

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

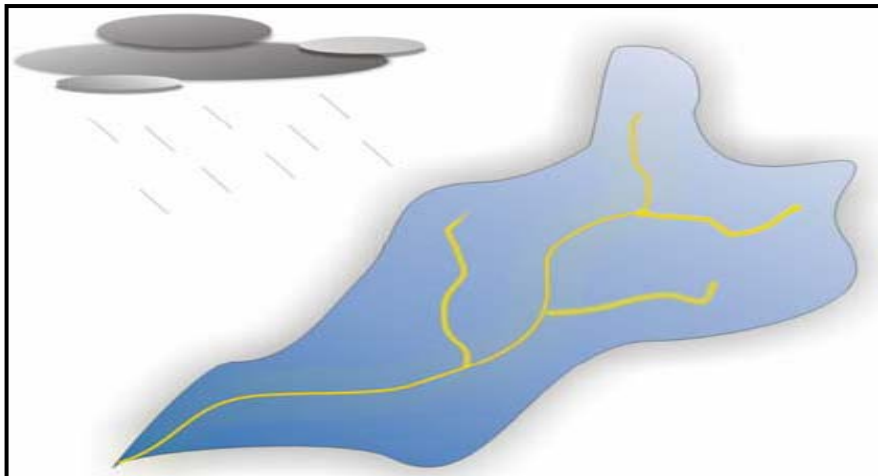
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Διερεύνηση υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με τη χρήση
του μαθηματικού μοντέλου Med Basin>>



ΚΙΑΟΣ Κ. ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2010

<<Διερεύνηση υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου Med Basin>>

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Άρης Ψιλοβίκος**, Επίκουρος Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
- 2) **Γεώργιος Δήμος**, Καθηγητής, Τοπολογία στη Διαφορική και Αλγεβρική Γεωμετρία, Ολική Ανάλυση και Εφαρμογές των Διαφορικών Εξισώσεων και Γραμμικής Άλγεβρας στον Προγραμματισμό, Υπολογιστές και Υπολογιστικές Μεθόδους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
- 3) **Ιφιγένεια Κάγκαλου**, Καθηγήτρια ΤΕΙ Ηπείρου και υπό διορισμό Επίκουρη Καθηγήτρια, Λιμνολογία, Υδρολογία, Ποταμολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

Αφιερώνεται στα δίδυμα αγόρια μου, Κωνσταντίνο και Λεωνίδα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο πέρας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους αυτούς που με βοήθησαν να καταφέρω να ολοκληρώσω με επιτυχία την παρούσα εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή κ. Άρη Ψιλοβίκο για τις συμβουλές του, για την καθοδήγησή του στη διάρκεια διεκπεραίωσης αυτής της εργασίας, για τη συνεχή στήριξη από την αρχή του μεταπτυχιακού προγράμματος και για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε για να φέρω σε πέρας τη μεταπτυχιακή διπλωματική μου εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής μου, κ. Γεώργιο Δήμο και υπό διορισμό Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Ιφιγένεια Κάγκαλου, για το ενδιαφέρον τους αναφορικά με την πρόοδο της εργασίας και τη βοήθειά τους σε απορίες που προέκυψαν.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Κωνσταντίνο και Ελένη για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής και πορείας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου (Med Basin) για τη διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη απορροής της λίμνης του Άγρα (Νησίου). Το μαθηματικό μοντέλο είναι ένα μαθηματικό σύστημα που αντιπροσωπεύει μια πραγματική οντότητα ή κατάσταση, όπου εκφράζεται η αναπαραγωγή της συμπεριφοράς και απόκρισης ενός φυσικού συστήματος. Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού της κύκλου. Η λειτουργία μιας λεκάνης απορροής εξομοιώνεται με τη λειτουργία μιας εννοιολογικής δεξαμενής αποθήκευσης νερού. Είσοδοι είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και έξοδοι η απορροή και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Κύρια λειτουργία της λίμνης είναι η συγκέντρωση και η αποθήκευση νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Διαχειριστικός φορέας της λίμνης είναι ο υδροηλεκτρικός σταθμός της ΔΕΗ (ΔΕΗ / ΥΗΣ ΑΓΡΑ). Ελήφθησαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής σε ημερήσια βάση για μια χρονική περίοδο τριών ετών (2006-2009) τα οποία χρειάζεται το μοντέλο για να προσομοιώσει τη μετρημένη απορροή. Οι καθημερινές τιμές των βροχοπτώσεων και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο κέντρο βάρους της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου, ενώ η καθημερινή και μηνιαία απορροή είναι το αποτέλεσμα που εξάγει το μοντέλο. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων από το μοντέλο, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν είναι ότι το μοντέλο

Med Basin προσομοιώνει αρκετά καλά ως ικανοποιητικά τα μέγιστα των απορροών και των τριών υδρολογικών ετών, αλλά αποτυγχάνει να προσομοιώσει τόσο τις χαμηλές όσο και τις μέσες τιμές των απορροών σε όλους τους μήνες. Μία πιθανή ερμηνεία που δίνεται είναι ο λόγος ύπαρξης του καρστ στην περιοχή, όπου ως γνωστό μπορεί να μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες νερού υπογείως από γειτονικές λεκάνες απορροής και να εκφορτίζονται υπό μορφή πηγών στη λεκάνη απορροής την οποία μελετήσαμε. Έτσι ερμηνεύεται το γεγονός της μη σύμπτωσης των τιμών των μετρήσεων με τις τιμές του μοντέλου. Ένας άλλος πιθανός λόγος είναι ότι λόγω της επιπλέον παροχής που προέρχεται από τη σήραγγα της Άρνισσας, η οποία διοχετεύει ποσότητες νερού από τη λίμνη της Άρνισσας στη λίμνη Νησίου, οι τιμές της μετρημένης παροχής είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που μας δίνει το μοντέλο. Αυτό δείχνει ότι το συγκεκριμένο μοντέλο δεν είναι το κατάλληλο για ικανοποιητική διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου της συγκεκριμένης λεκάνης απορροής και χρειάζονται και άλλες μέθοδοι για σωστή διερεύνηση και ορθολογική διαχείριση της λίμνης Άγρα.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδατικό ισοζύγιο, μοντέλο προσομοίωσης, λίμνη Άγρα (Νησίου), ημερήσια απορροή, Med Basin.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Η επιστήμη της υδρολογίας.....	9
1.2 Ο υδρολογικός κύκλος.....	10
1.3 Εκτίμηση του νερού της Γης.....	13
1.4 Γενική υδρογραφία της Ελλάδας.....	16
1.5 Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής.....	16
1.6 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	18
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	20
2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής.....	20
2.2 Τα μαθηματικά μοντέλα.....	38
2.3 Πεδίο εφαρμογής υδρολογικών μοντέλων.....	49
2.4 Βήματα κατασκευής ενός μοντέλου.....	51
2.5 Στάδια μοντελοποίησης.....	53
2.6 Ανάλυση αβεβαιοτήτων.....	57
2.7 Το μοντέλο Med Basin.....	59
2.8 Διάγραμμα ροής του προτύπου (Med Basin).....	61
2.9 Δομή επιλογών του Med Basin.....	63
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	81
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
6. ABSTRACT.....	102

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η επιστήμη της υδρολογίας

Ο τυπικός ορισμός που μπορεί να δοθεί για την επιστήμη της υδρολογίας, ο οποίος φθάνει τα όρια της γενικής αποδοχής δίνεται από τον Chow (1964) και αποδίδεται ως εξής:

«Υδρολογία είναι η επιστήμη του γήινου νερού και περιλαμβάνει την εμφάνιση, κυκλοφορία και κατανομή του, τις χημικές και φυσικές του ιδιότητες και την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον. Επομένως μπορούμε να εννοήσουμε ότι αντικείμενο της υδρολογίας είναι η συμπεριφορά του οπουδήποτε της γης νερού».

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η υδρολογία είναι μια πολύ ευρεία επιστήμη, η οποία μπορεί να δανείζεται ένα πλήθος στοιχείων από άλλους κλάδους διαφόρων επιστημών, τα οποία μπορεί να ενσωματώνει σε δικές τις ολοκληρωμένες διαδικασίες, για τη διερεύνηση των διαφόρων υδρολογικών προβλημάτων που μπορεί να εμφανιστούν στην εξέλιξή της (Biswas, 1969). Ορισμένες από αυτές τις επιστήμες χρησιμοποιούνται βοηθητικά στην υδρολογική έρευνα μπορεί να είναι η φυσική, η χημεία, τα μαθηματικά, η μετεωρολογία, η γεωλογία, η στατιστική και αρκετές άλλες (Meinzer, 1942). Παρ'όλα αυτά η υδρολογία έχει το πλεονέκτημα διότι μπορεί και διακρίνεται σε τρεις βασικούς τομείς, όπου αυτοί έχουν το προνόμιο να παρουσιάζουν μια αυτονομία μεταξύ τους (Adams, 1954). Αυτοί οι τομείς είναι οι ακόλουθοι:

- 1) Η **Υδρομετεωρολογία**, η οποία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη των διαφόρων επιπτώσεων από μετεωρολογικά φαινόμενα που παίρνουν μέρος στις υδρολογικές διαδικασίες.

