

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
5ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ
ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ
ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

9-12 Νοεμβρίου 1992
ΛΑΡΙΣΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΞΗΣ ΧΙΟΝΙΟΥ
ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ

ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

Τομέας Υδατικών Πόρων - Υδραυλικών και Θαλάσσιων Εργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Ε.Μ. Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Ζωγράφου, 157 73.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται με συντομία και εφαρμόζεται για τη λεκάνη της Μεσοχώρας το συνολικό προσομοίωμα συσσώρευσης και τήξης χιονιού US National Weather Service (US NWS). Περιγράφονται οι φυσικές διαδικασίες του προσομοιώματος, οι μεταβλητές εισόδου, εξόδου, και οι χαρακτηριστικές παράμετροί του. Λόγω της έλλειψης συγκρίσιμων στοιχείων πεδίου, η ρύθμιση του προσομοιώματος έγινε μέσω του συνολικού προσομοιώματος εκτίμησης εδαφικής υγρασίας US NWS. Η έξοδος "ημερήσιο νερό βροχής και τήξης" του προσομοιώματος του χιονιού χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο εισόδου στο προσομοίωμα εδαφικής υγρασίας με αντικείμενο σύγκρισης την ημερήσια παροχή του Αχελώου ποταμού στην έξοδο της λεκάνης της Μεσοχώρας. Το προσομοίωμα του χιονιού απέδωσε πολύ καλά το έργο για το οποίο εξουσιοδοτήθηκε.

SIMULATION OF SNOW ACCUMULATION AND ABLATION
OF MESOCHORA CATCHMENT

DIONYSIA PANAGOULIA

Division of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering
Department of Civil Engineering - National Technical University of Athens
5 Iroon Polytechniou, 15773 Athens, Greece

SUMMARY

The US National Weather Service (US NWS) snow accumulation and ablation model is summarized and implemented for the Mesochora catchment. There are described the model physical processes, the input-output variables, and the characteristic parameters of the model. Because of, for the study catchment, there were not observed water equivalent data for comparison with the simulated ones, the snow model calibration was obtained by using the US NWS Soil Moisture Accounting model. The output "rain and melt" water from the snow model was used as input to soil moisture accounting model with comparison object the daily discharge of the Acheloos river at the Mesochora catchment outfall. The snowmelt model succeeded in the work for which it was employed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία τήξης χιονιού παίζει το σημαντικότερο ρόλο στην υδρολογική απόκριση ορεινής λεκάνης απορροής. Αντίθετα από τις βροχοπτώσεις, οι χιονοπτώσεις επιδρούν καθυστερημένα στην απορροή της λεκάνης και τη ροή ποταμού. Ενώ η συσσώρευση χιονιού πραγματοποιείται τους χειμερινούς μήνες, αυτή αποκτά σπουδαιότητα τους εαρινούς που ακολουθούν με το λιώσιμο του χιονιού. Το νερό από την τήξη είναι χρήσιμο για υδροδότηση (άρδευση κατά τους ξηρούς μήνες), αλλά μπορεί να προκαλέσει και σοβαρές πλημμύρες, ιδιαίτερα όταν συνενώνεται με το νερό από τις εαρινές βροχοπτώσεις. Στο έδαφος, το νερό από την τήξη μπορεί να αναπληρώσει την κρίσιμη εδαφική υγρασία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και να επαναφορτίσει τους υπόγειους υδροφόρους.

Στην επιστήμη της υδρολογίας ο κλάδος που αφορά το χιόνι είναι ο λιγότερο αναπτυγμένος και αυτό πιθανόν να οφείλεται τόσο στη δυσκολία συλλογής στοιχείων πεδίου όσο και στην εκ φύσεως αργοπορημένη απόκριση των συστημάτων τήξης χιονιού. Καταρχήν είναι δύσκολο να μετρήσουμε τη χιονόπτωση και αυτό γιατί οι συνθήκες που επικρατούν τις χειμερινές περιόδους είναι ιδιαίτερα δυσμενείς. Επιπλέον, στην υδρολογία το χιόνι απαιτεί μακροπρόθεσμες δεσμεύσεις στη μελέτη της διαδικασίας της τήξης του για μήνες ή και έτη μετά τη χιονόπτωση.

Οι πρώτες προσεγγίσεις των διαδικασιών συσσώρευσης και τήξης χιονιού ήταν εμπειρικές και έγιναν από το Μηχανικό του Στρατού και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών. Η έκθεση τους (US Army Corps of Engineers, 1956) αποτελεί, ακόμη και σήμερα, τη βάση της υδρολογίας για το χιόνι. Λίγα χρόνια αργότερα οι εμπειρικές διαδικασίες αντικαταστάθηκαν από τα συνολικά προσομοιώματα χιονιού που αποτελούν βασικές συνιστώσες των συνολικών προσομοιωμάτων υδρολογικής λεκάνης ((π.χ. Stanford Watershed Model (Crawford and Linsley, 1966), US NWS Soil Moisture Accounting Model (Burnash et al., 1973)). Υπάρχουν βέβαια και άλλες σχετικές με το θέμα προσεγγίσεις όπως αυτή των Amorcho και Espildora (1966) και του Winston (1965).

Στην εργασία αυτή περιγράφεται και εφαρμόζεται στην ορεινή λεκάνη Μεσοχώρας το US NWS συνολικό προσομοίωμα συσσώρευσης και τήξης χιονιού. Το προσομοίωμα αναπτύχθηκε από τον Anderson στο US National Weather Service Hydrologic Research Laboratory (Anderson 1973, 1976, 1978a, 1978b) και χρησιμοποιείται από κοινού με το προσομοίωμα εδαφικής υγρασίας US NWS ή οποιοδήποτε άλλο προσομοίωμα βροχής - απορροής. Τα αποτελέσματα του προσομοιώματος χιονιού αποτελούν τα δεδομένα εισόδου για το προσομοίωμα εκτίμησης της εδαφικής υγρασίας λεκάνης. Εξοδοί του προσομοιώματος είναι η απορροή στιβάδας χιονιού (νερό βροχής και τήξης που εγκαταλείπει τη στιβάδα) και η βροχή που πέφτει πάνω σε γυμνό από χιόνι έδαφος.

