

Συνολική Προσομοίωση Υδρολογικής Λεκάνης με το Ομοίωμα Εδαφικής Υγρασίας Sacramento

Δ. ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η συνολική προσομοίωση υδρολογικής λεκάνης με το ομοίωμα εδαφικής υγρασίας Sacramento. Περιγράφεται η δομή, οι παράμετροι, και οι μεταβλητές εισόδου-εξόδου και λειτουργίας του ομοιώματος. Με τη μορφή διαγράμματος ροής παρέχεται ο τρόπος λειτουργίας του ομοιώματος όσον αφορά την εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας της λεκάνης. Το ομοίωμα ρυθμίσθηκε στην ορεινή λεκάνη Μεσοχώρας του Αχελώου ποταμού και απέδωσε ικανοποιητικά την ημερήσια παροχή του ποταμού για δεκαεννέα συνεχή έτη (1968-1986). Έτρεξε σε μικροϋπολογιστή παρά τον όγκο των εργασιών που εξετέλεσε. Η όλη διαδικασία μπορεί να εφαρμοσθεί με μεγάλη αξιοπιστία σε φάση οριστικής μελέτης.

Conceptual Watershed Simulation by using the Sacramento Soil Moisture Accounting Model

D. PANAGOULIA

Abstract

The use of Sacramento soil moisture accounting model in conceptual watershed simulation is presented. It is described the structure, parameters, variables, and the flow chart of the soil moisture accounting portion of the model. The model has been calibrated on Mesochora mountainous catchment of Acheloos river. It simulated successfully the daily discharge of the river for nineteen continuous years (1968-1986), and run on a microcomputer even though it performed a great volume of works. All the simulation procedure can be implemented for definite study phase with a great credibility.

Υποβλήθηκε: 22.6.1990
Έγινε δεκτή: 5.10.1990

Submitted: June 22, 1990
Accepted: Oct. 5, 1990

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνολική λειτουργία μιας λεκάνης απορροής, από την έναρξη της κατακρήμνισης μέχρι το σχηματισμό παροχής ποταμού στη χαμηλότερη έξοδο της λεκάνης, περιλαμβάνει σειρά από αλληλένδετες διαδικασίες και αποθηκεύσεις. Στη συνολική προσομοίωση, οι διαδικασίες της λεκάνης περιγράφονται, σε διάφορο βαθμό πολυπλοκότητας και ακρίβειας, με μαθηματικές εξισώσεις (π.χ. εξίσωση εξάτμισης, εξίσωση διήθησης), ενώ οι αποθηκεύσεις θεωρούνται ταμειυτήρες για τους οποίους ισχύει η αρχή των υδατικών ισοζυγίων.

Την τελευταία εικοσαετία έχουν αναπτυχθεί πολλά συνολικά ομοιώματα λεκάνης. Καθένα από αυτά είναι δομημένο με διαφορετικούς συνδυασμούς από διαδικασίες, αποθηκεύσεις και ανταλλαγές υγρασίας στους χώρους αποθήκευσής της, και απαιτεί σειρά από καθορισμένα στοιχεία εισόδου.

Τα περισσότερα από τα ομοιώματα αυτά είναι προσδιοριστικά (οι προσομοιωμένες διαδικασίες δεν περιέχουν στοχαστικό μέρος) και δουλεύουν είτε σε διακεκριμένα χρονικά βήματα σχετιζόμενα με τα γεγονότα κατακρήμνισης (event models), είτε συνεχώς, εκτιμώντας την αποθήκευση και ροή της εδαφικής υγρασίας ανεξάρτητα από τα γεγονότα κατακρήμνισης (continuous models).

Ακόμη, διακρίνονται σε ομοιώματα συγκεντρωμένης ή κατανεμημένης παραμέτρου (lumped or distributed parameter models). Τα ομοιώματα συγκεντρωμένης παραμέτρου θεωρούν ότι η μεταβολή των παραμέτρων τους στο χώρο συγκεντρώνεται σε μια "αποτελεσματική τιμή" που εφαρμόζεται σε ολόκληρη τη λεκάνη [2], ενώ αυτά της κατανεμημένης παραμέτρου ενσωματώνουν τη χωρική μεταβολή των παραμέτρων τους απευθείας στο ομοίωμα μέσω των διαφορικών εξισώσεων περιγραφής της λεκάνης που επιλύονται από σειρά συνοριακών συνθηκών [2]. Τα ομοιώματα της τελευταίας αυτής κατηγορίας είναι ελάχιστα.

Δεδομένου του μεγάλου σχετικά αριθμού συνολικών ομοιωμάτων γεννιέται το πρόβλημα επιλογής του καλύτερου από αυτά. Η απαιτούμενη πληροφορία για μια τέτοια επιλογή, σε πρώτο στάδιο, περιλαμβάνει το χρονικό βήμα λειτουργίας του ομοιώματος, τη διαθεσιμότητά του, το σκοπό χρησιμοποίησής του, τις προσομοιωμένες διαδικασίες και το μέγεθος της λεκάνης, τις απαιτήσεις του σε δεδομένα, και τη χρονική μονάδα ανάλυσης των εισόδων και εξόδων του ομοιώματος. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι περισσότερα του ενός ομοιώματα είναι δυνατό να προσομοιώνουν ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη λεκάνη. Συνεπώς εξακολουθεί να παραμένει το πρόβλημα της επιλογής του καλύτερου ομοιώματος το οποίο επιλύεται οριστικά σε δεύτερο στάδιο με τα ακόλουθα κριτήρια [14],[3],[8],[4]:

- (i) ακρίβεια προσομοίωσης (πρόγνωσης)
- (ii) ευκολία χρήσης
- (iii) προσαρμοστικότητα στο πρόβλημα
- (iv) γενικότητα στην εφαρμογή

- (v) συνέπεια στην εκτίμηση παραμέτρων
- (vi) ευαισθησία αποτελεσμάτων ομοιώματος σε αλλαγές παραμέτρων και μεταβλητών εισόδου.

Ωστόσο, δεν υπάρχει μόνο ένα άριστο ομοίωμα.

Τα συνολικά ομοιώματα λεκάνης, παρά τις αυξημένες απαιτήσεις τους σε δεδομένα και υπολογιστικό χρόνο για τη ρύθμιση των παραμέτρων τους, είναι ευρέως διαδεδομένα γιατί όχι μόνο προσομοιώνουν τη συνολική λειτουργία της λεκάνης αλλά και γιατί μέσω αυτών ερευνάται η αλληλεπίδραση των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών μεταξύ τους, όπως π.χ. της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της τήξης χιονιού, κλπ πάνω στην απορροή [15].

Στην εργασία αυτή εδώ προσομοιώνεται συνολικά μία μεσαίου μεγέθους υδρολογική λεκάνη με το ομοίωμα εδαφικής υγρασίας Sacramento (Sacramento soil moisture accounting model) και η οποία μπορεί να αποτελέσει φάση οριστικής μελέτης.

Το ομοίωμα Sacramento εκτός του ότι αποτελεί τον πλέον αντιπροσωπευτικό τύπο συνολικού ομοιώματος, είναι καλά τεκμηριωμένο και χρησιμοποιείται ευρέως για προσομοίωση αλλά και για πρόγνωση απορροών. Αναπτύχθηκε από τους R.Burnash, R.Ferrai και R.Mcquire το 1973, και από τότε έχει εξελιχθεί (τροποποιηθεί - βελτιωθεί) ως προς τους αλγόριθμους και τα χρονικά βήματα λειτουργίας του. Είναι προσδιοριστικό, συνεχές, και συγκεντρωμένης παραμέτρου συνολικό ομοίωμα. Είσοδοι στο ομοίωμα είναι η βροχόπτωση ή ψευδοβροχόπτωση (βροχή και λιωμένο χιόνι) που εισάγεται ημερησίως ή σε μικρότερα χρονικά διαστήματα και η δυναμική εξατμισοδιαπνοή που εκτιμάται είτε από μετεωρολογικές μεταβλητές (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια κλπ) οπότε εισέρχεται με μέση υπερετήσια μηνιαία τιμή, είτε από μετρήσεις οργάνου (pan evaporation data) οπότε εισέρχεται με ημερήσια, μηνιαία ή μέση υπερετήσια μηνιαία τιμή.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Περιλαμβάνεται σύντομη αλλά πλήρης και σαφής περιγραφή της δομής, των παραμέτρων και των ενδιάμεσων μεταβλητών του ομοιώματος.

2.1 Δομή Ομοιώματος

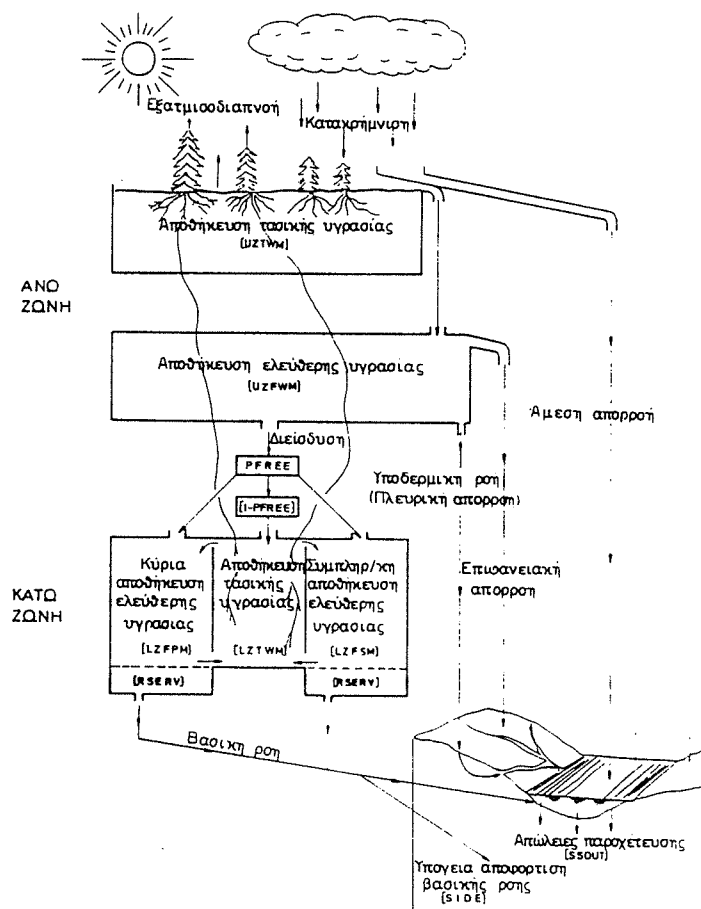
Με την έναρξη της βροχής το νερό θεωρείται ότι πέφτει επάνω σε δύο είδη επιφανειακής κάλυψης της λεκάνης, στο διαπερατό εδαφικό στρώμα και τους επιφανειακούς υδροφορείς (λίμνες, υδατορεύματα) και τις αδιαπέρατες επιφάνειες. Η βροχή που πέφτει επάνω σε αδιαπέρατες επιφάνειες παράγει άμεση απορροή, ενώ εκείνη που πέφτει σε διαπερατό εδαφικό στρώμα ακολουθεί πολύπλοκη πορεία που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία της διήθησης. Κάτω από το διαπερατό εδαφικό στρώμα η εδαφική υγρασία θεωρείται ότι αποθηκεύεται σε δύο ζώνες, την άνω και κάτω (Σχ.2.1). Σε κάθε ζώνη η υγρασία αποθηκεύεται με δύο τρόπους, ως

τασική και ελεύθερη. Τασική θεωρείται η υγρασία που έλκεται από τα ακόρεστα εδαφικά σωματίδια τόσο ισχυρά που μπορεί να απομακρυνθεί μόνο με εξάτμιση ή εξατμισοδιαπνοή, ενώ ελεύθερη θεωρείται εκείνη που γεμίζει το εδαφικό πορώδες.