- 2) Η **Υδρογεωλογία**, όπου κύρια ασχολία της είναι η μελέτη των υπόγειων νερών.
- 3) Η **Ποταμολογία**, με βασικό σκοπό τη σωστή μελέτη της συμπεριφοράς και της δίκαιας των επιφανειακών υδάτινων ρευμάτων.
- 4) Η **Λιμνολογία**, με βασικό σκοπό τη μελέτη και συμπεριφορά των υδάτων των λιμνών από ποσοτική (υδατικό ισοζύγιο) και ποιοτική (φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και υδρόβιοι οργανισμοί) σκοπιά.
- 5) Η **Κρυολογία** που ως κύριο αντικείμενο μελέτης έχει τη μελέτη του χιονιού και του πάγου

Όσον αφορά τη σωστή υδρολογική διερεύνηση μιας οποιασδήποτε περιοχής σύμφωνα με τον Linsley et al. (1949) λαμβάνουμε υπόψη τρεις παραμέτρους:

1. Μέτρηση, καταγραφή και ταξινόμηση των παρατηρήσεων υδρολογικών παραμέτρων.
2. Σωστή χρήση των παρατηρήσεων αυτών για τη διαμόρφωση βασικών υδρολογικών θεωριών ή την επέκταση των ήδη υφιστάμενων
3. Την εφαρμογή των δεδομένων και των διαφόρων θεωριών για την επίλυση των υδρολογικών προβλημάτων. Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να έχουμε μια σωστή, αλλά και πετυχημένη υδρολογική ανάλυση.

1.2 Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της γης, καθώς και κάτω και πάνω από αυτή. Το νερό της γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού

λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη γη εξαρτάται από αυτόν. Ο υδρολογικός κύκλος θεωρείται ότι ξεκινά από τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς), το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή υδρατμών στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα και από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμα λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και η διαπνοή από την ξηρά συνυπολογίζονται και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων αναφερόμαστε στο σύνθετο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.

Ανοδικά ρεύματα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι χαμηλότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δε μπορεί να συγκρατήσει όλη τη μάζα των υδρατμών και έτσι ένα μέρος αυτών συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω από την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια του νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, με αποτέλεσμα να πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι). Η μεγαλύτερη ποσότητα των κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα που πέφτει στο έδαφος, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει πάλι στους ωκεανούς μέσω ροής, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς μέσω των ποταμών, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να καταλήξει και στις λίμνες, οι οποίες μαζί με τους ποταμούς, αποτελούν τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δε ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της

διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος αυτού μπορεί να καταλήξει πάλι στους ωκεανούς ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια, τότε εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος εισχωρεί βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμα και το νερό αυτό, όμως, συνεχίζει να κινείται και με την πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπάνει στους ωκεανούς, όπου ο κύκλος του νερού «τελειώνει» και «ξεκινά» (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1 Ο υδρολογικός κύκλος

1.3 Εκτίμηση του νερού της Γης

Στη φύση το υδατικό στοιχείο κατέχει περίπου τα 2/3 της επιφάνειας της γης με τους ωκεανούς και τις θάλασσες, ενώ το υπόλοιπο 1/3 κατέχουν οι ήπειροι, οι οποίες φιλοξενούν τους ποταμούς και τις λίμνες στην επιφάνειά τους και τους υπόγειους υδροφορείς στο βάθος. Οι διάφοροι υδάτινοι πόροι, μέσω των διαφόρων διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, αποτελούν ανανεώσιμους πόρους του πλανήτη μας και για το λόγο αυτό έχουν τη δυνατότητα αειφορίας (Blaney & Griddle, 1950).

Οι συνολικές ποσότητες νερού που υπάρχουν στη γη ανακυκλώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου και ανέρχονται σε $1.4 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$, ενώ τα αποθέματα του γλυκού νερού είναι μόλις $36 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$, αποτελούν δηλαδή το 2.57% της συνολικής ποσότητας (Εικόνα 1.2). Το 70% του γλυκού νερού δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο εφόσον είναι δεσμευμένο στους πάγους. Από το υπόλοιπο 30% που βρίσκεται σε υγρή μορφή, το 98% το συναντούμε στους υπόγειους υδροφορείς ενώ το υπόλοιπο 2% βρίσκεται στα ποτάμια και στις λίμνες (Gleick, 1996), (Πίνακες 1.1 και 1.2).



Εικόνα 1.2 Το ποσοστό του νερού στη γη

Πίνακας 1.1 Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού

Μορφή νερού	Όγκος νερού σε km³	Ποσοστό γλυκού νερού %	Ποσοστό συνολικού νερού %
Ωκεανοί, θάλασσες & κόλποι	1.338.000.000	---	96.5
Παγόβουνα, παγετώνες & μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1.74
Υπόγειο νερό	23.400.000	---	1.7
Γλυκό νερό	10.530.000	30,1	0.76
Αλμυρό νερό	12.870.000	---	0.94
Εδαφική υγρασία	16.500	0.05	0.001
Εδαφικός πάγος	300.000	0.86	0.022
Λίμνες	176.400	---	0.013
Γλυκές	91.000	0.26	0.007
Αλμυρές	85.400	---	0.006
Ατμόσφαιρα	12.900	0.04	0.001
Έλη	11.470	0.03	0.0008
Ποταμοί	2.120	0.006	0.0002
Βιολογικό νερό	1.120	0.003	0.0001
Σύνολο	1.386.000.000	---	100

Πίνακας 1.2 Κατανομή του νερού στον Ελλαδικό χώρο

Είδος εσωτερικών υδάτων	Αριθμός	Εμβαδόν (km ²)	Ποσοστό συμμετοχής
Φυσικές λίμνες	56	598	25.90%
Τεχνητές λίμνες	25	358	15.50%
Λιμνοθάλασσες	72	550	24.80%
Έλη	75	58	2.50%
Πηγές	17	1	0.04%
Εκβολές ποταμών	42	43	1.90%
Δέλτα ποταμών	12	680	29.40%
Ποταμοί	91	22	1%
Σύνολο		2310	100%

1.4 Γενική υδρογραφία της Ελλάδας

Η Ελλάδα καλύπτεται με εσωτερικά ύδατα, των οποίων η συνολική επιφάνεια καταλαμβάνει περίπου 2200 km² (ποσοστό κάλυψης 1,7%). Η Δυτική Ελλάδα, η οποία αποτελεί την πλέον ομβροφόρα περιοχή, εμφανίζει τη μεγαλύτερη κάλυψη με εσωτερικά νερά (444 km²) και ακολουθεί η Κεντρική Μακεδονία (386 km²), η Ήπειρος (337 km²), η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (316 km²), η Δυτική Μακεδονία (213 km²), η Στερεά Ελλάδα (159 km²), ενώ μικρότερες εκτάσεις με εσωτερικά ύδατα και υδροτοπικές περιοχές έχουν η Θεσσαλία (59 km²), τα νησιά του Βορείου Αιγαίου (33 km²), τα Ιόνια νησιά (22 km²), η Κρήτη (14 km²) και η Αττική (5 km²).

1.5 Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής

Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού της κύκλου. Δηλαδή:

$$\Delta S / \Delta T = I - Q,$$

όπου

ΔS : ο ρυθμός αλλαγής αποθήκευσης του νερού,

ΔT : καθορισμένος χρόνος,

I : η ένταση της βροχόπτωσης και

Q : η απορροή.

Η βασική εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι η εξής:

$$\Delta S = P - R - G - E - T,$$

όπου:

ΔS: Μεταβολή αποθηκευτικότητας,

P: Κατακρήμιση,

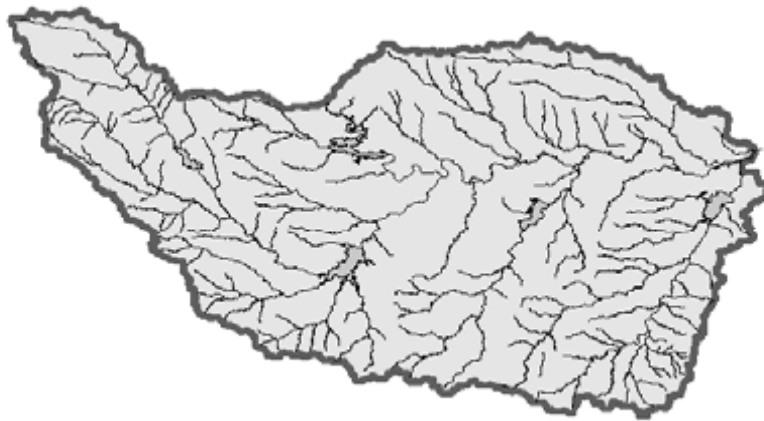
R: Επιφανειακή απορροή,

G: Υπόγεια απορροή,

E: Εξάτμιση,

T: Διαπνοή.

Η λεκάνη απορροής (Εικόνα 1.3) είναι εδαφική έκταση που φιλοξενεί το ποτάμι και όλους τους παραποτάμους του, ακόμη και τα μικρά ρυάκια που καταλήγουν σε αυτό. Ακριβέστερα, λεκάνη απορροής σε μια δεδομένη θέση ενός υδατορεύματος είναι η γεωγραφική περιοχή που τα νερά της συνεισφέρουν στην απορροή που περνά από τη θέση αυτή του υδατορεύματος. Κάθε μεγάλη λεκάνη απορροής μπορεί να χωριστεί σε μικρότερες επιμέρους υπό-λεκάνες (π.χ. μια για κάθε παραπόταμο).



Εικόνα 1.3 Απεικόνιση μιας λεκάνης απορροής

Οι λεκάνες απορροής είναι πολύ σημαντικές διότι η ποσότητα και η ποιότητα του νερού στα ποτάμια εξαρτώνται από ότι συμβαίνει μέσα στις λεκάνες, είτε οφείλεται σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρωπογενή. Η λειτουργία μιας υδρολογικής λεκάνης και η διερεύνηση του υδατικού της ισοζυγίου με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου, όπου είναι και ο σκοπός της εργασίας αυτής, εξομοιώνεται με τη λειτουργία μιας εννοιολογικής δεξαμενής αποθήκευσης νερού. Είσοδοι είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και έξοδοι η απορροή και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Σκοπό της παρούσας εργασίας αποτελεί η σχεδίαση του υδρογραφήματος της λεκάνης απορροής και η σύγκρισή του με την πραγματικότητα για την καλύτερη διαχείριση του νερού.