Το προσομοίωμα αποτελείται από σειρά μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν την αλλαγή αποθήκευσης νερού και θερμότητας στη στιβάδα χιονιού. Είσοδοι στο προσομοίωμα είναι η θερμοκρασία αέρα και η κατακρήμνιση που αναφέρονται σε εξάωρο χρονικό βήμα.

Στη μελέτη αυτή η ημερήσια κατακρήμνιση επιμερίσθηκε σε εξάωρα χρονικά διαστήματα, ενώ η ανά εξάωρο θερμοκρασία υπολογίσθηκε με βάση τις εξισώσεις του Anderson (1973) από μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες. Οι είσοδοι του προσομοιώματος περιορίζονται στη θερμοκρασία αέρα και κατακρήμνιση γιατί άλλα δεδομένα που απαιτούνται για τα ισοζύγια θερμότητας δεν διατίθενται, κατά κανόνα, στις ορεινές περιοχές.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Το προσομοίωμα του χιονιού, με συντομία, αναπτύσσεται ως ακολούθως: Οι μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την ανταλλαγή θερμότητας στις διεπιφάνειες αέρα-στιβάδας χιονιού και εδάφους-στιβάδας χιονιού διαφοροποιούνται για περιόδους τήξης και μη τήξης του χιονιού. Οι περίοδοι τήξης, στη συνέχεια, διακρίνονται σε υγρές (όταν πραγματοποιείται βροχόπτωση) και σε ξηρές. Εάν πραγματοποιείται βροχόπτωση, το έδαφος είναι ακάλυπτο από χιόνι, και η θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια του εδάφους είναι 0°C , το προσομοίωμα του χιονιού δεν λειτουργεί. Εάν όμως το έδαφος δεν είναι γυμνό (από χιόνι) τότε μπορεί να υπολογιστεί η ανταλλαγή θερμότητας στη διεπιφάνεια αέρα-χιονιού. Στην περίπτωση αυτή διακρίνονται πάλι δύο διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας αέρα, δηλαδή εάν ο αέρας είναι θερμός (θερμοκρασία αέρα $T_a > 0^{\circ}\text{C}$), και εάν είναι ψυχρός ($T_a < 0^{\circ}\text{C}$). Για $T_a > 0^{\circ}\text{C}$ υιοθετούνται οι ακόλουθες παραδοχές: (α) δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, (β) η εισερχόμενη ακτινοβολία μακρού μήκους κύματος είναι ίση με την ακτινοβολία μελανού

σώματος στη θερμοκρασία του αέρα T_a , (γ) η θερμοκρασία στην επιφάνεια του χιονιού είναι 0°C , (δ) το σημείο δρόσου εξισώνεται με τη θερμοκρασία T_a , και (ε) η θερμοκρασία του νερού της βροχής είναι T_a . Κάτω από τις παραδοχές αυτές το ενεργειακό ισοζύγιο περιγράφεται από την εξίσωση: $\Delta Q = Q_n + Q_e + Q_h + Q_p$ όπου, ΔQ = απώλεια θερμότητας τήξης στιβάδας χιονιού, Q_n = ακτινοβολία μακρού μήκους κύματος, Q_e = μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας λόγω συμπύκνωσης, Q_h = μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγιμότητας (λόγος Bowen βάσει των παραπάνω παραδοχών), και Q_p = μεταφορά θερμότητας από το νερό της βροχής. Όταν η θερμοκρασία αέρα T_a είναι μικρότερη από 0°C , τότε θεωρείται ότι το κατακρήμνισμα πέπτει ως χιόνι και ότι δεν πραγματοποιείται τήξη.

Για την περίπτωση της τήξης του χιονιού κατά τη διάρκεια μη βροχερών περιόδων, το προσομοίωμα, καταρχήν, ελέγχει εάν η στιβάδα του χιονιού είναι ισόθερμη στους 0°C . Εάν η στιβάδα δεν είναι ισόθερμη τότε δεν πραγματοποιείται τήξη και η ροή καθαρής θερμότητας προστίθεται στη θερμότητα που περιέχεται στη στιβάδα. Εάν όμως η στιβάδα του χιονιού είναι ισόθερμη και η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από 0°C , τότε θεωρούμε ότι η τήξη που πραγματοποιείται είναι ανάλογη ενός εποχιακά μεταβαλλόμενου παρόντος (συντελεστής τήξης) και της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και των 0°C (ισόθερμη θερμοκρασία στιβάδας).

Κατά τη διάρκεια περιόδων χωρίς τήξη του χιονιού (το προσομοίωμα θεωρεί ότι, για κάθε στιγμή, η $T_a < 0^\circ\text{C}$), ο δείκτης προηγούμενης θερμοκρασίας, ATI , χρησιμοποιείται ως δείκτης θερμοκρασίας του επιφανειακού στρώματος της στιβάδας. Η ανταλλαγή καθαρής θερμότητας στην επιφάνεια της στιβάδας θεωρείται ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της τρέχουσας θερμοκρασίας του αέρα T_a και του δείκτη της προηγούμενης θερμοκρασίας ATI . Η σταθερά της παραπάνω αναλογίας αποτελεί παράμετρο του προσομοιώματος και ορίζεται ως αρνητικός συντελεστής τήξης ο οποίος μεταβάλλεται εποχιακά με τρόπο παρόμοιο του συντελεστή τήξης που χρησιμοποιήθηκε στις μη βροχερές περιόδους.