Η άνω εδαφική ζώνη περιλαμβάνει επιφανειακά εδάφη και την επιφανειακή κρούστα της λεκάνης (συνήθως καλυμμένη με χλωρίδα) που παραμποδίζει τη βροχή να εισχωρήσει στο έδαφος. Η τασική υγρασία της άνω ζώνης (UZTW), προσκολλημένη στα εδαφικά σωματίδια, πρέπει να κορεστεί πλήρως (UZTWM) προτού αρχίσει να αποθηκεύεται στο εδαφικό

πορώδες ως ελεύθερο νερό. Η ελεύθερη υγρασία της άνω ζώνης (UZFW) υπό την επίδραση των δυνάμεων βαρύτητας και πιέσεων παράγει κατακόρυφη απορροή (διείσδυση) στην κάτω ζώνη και πλευρική απορροή (υποδερμική) στον ποταμό. Αν η ένταση της βροχής ξεπεράσει το άθροισμα των ρυθμών πλευρικής (UZK) και κατακόρυφης απορροής, η δε άνω ζώνη έχει γεμίσει πλήρως με ελεύθερη υγρασία (UZFWM), τότε το πλεόνασμα του νερού απορρέει επιφανειακά. Η ταχύτητα της πραγματοποιούμενης διείσδυσης στην κάτω ζώνη εξαρτάται από τη συσχέτιση των δύο ζωνών (άνω και κάτω) όσον αφορά τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά απορροής και τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας τους.

Η κάτω ζώνη η οποία αντιπροσωπεύει υπόγειο ταμειευτήρα (δεξαμενή), περιλαμβά-



Σχ. 2.1 Σχηματική παρουσίαση ομοιώματος Sacramento.

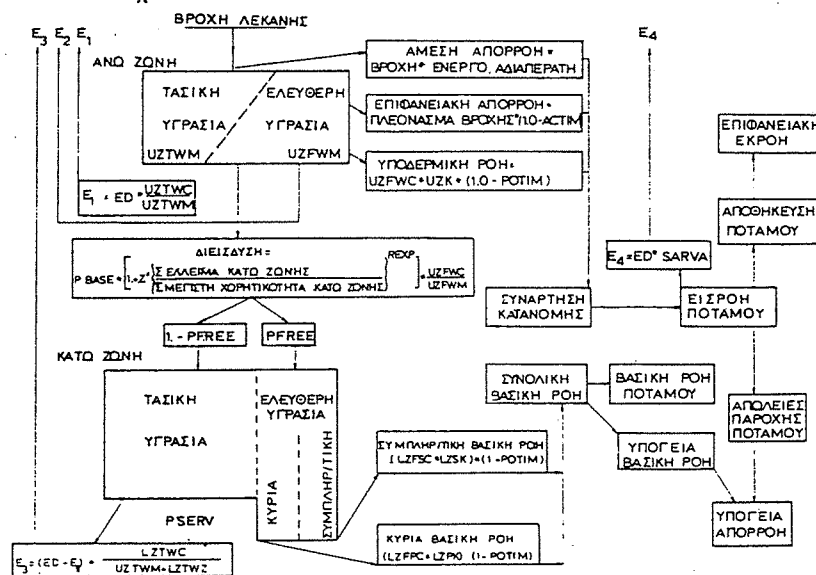
Fig.2.1 Diagramatic outline of Sacramento model.

νει μια ζώνη αποθήκευσης τασικής υγρασίας ($LZTW$) και δύο άλλες αποθήκευσης ελεύθερης υγρασίας, των κύρια ($LZFP$) και τη συμπληρωματική ($LZFS$). Το νερό εισέρχεται πρώτα στη τασική ζώνη και ύστερα στη ζώνη ελεύθερης υγρασίας, οι οποίες παράγουν κύρια και συμπληρωματική βασική ροή.

Ο λόγος χρησιμοποίησης τριών αποθηκευτικών ζωνών είναι για να μπορούν να αντιπροσωπευθούν τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά αποφόρτισης της βασικής ροής.

Η εξατμισοδιαπνοή (E) τροφοδοτείται με υγρασία από την άνω και κάτω τασική ζώνη και τις ελεύθερες επιφάνειες νερού στο εδαφικό στρώμα. Από τους επιφανειακούς υδροφορείς και την παραποτάμια βλάστηση η εξατμισοδιαπνοή λεκάνης πραγματοποιείται την ημέρα στο μέγιστο δυναμικό της, ενώ από τα στρώματα η πραγματοποίησή της εξαρτάται από τη ζήτηση, τον όγκο και την κατανομή της αποθηκευμένης τασικής υγρασίας. Είναι προφανές ότι η άνω τασική ζώνη τροφοδοτεί με υγρασία την εξατμισοδιαπνοή πριν από την κάτω.

Συνολική απορροή είναι το άθροισμα της άμεσης απορροής από τις αδιαπέρατες και υδατικές επιφάνειες της λεκάνης, της επιφανειακής και πλευρικής (υποδερμικής) απορροής, καθώς και της κύριας και συμπληρωματικής βασικής ροής από τις αποθηκεύσεις ελεύθερης υγρασίας στις κάτω ζώνες. Το ομοίωμα Sacramento δεν συσχετίζει άμεσα την εδαφική υγρασία με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, αλλά οι εξισώσεις που συνδέουν την περιεχόμενη τασική υγρασία ($UZTWC$, $LZTWC$), τη δυναμική, και πραγματική εξατμισοδιαπνοή ενεργούν ως υποκατάστατο των απαιτήσεων της βλάστησης σε νερό. Με σχηματικό τρόπο οι συνιστώσες του ομοιώματος φαίνονται στο Σχ.2.2.



Σχ. 2.2 Διάταξη συνιστωσών ομοιώματος Sacramento.

Fig.2.2 Components of Sacramento model.

2.2. Παράμετροι ομοιώματος

Παρατίθενται, ορίζονται και περιγράφονται οι παράμετροι σύμφωνα με τις διάφορες φάσεις εκτίμησης της εδαφικής υγρασίας από το ομοίωμα. Επίσης αναπτύσσεται η διαδικασία αρχικής εκτίμησής τους [12]. Οι τελικές τιμές τους καθορίζονται από τη ρύθμιση του ομοιώματος.

2.2.1. Άμεση απορροή

ADIMP Πρόσθετη αδιαπέρατη επιφάνεια. Αναπτύσσεται όταν έχουν ικανοποιηθεί πλήρως οι ανάγκες τασικής υγρασίας. Εκφράζεται σε ποσοστά συνολικής επιφάνειας. Εκτιμάται από την ανάλυση μικρής καταιγίδας μετά από πολύ υψηλή περίοδο καθόσον οι ανάγκες εξατμισοδιαπνοής για αυτό το κλιματικό καθεστώς είναι αρκετά μικρές. Κάτω από μια τέτοια κατάσταση η εδαφική υγρασία μεταφέρεται μέσω της διείσδυσης στην κατώτερη ζώνη και μόνο η επιφάνεια της λεκάνης που παρουσιάζει αδιαπέρατα χαρακτηριστικά μπορεί να παράγει άμεση απορροή.

ACTIM Ενεργός αδιαπέρατη επιφάνεια. Εκφράζεται σε ποσοστά συνολικής επιφάνειας. Προσδιορίζεται από τη λειτουργία του ομοιώματος.

PCTIM Ελάχιστη αδιαπέρατη επιφάνεια. Το νερό της βροχής που πέφτει πάνω σε αυτήν ταυτόχρονα απορρέει. Εκφράζεται σε ποσοστά συνολικής επιφάνειας. Προσδιορίζεται από την ανάλυση μικρής καταιγίδας μετά από εκτεταμένη περίοδο ξηρασίας. Κάτω από αυτή την κλιματική κατάσταση μόνο η μονίμως αδιαπέρατη επιφάνεια της λεκάνης παράγει άμεση απορροή.

POTIM Δυναμική αδιαπέρατη επιφάνεια. Είναι το άθροισμα ελάχιστης και πρόσθετης αδιαπέρατης επιφάνειας. $POTIM = PCTIM + ADIMP$

SARVA Επιφάνεια λεκάνης που καλύπτεται από υδατορεύματα, λίμνες και παραποτάμια βλάστηση. Προσδιορίζεται από λεπτομερείς χάρτες.

2.2.2. Εδαφική υγρασία άνω ζώνης

UZTWM Μέγιστη τασική υγρασία άνω ζώνης. Αντιπροσωπεύει τον όγκο νερού που μπορεί να συγκρατηθεί στην άνω ζώνη μεταξύ ορίου υδατοικανότητας και σημείου μαρασμού καθώς και τον όγκο νερού κάτω από το σημείο μαρασμού που μπορεί να απομακρυνθεί από την εδαφική επιφάνεια με άμεση εξατμισοδιαπνοή. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προσδιορίζεται από την ανάλυση υδρογραφήματος που προκαλεί ισχυρή καταιγίδα μετά από περίοδο ξηρασίας. Αντιπροσωπεύει το ύψος βροχής, ακριβώς, πριν αρχίσει επιφανειακή απορροή.

UZFWM Μέγιστη ελεύθερη υγρασία άνω ζώνης. Αποτελεί το άνω όριο αποθήκευσης ελεύθερης υγρασίας στην άνω ζώνη. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος. Εκφράζει τον όγκο υποερμικής ροής ανηγμένο στην επιφάνεια της λεκάνης.

UZK Ημερήσιος ρυθμός πλευρικής αποφόρτισης ελεύθερης υγρασίας άνω ζώνης. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος και εκφράζει τον ρυθμό απορροής της υποερμικής ροής.

2.2.3. Διείσδυση

PBASE Μέγιστη βασική ροή. Πραγματοποιείται όταν οι αποθηκεύσεις ελεύθερης υγρασίας των κάτω ζωνών είναι πλήρεις. Αντιπροσωπεύει το μέγιστο όγκο

νερού που μπορεί να απορρεύσει από τις ζώνες αυτές. Περιγράφεται από το άθροισμα των γινομένων των μέγιστων αποθηκεύσεων ελεύθερης υγρασίας των κάτω ζωνών και των ρυθμών απορροής τους. Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της διείσδυσης. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού την ημέρα.

ZPERC Συντελεστής προσαύξησης στην εξίσωση της διείσδυσης. Όταν οι κάτω ζώνες είναι άδειες από υγρασία, ενώ η άνω ζώνη είναι πλήρης με ελεύθερη υγρασία, τότε η ταχύτητα διείσδυσης από την άνω στην κάτω ζώνη λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της μέσω του συντελεστή προσαύξησης

$$ZPERC : (1 + ZPERC) PBASE.$$

Προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$ZPERC = \frac{\text{Μέγιστη ταχύτητα διείσδυσης} - PBASE}{PBASE}$$

για τιμή μέγιστης ταχύτητας διείσδυσης παρμένη από άλλες λεκάνες.

REXP Εκθέτης στην εξίσωση της διείσδυσης. Προσδιορίζει τον ρυθμό αλλαγής της ταχύτητας της διείσδυσης κατά την αλλαγή της περιεκτικότητας των κάτω εδαφικών ζωνών σε ελεύθερη υγρασία. Προκύπτει από συνεχείς δοκιμές.

2.2.4. Εδαφική υγρασία κάτω ζώνης

LZTWM Μέγιστη τασική υγρασία κάτω ζώνης. Παριστάνει το άνω όριο της περιεχόμενης τασικής υγρασίας στην κάτω ζώνη. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προσδιορίζεται από την ανάλυση υδρογραφήματος που προκαλεί καταιγίδα μετά από εκτεταμένη ξηρή περίοδο. Το είδος της βλάστησης της λεκάνης αποτελεί αποτελεσματικό δείκτη της μέγιστης τασικής υγρασίας κάτω ζώνης.

LZFSM Μέγιστη συμπληρωματική ελεύθερη υγρασία κάτω ζώνης. Αντιπροσωπεύει το μέγιστο όγκο νερού της συμπληρωματικής βασικής ροής. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος.

LZFPM Μέγιστη κύρια ελεύθερη υγρασία κάτω ζώνης. Αντιπροσωπεύει το μέγιστο όγκο νερού της κύριας βασικής ροής. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος.

LZSK Ημερήσιος ρυθμός αποφόρτισης συμπληρωματικής υγρασίας κάτω ζώνης. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος.

LZPK Ημερήσιος ρυθμός αποφόρτισης κύριας ελεύθερης υγρασίας κάτω ζώνης. Προκύπτει από την ανάλυση του κλάδου αποφόρτισης υδρογραφήματος.

PFREE Μέρος του νερού της διείσδυσης που περνά απευθείας στις αποθηκεύσεις ελεύθερης υγρασίας των κάτω ζωνών. Εκφράζεται σε ποσοστά διεισδύμενου νερού. Προσδιορίζεται από την ανάλυση υδρογραφήματος που προκαλεί μικρή καταιγίδα μετά από ξηρές περιόδους.