1.6 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ο Παπανίκος (2008) μελέτησε τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην επανασύσταση της λίμνης Κάρλας. Με επιτόπια έρευνα και με αξιολόγηση προγενέστερων ερευνών, κατέληξε σε διάφορα σενάρια για το υδατικό της ισοζύγιο.

Η Χονδρονίκου (2004) μελέτησε την εφαρμογή των μοντέλων Abulohom (2001), Loukas (2003), GR2M (1994), Giakoumakis (1991), Xiong & Guo (1991), σε περιοχές της Θεσσαλίας και της Κρήτης.

Ο Μήτσιου (2005) εφάρμοσε μοντέλο κατανεμημένης προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου με χρήση Γεωγραφικού Συστημάτων Πληροφοριών στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ενιπέα Θεσσαλίας και σύγκρινε τις μετρημένες με τις εκτιμώμενες απορροές.

Οι Ζαρκάδας κ.ά. (2005) μελέτησαν και εξέτασαν το βαθμό επικινδυνότητας που παρουσιάζεται σε περιοχές επιδεκτικές στη διάβρωση, στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροποτάμου Καστοριάς. Με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων

Πληροφοριών (G.I.S.) δημιούργησαν ένα χάρτη – εργαλείο, ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να στηρίξει ένα σύστημα άμεσης λήψης αποφάσεων και μέτρων εφαρμογής για να αποφευχθούν φαινόμενα διάβρωσης.

Οι Ψιλοβίκος & Ζαρκάδας (2006) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου για την εκτίμηση της μηνιαίας απορροής στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς. Το μοντέλο βροχής-απορροής των Thornthwaite & Mather χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της μηνιαίας απορροής στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Καστοριάς, με σκοπό τη διερεύνηση του υδατικού της δυναμικού και την ορθολογική της διαχείριση.

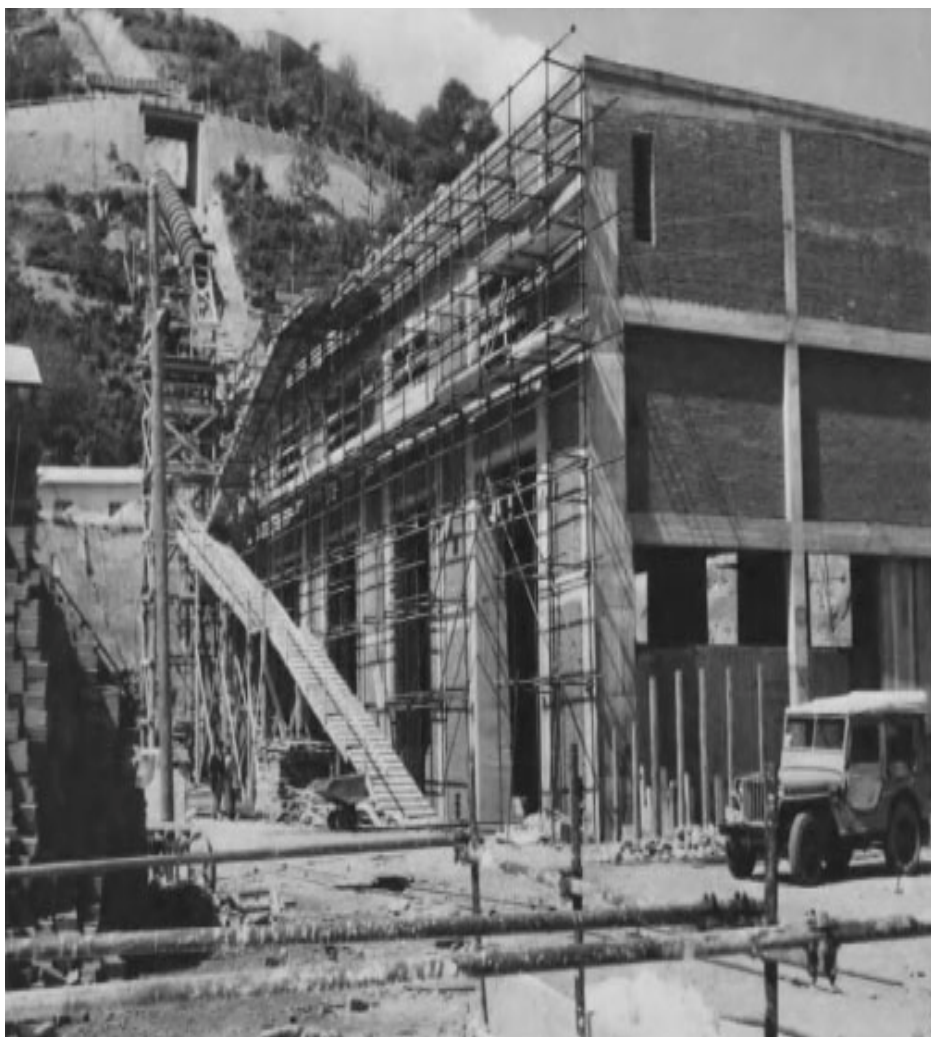
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής

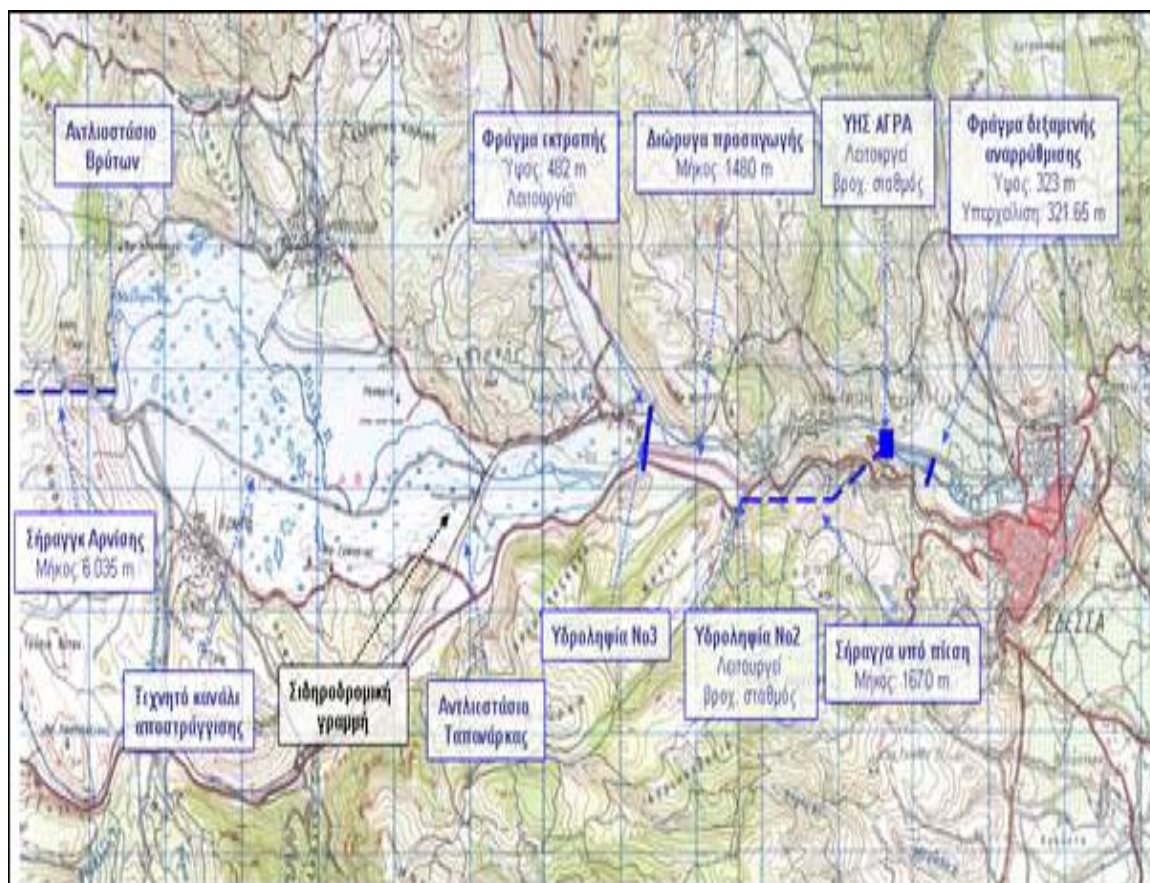
Η λίμνη Άγρα (ή αλλιώς λίμνης Νησίου) βρίσκεται στο δυτικό άκρο του νομού Πέλλας. Πρόκειται για μια τεχνητή λίμνη γλυκού νερού (ταμιευτήρας) έκτασης 5.972 στρεμμάτων σε υψόμετρο 470-700 m, με εμβαδόν λεκάνης απορροής 13.860 στρέμματα και σε γεωγραφική θέση 40° 47' Β.Γ.Π. και 21° 54' Α.Γ.Μ. Το σχήμα της παραπέμπει σε νησί και συγκεκριμένα έχει μεγάλη ομοιότητα με το σχήμα της Κύπρου.

