.43	11.10	11.80	11.51	14.51	11.18	9.72	8.50	12.30	8.72	8.53
MTR	0.47	0.45	0.55	0.54	0.51	0.48	0.43	0.41	0.29	0.27	0.24	0.49
MN	3.19	4.72	5.69	6.17	5.97	6.88	5.57	5.25	6.19	7.66	5.72	4.47
MT	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40

Σταθμός: Buffalo – Πολιτεία: New York

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	11.27	4.77	-2.05	-4.50	-4.00	0.61	7.61	13.22	18.88	21.33	20.44	16.83

NN	0.60	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.65	0.60	0.55	0.60	0.60
S	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75
A	0.16	0.34	0.46	0.47	0.43	0.32	0.21	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	7.51	9.69	8.71	7.81	6.17	7.43	7.55	7.30	6.89	7.26	10.33	8.57
MTR	0.49	0.61	0.60	0.59	0.61	0.55	0.54	0.49	0.33	0.31	0.34	0.44
MN	5.63	7.83	7.69	7.34	5.57	6.91	7.00	6.05	5.63	5.02	6.33	5.58
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Burlington – Πολιτεία: Vermont

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	9.94	3.50	-4.27	-7.16	-6.00	-0.44	6.88	13.05	18.38	20.03	19.55	15.55
NN	0.59	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65
S	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75	0.80
A	0.18	0.28	0.43	0.41	0.43	0.34	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	7.19	7.71	6.36	4.81	4.62	5.55	7.19	7.63	8.81	8.79	9.95	8.04
MTR	0.54	0.53	0.61	0.62	0.64	0.61	0.54	0.47	0.39	0.35	0.38	0.42
MN	5.50	6.47	5.13	4.25	3.80	5.05	6.22	6.74	7.16	6.83	7.41	6.02
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Daytona beach – Πολιτεία: Florida

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	23.16	18.77	15.88	15.33	16.11	18.61	21.83	24.66	26.83	27.5	27.61	26.61
NN	0.5	0.5	0.55	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.59	0.59	0.59	0.59
S	0.8	0.75	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.75	0.8	0.8	0.8
A	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	12.37	5.72	6.14	5.61	7.42	8.69	6.37	7.85	15.7	15.15	16.64	17.48
MTR	0.24	0.20	0.27	0.27	0.17	0.24	0.10	0.32	0.15	0.18	0.10	0.16
MN	5.46	3.52	3.9	3.31	4.23	4.47	3.11	5.04	7.58	8.83	9.21	7.75
MT	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4

Σταθμός: Ely– Πολιτεία: Nevada

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	8.27	1.72	-2.61	-3.88	-1.38	1.16	5.88	10.61	14.72	20.05	18.77	14.00
NN	0.45	0.55	0.65	0.65	0.60	0.65	0.60	0.55	0.40	0.35	0.30	0.30
S	0.50	0.65	0.70	0.70	0.65	0.55	0.45	0.50	0.40	0.30	0.35	0.35
A	0.26	0.32	0.38	0.39	0.36	0.36	0.30	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	1.74	1.49	1.85	1.89	1.64	2.40	2.31	2.81	1.96	1.55	1.63	2.03
MTR	0.38	0.39	0.35	0.46	0.33	0.41	0.37	0.47	0.31	0.16	0.20	0.26
MN	2.08	1.66	2.16	2.02	1.88	3.02	2.65	2.97	1.85	1.91	1.83	1.80
MT	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4

Σταθμός: Knoxville– Πολιτεία: Tennessee

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	14.88	8.38	4.00	3.44	4.72	8.66	14.44	18.94	22.94	24.50	24.00	20.83
NN	0.50	0.60	0.65	0.70	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.50
S	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.65	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75
A	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	7.15	9.90	11.59	11.93	10.54	13.46	9.81	9.66	9.97	11.08	7.99	7.41
MTR	0.44	0.47	0.56	0.56	0.54	0.50	0.44	0.39	0.33	0.30	0.27	0.43
MN	4.27	5.77	5.94	7.17	6.34	7.45	6.22	6.80	6.57	7.42	5.54	4.72
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Mobile– Πολιτεία: Alabama

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	20.61	15.05	11.88	11.05	12.5	15.38	19.94	23.72	26.72	27.44	27.44	25.33
NN	0.4	0.5	0.59	0.59	0.59	0.59	0.55	0.55	0.55	0.59	0.55	0.55
S	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.75	0.75	0.8	0.8	0.8
A	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	6.61	8.7	13.66	12.33	13.8	15.85	13.00	14.05	13.26	19.08	16.88	15.61
MTR	0.33	0.38	0.45	0.48	0.49	0.40	0.38	0.30	0.24	0.22	0.21	0.36
MN	2.96	4.14	6.23	6.2	5.48	6.24	3.84	4.93	7.26	10.96	9.4	6.22
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Portland – Πολιτεία: Maine