Τελικά, το προσομοίωμα υπολογίζει την επιφανειακή έκταση της χιονοκάλυψης. Αυτή, κατά τη διάρκεια των περιόδων συσσώρευσης του χιονιού, θεωρείται ότι καταλαμβάνει τα 100% της χιονοκαλυμμένης έκτασης. Κατά τις περιόδους όμως μείωσης της χιονοκάλυψης, το προσομοίωμα χρησιμοποιεί την καμπύλη επιφανειακής μείωσης του χιονιού η οποία εκφράζει το ποσοστό της χιονοκαλυμμένης επιφάνειας ως συνάρτηση του μέσου ισοδύναμου ύψους νερού επιφάνειας προς το δείκτη επιφάνειας. Η τιμή του δείκτη είναι μικρότερη από το μέγιστο ισοδύναμο νερό επιφάνειας από τότε που άρχισε να συσσωρεύεται το χιόνι (π.χ. από την έναρξη της εποχής του χιονιού), ή από ένα προκαθορισμένο μέγιστο.

Οι σημαντικότερες παράμετροι του προσομοιώματος είναι: (α) ο συντελεστής τήξης μη βροχερών περιόδων, (β) ο αρνητικός συντελεστής τήξης για περιόδους χωρίς τήξη, (γ) ο δείκτης προηγούμενης θερμοκρασίας, και (δ) το μέσο ισοδύναμο νερό επιφάνειας πάνω από το οποίο υπάρχει πάντοτε πλήρης χιονοκάλυψη (100%). Το US NWS προσομοίωμα συσσώρευσης και τήξης χιονιού περιγράφηκε με συντομία καθόσον αρκετές λεπτομέρειες στη λειτουργία του έχουν παραλειφθεί. Για παράδειγμα, το προσομοίωμα περιλαμβάνει επίσης αλγόριθμους μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος στη στιβάδα του χιονιού καθώς και συγκράτησης υγρού νερού στη στιβάδα του χιονιού. Ακόμη, το προσομοίωμα δέχεται η διάκριση της κατακρήμνισης σε βροχή ή χιόνι να γίνεται σε θερμοκρασία διαφορετική των 0°C και επιτρέπει η τήξη του χιονιού κατά τη διάρκεια των μη βροχερών περιόδων να πραγματοποιείται σε θερμοκρασία διαφορετική των 0°C . Οι αλγόριθμοι αυτοί και οι γενικεύσεις αναμειγνύουν πρόσθετες παραμέτρους οι οποίες ωστόσο δεν είναι τόσο σημαντικές όσο αυτές που αναφέρθηκαν. Πλήρης περιγραφή των μαθηματικών εξισώσεων του προσομοιώματος παρέχεται από τον Anderson (1973).

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ

Στην ενότητα αυτή εφαρμόζεται το προσομοίωμα του χιονιού στην υδρολογική λεκάνη της Μεσοχώρας που αποχετεύεται στον ορεινό Αχελώο ποταμό (Κεντρική Ελλάδα). Για το σκοπό αυτό περιγράφονται οι σταθμοί κατακρήμνισης, θερμοκρασίας, και η ποιότητα των δεδομένων τους, καθώς και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να διαιρεθεί η λεκάνη σε υψομετρικές ζώνες. Επίσης, περιγράφεται η διαδικασία ρύθμισης του προσομοιώματος και οι εκτιμήσεις των παραμέτρων του για τη συγκεκριμένη λεκάνη.

3.1. ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην ορεινή λεκάνη της Μεσοχώρας υπάρχουν εγκατεστημένοι (μέσα και γύρω από αυτή) δώδεκα σταθμοί κατακρήμνισης και τέσσερις θερμοκρασίας. Ο σταθμός του Ασπροπόταμου, μολονότι βρίσκεται εντός της λεκάνης, παρουσιάζει ελλιπή και αναξιόπιστα δεδομένα κατακρήμνισης και θερμοκρασίας, γεγονός που μας οδήγησε στην εξαίρεσή του από τη μελέτη.

Οι υπόλοιποι έντεκα σταθμοί κατακρήμνισης είναι κατανεμημένοι σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης (με μεγαλύτερη πυκνότητα στο κάτω μέρος της, Σχ.3.1). Οι σειρές των ημερήσιων δεδομένων κατακρήμνισης, που χορηγήθηκαν από τη ΔΕΗ, ΥΠΕΧΩΔΕ και ΙΔΕ, είναι σχεδόν πλήρεις από αξιόπιστα στοιχεία. Η αξιοπιστία των δεδομένων ελέγχθηκε με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης σε μηνιαία χρονική βάση.

Από τους τρεις σταθμούς θερμοκρασίας μόνο αυτός της Βάκαρης βρίσκεται μέσα στη λεκάνη αλλά στο κάτω άκρο της, ενώ οι του Μετσόβου και του Παχτουρίου βρίσκονται έξω, στο βόρειο και νότιο άκρο της αντίστοιχα. Και οι τρεις σταθμοί παρουσιάζουν σοβαρές ελλείψεις από μέγιστα και ελάχιστα ημερήσια δεδομένα, που ανάγονται ακόμη και σε ολόκληρα έτη (Πίν. 3.1). Η αξιοπιστία των στοιχείων τους ελέγχθηκε με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης σε μηνιαία βάση και διαπιστώθηκαν μερικές αποκλίσεις των ελάχιστων τιμών από την ευθεία, οι οποίες διορθώθηκαν με την αφαίρεση κατάλληλης τιμής θερμοκρασίας (Anderson, 1973). Να σημειωθεί, ότι για τον έλεγχο μόνο, εκεί όπου έλειπαν μηνιαίες τιμές, αυτές συμπληρώθηκαν με τους αντίστοιχους μέσους όρους των υπερετήσιων μηνιαίων πραγματικών τιμών τους.