Με την ονομασία λίμνη Νησίου περιγράφεται μια περιοχή μεταξύ των κοινοτήτων Άγρα, Νησίου και Βρυττών που περιορίζεται από φυσικό έδαφος, από μικρά αναχώματα που κατασκεύασε και συντηρεί η ΔΕΗ και από ένα φράγμα από το οποίο ξεκινά η ανοικτή διώρυγα προσαγωγής των νερών προς τον υδροηλεκτρικό σταθμό Άγρα (ΥΗΣ Άγρα), (Εικόνα 2.1). Στην περιοχή αυτή περικλείονται οι πηγές του Εδεσσαίου ποταμού κοντά στην κοινότητα Βρυττών, η παλιά κοίτη του Εδεσσαίου ποταμού, τεχνητά κανάλια που ξεκινούν από τις πηγές και διασχίζουν κατά μήκος τη λίμνη ως την ανοικτή διώρυγα προσαγωγής του ΥΗΣ Άγρα, μικρές λεκάνες στις οποίες αποθηκεύονται τα νερά και οι οποίες επικοινωνούν μέσω των κατασκευασμένων καναλιών και της παλιάς κοίτης του Εδεσσαίου ποταμού, η υπόλοιπη πέρα των ανωτέρω επιφάνεια η οποία δεν κατακλύζεται με τις συνήθεις στάθμες και η οποία καλύπτεται από αυτοφυή βλάστηση (κυρίως αγριόχορτα και καλάμια).

Στην λίμνη Νησίου εισρέουν οι χείμαρροι Μουχαρέμ (κοντά στις πηγές του Εδεσσαίου), Νησίου (στην παλιά κοίτη, δίπλα στην κοινότητα Νησίου) και Καρυδιάς (στην περιοχή του φράγματος), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



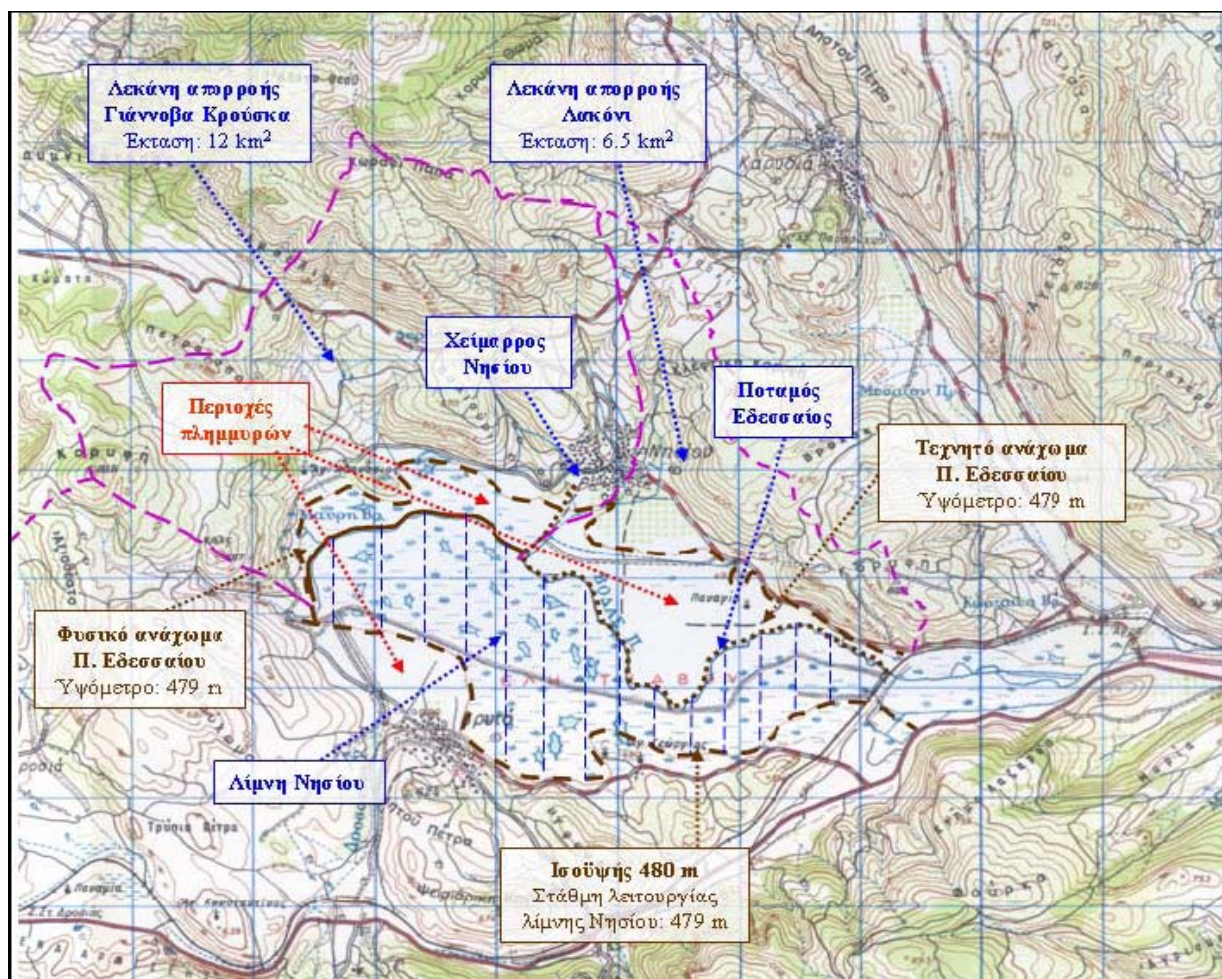
Εικόνα 2.1 Ο Υδροηλεκτρικός σταθμός του Άγρα το 1953



Εικόνα 2.2 Υδατικό σύστημα ποταμού Εδεσσαίου

Οι πηγές που βρίσκονται μεταξύ των οικισμών Νησιού και Βρυττών και οι οποίες τροφοδοτούνται από τη λίμνη Άρνισσας δια μέσου υπόγειων καναλιών (καταβόθρες), δημιουργούν τον ποταμό Εδεσσαίο (Εικόνα 2.2) και τη λίμνη Νησιού. Η λίμνη συγκεντρώνει και τα νερά από τα βουνά που την περιτριγυρίζουν και αποτελούν τη λεκάνη απορροής. Ο ΥΗΣ Άγρα τέθηκε σε λειτουργία στα μέσα του 1954 και λειτουργούσε μόνο με την παροχή του ποταμού Εδεσσαίου. Μετά τον Ιούλιο του 1955 ετέθη σε λειτουργία η σήραγγα Άρνισσας, η οποία διοχέτευε ποσότητες νερού από τη λίμνη της Άρνισσας στη λίμνη Νησιού. Η σήραγγα Άρνισσας εκβάλλει κοντά στις πηγές της λίμνης Νησιού και από εκεί το νερό οδηγείται στην κοίτη του Εδεσσαίου ποταμού. Η παροχευτική ικανότητα του Εδεσσαίου απεδείχθη, όμως, ανεπαρκής για το σύνολο των νερών που προερχόταν από τις πηγές και τη λίμνη της

Άρτισσας. Δυσμενής παράγοντας υπήρξε και η ύπαρξη και η ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών. Για την αύξηση και την αντιμετώπιση του προβλήματος της παροχτευτικότητας του ποταμού κατασκευάστηκαν διάλυλοι στα χρόνια που ακολούθησαν.



Εικόνα 2.3 Δεκάνη απορροής της λίμνης Άγρα

Ο ΥΗΣ Άγρα (Εικόνα 2.3) το 1958 λειτούργησε στη μέγιστη ισχύ του (50 MW) και τότε διαπιστώθηκε ότι όλη η προηγούμενη κατασκευή των διαύλων ήταν ανεπαρκής για την παροχέτευση της απαιτούμενης ποσότητας νερών, οπότε και έγινε η ανύψωση της στάθμης του νερού στο υψόμετρο των 479 m. Λόγω της ανύψωσης της στάθμης έγινε απαραίτητη η κατασκευή αναχωμάτων κατά μήκος

της κοίτης του Εδεσσαίου και επίσης στη νότια πλευρά της περιοχής των Βρυττών και πέρα.

Τα δημιουργούμενα προβλήματα από τη διατήρηση υψηλής στάθμης στη λίμνη είναι τα εξής:

- αύξηση της έκτασης την οποία καταλαμβάνει η λίμνη, με αποτέλεσμα τη μεγάλη εξάτμιση και την αυξημένη απώλεια ύδατος, λόγω των υφισταμένων καταβοθρών (καρστ),
- επέκταση της βλάστησης σε μεγαλύτερη επιφάνεια της λίμνης και επομένως η αντίστοιχη αύξηση της χορτοκοπής,
- παρεμβολή μεγαλύτερων εμποδίων και ανωμαλιών στη ροή του νερού και τέλος
- η ανάγκη συντήρησης των αναχωμάτων τα οποία καταστρέφονται συνεχώς είτε από ζώα τα οποία διέρχονται απ'αυτά είτε από την συστηματική βύθισή τους λόγω της στήριξής τους πάνω σε τύρφη.



Εικόνα 2.4 Λεκάνη απορροής λίμνης Άγρα

Από τη λίμνη της Άρνισσας, για τις ανάγκες παραγωγής η ΔΕΗ / ΥΗΣ Άγρα (Εικόνα 2.4) χρησιμοποίησε νερό μέχρι το 1976. Στη συνέχεια και μέχρι το 1991 οι απολήψεις από τη λίμνη της Άρνισσας περιορίστηκαν μόνο τους θερινούς μήνες στις απαραίτητες ποσότητες για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Από το 1992 οι απολήψεις σταμάτησαν και η λίμνη τροφοδοτείται αποκλειστικά από τις πηγές της. Η λίμνη χαρακτηρίζεται ως ημερήσιας λειτουργίας λόγω της μικρής δυνατότητας αποθήκευσης, γι' αυτό και πρακτικά οι καθημερινές εισροές πρέπει να διοχετεύονται στα κατάντη της λειτουργίας του ΥΗΣ Άγρα. Η επιθυμητή λειτουργία όσο αναφορά την στάθμη το καλοκαίρι είναι 478,65 m (μέγιστο) και ο συνολικός όγκος 1.740.000 m³ ενώ το ελάχιστο είναι 478,55 m και ο συνολικός όγκος 1.240.000 m³. Αντίστοιχα η επιθυμητή λειτουργία της βροχερής περιόδου είναι 478,50 m η στάθμη της λίμνης και 993.000 m³ ο συνολικός όγκος, κατά την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων η επιθυμητή λειτουργία είναι 478,45 m και ο συνολικός όγκος 794.000 m³.