RSERV Μέρος της ελεύθερης υγρασίας της κάτω ζώνης που δεν μπορεί να μεταφερθεί στην αποθήκευση της τασικής υγρασίας της κάτω ζώνης για να αναπληρώσει τυχόν έλλειμά της.

SIDE Λόγος της μη εμφανιζόμενης στον ποταμό βασικής ροής προς την αντίστοιχη εμφανιζόμενη. Συνήθως είναι 0.00.

SSOUT Απώλειες παροχής από την κοίτη ποταμού. Εκφράζονται σε $m^3/s/km^2$.

Συνήθως είναι 0.00.

2.2.5 Αρχικές περιεκτικότητες υγρασίας

- UZTWC** Περιεχόμενη τασική υγρασία άνω ζώνης. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Εκτιμάται σε ποσοστό της αντίστοιχης μέγιστης.
- UZFWC** Περιεχόμενη ελεύθερη υγρασία άνω ζώνης. Αντιπροσωπεύει τον όγκο νερού που διατίθεται για διείσδυση και πλευρική απορροή. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Εκτιμάται σε ποσοστό της αντίστοιχης μέγιστης.
- LZTWC** Περιεχόμενη τασική υγρασία κάτω ζώνης. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Εκτιμάται σε ποσοστό της αντίστοιχης μέγιστης.
- LZFSC** Περιεχόμενη συμπληρωματική ελεύθερη υγρασία κάτω ζώνης. Αντιπροσωπεύει τον όγκο νερού της συμπληρωματικής βασικής ροής. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από την ανάλυση υδρογραφήματος.
- LZFPC** Περιεχόμενη κύρια ελεύθερη υγρασία κάτω ζώνης. Αντιπροσωπεύει τον όγκο νερού της κύριας βασικής ροής. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από την ανάλυση υδρογραφήματος.
- ADIMC** Περιεχόμενη τασική υγρασία στην πρόσθετη αδιαπέρατη επιφάνεια. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού. Προκύπτει από τη λειτουργία του ομοιώματος.

2.3. Ενδιάμεσες Μεταβλητές

Ορίζονται οι μεταβλητές που αναμειγνύονται στη λειτουργία και ανάλυση σφάλματος. Οι τελευταίες είναι στατιστικές μεταβλητές.

2.3.1. Μεταβλητές λειτουργίας ομοιώματος

- PERCM** Μέγιστη βασική ροή. Εκφράζεται σε cm ύψους νερού την ημέρα.
- PDNOR** Κανονική βροχερή ημέρα. Θεωρείται η ημέρα εκείνη όπου πραγματοποιείται βροχή ύψους 1cm.
- FRACT** Τμήμα ημέρας. Τοποθετείται 1 (ένα τμήμα).
- PDN20** Μέγεθος προσαύξησης ύψους βροχής.
- EDMND** Δυναμική εξατμισοδιαπνοή. Εκφράζεται σε cm νερού την ημέρα και αποτελεί μεταβλητή εισόδου.
- E_1, E_2 Εξατμισοδιαπνοή τασικής και ελεύθερης υγρασίας άνω ζώνης, αντίστοιχα.
- E_3 Διαπνοή τασικής υγρασίας κάτω ζώνης.
- SAVED** Μέρος ελεύθερης υγρασίας κύριας και συμπληρωματικής αποθήκευσης που δεν διατίθεται για εξατμισοδιαπνοή.
- DEL** Ποσότητα υγρασίας που μεταφέρεται από τη συμπληρωματική στην τασική κάτω ζώνη για να εξισωθεί η περιεχόμενη με τη μέγιστη τασική υγρασία κάτω ζώνης. Αργότερα ο όρος αυτός αναφέρεται στην πλευρική απορροή.
- PCSWP** Επιφάνεια λεκάνης καλυμμένη με έλη.
- ROIMP** Απορροή από μονίμως αδιαπέρατη επιφάνεια.

- PLIQ* Ημερήσια βροχόπτωση.
- E₅* Εξάτμιση πρόσθετης αδιαπέρατης επιφάνειας.
- PAV* Υπόλοιπο νερού βροχής μετά την ικανοποίηση των αναγκών τασικής υγρασίας άνω ζώνης.
- NINC* Αριθμός χρονικών διαστημάτων υγρών ή ξηρών περιόδων αντίστοιχα.
- FLOBFP* Κύρια βασική ροή.
- FLOBFS* Συμπληρωματική βασική ροή.
- FLOSF* Επιφανειακή απορροή.
- FLOIN* Πλευρική απορροή αποθήκευσης ελεύθερης υγρασίας άνω ζώνης.
- DUZ* Ρυθμός πλευρικής απορροής ελεύθερης υγρασίας άνω ζώνης για χρονικό διάστημα μικρότερο της μίας ημέρας.
- DCUZ* Ρυθμός πλευρικής απορροής ελεύθερης υγρασίας άνω ζώνης.
- DLZP* Ρυθμός απορροής κύριας ελεύθερης υγρασίας για διάστημα μικρότερο της ημέρας.
- DCLZP* Ρυθμός απορροής κύριας ελεύθερης υγρασίας.
- DLZS* Ρυθμός απορροής συμπληρωματικής ελεύθερης υγρασίας για διάστημα μικρότερο της ημέρας.
- DCLZS* Ρυθμός απορροής συμπληρωματικής ελεύθερης υγρασίας.
- ITIME* Αριθμός διαστημάτων. Βροχερό - Ξηρό.
- ADJ* Τμήμα ημέρας - Υγρό ή Ξηρό
- ADDRO* Υψος νερού βροχής πάνω στην προσθήκη αδιαπέρατη επιφάνεια.
- PERC* Μέγιστη βασική ροή για ένα χρονικό διάστημα. Αργότερα τροποποιείται για να αντιπροσωπεύσει τη συνολική διείσδυση νερού από την αποθήκευση ελεύθερης υγρασίας της άνω ζώνης στις αποθηκεύσεις των κάτω ζωνών.

2.3.2. Μεταβλητές ανάλυσης σφάλματος

Η ανάλυση σφάλματος περιλαμβάνει στατιστικές μεταβλητές απόδοσης του ομοιώματος όσον αφορά την ακρίβεια αναπαραγωγής της σειράς των ιστορικών απορροών. Οι μεταβλητές αυτές κατά κατηγορίες είναι:

► Ανάλυση σφάλματος ημερήσιας απορροής.

Τυπικό σφάλμα (Standard error) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Εκφράζει το τυπικό σφάλμα μεταξύ εκτιμημένης ημερήσιας απορροής γύρω από την ευθεία των 45° και αντίστοιχης μετρημένης.

Μέση απόκλιση (Average bias) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Αποτελεί το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ εκτιμημένης και μετρημένης ημερήσιας απορροής διηρημένο με τον αριθμό

των ημερών της επικρατούσας ροής (βασική, υποδερμική, επιφανειακή).

Μέση παροχή (Mean Q) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$). Εκφράζει τη μέση εκτιμημένη απορροή για α -ριθμό ημερών που επικρατεί ιδιαίτερος τύπος ροής (επιφανειακή, υποδερμική, βασική).

Τυπικό σφάλμα μέσης ημερήσιας απορροής (Standard error of daily mean flow). Απλά είναι η ημερήσια τυπική απόκλιση (τυπικό σφάλμα) όλης της περιόδου εκπεφρασμένη σε m^3/s .

Απόκλιση απορροής εκπεφρασμένη σε κλάσμα κατακρήμνισης (Runoff bias as fraction of precipitation). Είναι η μέση απόκλιση όλης της περιόδου διηρημένη με την πραγματική κατακρήμνιση της ίδιας περιόδου.

▷ Διαχωρισμός ρών

Πριν ορισθούν οι κατηγορίες ροής διευκρινίζεται ότι:

Διοδευμένη ροή ονομάζεται ο κατανεμημένος (σύμφωνα με τα ποσοστά του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος λεκάνης) όγκος νερού που αποθηκεύεται σε οποιαδήποτε εδαφική ζώνη του ομοιώματος.

Αδιόδευτη ροή ονομάζεται ο αποθηκευμένος όγκος νερού στις εδαφικές ζώνες του ομοιώματος προτού αυτός κατανεμηθεί.

Την απορροή διακρίνουμε σε:

Συνολική (Total). Η ανάλυση γίνεται για όλη την περίοδο προσομοίωσης. Εδώ η απορροή δεν διαχωρίζεται.

Κάτω ζώνης (Lower level). Θεωρούμε ότι επικρατεί η βασική ροή, αν η εκτιμημένη βασική ροή είναι μεγαλύτερη από το ένα τρίτο της συνολικής διοδευμένης και αδιόδευτης υποδερμικής ροής. Ο συντελεστής $1/3$ εκλέγεται αυθαίρετα.

Επιφανειακή (Surface). Εδώ θεωρούμε ότι επικρατεί η επιφανειακή συνιστώσα ροής, αν η εκτιμημένη βασική ροή είναι μικρότερη από το ένα τρίτο της συνολικής διοδευμένης ροής και αδιόδευτης υποδερμικής και, το άθροισμα διοδευμένης, επιφανειακής απορροής, απορροής αδιαπέρατης επιφάνειας, και υποδερμικής ροής είναι μεγαλύτερο από την αδιόδευτη υποδερμική ροή.

Ανω ζώνης (Upper level). Τέλος θεωρούμε ότι επικρατεί η πλευρική απορροή, αν η εκτιμημένη βασική ροή είναι μικρότερη από τη συνολική διοδευμένη ροή και αδιόδευτη υποδερμική και, η αδιόδευτη υποδερμική είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της διοδευμένης, επιφανειακής απορροής, απορροής αδιαπέρατης επιφάνειας, και υποδερμικής ροής.

Ο διαχωρισμός της συνολικής απορροής στις επιμέρους συνιστώσες της δεν γίνεται μόνο για να αναλύσουμε στατιστικά τις συνιστώσες ροής μία προς μία, αλλά

για να προσδιορίσουμε, μέσω της μέσης απόκλισής τους, τη συνιστώσα με τη μέγιστη διαφορά μεταξύ εκτιμημένης και μετρημένης ροής.

► **Ανάλυση σφάλματος όγκου απορροής τριών ημερών**

Όγκος απορροής τριών ημερών είναι το άθροισμα των τεταγμένων υδρογραφήματος απορροής τριών συνεχών ημερών. Αιχμή απορροής θεωρούμε ότι πραγματοποιείται όταν ο όγκος απορροής τριών ημερών γίνει μεγαλύτερος από $0.3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Τυπικό σφάλμα (Standard error). Είναι η τυπική απόκλιση του όγκου τριήμερων υδρογραφημάτων εκτιμημένης απορροής γύρω από την ευθεία των 45° . Εκφράζεται σε $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Μέσος όγκος τριών ημερών (Mean three day volume). Είναι ο μέσος όρος του όγκου όλων των τριήμερων υδρογραφημάτων. Εκφράζεται σε $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Τριήμερο υδρογράφημα όγκου μικρότερου των 5 (5 or less). Είναι το τριήμερο υδρογράφημα με όγκο απορροής από 0.3 έως $5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Υδρογράφημα όγκου από 5 έως 20 (Others 20 or less). Είναι το τριήμερο υδρογράφημα με όγκο απορροής από 5 έως $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Υδρογράφημα όγκου μεγαλύτερου των 20 (Greater than 20). Είναι το τριήμερο υδρογράφημα με όγκο μεγαλύτερο από $20 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Μέση ροή ημέρας αιχμής (Mean peak-day volume). Για κάθε μετρημένο ή εκτιμημένο υδρογράφημα απορροής πέντε ημερών ξεχωρίζεται η ημέρα με τη μέγιστη ροή. Τονίζεται ότι η ημέρα μέγιστης ροής στο μετρημένο και εκτιμημένο υδρογράφημα δεν είναι η ίδια μολονότι ανήκει στην ίδια πενθήμερη περίοδο. Ο μέσος όρος των μέγιστων ημερήσιων παροχών των πενθήμερων υδρογραφημάτων εκφράζει τη μέση ροή ημέρας αιχμής σε $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Ημέρα κέντρου βάρους υδρογραφήματος 5 ημερών (Day of five-day discharge centroid). Προσδιορίζεται από τον όγκο 5ημερου υδρογραφήματος διηρημένου με το άθροισμα των των πενθήμερων τεταγμένων του. Η διαίρεση του συνόλου των ημερών αυτών δια του αριθμού των 5ημερων υδρογραφημάτων δίνει τη μέση ημέρα κέντρου βάρους υδρογραφήματος 5 ημερών.