Η μέση ημερήσια κατακρήμνιση λεκάνης υπολογίσθηκε βάσει της συνδυαστικής μεθόδου Thiessen και ημερήσιας διαθεσιμότητας βροχομετρικών σταθμών (Παναγούλια, 1990α,β, 1991α,β, 1992). Η διόρθωσή της για δεδομένο υψόμετρο e (συνήθως αυτό είναι το διάμεσο υψόμετρο λεκάνης ή υψομετρικής ζώνης) έγινε βάσει της σχέσης (Παναγούλια, 1990α,β, 1991α,β, 1992):

$$p_e = \frac{P + (e - e_{ws})p_f}{P} \quad (3.1)$$

όπου,

p_e διορθωτικός συντελεστής μέσης επιφανειακής κατακρήμνισης για δεδομένο υψόμετρο e ,

P μέση επιφανειακή κατακρήμνιση,

e_{ws} ζυγισμένο μέσο υψόμετρο σταθμών βάσει της ημερήσιας διαθεσιμότητάς τους, και

p_f ρυθμός μεταβολής κατακρήμνισης με το υψόμετρο

Δεδομένου ότι υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις δεδομένων θερμοκρασίας (Πίν. 3.1) τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη μέση ημερήσια επιφανειακή θερμοκρασία υπολογίσθηκαν με την ίδια συνδυαστική μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για την ολοκλήρωση της κατακρήμνισης. Η αναγωγή τους σε δεδομένο υψόμετρο e έγινε βάσει της σχέσης (Παναγούλια, 1990α, 1992):

Πίνακας 3.1 Σταθμοί κατακρήμνισης ανά υψομετρική ζώνη, και σταθμοί θερμοκρασίας λεκάνης Μεσοχώρας (632.8 km²)

ΖΩΝΗ	ΣΤΑΘΜΟΙ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΣΤΑΘΜΩΝ (m)	ΔΙΑΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΖΩΝΗΣ (m)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΖΩΝΗΣ %	ΕΤΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ		
					Κατακρήμνιση	Θερμοκρασία	
						max	min
ΑΝΘ	ΜΕΤΣΟΒΟ	1157	1830	30.54	15	14	15
	ΚΑΤΑΦΥΤΟ	980			15		
	ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ	1050			15		
ΜΕΣΑΙΑ	ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ	1050	1400	29.51	15		
	ΜΑΤΙΟΥΚΙ	1079			15		
	ΠΕΡΤΟΥΛΙ	1160			15		
ΚΑΤΩ	ΤΥΡΝΑ(ΕΛΑΤΗ)	900	1080	39.95	15	15	15
	ΒΑΚΑΡΗ	1150			15		
	ΜΕΣΟΧΩΡΑ	780			15		
	ΠΑΧΤΟΥΡΙ	950			15	11	11
	ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΙΚΑ	860			15		
	ΒΑΘΥΡΕΜΑ	920			15		

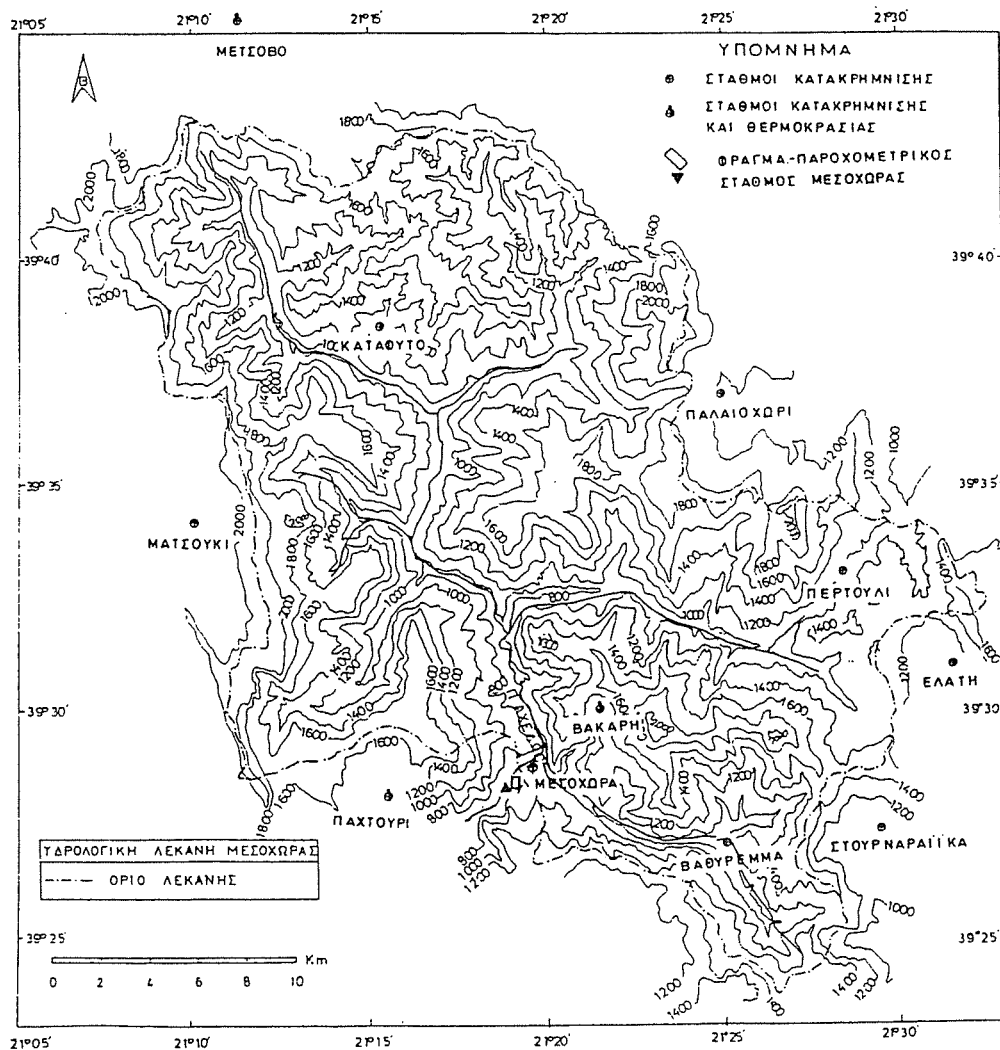
$$\tau_e = (e - e_{ws}) \tau_f \quad (3.2)$$