Κατά τους βροχερούς μήνες η στάθμη διατηρείται στα 478,50 m για να μπορεί η λίμνη να κάνει ανάσχεση πλημμύρας, σε περίπτωση πιθανών ισχυρών βροχοπτώσεων υποχωρεί στα 478,45 (πρόσκαιρα γιατί δεν επιτρέπεται η ομαλή ροή του νερού και κατά συνέπεια η λειτουργία του σταθμού της ΔΕΗ. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η διατήρηση ελάχιστης στάθμης στα 478,55 m απαιτείται για να υπάρχει η δυνατότητα κοπής της υδρόβιας βλάστησης. Κάτω από την στάθμη αυτή η κοπή των χόρτων παρουσιάζει προβλήματα κυρίως στην ροή του νερού μέσα από τα κανάλια και στην απομάκρυνση των χόρτων. Επίσης χαμηλές στάθμες την περίοδο του καλοκαιριού ευνοούν την ανάπτυξη της βλάστησης με αποτέλεσμα την επιβάρυνση της λειτουργίας των καναλιών.



Εικόνα 2.5 Η βλάστηση στη λίμνη Άγρα

Κύρια λειτουργία της λίμνης είναι η συγκέντρωση και η αποθήκευση νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλη μια λειτουργία της είναι η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των κατάντη περιοχών αλλά και των εκτάσεων που βρίσκονται γύρω από τη λίμνη. Η ανάσχεση πλημμυρών των κατάντη περιοχών (Δημοτικό διαμέρισμα Άγρα, Δήμος Έδεσσας) αποτελεί ακόμη μια λειτουργία της λίμνης Νησίου. Για το σκοπό αυτό έχουν κατασκευαστεί από την ΔΕΗ

κατάλληλα έργα, με τα οποία θα συγκρατηθούν μεγάλες ποσότητες νερού στην ευρύτερη λεκάνη της λίμνης.



Εικόνα 2.6 Προβλήματα από την ανάπτυξη της υδροχαρούς βλάστησης

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η λίμνη Νησίου είναι τα εξής: Η υπερβολική ανάπτυξη της υδροχαρούς βλάστησης (Εικόνες 2.5, 2.6 και 2.7), η οποία οφείλεται στο αβαθές της λίμνης και στον υπερτροφισμό της. Η ανάπτυξη της υδροχαρούς βλάστησης περιορίζει την ομαλή ροή του νερού, τη διατομή των καναλιών και ταυτόχρονα αυξάνει τις απώλειες από τη διαπνοή των φυτών. Ένα ακόμη πρόβλημα είναι οι φερτές ύλες, οι οποίες περιορίζουν το βάθος των καναλιών. Ο περιορισμός του πλάτους των καναλιών δημιουργεί «ρηγά» τα οποία εμποδίζουν την ομαλή ροή του νερού. Η στεγανοποίηση του πυθμένα της λίμνης αποτελεί ένα ακόμη πρόβλημα, καθώς στεγανοποιείται ο πυθμένας από ένα στρώμα ιλύος το οποίο δεν πρέπει να διαταραχθεί διότι τα πετρώματα γύρω από

τη λίμνη είναι κατακερματισμένα λόγω του καρστ, και υπάρχει ο κίνδυνος διαρροής στις γύρω καταβόθρες. Τέλος ο καθορισμός των ορίων της λίμνης γίνεται με την βοήθεια αναχωμάτων, τα οποία στηρίζονται σε έδαφος τύρφης. Το έδαφος αυτό δεν έχει την ικανότητα να υποστηρίξει τα αναχώματα τα οποία συνεχώς βυθίζονται και γι'αυτό απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και συστηματική συντήρησή τους.



Εικόνα 2.7 Βλάστηση στη λίμνη Άγρα

Παρακάτω παραθέτονται οι Πίνακες 2.1, 2.4 και 2.7 με τα δεδομένα βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης, οι Πίνακες 2.2, 2.5 και 2.8 με τα δεδομένα εξάτμισης, καθώς και οι Πίνακες 2.3, 2.6 και 2.9 με τα δεδομένα μέσης απορροής,

τα οποία αφορούν μια χρονική περίοδο τριών ετών (2006-2009) και έχουν ληφθεί από τη ΔΕΗ / ΥΗΣ Αγρα, η οποία είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και την ορθή λειτουργία της λίμνης Νησίου. Οι μετρήσεις γίνονται σε ημερήσια βάση από βροχόμετρα και εξατμισόμετρα και αφορούν αποκλειστικά την λεκάνη απορροής της λίμνης Νησίου.

Πίνακας 2.1 Δεδομένα βροχόπτωσης (σε mm) για το έτος 2006 – 2007

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	6,75	0	0	0
3	0	0	2,5	0	6,5	0	0	0	3,5	0,6	0	0
4	0	0	0,5	0	0	0	0	0	4	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	19,9	0,95	0	0	7,65
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	111	0	22,5
7	0	10,4	0	0	0	0	0	0	0	2,05	0	0
8	0	27,6	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0
9	0	60,9	0	0	0	1,25	0	0	0	0	0	0
10	0	19,2	0	0	0	2,25	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,9	0	0	2,2	3,6	0	0	0	0	0
12	0	0	0	8	0	1,25	1,1	0	0	0	0	0
13	0	0	1,65	1,05	0	1,1	0	0	0	0	0	0
14	0	1	0,2	0	0	4,6	0	0	0	2,05	0	0
15	0	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	4,25	0	8,85	0	0	0	0
18	5,25	0	0	0	0	7,35	0	0	3,4	0	0	0
19	0	0	0	5,3	0	0,6	0	0	13,1	0	0	1,1
20	3,6	0	0	10,3	0	0	0	0	13,5	0	0	8,8
21	0	0	0	0	0	0	5,7	0	4,1	0	0	0
22	0	1,3	0	3,45	0	0	0	0	1,35	0	0	0
23	0	0	6	0	0	0	17,65	0	2,45	0	0	0
24	2,7	0	4,05	0	0	16,4	0	0	3,05	0	0	0
25	0	0	0	0	0	4,95	0	0,95	0,1	0	0	0
25	0	0	0	0	3,4	0	14,8	1,55	0	0	0	0
26	56,4	0,1	0	0	13,7	6,8	7,75		0	0	0	0
27	29,1	0	0	0	0	6,1	0,25		0	0	0	0
28	23,4	0	0	0	0		0		3,55	0	0	0
29	0	2,95	0	0	0		0		0	0	0	0
30		0		0	0		1,95		0		0	0
31												

Πίνακας 2.2 Δεδομένα εξάτμισης (σε mm) για το έτος 2006-2007

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	4,9	1,8	1,2	0,8	0	2,2	1	0,8		4,4	3,8	5
2	4,5	2,6	0,9	0,6	5,6	2,1	1,1	0,8	1,3	3,8	4,9	6,5
3	5	2,6	0,3	0,6	1	2,8	1	1,4	1,2	3,8	5,6	5,7
4	4,4	1,2	1,2	0,2	0,4	1,8	1	2	1,5	5	3,2	5,8
5	6,2	2,4	2,2	0,3	0,6	2,2	2,1	0,5	0,2	2	4,8	3,8
6	6,2	1,1	0,7	0,7	0,5	0	2,4	1	0,6	0,5	8	2,8
7	5,6	0,3	1,1	0,6	0,9	0	2,7	2,4	1,8	2	5,2	2,5
8	4,7	0,2	0,6	0,4	0,9	1,4	1,6	3	3,8	4,4	7	2,3
9	4	0	2,9	0,3	1,2	0,8	0,7	3,4		2,6	5,8	4,8
10	3	0,4	0,9	0,5	1	1,8	1,7	3	4,5	4	5,8	4,4
11	3,2	0,8	1,2	0,2	1	0,8	1,3	3	4,5	4,4	4,7	4,5
12	3,8	0,2	1,2	0,5	0,6	0,6	0,8	4,6	2,6	4,6	7,2	4,5
13	3,6	0,5	0,7	0,2	1,4	1	1,1	3	3	5	6,9	6,8
14	2,4	0,8	0,8	1	2,2	0,7	1,9	3,5	4,5	4,7	7,6	5,4
15	3,1	1,2	1,8	0,4	1,2	1,7	1,4	2,8	4	2,3	5,2	4,6
16	3,5	1,5	1	1	0,8	1,2	1,6	3,7	6	6	6,8	3,2
17	1,5	3	1	0,6	1,2	0,2	2,2	1	6,5	3,9	6,4	6,3
18	1	1	1	0,2	2	0,2	1,8	2,2	2,6	3,9	7,6	5,7
19	0,5	1,5	0,8	0,2	2,2	0,5	2	2,3	1,8	5,6	7	5,8
20	0,9	1,6	0,8	0,2	2	0,5	2,4	2,5	1	5,6	8	3,4
21	3,8	1,3	0,8	0,8	2,4	0,5	2	3,5	0,5	5,2	5	5,2
22	3	0,6	0,3	0,8	1,2	0,3	0,8	3,6	1	5,8	5,3	4,4
23	2,8	0,5	0,6	0	0,8	0,7	1,4	3,4	0,7	6	5,3	4,3
24	0	1	1,3	0	0,8	0,8	0,8	3,5	2,8	5,5	10,3	4,8
25	1,8	1,2	1,5	0	0,5	0,8	0,8	1,4	3,2	7	7,5	4,5
25	1,3	1,2	0,8	0	0,4	0,4	1,2	0,4	0,2	4,3	5,2	5,2
26	1	2,6	1	0	0,4	0,1	1	2,6	3,4	5,5	4,8	5,3
27	0,2	0,5	0,7	0	2,7	0,2	1,1		2,9	8,1	5	5,9
28	0,2	0,8	1,8	0	0		1		3	9,4	4,3	3,6
29	1	0,5	1	0	3,4		0,9		5,2	5,3	5,2	5,4
30		1,4		0	1,4		0,4		4,8		3,5	4,4
31												