► **Μηνιαία ανάλυση σφάλματος**

Τυπικό σφάλμα μηνιαίας απορροής (Standard error of monthly runoff). Εκφράζει σε cm τη διασπορά της εκτιμημένης μηνιαίας απορροής γύρω από την ευθεία των 45° .

Συντελεστής συσχέτισης μηνιαίας απορροής (Correlation coefficient of monthly runoff). Δείχνει τη διασπορά της εκτιμημένης μηνιαίας απορροής γύρω από την ευθεία της βέλτιστης προσαρμογής ή ευθεία παλινδρόμησης.

Συντελεστής προσδιορισμού μηνιαίας απορροής (Determination coefficient of monthly runoff). Προκύπτει από τον τετραγωνισμό του συντελεστή συσχέτισης και εκφράζει τη διασπορά της εκτιμημένης μηνιαίας απορροής γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης. Προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$D = \frac{\Sigma(q_c - \bar{q}_c)^2 - \Sigma(q_c - q_{est})^2}{\Sigma(q_c - \bar{q}_c)^2} = \frac{\Sigma(q_c q_e) - \Sigma q_c \Sigma q_e / n}{\left[\Sigma q_c^2 - (\Sigma q_c)^2 / n \right] \left[\Sigma q_e^2 - (\Sigma q_e)^2 / n \right]}$$

Συντελεστής απόδοσης μηνιαίας απορροής (Coefficient of efficiency of monthly runoff). Είναι αναλόγος του συντελεστή προσδιορισμού όπως διαπιστώνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{\Sigma(q_c - \bar{q}_c)^2 - \Sigma(q_c - q_e)^2}{\Sigma(q_c - \bar{q}_c)^2} = \frac{2\Sigma(q_c q_e) - \Sigma q_e^2 - (\Sigma q_c)^2 / n}{\Sigma q_c^2 - (\Sigma q_c)^2 / n}$$

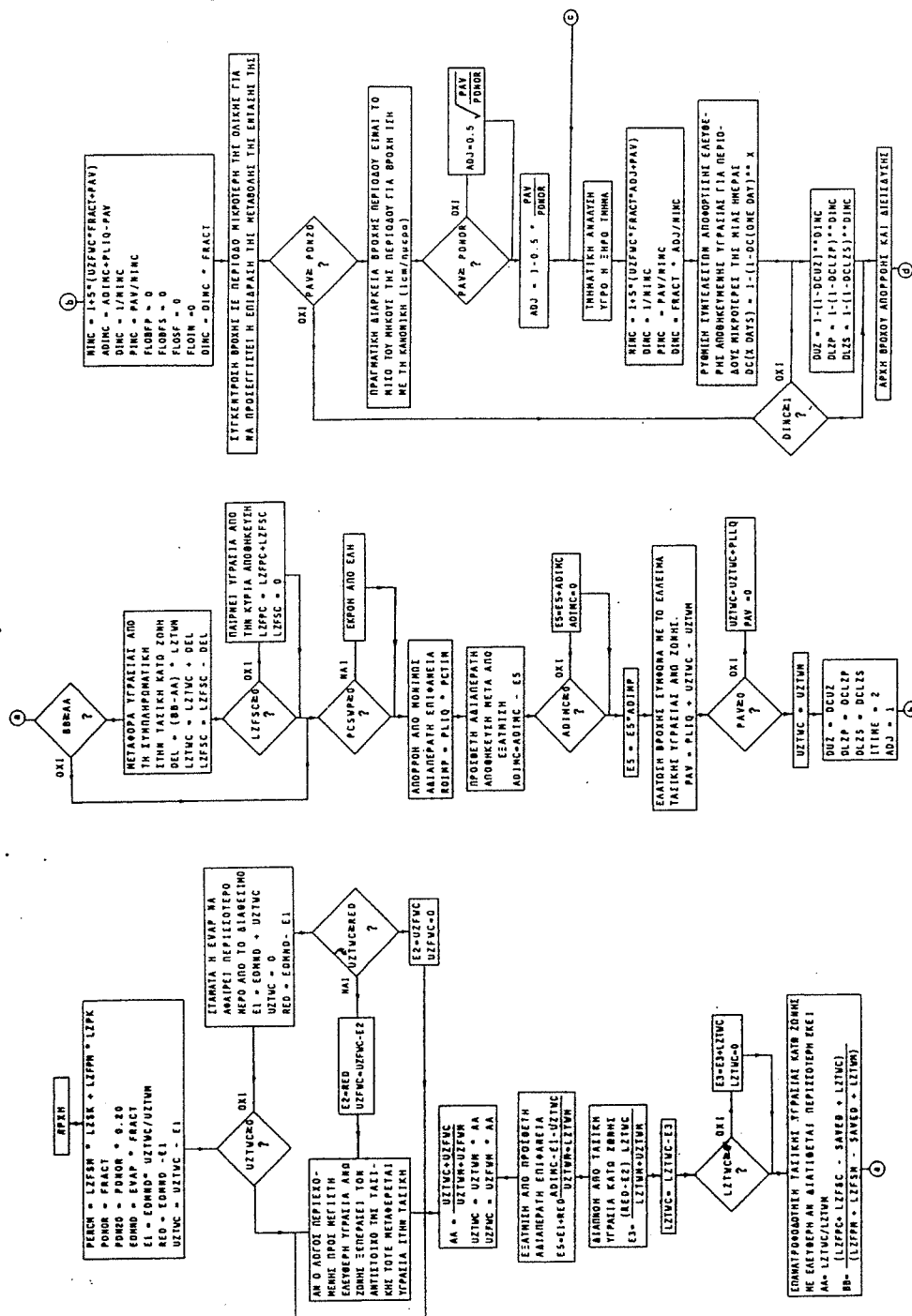
όπου

q_c	μετρημένη μηνιαία απορροή,
$\bar{q}_c$	μέση μηνιαία μετρημένη απορροή,
q_{est}	εκτιμημένη μηνιαία απορροή,
q	εκτιμημένη απορροή προκύπτουσα από την ευθεία παλινδρόμησης (q_e, q_c) ,
$\Sigma(q_c - \bar{q}_c)^2$	αρχική σκέδαση,
$\Sigma(q_c - q_{est})^2$	υπόλοιπα ή ανεξήγητη σκέδαση γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης,
$\Sigma(q_c - q_e)^2$	υπόλοιπα ή ανεξήγητη σκέδαση γύρω από την ευθεία των 45° ή μετρημένη απορροή και
n	πλήθος ζευγαριών δεδομένων μετρημένης και εκτιμημένης απορροής.

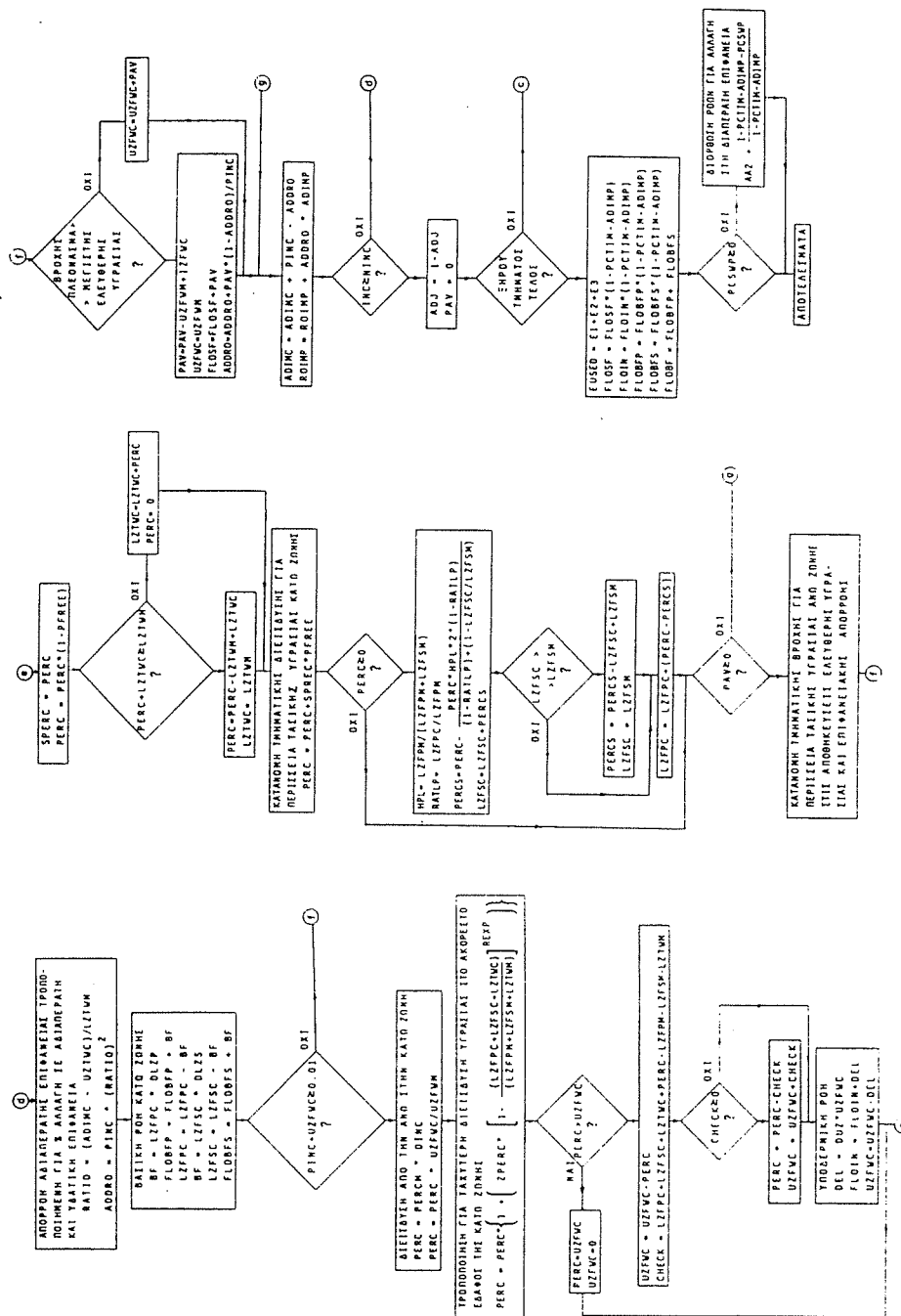
3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η λειτουργία των συνιστωσών του ομοιώματος με τη μορφή λογικού διαγράμματος ροής (Σχ. 3.1) για λόγους συντόμευσης της παρουσίασης, καθώς και το ομοίωμα αναπτύσσει και ταυτόχρονα απαντάει σε όλες τις πιθανές καταστάσεις κίνησης και αποθήκευσης υγρασίας στις περιοχές παραμετροποίησης του. Μέσα στο διάγραμμα ροής υπάρχουν συνοπτικά κείμενα που επεξηγούν πολλές από τις διαδικασίες του ομοιώματος, ενώ οι εισερχόμενες και αναμειγνυόμενες ενδιάμεσες μεταβλητές, οι παράμετροι, και οι μονάδες έκφρασής τους παρουσιάστηκαν και αναπτύχθηκαν με συντομία στο δεύτερο κεφάλαιο.

Fig. 3.1 Flow chart of Soil moisture simulation by Sacramento model.

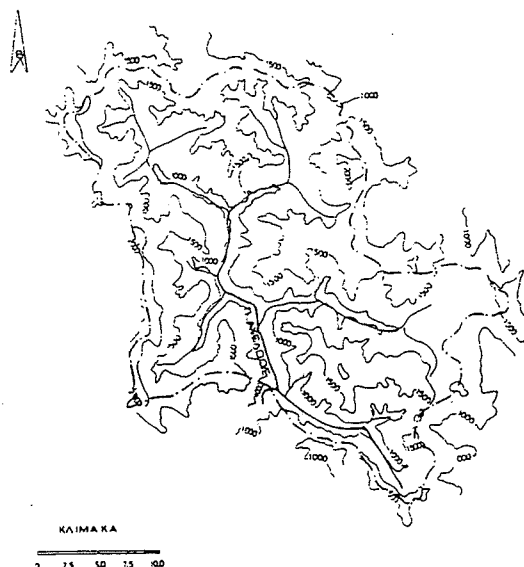


Σχ. 3.1 Λογικό διάγραμμα προσομοίωσης εδαφικής υγρασίας Sacramento (συνέχεια).
Fig.3.1 Flow chart of Soil moisture simulation by Sacramento model (continued).