όπου,
 τ_e διορθωτικός συντελεστής μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για δεδομένο υψόμετρο e ,
 e_{ws} ζυγισμένο μέσο υψόμετρο σταθμών βάσει της ημερήσιας διαθεσιμότητάς τους, και
 τ_f θερμοβαθμίδα που περιγράφει τη μείωση της θερμοκρασίας με το υψόμετρο.

3.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ (ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ)

Είναι απαραίτητο οι ορεινές υδρολογικές λεκάνες να διαχωρίζονται σε υψομετρικές ζώνες, και το προσομοίωμα τήξης χιονιού να εφαρμόζεται σε κάθε μία ζώνη χωριστά γιατί από το ίδιο γεγονός κατακρήμνισης μπορεί τα χαμηλά υψόμετρα να δέχονται βροχή ενώ τα υψηλά χιόνι.

Η λεκάνη της Μεσοχώρας παρά τις εναλλαγές υψηλών και χαμηλών υψομέτρων σε όλη την επιφάνειά της, διαχωρίσθηκε σε τρεις ζώνες (Σχ.3.1), με κριτήριο το εύρος υψομέτρων.



Σχ 3.1 Τοπογραφικός χάρτης Μεσοχώρας και υδρομετεωρολογικοί σταθμοί

Αναπτύχθηκε η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης (απεικόνιση υψομέτρων και ποσοστών επιφάνειας) και προσδιορίστηκε το διάμεσο υψόμετρο κάθε μιας ζώνης (αντιστοιχεί στο 50% της επιφάνειας ζώνης) (Πίν.3.1).

Η ζυγισμένη μέση ψευδοκατακρήμνιση (βροχή και τήξη) από τις τρεις ζώνες θεωρήθηκε ως μέση επιφανειακή κατακρήμνιση και αποτέλεσε την είσοδο στο US NWS προσομοίωμα Εκτίμησης Εδαφικής Υγρασίας (US NWS-Soil Moisture Accounting model). Οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές βάρους ορίστηκαν από τους λόγους των επιφανειών των τριών υψομετρικών ζωνών προς τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης (Πίν. 3.1).

Για κάθε ζώνη οι συντελεστές μεταβολής υψομέτρου - κατακρήμνισης p_f προσδιορίστηκαν από τη διαδικασία δοκιμής - σφάλματος, που διεξήχθη ταυτόχρονα με τη ρύθμιση του προσομοιώματος εδαφικής υγρασίας, έτσι ώστε η κατακρήμνιση ζώνης να είναι αύξουσα (μη γραμμική) συνάρτηση του διαμέσου υψομέτρου της.

Οι σειρές των μέγιστων και ελάχιστων ημερήσιων θερμοκρασιών και των τριών σταθμών παρουσιάζουν σοβαρές ελλείψεις από δεδομένα, γεγονός που επιδεινώνεται από την έλλειψη στοιχείων την ίδια ημέρα εξεταζόμενων των σταθμών ανά δύο. Πληρέστερος αλλά και αυτός με ελλιπή στοιχεία είναι ο σταθμός της Βάκαρης που θεωρείται και ο πλέον αντιπροσωπευτικός της λεκάνης. Για τους λόγους αυτούς από τα πραγματικά δεδομένα των τριών σταθμών κατασκευάστηκε ένας νέος σταθμός αντιπροσωπευτικός όλης της λεκάνης και με πλήρη στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά ρυθμίστηκαν για το διάμεσο υψόμετρο κάθε μιας ζώνης (διορθωτ. συντελ. τ_z) για σταθερή εξάωρη θερμοβαθμίδα $\tau_f = -0.8^\circ\text{C}/100\text{m}$. Η θερμοβαθμίδα τ_f και οι συντελεστές τ_z εκτιμήθηκαν ταυτόχρονα με τους συντελεστές κατακρήμνισης p_f και p_e από τη ρύθμιση του προσομοιώματος εδαφικής υγρασίας.