Πίνακας 2.3 Δεδομένα μέσης απορροής (σε m³/sec) για το έτος 2006-2007

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	1,55	2,00	2,11	1,86	1,86	1,86	1,88	1,82	1,88	1,59	1,27	1,06
2	1,61	1,94	2,11	1,86	1,86	1,86	1,90	1,82	1,91	1,63	1,31	1,06
3	1,61	2,00	2,11	1,86	2,05	1,86	1,93	1,82	1,84	1,67	1,31	1,06
4	1,61	1,98	2,05	1,88	1,94	1,86	2,01	1,88	1,95	1,74	1,37	1,14
5	1,61	1,88	2,05	1,88	2,09	1,86	1,97	1,84	1,95	1,70	1,37	1,36
6	1,55	1,95	1,86	1,88	2,01	1,86	1,92	1,76	1,95	1,75	1,37	1,30
7	1,55	1,99	2,01	1,88	1,86	1,86	1,92	1,76	1,95	1,86	1,37	1,32
8	1,55	2,16	2,01	1,86	1,86	1,86	1,94	1,82	1,95	1,86	1,31	1,32
9	1,55	2,23	2,01	1,86	1,86	1,86	1,94	1,88	1,95	1,86	1,12	1,32
10	1,55	2,30	1,95	1,86	1,86	1,86	1,92	1,88	1,65	1,86	1,06	1,32
11	1,55	2,24	1,86	1,85	1,86	2,11	1,88	1,88	1,70	1,83	1,06	1,32
12	1,61	2,13	1,86	1,86	1,86	2,09	1,88	2,07	1,69	1,77	1,01	1,32
13	1,53	2,13	1,95	1,86	1,86	2,11	1,88	2,07	1,69	1,83	1,06	1,32
14	1,55	2,26	1,86	1,86	1,86	2,11	1,80	1,94	1,21	1,77	1,06	1,32
15	1,80	2,37	1,86	1,86	1,86	2,05	1,78	1,97	1,21	1,83	1,06	1,32
16	1,80	2,18	1,86	1,86	1,86	1,86	1,80	1,82	1,21	1,77	1,12	1,32
17	1,94	2,24	1,86	1,86	1,86	1,86	1,80	1,91	1,23	1,85	1,12	1,32
18	1,99	2,24	1,86	1,88	1,86	1,86	1,69	1,84	1,28	1,75	1,12	1,32
19	2,02	2,18	1,86	1,93	2,11	1,86	1,74	1,89	1,30	1,65	1,31	1,32
20	1,90	2,18	1,93	1,86	1,86	1,83	1,86	1,88	1,63	1,51	1,25	1,32
21	1,86	2,13	1,93	1,93	1,86	1,74	2,01	1,88	1,63	1,32	1,25	1,34
22	1,97	2,18	2,16	1,86	2,01	1,92	2,01	1,76	1,61	1,27	1,25	1,32
23	1,97	2,15	2,18	1,86	2,03	1,92	2,01	1,76	1,61	1,27	1,12	1,32
24	2,07	2,18	2,16	1,86	2,09	1,93	1,88	1,74	1,65	1,36	1,12	1,26
25	1,94	2,11	2,11	1,86	2,09	1,93	1,76	1,80	1,63	1,26	1,06	1,22
25	2,17	2,11	2,16	1,86	2,17	1,93	1,72	1,80	1,63	1,27	1,06	1,16
26	2,16	2,11	2,16	1,90	2,09	1,97	1,71	1,81	1,63	1,27	1,06	1,20
27	2,12	2,11	2,15	1,88	2,09	1,93	1,76	1,80	1,63	1,15	1,06	1,06
28	2,14	2,05	2,13	1,86	2,09		1,76	1,74	1,63	1,05	1,06	1,06
29	2,15	2,11	2,01	1,86	2,09		1,77	1,74	1,63	1,21	1,06	1,12
30		2,11		1,86	2,09		1,82		1,63		1,06	1,12
31												

Πίνακας 2.4 Δεδομένα βροχόπτωσης (σε mm) για το έτος 2007-2008

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0,25	0	8,95	0	3,1	0	0,35	0,1	0	0	0	0
2	0	0	1,15	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0
3	0	0	5,65	0	0	0	0	2,25	0	1,5	0	0
4	0	0	12	5	0	0	0,1	32,7	0	0,3	1,05	0
5	0	0	0	0	0	16,8	0,55	18,8	0	0,55	8,25	0
6	2,15	0	0	0	1,05	6	1,45	5	25,4	0	0	0
7	0	0	0	0	0,6	2,75	7,45	0	27,1	0,85	0	0
8	2,5	9,65	0	1,85	0	19,5	3,3	0,35	1,05	19,3	0	2,15
9	0	11,6	0	22,3	0	0	0	1,1	0	0,6	0	0
10	0	27,3	3,65	1,45	0	0	1,6	0	0,8	6,05	0	0
11	0	33,6	0	0	0	0	6,35	0	0	0	0	0
12	0	4,25	0	12,3	0	0	0	0	0	0,35	0	0
13	0	1,65	0	1,85	0	0	0	0	0	0,9	0	0
14	0	0	7,55	0,25	3	0	0	19	0,95	0,6	0	0
15	0	0	11,9	2,85	0	0	0	4,65	0,5	0,5	0	0
16	0	0	6,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	19,6	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	7,6	1,4	0	0	0	0,35	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	2,45	0	0	0	0	0
20	2,95	7,5	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0
21	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0,1	45,6	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0
23	0	1,55	0	0	0	0	0,95	0	0	0	0	0
24	0	1,2	0	0	0	0	1,7	0,35	0	0	0	0
25	0	0	0	2,15	0	0	1,8	3,75	0	0	0	0
25	0	0	0,5	6,8	0	0	1,85	15,4	0	0	0,1	0
26	1,1	8,5	0	3,2	0	0	0,25	1,75	0	0	0	0
27	0,2	9,65	0	0	0	0	1,6	0	0	0,5	11,5	0
28		3,4	0	0	0	0	0,95	0	0	0	0	0
29		0,25	0	0	0		0	0	0	0	0	0
30		15,2		0	0				0		0	0
31												

Πίνακας 2.5 Δεδομένα εξάτμισης (σε mm) για το έτος 2007-2008

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	4,3	1,5	0,4	0,5	0	0,8	3	1,6	3,6	3,7	5,4	8,2
2	4,3	2,9	0,4	1	0	0,8	1,3	2,7	4,2	3	5,2	6,2
3	3,2	2,4	0,5	0,6	0	0,6	1,8	1,7	6,8	5,7	5,2	4,6
4	3,3	3,8	0,8	0,4	0	0,6	3,9	0,2		1	2,7	4
5	3,7	3	2	1,8	0	0,2	1,2	0,2		2,5	3,5	7,3
6	2,8	3,8	1,9	1	0	0,3	0,2	0,4	2,5	4,5	3,7	7,3
7	4	1,4	1,5	1	0,2	0,6	0,4	2,8	0,5	3,5	4	4,1
8	2,5	1,1	0,6	0,2	1	0,3	0,2	3,3	0,5	2,8	6,6	4,1
9	3,7	1	1,5	0,7	0,8	0,6	0,4	1	2,1	2,3	5	4,2
10	2,5	1,4	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	1,7	1,8	1	6,4	4,1
11	3,8	0,8	2	1,6	0,2	1,2	0,6	1	1,4	4,4	6	5,3
12	3,3	0,4	0,5	0,5	0,1	0,8	0,6	1,2	1,8	5,1	5,4	6,9
13	3,7	1,6	1,7	1,2	0,2	0	0,6	1,3	1	4,1	5,5	5,2
14	4,2	3,4	0,5	0,6	0,4	0	1,6	1,3	1,9	2,7	5,4	4,4
15	3,8	2,5	0,4	0	0,3		1,8	1	2	1,9	5	5
16	4,2	2,6	0,2	0	0,3		3	2,2	1,6	5	6,2	8,4
17	5,2	1,8	0,3	0	0,4	0	3	2,2	4,4	5,5	7,2	7
18	2,6	1,5	0,5	0	0,4	0	1,4	1	2,7	4,5	6	7,4
19	2,9	1,7	2	0	0,5	0	1,9	2,8	2,7	4,4	5,4	4,3
20	2	0,6	1,2	0	0,3	5,9	0,6	2	3,9		5,2	5,3
21	1,6	1,2	0,1	0	0,4	1,6	0,1	3,4		7,3	5,6	6,2
22	1,4	0,2	0,2	0	1	2,1	0,8	3,9	3,6	4,6	6	6,6
23	1,6	0,4	0,5	0	0,9		1,2	4,7	3,5	6,3	4,5	5
24	3		0,6	0	0,7		0,4	4,7	3,3	5,3	4,9	5,8
25	2,6	1	0,4	0,5	0,9	2,3	3,6	3,7	4,2	5,6	4,8	7,1
25	1,4	2,2	0,8	0,5	1,1	2,7	2	0,6	5,4	5	2,5	4,2
26	2	0,5	0,6	0,4	1,2		1,6	0,5	4,9	5	3,2	5,7
27	1,4	0,5	0,5	0,2	1		0,4	2,6	4,8	5,4	4,3	3,9
28	1,4	0,5	0,9	0,8	1,5		1,9	2,8	6,9	6		6
29	1,2	1,2	0,5	0	1,7		2,5	2,6		6		4,1
30		0,4		0,5	1,8							4,7