4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το ομοίωμα εφαρμόσθηκε στην υδρολογική λεκάνη Μεσοχώρας του ορεινού Αχελώου ποταμού. Η λεκάνη έχει έκταση 632.8 km², μέσο υψόμετρο 1390m και παρουσιάζει έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο (Σχ. 4.1). Μέσα και γύρω από τη λεκάνη (στο βόρειο τμήμα της) υπάρχουν εγκατεστημένοι εννέα βροχομετρικοί σταθμοί μέτρησης κατακρήμνισης και ένας σταθμός μέτρησης εξάτμισης (μέσα στη λεκάνη), (Σχ.4.2). Στην έξοδο της λεκάνης



Σχ. 4.1 Τοπογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσοχώρας.

Fig 4.1 Topographic map of Mesochora catchment.

υπάρχει εγκατεστημένος παροχομετρικός σταθμός. Η κοινή περίοδος λειτουργίας των σταθμών είναι 19 έτη (1968-1986) για την οποία εκτιμήθηκαν η μέση κατακρήμνιση και εξάτμιση της λεκάνης, και οι παράμετροι του ομοιώματος.

4.1. Μέση ημερήσια κατακρήμνιση λεκάνης

Εκτιμήθηκε από τα ημερήσια δεδομένα κατακρήμνισης των εννέα σταθμών. Επειδή στις βροχομετρικές σειρές των σταθμών υπήρχαν ελλειπή στοιχεία ή αυτά ήταν ασυμβίβαστα συγκρινόμενα μεταξύ γειτονικών σταθμών (οπότε και απορρίφθηκαν) η μέθοδος που υιοθετήθηκε για την εκτίμηση της κατακρήμνισης λεκάνης είναι αυτή που συνδυάζει την παραπλήσια μέθοδο Thiessen και τη διαθεσιμότητα βροχομετρικών σταθμών [10]. Οι τοπογραφικές επιδράσεις της λεκάνης, καθόσον αυτή είναι ορεινή, επέβαλαν τη διόρθωση της κατακρήμνισης λεκάνης για το μέσο υψόμετρό της (1390 m), βάσει της σχέσης [11]:

$$p_e = \frac{P + (e - e_{ws}) p_f}{p} \quad (4.1)$$

όπου

p_e διορθωτικός συντελεστής κατακρήμνισης λεκάνης για το μέσο υψόμετρό της e (1390 m),

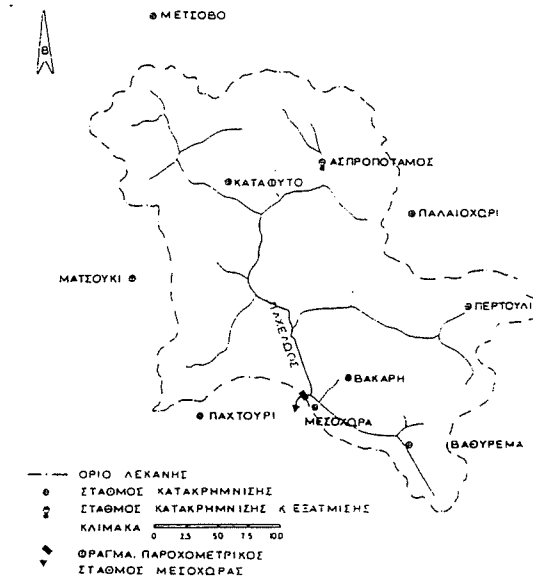
P κατακρήμνιση λεκάνης (mm),

e_{ws} ζυγισμένο μέσο
υψόμετρο σταθ-
μών (m) βάσει
της ημερήσιας
διαθεσιμότητάς
τους, και
 p_f ρυθμός μεταβο-
λής της κατα-
κρήμνισης με το
υψόμετρο. Η αρ-
χική εκτίμηση
του συντελεστή
 p_f προέκυψε από
τη γραμμική
συσχέτιση μέσης
ετήσιας κατα-
κρήμνισης σταθ-
μών λεκάνης και
των υψομέτρων

ΕΤΕΚ $\Rightarrow$
υψομέτρων

τους (Πίνακας
4.1). Η κλίση
της ευθείας πα-
λινδρόμησης εί-

ναι η αρχική τιμή του συντελεστή p_f . Η τελική τιμή του (1.00) προέκυψε
από τη διαδικασία δοκιμής- σφάλματος η οποία εκτελέσθηκε ταυτόχρονα με
τη ρύθμιση του ομοιώματος Sacramento.



Σχ. 4.2 Υδρολογική λεκάνη Μεσοχώρας. Σταθμοί
μέτρησης κατακρήμνισης και εξάτμισης.
Fig 4.2 Mesochora catchment. Precipitation
and evaporation gauge stations.

Πίνακας 4.1. Υψόμετρα και μέση ετήσια κατακρήμνιση σταθμών λεκάνης Μεσοχώρας.

Table 4.1. Elevations and mean annual station precipitation of the Mesochora catchment.

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ [m]	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ [mm]
Μέτσοβο	1157.0	1517.732
Ασπροπόταμος	1050.0	969.235
Κατάφυτο	980.0	1446.997
Παλαιοχώρι	1050.0	1308.448
Ματσούκι	1079.0	1841.213
Περτούλι	1160.0	1555.955
Βάκαρη	1150.0	1716.668
Μεσοχώρα	780.0	1839.571
Βαθύρεμα	920.0	2071.276

4.2. Μέση μηνιαία εξάτμιση λεκάνης

Προσδιορίσθηκε από μηνιαίες μετρήσεις οργάνου (εξατμισίμετρο) που είναι εγκατεστημένο στο σταθμό Ασπροπόταμου. Άλλος σταθμός μέτρησης εξάτμισης μέσα στη λεκάνη Μεσοχώρας δεν υπάρχει ενώ ο σταθμός του Μετσόβου που βρίσκεται έξω αλλά πλησίον της λεκάνης προς το βόρειο όριο της μετράει την εξάτμιση από το 1978 και μετά. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μόνο ο σταθμός Ασπροπόταμου που διαθέτει σειρά μηνιαίων εξατμίσεων για 17 συνεχή έτη (1968-1984). Για τα δύο τελευταία έτη (1985-1986), που ο σταθμός δεν λειτούργησε, δεν καταφύγαμε στη συμπλήρωση των ελλειπόντων στοιχείων του από το σταθμό του Μετσόβου, αλλά εκτιμήσαμε για εξάτμιση λεκάνης τις μέσες μηνιαίες εξατμίσεις των 17 ετών του σταθμού Ασπροπόταμου. Οι μηνιαίες αυτές εξατμίσεις σε cm/ημέρα είναι:

ΜΗΝΑΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΞΑΤΜΙΣΗ	0.045	0.049	0.071	0.114	0.152	0.179	0.222	0.215	0.166	0.100	0.076	0.051

Η διόρθωση της εξάτμισης λόγω του συντελεστή οργάνου έγινε αφού πρώτα υπολογίσθηκαν τα μέσα μηνιαία υδατικά ισοζύγια της λεκάνης τα οποία μας καθοδήγησαν στην αρχική εκτίμηση της μηνιαίας μεταβολής του συντελεστή οργάνου, προκειμένου να υπολογίσουμε τη μηνιαία δυναμική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης.

4.3. Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης (υδατικά ισοζύγια)

Αγνοώντας τις αποθηκεύσεις νερού στη λεκάνη οι μηνιαίες διαφορές κατακρήμνισης και απορροής (υδατικά ισοζύγια) εκφρασμένες σε cm νερού την ημέρα προσδιορίζουν (χονδροειδώς) τη μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης. Ο μέσος όρος της σειράς των 19 τιμών υδατικού ισοζυγίου για κάθε μήνα έδωσε τη μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (cm/ημέρα) της λεκάνης, η οποία είναι:

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ	0.32	0.31	0.05	-0.14	0.09	0.04	0.06	0.10	0.023	0.44	0.48	0.38

4.4. Μέση μηνιαία δυναμική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης.

Εξ ορισμού η δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη ή ίση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Δεδομένης της μηνιαίας εξάτμισης οργάνου (παράγραφος 4.2) και της μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (παράγραφος 4.3), ο λόγος πραγματικής εξατμισοδιαπνοής προς εξάτμιση οργάνου παρέχει μία πρώτη εκτίμηση του συντελεστή οργάνου η οποία, τελικά, οριστικοποιείται από τη ρύθμιση του ομοιώματος. Οι τιμές συντελεστή οργάνου, ή ορθότερα τα βάρη εξάτμισης, όπως προέκυψαν από τη ρύθμιση του ομοιώματος είναι:

ΒΑΡΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΞΑΤΜΙΣΗ	6.50	5.80	0.10	0.00	0.00	1.80	1.10	1.10	3.50	6.00	1.00	4.00

Είναι φανερό ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή με τον τρόπο που υπολογίσθηκε

δίνει χαμηλές τιμές, θεωρητικά αρνητικές, γιατί η απορροή τους μήνες αυτούς είναι αυξημένη λόγω του λιώσιματος του χιονιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα βάρη της εξάτμισης (συντελεστής οργάνου) να λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές τους υπόλοιπους μήνες έναντι των εαρινών που παρουσιάζουν τη μικρότερη (θεωρητικά μηδενική τιμή) έτσι ώστε να εξισορροπηθεί το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης. Σε τελευταία ανάλυση ποτέ δεν γνωρίζουμε τους πραγματικούς συντελεστές του οργάνου εξάτμισης [6]. Οπότε, η μηνιαία δυναμική εξατμισοδιασποχή της λεκάνης προέκυψε από το γινόμενο της μηνιαίας εξάτμισης οργάνου με τον συντελεστή οργάνου και είναι:

ΔΥΝΑΜΙΚΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΣΠΟΧΗ	0.293	0.284	0.007	0.000	0.000	0.322	0.266	0.237	0.581	0.600	0.076	0.204

5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ - ΡΥΘΜΙΣΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Η αρχική εκτίμηση των παραμέτρων του ομοιώματος έγινε με τη διαδικασία που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 2.2. Οι τελικές τιμές προέκυψαν από τη ρύθμιση του ομοιώματος. Η ρύθμιση του ομοιώματος έγινε για όλη την περίοδο προσομοίωσης της λεκάνης, δηλαδή για την περίοδο 1968-1986 η οποία περιλαμβάνει ξηρές, υγρές και ενδιάμεσες κλιματικές καταστάσεις, δηλαδή το ομοίωμα αντιμετώπισε ευρύ φάσμα αλλαγών σε θεωρητικές αποθηκεύεις υγρασίας. Δεν χρησιμοποιήθηκε διαδικασία αυτόματης ρύθμισης ή βελτιστοποίησης των παραμέτρων του ομοιώματος, αλλά αυτή έγινε χειρωνακτικά. Αλλωστε η αυτοποιημένη ρύθμιση μπορεί μεν να συντομεύει τη διαδικασία της ρύθμισης αλλά τις περισσότερες φορές δίνει εξωπραγματικές εκτιμήσεις παραμέτρων. Η διαδικασία της ρύθμισης που ακολουθήσαμε συνοψίζεται στα ακόλουθα στάδια:

α. Αρχική εκτίμηση παραμέτρων

Είναι το πρώτο και βασικό στάδιο ρύθμισης του ομοιώματος. Οι αρχικές εκτιμήσεις των παραμέτρων έγιναν από συγκεκριμένα και χαρακτηριστικά γεγονότα βροχής - απορροής (Πίνακας 5.1). Στην περίπτωση που χρησιμοποιήσαμε περισσότερα από ένα γεγονότα για να εκτιμήσουμε μια συγκεκριμένη παράμετρο η τιμή της προέκυψε από τον μέσο όρο των αντίστοιχων τιμών που πήρε η παράμετρος για τα γεγονότα αυτά.