Το προσομοίωμα συσσώρευσης και τήξης χιονιού ρυθμίστηκε για όλες τις υψομετρικές ζώνες. Για τη ρύθμιση θα ήταν ιδεώδες να μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα παρατηρήσεων του κύκλου του χιονιού αλλά στην πραγματικότητα τέτοια δεδομένα είτε δεν υπάρχουν είτε είναι διεσπαρμένα στο χρόνο και το χώρο, και από την άλλη πλευρά παριστάνουν σημειακές πραγματοποιήσεις που συνήθως δεν είναι αντιπροσωπευτικές του μέσου ισοδύναμου νερού υψομετρικής ζώνης που προβλέπεται από το προσομοίωμα. Στην πράξη, η διαδικασία της ρύθμισης απαιτεί τη ρύθμιση των σημαντικότερων παραμέτρων (οι πρώτες πέντε παράμετροι του Πίνακα 3.2) για να διασφαλίσει ότι το προσομοίωμα προβλέπει την έναρξη συσσώρευσης χιονιού στο τέλος του φθινόπωρου, και τη βαθμιαία τήξη της στιβάδας χιονιού στο τέλος του χειμώνα και την άνοιξη. Οι άλλες παράμετροι έλαβαν ονομαστικές τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κλιματολογικά παρόμοιες λεκάνες (Anderson 1978b, Lettenmaier et al. 1988). Οι παράμετροι του προσομοιώματος περιγράφονται στον Πίνακα 3.2 στον οποίο δίνονται και οι ρυθμισμένες τιμές τους.

Πίνακας 3.2. Περιγραφή παραμέτρων προσομοιώματος και ρυθμισμένες τιμές τους

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
SCF	Διορθωτικός συντελεστής δεδομένων χιονόπτωσης για ελλιπή καταγραφή σταθμού	1.10
MFMAX	Μέγιστος συντελεστής τήξης μη βροχερών περιόδων που συμβαίνει στις 21 Ιουνίου	0.90 $\text{mm} \times ^\circ\text{C} \times 6\text{hr}$
MFMIN	Ελάχιστος συντελεστής τήξης μη βροχερών περιόδων που συμβαίνει στις 21 Δεκεμβρίου	0.40 $\text{mm} \times ^\circ\text{C} \times 6\text{hr}^{-1}$
UADJ	Μέση τιμή συνάρτησης ανέμου κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων πάνω σε χιόνι	0.10 $\text{mm} \times \text{mb}^{-1} \times 6\text{hr}$
SI	Μέσο ισοδύναμο νερό επιφάνειας πάνω από το οποίο υπάρχει πάντοτε πλήρης χιονοκάλυψη	100%
NMF	Μέγιστος αρνητικός συντελεστής	0.12 $\text{mm} \times ^\circ\text{C}^{-1} \times 6\text{hr}$
TIPM	Δείκτης προηγούμενης θερμοκρασίας ($0.1 \leq \text{TIPM} \leq 1.0$)	0.30
PXTEMP	Θερμοκρασία καθορισμού κατακρήμ. σε βροχή ή χιόνι	1 και 0°C
MBASE	Βασική θερμοκρασία τήξης κατά τη διάρκεια μη βροχερών περιόδων	0.0°C
PLWHC	Ποσοστιαία χωρητικότητα ώριμου χιονιού να συγκρατήσει υγρό νερό	0.05
DAYGM	Μέση ημερήσια ποσότητα λιωμένου χιονιού στη διεπιφάνεια χιονιού-εδάφους	0.20mm

Οι εποχιακοί συντελεστές τήξης *MFMAX* και *MFMIN* εκτιμήθηκαν σε 0.90 και 0.40 mm/°C/6hr, αντίστοιχα. Η θερμοκρασιακή παράμετρος *PXTEMP* πάνω από την οποία η κατακρήμνιση θεωρήθηκε βροχή λήφθηκε 1°C για τους πρώτους έξι μήνες ημερολογιακού έτους και 0°C για τους υπόλοιπους έξι. Η παράμετρος *SI* που εκφράζει το μέσο ισοδύναμο ύψος νερού επιφάνειας πλήρως χιονοκαλυμμένης θεωρήθηκε 100mm. Η καμπύλη μείωσης επιφανειακής χιονοκάλυψης σχηματίστηκε από τις τιμές:

ΜΕΣΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΝΕΡΟ ΧΙΟΝΟΚΑΛΥΨΗΣ/A₁: 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΧΙΟΝΟΚΑΛΥΨΗΣ : 1 0.05 0.11 0.18 0.20 0.22 0.25 0.33 0.42 0.53 0.71 1.00

Στο σημείο αυτό κλείνοντας την ενότητα της ρύθμισης των παραμέτρων του προσομοιώματος συσσώρευσης και τήξης χιονιού αναφέρουμε ότι η ρύθμιση των παραμέτρων έγινε με κριτήρια απόδοσης του προσομοιώματος εδαφικής υγρασίας στο οποίο ως είσοδος χρησιμοποιήθηκε η έξοδος "ημερήσιο νερό βροχής και τήξης" του προσομοιώματος του χιονιού ζυγισμένη για τις τρεις ζώνες (Παναγούλια 1990α,1992).

Στην εργασία αυτή δεν αναπτύσσουμε το προσομοίωμα εδαφικής υγρασίας US NWS που αποτελεί την πλέον βελτιωμένη έκδοση του προσομοιώματος Sacramento, αλλά απλά και μόνο περιοριζόμαστε στο προσομοίωμα της συσσώρευσης και τήξης χιονιού US NWS.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δίνεται μόνο το ζυγισμένο μέσο μηνιαίο και υπερετήσιο μηνιαίο ισοδύναμο νερό χιονιού (Σχ 4.1) που προκύπτει από την προσομοίωση της συσσώρευσης και τήξης χιονιού στις τρεις ζώνες της λεκάνης της Μεσοχώρας.

Το ημερήσιο νερό βροχής και τήξης χιονιού δεν είναι δυνατόν να παρουσιαστεί στην εργασία αυτή. Απλά αναφέρεται ότι αυτό αποτελεί είσοδο του προσομοιώματος εκτίμησης εδαφικής υγρασίας US NWS με το οποίο έγινε η ρύθμιση του προσομοιώματος χιονιού. Το πόσο καλά προσομοιώθηκε η διαδικασία της συσσώρευσης και τήξης χιονιού με το προσομοίωμα US NWS φαίνεται πολύ απλά από τη σύγκριση της μέσης υπερετήσιας μηνιαίας απορροής (soil-moisture accounting model -US NWS) και της αντίστοιχης μετρημένης (Σχ 4.1).