31												
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Πίνακας 2.6 Δεδομένα μέσης απορροής (σε m³/sec) για το έτος 2007-2008

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	1,12	1,57	2,06	1,87	1,97	1,68	1,74	1,75	1,83	1,32	1,20	1,37
2	1,24	1,57	2,02	1,87	1,91	1,79	1,77	1,75	1,78	1,32	1,06	1,37
3	1,31	1,57	2,07	2,05	1,88	1,88	1,84	1,75	1,76	1,20	1,01	1,37
4	1,35	1,53	2,07	2,01	1,95	1,88	1,79	1,84	1,78	1,26	1,01	1,29
5	1,44	1,53	1,82	1,99	1,89	1,87	1,74	1,81	1,76	1,26	1,06	1,25
6	1,29	1,51	1,87	2,01	1,87	1,80	1,83	1,78	1,86	1,26	1,06	1,25
7	1,37	1,51	1,82	1,98	1,85	1,84	1,75	1,86	1,78	1,26	1,06	1,25
8	1,44	1,56	1,82	1,95	1,85	1,82	1,79	1,86	1,78	1,28	1,06	1,25
9	1,44	1,62	1,74	1,89	1,85	1,82	1,84	1,79	1,78	1,41	1,06	1,25
10	1,44	1,62	1,89	2,04	1,85	1,93	1,84	1,83	1,78	1,54	1,06	1,20
11	1,45	1,70	1,88	2,01	1,85	1,84	1,82	1,83	1,78	1,56	1,06	1,20
12	1,45	1,72	1,92	2,16	1,85	1,93	1,89	1,89	1,78	1,53	1,06	1,06
13	1,45	1,85	1,87	2,01	1,85	1,98	1,91	1,91	1,76	1,64	1,06	1,06
14	1,45	1,97	2,02	2,01	1,77	1,98	1,79	1,86	1,76	1,64	1,06	1,06
15	1,45	2,07	2,14	2,08	1,67	1,87	1,80	1,92	1,76	1,52	1,08	1,06
16	1,45	1,61	1,98	1,97	1,51	1,86	1,80	1,93	1,78	1,62	1,06	1,06
17	1,45	1,80	2,12	1,89	1,55	1,86	1,80	1,93	1,78	1,55	1,04	1,25
18	1,45	1,85	2,08	1,97	1,72	1,88	1,80	1,89	1,78	1,32	1,04	1,25
19	1,45	1,84	1,97	1,97	1,85	1,89	1,91	1,83	1,71	1,32	1,25	1,06
20	1,45	1,85	2,07	1,95	1,85	1,87	1,91	1,83	1,74	1,37	1,06	1,06
21	1,45	1,99	2,05	1,95	1,85	1,73	1,91	1,83	1,51	1,37	1,06	1,06
22	1,47	1,96	1,82	1,95	1,85	1,77	1,77	1,83	1,51	1,37	1,06	1,06
23	1,47	1,82	1,82	1,76	1,91	1,77	1,91	1,83	1,60	1,37	1,06	1,06
24	1,47	1,76	1,82	1,93	1,91	1,85	1,80	1,83	1,60	1,37	1,06	1,06
25	1,46	1,78	1,82	1,91	1,81	1,81	1,91	1,76	1,55	1,37	1,06	1,06
25	1,53	1,82	1,82	1,91	1,90	1,75	1,80	1,83	1,56	1,37	1,06	1,06
26	1,42	1,85	1,82	1,97	1,90	1,82	1,77	1,83	1,63	1,31	1,06	1,06
27	1,42	1,85	1,76	1,97	1,86	1,76	1,75	1,83	1,61	1,31	1,06	1,06
28	1,42	1,95	1,87	2,03	1,86	1,72	1,85	1,83	1,64	1,20	1,37	1,06
29	1,42	1,99	1,87	2,03	1,86		1,75	1,83	1,41	1,20	1,37	1,06
30		2,03		2,03	1,86		1,75		1,41		1,37	1,06

31												
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Πίνακας 2.7 Δεδομένα βροχόπτωσης (σε mm) για το έτος 2008-2009

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0	0	0	0	0	4,45	0	0	2,8	0	0	0
2	0	0	0	0,25	0,1	6,95	0	0	5,7	0,65	0	0
3	0	9,3	0	8,5	5,25	1,7	0	10,5	9,1	0	0	0
4	0	1,05	0	16,4	8,35	2,65	0	0	3,55	3,55	0	0
5	0	9,55	0	0	3,7	1,9	17	0	2	0	0	0
6	0	0	0	0	4,3	0	9,5	0	0	0	0	2,75
7	0	0	0	9,7	0	0	8,95	0	0,1	0	5,1	0
8	0	0	0	0	0	2,1	1,6	0	0	0	0,5	0,6
9	0	0	0,85	0	1,1	0	0	0	0	0	0	6,15
10	0	0	0,55	0	2,4	0	2,5	0	0	0	0	4,75
11	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0
12	0	0	0	39,3	0	3,5	0,3	0	0	0	1,45	5,9
13	0	0	0	24,5	0	1,9	0	0	0	0	0	1,4
14	1,4	0	0	0	6,85	0	0	6,3	0	0	0	0
15	24,2	0	4,45	31,5	12	0	0	1,5	0	0	0	0
16	5,45	0	6,35	27,3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2,25	0	2,05	9,6	0	0	0	0	0	0,25	0	0
18	0	0	1,9	21,8	0	0	0	0	0,3	0,1	0	0
19	0	14,3	22,8	2,6	0	1,8	0,15	3	14,2	22,5	0	0
20	0	0,4	0,95	0	0	0	0	2,25	0	0	0	0
21	0	0	0	0	2,3	0	22,8	0	0	3,35	0	0
22	0	0	0	0	9,25	0	34,7	14,5	0	16	0	0
23	0,85	0	10,6	0	56	0,95	0	21,5	0	3,25	0	0
24	0	0	2,25	0,1	47,3	0	0	0,25	0	3,05	0	0
25	29,7	0	0,6	0	6,6	0	0,4	0	6,75	15	0	2,05
26	48,5	0,35	0,1	0	0,8	0	2,75	0,1	0	0,85	0	0
27	5,75	0	0	4,3	0	0	0	1,85	0	0	0	0
28	8,05	0	0	6,15	9,9	0	0	1,15	15,5	10,1	0	0
29	15,7	0	12,6	0	0		0	3,75	6	0,6	0	0
30	1,75	0,55	0,65	0	0		0	0	4,15	0,8	0	0

31		8,25		0	2,3		0		5,6		0	4,4
----	--	------	--	---	-----	--	---	--	-----	--	---	-----

Πίνακας 2.8 Δεδομένα εξάτμισης (σε mm) για το έτος 2008-2009

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	3	2,2	0,5	0,5	0	0,2	2,6	1,3	0,2	2,8	3,1	6,6
2	3	1,3	1	5	0	0,2	2	2	1,2	2,1	4	4,8
3	3,5	0,2	2,1	0,3	0	0,2	1,4	0,3	1,1	2	3,2	5
4	2,6	2,2	2,9	0,2	0	0,2	1,6	2,6	1	2,5	3,1	4,9
5	3,8	2,8	0,9	0,2	0	0,5	2,8	2,8	0,8	4,2	3,6	4,1
6	4,8	4,3	0,4	1,2	0	1,6	1,5	2,8	2,4	4,8	5,1	9
7	4,6	2,6	0,1	0,4	0	1,9	0,2	2,7	2,1	4	0,9	4,6
8	4,2	3	0,4	2	0	0,5	0,8	2,4	2,8	5	4,5	3
9	4,1	3	0,2	2,2	0	0,5	1,2	2,8	5	3,6	4,5	1
10	5,9	2	0,3	0	0	0,5	2,9	4	3,4	3,9	6,6	1,5
11	5,6	1,4	0,5		0	1,8	1,8	2,2	4	4,9	4,8	1,1
12	3,2	1,4	0,2	0,4	0	0,5	0,6	2,8	4,4	6,2	3,1	1,7
13	2,8	2,2	0,8	0,2	0	0,3	1	2,2	3	5,6	5,1	1
14	3,2	3,5	0,5	0,5	0,6	1,6	3,1	0,5	4	6,8	3,6	3,8
15	2	2,2	0,5	0,3	0,2	0	2,2	0,8	4	5,8	5,8	4,2
16	1,9	1,8	0,2	0,2	0,2	0	1,6	2,3	3,5	5,2	4,5	2,6
17	1,4	1,9	0,2	0,3	0,3	0	1,2	2,8	2,5	5,1	4,6	4,4
18	2,6	2,1	1,1	0,3	0	0	2,6	3,5	3,4	4,1	5,9	3,6
19	3	0,7	0,2	0,3	1,3	0,2	2,9	1,8	3,6	1	6	5
20	3	0,8	0,1	1,1	0,6	2	1,8	0,5	3,8	3,2	5	4,1
21	3,6	1	0,6	1,6	0,5	0	0,3	1,7	3,7	5,2	6,4	4,7
22	0,9	1,7	0,6	1,6	0,2	0	0,3	0,3	3,5	3,5	6,4	4,2
23	1	1,1	0,3	1,3	0,2	0	1	0,2	5	2,8	7	4,6
24	1,8	1,5	0	1,1	0	0	2,8	0,6	5	2,6	7	4,2
25	0,6	1,3	0,5	0	0,2	0	2	1,2	3	1,5	3,1	2,7
26	0,4	1,6	0	0	0,8	0	0,2	1,5	3,4	1,4	4,7	2,7
27	0,7	0,3	0,8	0	1,1	0	2	0,8	3,2	2,4		4,1
28	0,8	0,5	0,8	0	0,6	0	3,2	2	4,3	1,6	6,5	4,5
29	0,2	0,6	0,3	0	1		1,9	0,1	2,6	0	5,4	4
30	2,6	0,2	0,5	0	1,5		0,4	1,2	0,8	2	4	4,3
31		0,3		0	0,6		0,7		1,3		4,6	3,2