β. Έλεγχος υδατικού ισοζυγίου

Με τις αρχικές εκτιμήσεις των παραμέτρων το ομοίωμα δούλεψε για όλη την περίοδο προσομοίωσης της λεκάνης προκειμένου να εκτιμηθεί ορθά η απορροή όλης της περιόδου, δηλαδή να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά εκτιμημένης και μετρημένης απορροής που δημιουργείται από την είσοδο στο ομοίωμα λανθασμένων ή μη αντιπροσωπευτικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό εξετάσθηκαν, το διάγραμμα διασποράς μηνιαίας απορροής και η γραφική απεικόνιση ημερήσιας εκτιμημένης και μετρημέ-

verificatio

νης απορροής για να διαπιστωθούν ημέρα προς ημέρα οι αποκλίσεις αυτές. Τα λάθη που διαπιστώθηκαν ήταν και συστηματικά και τυχαία. Τα πρώτα διορθώθηκαν αλλάζοντας την κατανομή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής ή πιο συγκεκριμένα τα βάρη της εξατμισοδιαπνοής (συντελεστής οργάνου) και τα δεύτερα τροποποιώντας τις αρχικές τιμές των παραμέτρων διείσδυσης.

γ. Ελεγχος ημερήσιας απορροής

Η ημερήσια εκτιμημένη απορροή αναλύεται και ταυτόχρονα παρουσιάζεται με δύο τρόπους. Ο ένας συνίσταται στο γράφημα των συνιστωσών απορροής (βασική, υπο-δερμική, επιφανειακή) σε ημερήσια βάση και ο άλλος στην παράθεση με πινακοποιημένη μορφή τόσο των αποθηκεύσεων εδαφικής υγρασίας όσο και αυτών των συνιστωσών ροής σε ημερήσια επίσης βάση. Η λεπτομερής αυτή ανάλυση της εκτιμημένης ημερήσιας απορροής και η σύγκρισή της με την ημερήσια μετρημένη βοήθησε να διαπιστώσουμε σε ποια συνιστώσα ροής ή αποθήκευση υγρασίας υπήρχε σφάλμα και να τροποποιήσουμε την τιμή της παραμέτρου που την περιγράφει. Είναι φανερό ότι η ημερήσια ανάλυση σφάλματος δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στο άρθρο αυτό αν και βοήθησε σημαντικά στην ανίχνευση λανθασμένων παραμέτρων.

δ. Ελεγχος ημερήσιας βροχόπτωσης

Αν εφαρμόζοντας τους ελέγχους των δύο προηγούμενων σταδίων εξακολουθούν να υπάρχουν ανεξήγητες διαφορές μεταξύ προσομοιωμένης και μετρημένης απορροής, τότε τα λάθη αναζητούνται στη βροχόπτωση λεκάνης. Οντως εδώ υπάρχουν σοβαρές αποκλίσεις μετρημένης και προσομοιωμένης απορροής, ιδιαίτερα τους εαρινούς μήνες λιωσίματος χιονιού, και αυτός είναι ο λόγος της απόκλισής τους. Τούτο όμως θα σχολιαστεί σε επόμενη παράγραφο.

ε. Επανελέγχος υδατικού ισοζυγίου

Μετά από τις ενδεχόμενες διορθώσεις στα δεδομένα εισόδου του ομοιώματος επαναλαμβάνεται το τρέξιμο του ομοιώματος για όλη την περίοδο προσομοίωσης και εξετάζονται πάλι οι διαφορές μεταξύ εκτιμημένων και μετρημένων απορροών.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές έως ότου ελαχιστοποιηθούν (θεωρητικά μηδενιστούν) οι αποκλίσεις αυτές.

Με βάση τη διαδικασία της ρύθμισης που περιγράφηκε παραπάνω οι τελικές βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του ομοιώματος φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1. Αρχικές & Τελικές τιμές παραμέτρων ομοιώματος Sacramento.
Table 5.1. Initial and final values of Sacramento model.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	UZTWM	UZFWM	LZTWM	LZFSM	LZFWPM	UZK	LZSK				
ΑΡΧΙΚΗ	5.00	4.61	25.00	7.14	31.20	0.329	0.121				
ΤΕΛΙΚΗ	4.50	4.61	25.00	9.00	20.00	0.570	0.150				
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	LZPK	ADIMP	ADIMC	PEL	ZPERC	REXP	SIDE	SSOUT	PCTIM	SARVA	RSERV
ΑΡΧΙΚΗ	0.016	0.001		0.20	6.0	1.8	0.00	0.00	0.001	0.00	0.20
ΤΕΛΙΚΗ	0.015	0.001	25.00	0.20	6.0	1.8	0.00	0.00	0.001	0.00	0.10

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της λεκάνης της Μεσοχώρας με το ομοίωμα Sacramento, και περιλαμβάνεται:

6.1 Ανάλυση σφάλματος χαρακτηριστικών μεταβλητών

Οι μεταβλητές αυτές έχουν αναπτυχθεί στο δεύτερο κεφάλαιο, εδώ δίνονται με τη μορφή των Πινάκων 6.1 και 6.2 οι τιμές που πήραν από την ρύθμιση του ομοιώματος στη λεκάνη της Μεσοχώρας.

Πίνακας 6.1. Ανάλυση σφάλματος μερήσιας απορροής.

Table 6.1. Error analysis of daily flow.

ΑΠΟΡΡΟΗ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ	ΑΝΘ ΖΩΝΗΣ	ΚΑΤΩ ΖΩΝΗΣ
ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ	4.39	7.08	7.81	2.21
ΜΕΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	-.247	3.335	-.931	-.665
ΗΜΕΡΕΣ	6940	800	1130	5010
ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ	3.83	10.13	7.07	1.76
ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	28 m^3/s			
ΑΠΟΚΛΙΣΗ-ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΕΚΠΕΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ ΚΛΑΣΜΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ	.0000	.0000	-.0416	

Μέση υπερρροή 23.3 m^3/s
σφάλμα πολύ μεγάλο

Πίνακας 6.2. Ανάλυση σφάλματος όγκου απορροής τριών ημερών μαζί με αιχμές απορροής.

Table 6.2. Three day volume error analysis including peaks.

ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ	15.42 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	
ΑΙΧΜΕΣ	570	
ΜΕΣΟΣ ΟΓΚΟΣ 3 ΗΜΕΡΩΝ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)	21.19	20.78
154 5 Η ΜΙΚΡΟΤΕΡΕΣ "	2.39	3.15
199 ΑΠΟ 5 ΕΩΣ 20 "	12.30	17.00
217 ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΕΣ ΤΩΝ 20 "	42.69	36.77
ΜΕΣΗ ΡΟΗ ΗΜΕΡΑ ΑΙΧΜΗΣ "	9.16	8.38
ΗΜΕΡΑ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ "		
ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 5 ΗΜΕΡΩΝ "	3.00	3.17

6.2. Ανάλυση σφάλματος μηνιαίας απορροής

Οι διαφορές μεταξύ εκτιμημένης και μετρημένης απορροής για κάθε μήνα ως και το αθροιστικό μηνιαίο σφάλμα της σειράς των ετών προσομοίωσης δίνονται στον Πίνακα 6.3. Από τον Πίνακα φαίνεται καθαρά ότι οι αθροιστικές μηνιαίες αποκλίσεις παρουσιάζουν αυξημένες τιμές τους εαρινούς μήνες (Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο) ενώ τους υπόλοιπους μήνες οι αποκλίσεις είναι μικρές, μέσα στα επιτρεπόμενα όρια του 10% με 15% των αθροιστικών μηνιαίων τιμών μετρημένης απορροής.

Στο κεφάλαιο των συμπερασμάτων θα σχολιαστούν οι εαρινοί μήνες. Οι κλασικές

στατιστικές παράμετροι, τυπικό σφάλμα μηνιαίας απορροής και οι συντελεστές συσχέτισης και απόδοσης μηνιαίας απορροής παρουσιάζονται στο τέλος αυτού του Πίνακα.

Πίνακας 6.3. Σφάλμα μηνιαίας απορροής.

Table 6.3. Monthly runoff error.

ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.
- .69	-9.79	-4.52	-14.19	-1.94	.52	.08	.00	-.59	-.30	.59	4.23
.27	4.72	2.49	-5.29	-12.25	-2.16	-.54	-.22	.14	-.50	3.28	16.52
-5.16	6.18	3.53	-4.97	-.19	-.19	.67	.04	-.23	1.03	-1.59	-7.50
-2.41	4.92	3.33	-19.79	-9.90	1.93	.78	.25	.69	-.66	-11.66	-9.81
-.49	1.32	-4.81	.94	.67	-.10	.28	.70	-.27	2.19	.91	-.99
-2.25	-7.04	8.55	-.12	-5.65	.25	.07	.16	-.34	-.42	-.01	1.99
-2.64	-.41	-3.06	4.34	-2.21	1.09	.55	.46	1.33	2.57	-1.52	1.75
-1.32	1.11	-3.69	-1.74	.44	.73	-.11	.62	.38	-.60	-.25	-2.29
-.25	.65	-3.86	.71	-1.46	1.46	.51	.23	.38	-.78	3.36	7.93
-2.65	-5.34	-1.56	1.91	1.00	1.97	-.04	-.11	.52	-.58	4.33	-.62
7.40	-2.10	-4.81	.44	-1.87	1.09	.81	.13	3.26	.30	.13	-4.92
-10.00	-3.59	-1.74	-.45	-2.34	3.79	.71	.66	.05	-.08	.20	2.18
4.61	-3.55	2.81	-4.25	-4.05	-2.36	-.15	.62	.13	.89	-5.22	1.55
13.80	1.36	-16.17	-11.19	-.77	-1.54	.07	1.09	.00	1.03	.86	-9.17
-4.84	2.89	6.18	-8.98	1.63	.05	.10	-.10	.54	-1.25	.65	-3.33
-.30	-3.05	-3.02	-4.13	1.00	2.75	.60	.43	-.05	-.04	-2.62	4.06
-4.42	7.33	9.14	-3.14	-12.49	-3.29	-.13	-.28	-.06	-.85	.75	.21
9.27	-1.27	1.87	-2.79	-5.44	.12	.54	.50	.07	.14	14.16	-3.97
4.59	6.76	-10.07	-5.18	-.20	1.08	.03	.28	-.10	.36	-.74	.68
2.53	1.10	-19.43	-79.74	-56.05	5.01	4.83	5.48	5.10	-2.68	-12.73	-1.50

ΤΥΠΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 4.285 cm

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 0.881

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ 0.767

6.3. Μετρημένη μηνιαία απορροή

Πίνακας 6.4. Μετρημένη μηνιαία απορροή.

Table 6.4. Observed monthly runoff.

ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.
18.09	17.96	16.83	19.82	13.30	8.78	2.21	1.41	1.46	1.98	5.28	14.25
15.51	15.34	20.82	17.33	18.77	5.24	2.29	1.31	1.37	1.00	2.62	23.85
37.20	14.99	20.73	18.79	9.67	4.26	2.27	1.34	1.06	2.75	5.85	14.16
31.03	6.63	25.55	33.10	15.70	3.19	1.24	1.02	1.28	1.96	21.80	23.01
9.35	10.83	18.66	20.81	13.24	3.66	2.55	1.36	2.05	14.19	9.05	4.53
8.68	23.90	14.47	15.81	13.54	4.75	2.01	1.13	1.15	5.50	8.03	2.81
9.87	18.39	13.34	19.85	21.67	5.09	1.88	1.05	2.09	13.33	20.51	7.08
3.91	4.09	13.54	10.60	8.50	3.14	1.96	1.48	1.14	4.07	6.24	11.59
3.53	5.53	9.76	10.24	9.95	3.03	1.56	1.03	0.83	2.77	12.49	22.81
13.25	10.21	4.92	7.02	5.10	1.92	1.48	1.01	0.53	1.04	3.22	10.50
10.07	23.34	20.82	24.60	15.99	4.65	1.93	1.59	2.34	2.06	4.07	19.24
35.94	29.34	12.66	31.00	17.08	3.96	2.60	1.25	1.11	1.64	14.22	12.32
20.98	10.88	23.48	17.07	24.04	9.58	3.10	1.21	0.99	7.33	14.94	31.87
8.96	18.60	28.04	22.32	14.79	4.80	1.90	0.83	0.86	3.19	3.06	44.88
12.44	5.95	10.18	24.56	13.00	5.15	2.32	1.61	1.98	4.57	12.35	31.92
6.54	12.80	12.82	12.29	6.20	6.12	3.69	1.45	1.18	1.76	9.17	12.74
26.98	13.19	11.91	19.64	23.13	6.75	2.25	1.61	1.35	1.45	6.66	2.89
15.74	13.21	10.52	19.70	16.93	4.74	2.03	0.97	0.82	0.87	20.00	9.40
15.87	24.32	23.62	17.32	11.28	5.98	2.66	1.36	1.10	1.36	2.58	6.54

(100)

15.87 24.32 23.62 17.32 11.26 5.96
 Punkte; m/s; ~~dw m/s~~ ^{dw m/s} ~~Kamer~~ ^{Kamer} 23: m/s

6.4. Εκτιμημένη Μηνιαία Απορροή (cm)

Οι τιμές της προέκυψαν από την άθροιση της μηνιαίας απορροής (Πίν.6.4) και του μηνιαίου σφάλματος (Πίν. 6.3) και δίνονται στον Πίνακα 6.5.