Το νερό των χιονοπτώσεων είναι ιδιαίτερα σπουδαίο γιατί μετατοπίζει την αιχμή απορροής της ενδοετήσιας απορροής από τους υγρούς χειμωνατικούς μήνες στους ανοιξιάτικους. Η μετατόπιση αυτή φαίνεται καθαρά στο Σχ 4.1 όπου το μέγιστο ισοδύναμο νερό χιονιού που πραγματοποιήθηκε το Μάρτη μεγιστοποίησε την απορροή τον Απρίλη.

Άλλες μεταβλητές εξόδου του προσομοιώματος χιονιού σε ημερήσια χρονική μονάδα ανάλυσης είναι η βροχή (mm) που διαχωρίζεται από την κατακρήμνιση, η χιονοκαλυμμένη επιφάνεια της λεκάνης (%), η θερμοότητα που φεύγει από τη στιβάδα χιονιού προς στην ατμόσφαιρα [αρνητική θερμοότητα (mm)], το υγρό νερό που μπορεί να συγκρατήσει η χιονοκάλυψη (%), και το ισοδύναμο νερό χιονιού (mm).

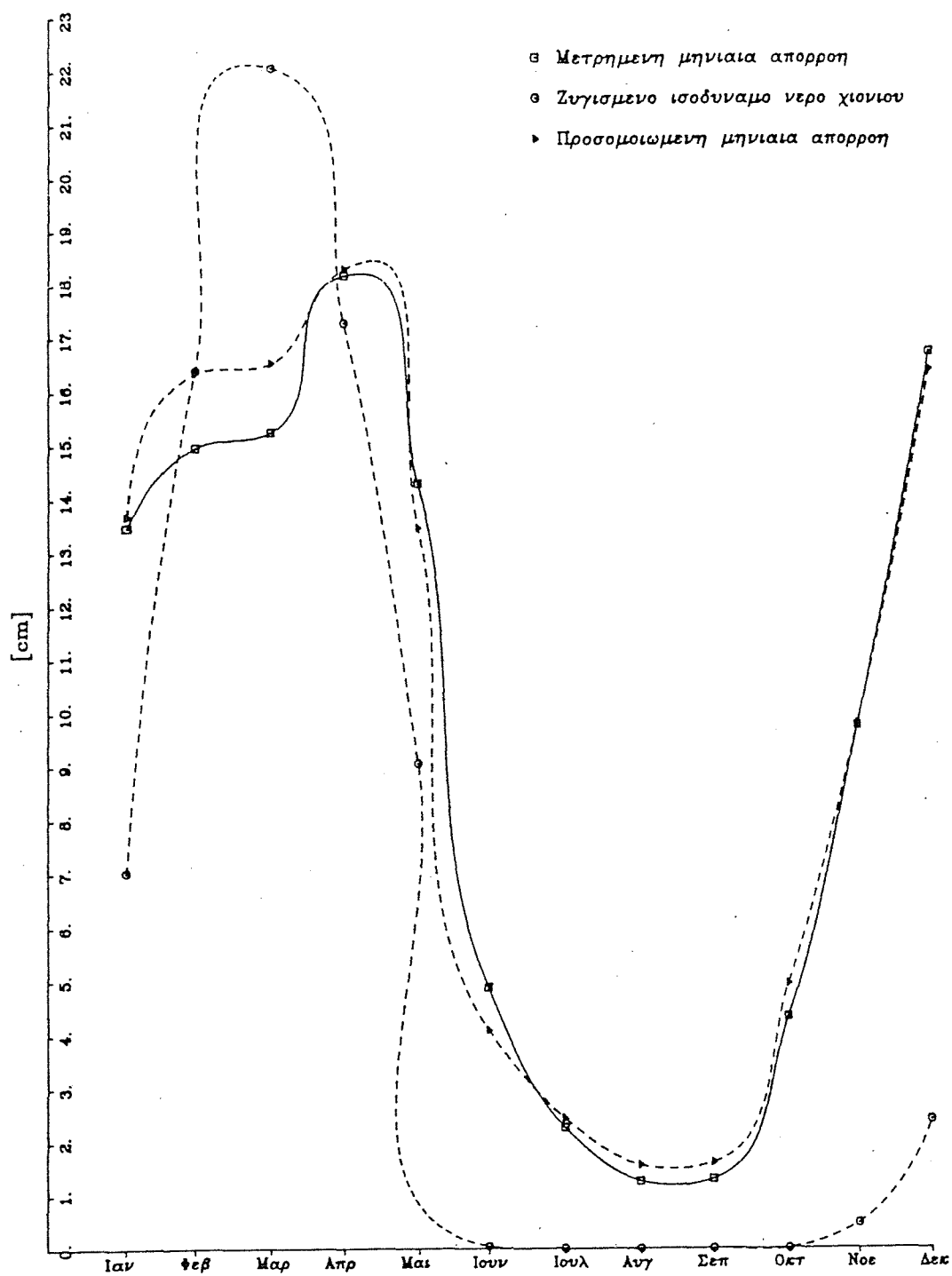
Σε εποχιακή (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) και ετήσια βάση οι μεταβλητές εξόδου είναι, η χιονόπτωση ισοδυναμίου νερού (mm), η βροχόπτωση πάνω σε χιόνι (mm), η εκροή από τη στιβάδα χιονιού, και το άθροισμα νερού βροχής και τήξης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Απαραίτητο στοιχείο για την προσομοίωση χιονιού στη λεκάνη ήταν ο διαχωρισμός της σε τρεις ζώνες και η εφαρμογή του προσομοιώματος σε κάθε μία ζώνη χωριστά. Ο ζυγισμένος μέσος όρος ημερήσιου νερού βροχής και τήξης για τις τρεις ζώνες χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο εισόδου στο προσομοίωμα εδαφικής υγρασίας US NWS (Soil Moisture Accounting Model- US NWS).