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	9.72	4.05	-3.11	-5.38	-4.72	0.05	5.77	11.22	16.16	19.27	18.66	14.77
NN	0.59	0.65	0.65	0.65	0.59	0.59	0.65	0.65	0.65	0.59	0.59	0.59
S	0.75	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75	0.80	0.80
A	0.16	0.20	0.37	0.40	0.45	0.35	0.20	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	9.34	12.55	11.25	9.66	9.16	10.14	9.99	8.61	7.91	7.12	7.02	8.16
MTR	0.58	0.60	0.62	0.59	0.63	0.61	0.60	0.54	0.39	0.31	0.37	0.47
MN	4.58	6.13	6.16	5.91	5.05	5.80	5.74	5.80	5.63	5.27	5.16	4.52
MT	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40	30.40

Σταθμός: Raleigh – Πολιτεία: North Carolina

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	15.88	10.05	5.22	4.88	5.88	9.77	15.61	20.05	23.88	25.50	24.94	21.55
NN	0.45	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.55	0.55	0.60	0.55	0.55	0.55
S	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.65	0.60	0.70	0.70	0.70	0.75	0.75
A	0.16	0.16	0.17	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	7.24	7.41	8.41	8.55	8.82	9.29	6.98	9.83	9.31	11.03	11.10	8.37
MTR	0.49	0.44	0.50	0.54	0.50	0.48	0.37	0.37	0.35	0.29	0.35	0.49
MN	3.94	4.38	5.11	5.34	5.54	6.31	5.08	6.22	5.50	7.22	5.52	4.00
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Rochester – Πολιτεία: New York

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	11.27	4.77	-2.05	-4.50	-4.00	0.61	7.61	13.22	18.88	21.33	20.44	16.83
NN	0.60	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.65	0.60	0.55	0.60	0.60
S	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.75
A	0.16	0.34	0.46	0.47	0.43	0.32	0.21	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	6.46	7.21	6.54	6.04	5.79	6.19	6.54	6.56	7.09	6.25	8.17	6.80
MTR	0.46	0.54	0.59	0.59	0.60	0.51	0.51	0.44	0.34	0.30	0.32	0.37

MN	5.13	6.44	6.11	5.71	4.88	5.80	6.34	6.33	4.94	5.36	5.75	5.55
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Seattle – Πολιτεία: Washington

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	11.00	6.83	4.66	3.33	5.50	6.72	9.50	12.77	15.44	17.72	17.38	15.00
NN	0.70	0.80	0.90	0.80	0.80	0.80	0.75	0.70	0.70	0.50	0.59	0.59
S	0.80	0.85	0.90	0.85	0.85	0.80	0.70	0.70	0.75	0.75	0.80	0.80
A	0.14	0.15	0.19	0.23	0.16	0.16	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	8.90	15.51	12.90	15.04	11.09	8.53	5.21	3.40	2.78	1.63	2.07	3.82
MTR	0.61	0.74	0.64	0.70	0.67	0.64	0.56	0.50	0.40	0.39	0.39	0.50
MN	7.29	9.76	10.46	10.11	7.88	5.52	3.94	3.29	1.77	9.00	2.17	3.55
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Spokane – Πολιτεία: Washington

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	7.61	1.00	-2.77	-4.88	-1.16	2.22	7.33	12.05	15.55	19.22	18.16	13.88
NN	0.70	0.80	0.90	0.80	0.80	0.80	0.70	0.65	0.65	0.35	0.50	0.50
S	0.70	0.80	0.85	0.80	0.80	0.70	0.55	0.60	0.60	0.50	0.50	0.55
A	0.16	0.23	0.36	0.40	0.26	0.21	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MPM	3.03	5.35	6.30	6.03	4.23	3.78	2.67	3.36	3.30	1.38	1.71	1.91
MTR	0.39	0.51	0.55	0.59	0.51	0.45	0.39	0.43	0.47	0.23	0.31	0.36
MN	3.52	5.75	6.94	6.40	5.25	5.05	3.37	3.82	3.05	1.54	1.88	2.02
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42

Σταθμός: Tucson – Πολιτεία: Arizona

M	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
TA	18.61	12.22	8.5	7.83	9.55	11.88	16.22	20.5	25.27	27.44	26.16	24.05
NN	0.25	0.29	0.4	0.5	0.4	0.45	0.35	0.25	0.35	0.5	0.2	0.2
S	0.4	0.4	0.45	0.5	0.45	0.35	0.3	0.3	0.3	0.4	0.45	0.4
A	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
REP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

MPM	2.29	1.57	2.28	2.23	1.61	1.85	0.76	0.36	0.6	6.41	5.3	3.6
MTR	0.34	0.30	0.30	0.34	0.39	0.41	0.18	0.08	0.09	0.21	0.18	0.20
MN	1.36	1.5	2.25	2.08	1.45	1.94	1.00	0.45	0.71	5.08	4.52	2.61
MT	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42	30.42