Πίνακας 6.5 Εκτιμημένη μηνιαία απορροή

Table 6.5. Estimated montly runoff

ΙΑΝ.	ΦΕΒΡ.	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛ.	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤΩΒ.	ΝΟΕΜΒΡ.	ΔΕΚ.
17.40	8.17	12.32	5.63	11.36	9.30	2.30	1.42	0.87	1.68	5.86	18.49
15.78	20.07	23.31	12.04	6.51	3.08	1.75	1.10	1.51	0.51	5.89	40.37
32.04	21.17	24.27	13.82	9.48	4.07	2.94	1.38	0.84	3.78	4.26	6.66
28.62	11.55	28.88	13.31	5.80	5.12	2.02	1.27	1.97	1.31	10.14	13.19
8.86	12.16	13.84	19.87	13.91	3.56	2.83	2.06	1.78	16.38	9.96	3.53
6.42	16.86	23.01	15.70	7.89	5.00	2.08	1.28	0.79	5.08	8.01	24.80
7.22	17.98	10.27	24.19	19.45	4.00	2.43	1.52	3.42	10.77	18.99	8.83
2.59	5.20	9.85	8.86	8.94	3.87	1.84	2.10	0.76	3.47	6.00	9.30
3.28	6.18	5.90	10.95	8.49	4.49	2.07	1.26	1.21	1.99	15.86	30.75
10.60	4.86	3.35	8.93	6.10	3.89	1.44	0.20	1.05	0.47	7.55	9.88
17.47	21.24	16.01	25.04	14.12	5.74	2.75	1.71	5.60	2.36	4.21	14.31
25.94	25.74	10.92	30.55	14.74	7.75	3.30	1.91	1.16	1.55	14.42	14.50
25.59	7.32	26.29	12.82	12.99	7.22	2.94	1.83	1.12	8.22	9.71	33.41
22.77	19.96	11.87	11.13	14.01	3.26	1.97	1.92	0.87	4.22	3.92	35.71
7.60	8.84	16.36	15.58	14.63	5.20	2.42	1.51	2.52	3.32	13.00	28.59
6.24	9.74	9.79	8.16	7.19	8.86	4.29	1.88	1.13	1.72	6.55	16.80
22.57	20.51	21.05	16.50	10.64	3.47	2.12	1.33	1.28	0.60	7.41	3.10
25.01	11.94	12.39	16.91	11.49	4.86	2.58	1.47	0.89	1.00	15.84	5.42
20.45	31.09	13.55	2.14	11.07	7.05	2.70	.64	1.00	1.71	1.84	7.23

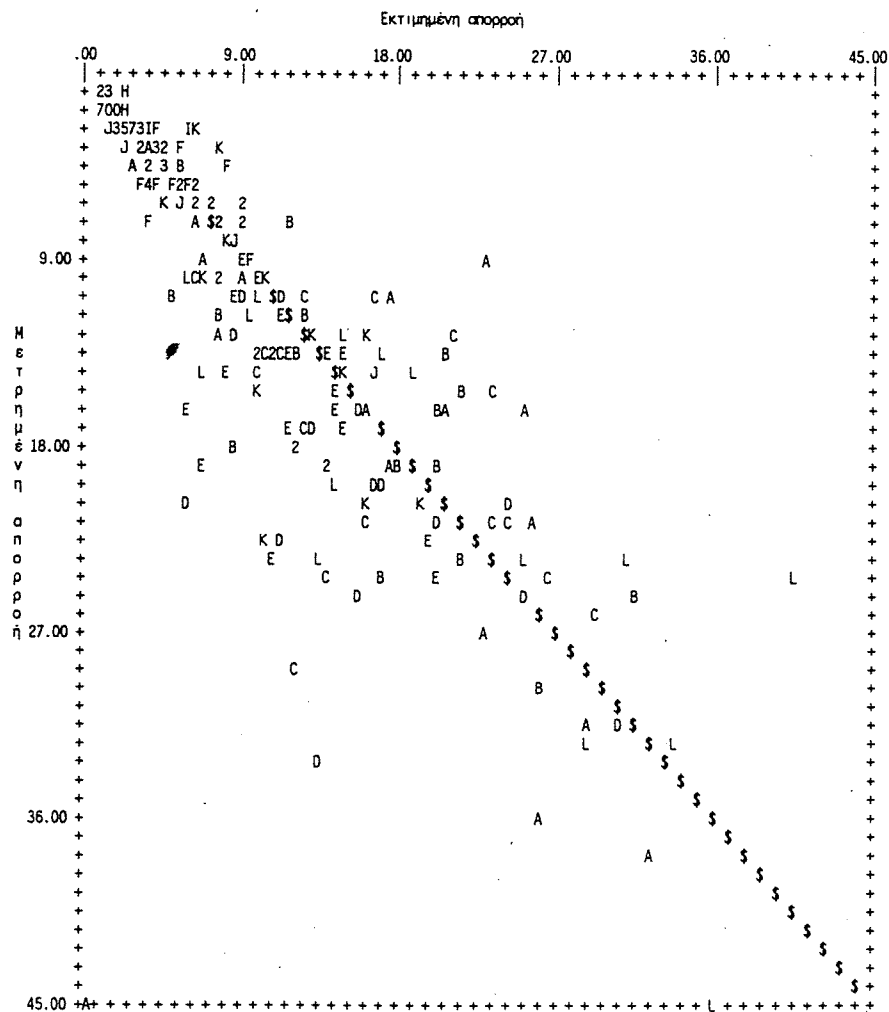
6.5. Διάγραμμα Μηνιαίας Διασποράς

Σαυτό απεικονίζονται οι εκτιμημένες μηνιαίες παροχές χαρακτηριζόμενες από τον Ιανουάριο μέχρι το Δεκέμβρη με τα ξενόγλωσσα αλφαβητικά σύμβολα Α έως Ι αντίστοιχα. Αν περισσότερες από μία τιμές εκτιμημένης απορροής συνέπεσε με άλλη τότε η θέση αυτή συμβολίσθηκε με τον αριθμό των τιμών που συνέπεσαν. Αν περισσότερες από 9 τιμές συνέπεσαν, τότε η κοινή αυτή θέση συμβολίσθηκε με 0. Η γραμμή με το σύμβολο \$ δείχνει τη γραμμή των 45° (Σχ. 6.1).

7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΡΥΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Ενα υδρολογικό ομοίωμα θεωρείται αξιόπιστο όταν μπορεί (i) να αναπαραγάγει επιτυχώς τα ιστορικά δεδομένα απορροών και (ii) να προσομοιώνει απορροές κάτω από κλιματικές συνθήκες διαφορετικές από εκείνες για τις οποίες ρυθμίστηκε. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ελέγχου προσαρμοστικότητας ομοιώματος, οι περισσότεροι όμως απευθύνονται σε μόνιμες κλιματικές συνθήκες. Ο ουσιαστικότερος έλεγχος αφορά μη μόνιμες κλιματικές καταστάσεις, που επικρατούν είτε σε άλλες λεκάνες (χωρική ευρωστία ομοιώματος), είτε στην ίδια τη λεκάνη και μέσα στην περίοδο ρύθμισής του (έλεγχος χρονικής ευρωστίας ομοιώματος).

Η ρύθμιση του ομοιώματος Sacramento στη λεκάνη Μεσοχώρας έγινε για όλη την περίοδο προσομοίωσης (1968-1986) αντιμετωπίζοντας διάφορες κλιματικές καταστά-



Σχ. 6.1 Διάγραμμα μηνιαίας διασποράς.

Fig.6.1 Monthly scatter diagram.

σεις. Το τεστ διχασμένου δείγματος (split sample test), που συνήθως χρησιμοποιείται για μόνιμες κλιματικές καταστάσεις, δεν εφαρμόστηκε γιατί μέσα στην περίοδο ρύθμισης του ομοιώματος παρουσιάστηκαν περίοδοι με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένο ένα δυναμικότερο τεστ, αυτό του διαφοροποιημένου δείγματος (differential split sample test) [5]. Το γράφημα ετήσιας κατακρήμνισης της λεκάνης (Σχ. 7.1) παρουσιάζει τρεις χαρακτηριστικές περιόδους, τις εξής:

- α) 1968-1977, περίοδος έντονα καθοδική
- β) 1977-1981, περίοδος ήπια ανοδική
- γ) 1981-1986, περίοδος ήπια καθοδική

Για τις τρεις αυτές κλιματικές περιόδους, αλλά και για την περίοδο ρύθμισης του ομοιώματος, ως κριτήρια απόδοσης ομοιώματος χρησιμοποιήθηκαν όσον αφορά την ετήσια απορροή η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, ενώ για τη μηνιαία απορροή το τυπικό σφάλμα και οι συντελεστές συσχέτισης και απόδοσης.

Ο έλεγχος απόδοσης ομοιώματος στις τρεις διαφορετικές κλιματικές καταστάσεις συνί-

σταται στον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης H_0 [13] ότι η διαφορά καθενός των παραπάνω κριτηρίων ανά δύο κλιματικές περιόδους και ανά μιας κλιματικής περιόδου και περιόδου ρύθμισης είναι μηδέν. Όλες οι υποθέσεις ελέγχθηκαν σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$ και κρίθηκαν αποδεκτές σε όλες τις περιπτώσεις. Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα κριτήρια απόδοσης ομοιώματος και οι τιμές τους για τις τρεις κλιματικές περιόδους και την περίοδο ρύθμισης τα οποία ελέγχθηκαν στη μηδενική υπόθεση.

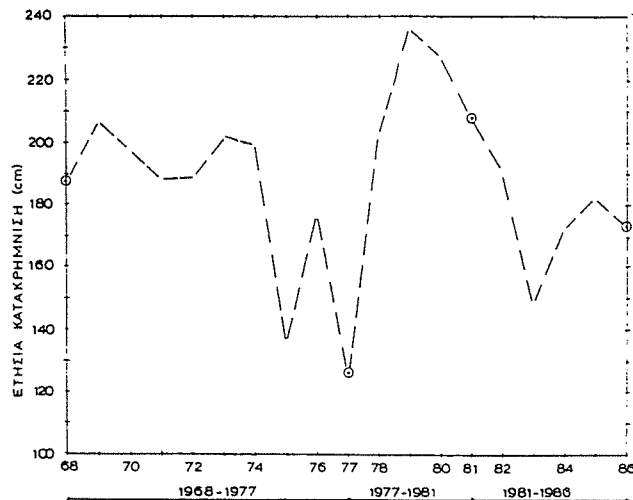
Πίνακας 7.1. Κριτήρια απόδοσης ομοιώματος.

Table 7.1. Model performance criteria.

Λεκάνη Μεσοχώρας Περίοδος	ετήσια απορροή		μηνιαία απορροή		
	Μέση τιμή (cm)	Τυπική απόκλιση (cm)	Τυπικό σφάλμα (cm)	Συντελεστής συσχέτισης	Συντελεστής απόδοσης
έντονα καθοδική	104.36	26.53	4.291	0.863	0.722
έντονα ανοδική	121.52	48.92	4.533	0.909	0.815
ήπια καθοδική	106.90	12.70	4.651	0.864	0.733
Περίοδος ρύθμισης	113.08	26.02	4.285	0.881	0.767

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε τη προσομοίωση υδρολογικής λεκάνης με το ομοίωμα εδαφικής υγρασίας Sacramento. Η εφαρμογή έγινε για τη λεκάνη Μεσοχώρας τη χρονική περίοδο 1968-1986. Ως είσοδοι στο ομοίωμα χρησιμοποιήθηκαν η ημερή-



Σχ. 7.1 Ετήσια κατακρήμνιση λεκάνης Μεσοχώρας.