Τα αποτελέσματα του προσομοιώματος εδαφικής υγρασίας, με αντικείμενο σύγκρισης την ημερήσια παροχή του Αχελώου ποταμού στον παροχομετρικό σταθμό Μεσοχώρας, έδειξαν ότι το συγκεκριμένο προσομοίωμα χιονιού προσομοίωσε πολύ καλά τη διαδικασία συσσώρευσης και τήξης χιονιού στη λεκάνη της Μεσοχώρας. Ο διαχωρισμός της λεκάνης σε τρεις ζώνες βελτίωσε τα αποτελέσματα του προσομοιώματος κατά 50% σε σχέση με αυτά που προέκυψαν από τη θεώρηση της ενιαίας λεκάνης (χωρίς ζώνες).

Το τυπικό σφάλμα μηνιαίας απορροής που προέκυψε από το προσομοίωμα εδαφικής υγρασίας με είσοδο σε αυτό το ημερήσιο νερό βροχής και τήξης του προσομοιώματος χιονιού είναι της τάξης των 40-45% μικρότερο από το αντίστοιχο σφάλμα σε λεκάνες της Καλλιφόρνιας των Η.Π.Α. όπου υπήρχε πληθώρα αξιόπιστων στοιχείων πεδίου (Lettenmaier and Gan 1990).



Σχ 4.1 Ζυγισμένο μηνιαίο ισοδύναμο νερό χιονιού, προσομοιωμένη και μετρημένη μέση μηνιαία απορροή λεκάνης Μεσοχώρας.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Seattle University *Dennis P. Lettenmaier* για την χορήγηση των προγραμμάτων H/Y του προσομοιώματος, καθώς και τον πολιτικό μηχανικό *Γιώργο Δ. Δήμου* για τη βοήθεια του σε θέματα H/Y.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amorcho, J., and Espildora, B., 1966, Mathematical Simulation of the Snow Melting Process, *Water Science and Engineering*, Paper No. 3001, Davis, Calif: University of California.
- Anderson, E.A., 1973, National Weather Service River Forecast System-Snow Accumulation and Ablation Model, *NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO -17*, November 1973.
- Anderson, E.A., 1976, A Point Energy and Mass Balance Model of a Snow Cover, *National Oceanographic and Atmospheric Administration Technical report NWS 19*, Silver Spring, Md, National Weather Service.
- Anderson, E.A., 1978a, Snow Accumulation and Ablation Model, *Operational Forecast Programs and Data Components for the National Weather Service River Forecast System Data Management Program*, System Documentation, Silver Spring, Md, National Weather Service.
- Anderson, E.A., 1978b, Initial Parameter Values for the Snow Accumulation and Ablation Model, *Operational Forecast Programs and Data Components for the National Weather Service River Forecast System Data Management Program*, System Documentation Silver Spring, Md, National Weather Service.
- Burnash, R.J.C., Ferral, R.L., and McQuire, R.A., 1973, A Generalized Streamflow Simulation System Conceptual Modelling for Digital Computers, US National Weather Service, Sacramento, CA.
- Crawford, N. H., and Linsley R.K., 1966, Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV, *Stanford Univ. Dept. Civ. Eng. Tech. Rep.* 39.
- Lettenmaier D.P., Gan T.Y. and Dawdy D.R., 1988, Interpretation of hydrologic effects of climate change in the Sacramento-San Joaquin river basin, California, *Water Resources Series. Technical report No. 110. Seattle, Washington.*
- Lettenmaier, D.P. and Gan, T.Y., 1990, Hydrologic sensitivities of the Sacramento-San Joaquin River Basin, California, to global warming. *Wat. Resour. Res.* 26(1), 69-86.
- Παναγούλια, Δ., 1990α, Ανάλυση Ευαισθησίας Υδρολογικής Απόκρισης Λεκάνης σε Κλιματικές Αλλαγές. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παναγούλια, Δ., 1990β, Εκτίμηση Ημερήσιας Βροχόπτωσης Λεκάνης για Συνολική Προσομοίωση, *Τεχνικά Χρονικά A10(2)*, σελ. 47-64.
- Panagoulia, D., 1991α, A technique Estimating Daily Catchment Precipitation with Elevation Correction for Conceptual Simulation, In: *Proceedings of European Conference Advances in Water Resources Technology*, 89-101, A.A. Balkema, (editor G.Tsakiris), Athens, Greece.
- Παναγούλια, Δ., 1991β, Υψομετρική Διόρθωση Ημερήσιας Βροχόπτωσης Λεκάνης για Συνολική Προσομοίωση, *Τεχνικά Χρονικά A11(1)*, σελ. 35-53.
- Panagoulia, D., 1992, Hydrological Modelling of a Medium-Sized Mountainous Catchment from Incomplete Meteorological Data, *Journal of Hydrology* 137, 1-4, 279-310.
- USA Army Corps of Engineers, 1956, Summary Report of the Snow Investigations: Snow Hydrology, *Report*, North Pacific Division Portland, Oregon.
- Winston, W., 1965, A Comprehensive Procedure for Evaluating Snow Ablation" *Proceedings of the 22nd Eastern Snow Conference*. Vol 10. Hanover, N.H., February 4-5, 1965.