Fig 7.1 Annual precipitation of Mesochora catchment.

σια κατακρήμνιση λεκάνης, όπως προέκυψε από εννέα βροχομετρικούς σταθμούς μέσα και γύρω από τη λεκάνη, και η εξάτμιση λεκάνης που μετρήθηκε με εξατμισίμετρο (σταθμός Ασπροπόταμου). Το ομοίωμα ρυθμίσθηκε με διαδοχικές δοκιμές (προσεγγίσεις) έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχόν εξωπραγματικά αποτελέσματα που θα μπορούσαν να προκύψουν με αυτόματη ρύθμιση.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με βάση τα κριτήρια απόδοσης ομοιώματος αλλά και από απλή σύγκριση μεταξύ εκτιμημένης και μετρημένης μηνιαίας απορροής κρίνονται ικανοποιητικά. Εκείνο που πρέπει να σχολιαστεί είναι ότι:

(α) Η χρήση εξατμισίμετρου για τον προσδιορισμό εξάτμισης λεκάνης έχει το μειονέκτημα ότι δεν γνωρίζουμε ποτέ το πραγματικό μηνιαίο συντελεστή οργάνου [6] οπότε καταφεύγουμε στην εκτίμησή του καθοδηγούμενοι από τα μηνιαία υδατικά ισοζύγια της λεκάνης τα οποία μπορούν να δώσουν στο συντελεστή, μεγάλες ή μικρές τιμές (και μηδενικές) χαρακτηριζόμενες πλέον ως βάρη εξάτμισης και όχι ως συντελεστές οργάνου. Γιαυτό πρέπει να προτιμούνται για την εκτίμηση της εξάτμισης λεκάνης αντίστοιχες μέθοδοι από μετεωρολογικές παραμέτρους (μέθοδοι: Penman, Thornthwaite, Blaney-Cridle)

(β) Τους εαρινούς μήνες το ομοίωμα υποεκτιμά σημαντικά την απορροή πράγμα που οφείλεται στο γεγονός ότι τους μήνες αυτούς λιώνει το χιόνι, διαδικασία που δεν έχει συμπεριληφθεί στην προσομοίωση της λεκάνης.

Η εκτίμηση της εξάτμισης λεκάνης με τη μέθοδο Penman και η συμμετοχή ρουτίνας λιώσιματος χιονιού τροποποιεί (βελτιώνει) τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (όπως προκύπτει από τη διδακτορική μου διατριβή).

Επομένως κρίνεται αναγκαίο σε στάδιο μελέτης εφαρμογής στις ορεινές λεκάνες να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη η διαδικασία λιώσιματος χιονιού στην προσομοίωση λεκάνης ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα ή μη του ομοιώματος που χρησιμοποιείται.

9. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τελειώνοντας, θέλω ιδιαίτερα να ευχαριστήσω δύο επιστήμονες που συνετέλεσαν, καθοριστικά, στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής:

Τον **J. Nemec** πρόεδρο του FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations) για την παρότρυνση του να χρησιμοποιήσω το ομοίωμα Sacramento και τη μεσολάβηση του να αποκτήσω τα προγράμματα H/Y του ομοιώματος.

Τον πολιτικό μηχανικό **Γιώργο Δ. Δήμου** για τη βοήθεια του σε θέματα H/Y που ανέκυψαν κατά την επεξεργασία του ομοιώματος.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. and Mcquire, R.A., "A Generalized Stream-flow Simulation System Conceptual Modeling for digital Computers" U.S. National Weather Service, Sacramento, CA, 1973, 203 pp.

2. Huggins, L.F and Burney, J.R., "Surface Runoff Storage and Routing" in *ASAE Monograph No 5: Hydrologic Modeling of Small Watersheds* (ed.C.T. Haan, H.P. Johnson, and D.L. Brakensiek), 1982, pp.169-225.
3. James, L.D. and Burges, S.J. " Selection, Calibration, and Testing of Hydrologic Models" in *ASAE Monograph No 5 : Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, (ed. C.T. Haan, H.P. Johnson, and D.P. Brakensiek), 1982, pp. 437-472.
4. James, L.D., Bowles, D.S., and Hawkins, R.H., " A Taxonomy for Evaluating Surface Water Quantity Model Reliability", *International Symposium on Rainfall- Runoff Modeling*, May 18-21,1982. Mississippi State University, Mississippi State, MS.
5. Klemes, V., "Operational Testing of Hydrological Simulation Models" in *Journal of Hydrological Sciences*, Vol.31, 1986, pp.13-24.
6. Lettenmaier, D., "Προσωπική επικοινωνία με τη συγγραφέα", Μάιος 1989.
7. Linsley, R.K., Kohler, Max A., and Paulhus, J.L.H., *Hydrology for Engineers*, Mc Graw-Hill, N.Y., 1982.
8. Linsley, R.K., "Rainfall- Runoff Models An Overview in Rainfall-Runoff Relationship, (ed. V.P. Singh), *Water Resources Publications*, Littleton, Co., 1982, pp.3-22.
9. Ξανθόπουλος, Θ.Σ., *Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1984.
10. Παναγούλια, Δ. "Εκτίμηση Ημερήσιας Βροχόπτωσης Λεκάνης για Συνολική Προσομοίωση", *Τεχνικά Χρονικά*, Απρ.-Ιούν 1990, Τεύχος 2, σελ 47-64.
11. Παναγούλια, Δ. "Υψομετρική διόρθωση ημερήσιας βροχόπτωσης λεκάνης για συνολική προσομοίωση", Εγκρίθηκε για δημοσίευση στο *Τεχνικά Χρονικά*.
12. Peck, E.L., "Catchment Modeling and Initial Parameter Estimation for the National Weather Service River Forecast System" *NOAA, Technical Memorandum NWS HYDRO.31*, 1976
13. Spiegel, Murray, R. "Πιθανότητες και Στατιστική- Έλεγχοι Υποθέσεων και Σημαντικότητας", *Schaum's Outline Series*, 1975.
14. Woolhiser, D.A. and Brakensiek, D.L. "Hydrologic System Synthesis", in *ASAE Monograph No 5 :Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, (ed. C.T. Haan, H.P. Johnson and D.L.Brakensiek) 1982, 3-10.
15. WMO, "Intercomparison of Conceptual Models Used in Operational Hydrological Forecasting", *Operational Hydrology*, Report No 7, 1975, Geneva.

Διονυσία Παναγούλια, (ΑΤΜ),

Επιστημονική Συνεργάτιδα
Τομέας Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Ε.Μ.Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Ζωγράφου, 157 73.

CONCEPTUAL WATERSHED SIMULATION BY USING SACRAMENTO SOIL MOISTURE ACCOUNTING MODEL.

by Dionysia Panagoulia

An extended summary

INTRODUCTION

The use of Sacramento soil moisture accounting model in conceptual simulation of catchment is presented. The model was developed by Burnash et al. (1973) and forms the basis of the U.S. National Weather Service's basic catchment hydrologic response model for operational forecasting. It is a deterministic, continuous, lumped parameter, conceptual model. The original model was designed for daily precipitation input but later versions allow finer time increments (6-hours or less). Input to the model is pseudo-precipitation (snow-melt model output) and potential evaporation (actual, or longterm average).

DESCRIPTION OF THE MODEL

Structure

The model is based on a system of percolation, soil moisture storage, drainage, and evapotranspiration characteristics to represent the significant hydrologic process in a rational manner. Fig. 2.1. and 2.2. show the Sacramento hydrologic model itself and components of the model, respectively. As seen from these figures, Upper Zone is further divided into Tension Water Storage and Free Water Storage for the permeable portion of the catchment.

Tension water

Tension water is considered as that water which is closely bound to soil particles. This water is available for evapotranspiration based on the upper zone soil moisture. Tension water storage should be filled up before moisture becomes available to enter free water storage. Free water can descend to lower zone by percolation or can move laterally to produce interflow. Percolation is controlled by the contents of the upper zone free water and the deficiency of lower zone moisture volume.

When the precipitation rate exceeds the percolation rate and the maximum interflow drainage capacity, then the Upper Zone Free Water capacity is filled completely and the excess rainfall will result in surface runoff.

Lower zone consists of tension water storage and two free water storages. Again, the tension water is available for evapotranspiration. The two free water storages fill simultaneously from percolated water and drain independently at different rate, giving a variable ground water recession.

Direct runoff from impervious area, surface runoff and interflow contribute to generate part of channel inflow using unit hydrograph method. Base flow from lower zone is added to the channel inflow.

Parameters

As seen in Fig.2.2., the model employs about 21 parameters to simulate the hydrologic processes. These are soil moisture storage parameters for upper and lower zone, percolation parameters, catchment characteristics, and al. These parameters are listed in Chapter 2.2 with units and definition. Some parameters can be estimated from semi-log plot of discharge or geographic maps of the study area.

Intermediate variables

So called the variables of operation and error analysis of the model. Both these two parameter categories are presented in Chapter 2.3.

MODEL OPERATION

In chapter 3, it is developed the flow chart of the soil moisture accounting portion of the model.

MODEL IMPLEMENTATION

The model has been implemented on Mesochora mountainous catchment of Acheloos river. The catchment occupies 632.8 Km², it has intense topography and 1390 m mean elevation. In the catchment there are installed nine precipitation gauge stations, one evaporation station and one discharge gauge station. For the period 1968-1986, the daily mean catchment precipitation, the monthly catchment potential evapotranspiration, and model's parameters were estimated.

The daily mean catchment precipitation was estimated combining the similar Thiessen method and station daily availability [10]. The so obtained precipitation was corrected for mean catchment elevation using the formula 4.1 [11].

The monthly catchment evaporation was computed from long-term monthly mean pan evaporation data of Aspropotamos station. The evaporation was converted to potential evapotranspiration multiplying the catchment evaporation by the monthly pan coefficient which was initially determined with the aid of long-term monthly mean water balance of the catchment. The final coefficient values resulted from the model calibration.

Parameter estimation of the model was based on a process of initial parameter estimation suggested by Peck (1976) [Chap.5]. All parameter estimates were based on calibration period of nineteen years. The calibration period included dry, medium and wet years so that the model was subjected to a broad range of

changes in conceptual storages. The final parameter estimation resulted from the model calibration which did manually. The final parameter estimates are described in Table 5.1.

RESULTS

This chapter includes:

Error analysis of daily flows (Tab.6.1).

Three day volume error analysis (Tab.6.2).

Monthly flows error analysis (Tab.6.3).

Observed and simulated monthly runoff in Tables 6.4 and 6.5 respectively.

Scatter diagram of monthly observed and estimated runoff Fig. 6.1.

VERIFICATION OF THE CALIBRATED MODEL

The long-term annual average catchment rainfall (Fig.7.1) presented three distinct periods with different climate conditions. For these periods the model run separately and were computed the statistical variables: long-term annual average runoff, standard deviation of annual runoff, standard error of monthly runoff, and correlation coefficient of monthly runoff (Tab.7.1). The null hypothesis H_0 of the variable difference per two climate periods and any climate period and calibration period was tested. The results for all variables fell within 95% critical region.

CONCLUSIONS

The simulation of Mesochora mountainous catchment with the Sacramento hydrological conceptual model was presented. The simulation results of the catchment are generally satisfactory. At this point, we discuss two important problems that we subjected in the calibration process. These are:

(i) The use of pan evaporation data makes it difficult the catchment evapotranspiration estimation because we do not know exactly the pan coefficient. For this reason, it is preferable to compute the catchment evapotranspiration from meteorological variables (Penman, Thornthwaite method, et al.).

(ii) The absense of snowmelt model in simulation of hydrologic regime of the catchment creates the problem of runoff underestimation in spring months. So, for mountainous catchments it is necessary to be included snowmelt model in simulation catchment process.

Dionysia Panagoulia

Civil Engineering Department, NTUA
Division of Water Resources-Hydraulic and Maritime Engineering
5, Iroon Polytechniou, 15773