Πίνακας 2.9 Δεδομένα μέσης απορροής (σε m³/sec) για το έτος 2008-2009

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	1,06	1,27	1,71	1,88	1,96	2,19	2,47	2,49	2,27	2,26	1,98	1,16
2	1,06	1,27	1,77	1,88	1,82	2,08	2,14	2,49	2,22	2,28	2,21	1,39
3	1,06	1,82	1,82	1,88	1,88	2,46	2,14	2,49	2,22	2,05	1,71	1,39
4	1,06	1,88	1,82	1,91	1,82	2,68	2,35	2,32	2,22	1,71	1,60	1,39
5	1,06	1,91	1,57	1,90	1,96	2,70	2,38	2,55	2,25	1,80	1,64	1,43
6	1,06	1,27	1,57	2,00	1,88	2,76	2,31	2,49	2,16	1,93	1,64	1,43
7	1,06	1,27	1,57	1,95	1,88	3,06	2,31	2,38	2,12	1,93	1,67	1,43
8	1,06	1,27	1,57	1,95	1,80	3,01	2,31	2,36	2,18	1,84	1,89	1,42
9	1,25	1,27	1,54	1,95	1,95	3,12	2,31	2,10	2,18	1,63	1,69	1,62
10	1,06	1,27	1,42	1,92	1,88	3,03	2,31	2,10	2,18	1,52	1,92	1,98
11	1,06	1,27	1,52	1,88	1,88	2,91	2,37	2,16	2,28	1,39	1,78	1,68
12	1,06	1,88	1,52	1,97	1,88	2,35	2,31	2,10	2,16	1,23	1,67	1,85
13	1,37	1,92	1,52	1,97	1,82	2,36	2,31	2,07	2,19	1,16	1,55	1,72
14	1,29	1,71	1,52	1,85	1,88	2,34	2,29	2,27	1,65	1,20	1,34	1,72
15	1,94	1,77	1,59	1,94	1,90	2,36	2,26	2,31	1,61	1,20	1,39	1,60
16	1,94	1,71	1,57	1,89	1,94	2,36	2,27	2,22	1,84	1,43	1,18	1,49
17	1,94	1,65	1,57	2,03	1,80	2,36	2,33	2,22	1,48	1,43	1,16	1,42
18	1,21	1,65	1,85	2,07	1,80	2,36	0,00	2,16	1,64	1,59	1,16	1,37
19	1,27	1,57	1,80	2,13	1,80	2,36	2,37	2,22	1,89	1,66	1,20	1,39
20	1,33	1,77	1,82	2,13	1,82	2,59	2,24	2,22	1,94	1,86	1,20	1,35
21	1,33	1,71	1,82	2,13	1,88	2,59	2,39	2,22	1,84	1,92	1,18	1,34
22	1,94	1,21	1,57	2,03	1,97	2,59	2,45	2,41	1,82	1,79	1,18	1,39
23	1,86	1,46	1,57	1,88	2,00	2,59	2,43	2,53	1,80	1,68	1,18	1,34
24	1,79	1,46	1,57	1,88	2,06	2,53	2,34	2,28	1,84	1,92	1,16	1,34
25	1,80	1,71	1,50	1,80	2,06	2,53	2,47	1,95	1,76	1,92	1,20	1,39
26	1,77	1,71	1,65	1,88	2,07	2,53	2,51	2,18	1,67	1,94	1,16	1,39
27	1,77	1,65	1,65	1,88	2,70	2,53	2,31	2,22	1,84	1,94	1,11	1,43
28	1,77	1,66	1,57	1,88	2,46	2,42	2,54	2,27	1,77	1,95	1,20	1,39
29	1,82	0,00	1,68	1,88	2,57		2,40	2,27	1,81	1,97	1,16	1,39
30	1,52	2,19	1,76	1,88	2,39		2,46	2,22	1,84	1,94	1,16	2,31
31		1,27		1,94	2,60		2,46		2,13		1,16	2,24

2.2 Τα μαθηματικά μοντέλα

Το μοντέλο είναι μία σύλληψη μιας εικόνας της πραγματικότητας ή μια θεωρητική επινόηση η οποία συσχετίζεται με κάποια απόκριση του φυσικού συστήματος που εξετάζουμε με μία εξωτερική επίδραση. Το μαθηματικό μοντέλο είναι ένα μαθηματικό σύστημα που αντιπροσωπεύει μια πραγματική οντότητα ή κατάσταση, είναι δηλαδή η αναπαραγωγή της συμπεριφοράς και απόκρισης ενός φυσικού συστήματος. Τα μαθηματικά υδρολογικά μοντέλα παρέχουν τη δυνατότητα γρήγορης, ακριβούς και ευέλικτης αναπαράστασης και μελέτης ενός φυσικού συστήματος. Τα τελευταία χρόνια έχουν σχεδιασθεί δεκάδες μοντέλα λόγω της ανάπτυξης των συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών (Κουτσογιάννης, 1999). Τα υδρολογικά μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για επιστημονικούς, ερευνητικούς, προγνωστικούς και διαχειριστικούς σκοπούς.

Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν: μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας (Gumbel, 1941) όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη, όπως η εξάτμιση και η διήθηση, τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ. μιας λεκάνης απορροής), (Knight, 2001), όπου η διαδικασία διέπεται, εν μέρει από κάποιο φυσικό υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται υπόψη οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού.

Τα μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης, αναπαριστούν τις σημειακές φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε συνεχή χρόνο, και άρα περιγράφονται από

συστήματα διαφορικών εξισώσεων, μέσω αναδρομικών μαθηματικών σχέσεων, καθορισμένης χωρικής και χρονικής διακριτότητας. Με την παραπάνω παραδοχή, κάθε τέτοιο μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μη γραμμικός μετασχηματισμός της μορφής:

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{s}_0, \mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}) \text{ όπου}$$

s₀: οι αρχικές και οριακές συνθήκες του φυσικού συστήματος (π.χ. ύψη εδαφικής υγρασίας, στάθμες υπόγειου νερού) στην έναρξη της προσομοίωσης, δηλαδή στο χρονικό βήμα $t = 0$,

x: οι υδρολογικές μεταβλητές εισόδου ή αλλιώς φορτίσεις (π.χ. βροχόπτωση, δυνητική εξατμισοδιαπνοή),

θ: τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος, και

y: οι μεταβλητές εξόδου ή αποκρίσεις του μοντέλου (π.χ. απορροή, πραγματική εξατμισοδιαπνοή, εκφόρτιση υπόγειων νερών).

Όλες οι μεταβλητές δίνονται με τη μορφή χρονοσειρών και αναπαριστούν διεργασίες σε συγκεκριμένη θέση ή περιοχή μιας λεκάνης. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη (διάνυσμα **θ**) αποτυπώνουν τις ιδιότητες του φυσικού συστήματος, που είτε είναι απευθείας γνωστές από μετρήσεις πεδίου (π.χ. έκταση λεκάνης) είτε εκτιμώνται έμμεσα, με τρόπο ώστε το μοντέλο να αποτυπώνει όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα την παρατηρημένη συμπεριφορά του συστήματος. Στην τελευταία περίπτωση, τα εν λόγω χαρακτηριστικά ονομάζονται παράμετροι του μοντέλου.

Τα μοντέλα υετόπτωσης-απορροής ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο (Creutin, 1988). Τα μοντέλα διαχωρίζονται σε μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα, και σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (discrete). Συγκεκριμένα:

1α) Το μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός βροχής και ως έξοδο ένα υδρογράφημα πλημμύρας,

1β) Το συνεχές μοντέλο περιλαμβάνει ως είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.

2α) Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή, κλπ) και εξόδου (απορροή),

2β) Τα κατανεμημένα μοντέλα, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν το διαχωρισμό της λεκάνης σε τμήματα με ομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά (Τσακίρης, 1995). Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εργασίες στο παρελθόν όπου έχει γίνει χρήση μοντέλων προσομοίωσης υδατικών ισοζυγίων διαφόρων λεκανών απορροής, όπως έχει χρησιμοποιηθεί στη λεκάνη της λίμνης της Καστοριάς (Ψιλοβίκος & Ζαρκάδας 2006).

Απλά αδρομερή υδρολογικά μοντέλα, παραμετρικά ή εμπειρικά, τα οποία ενοποιούν τα ετερογενή χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και προσομοιώνουν τη μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή, είναι γενικά εύκολα στην εφαρμογή τους και απαιτούν περιορισμένα δεδομένα εισόδου. Αν και η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε γενίκευση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, τέτοια μοντέλα είναι απλά και αποδοτικά στη χρήση τους, όπως έχει αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Perrin et al., 2001).

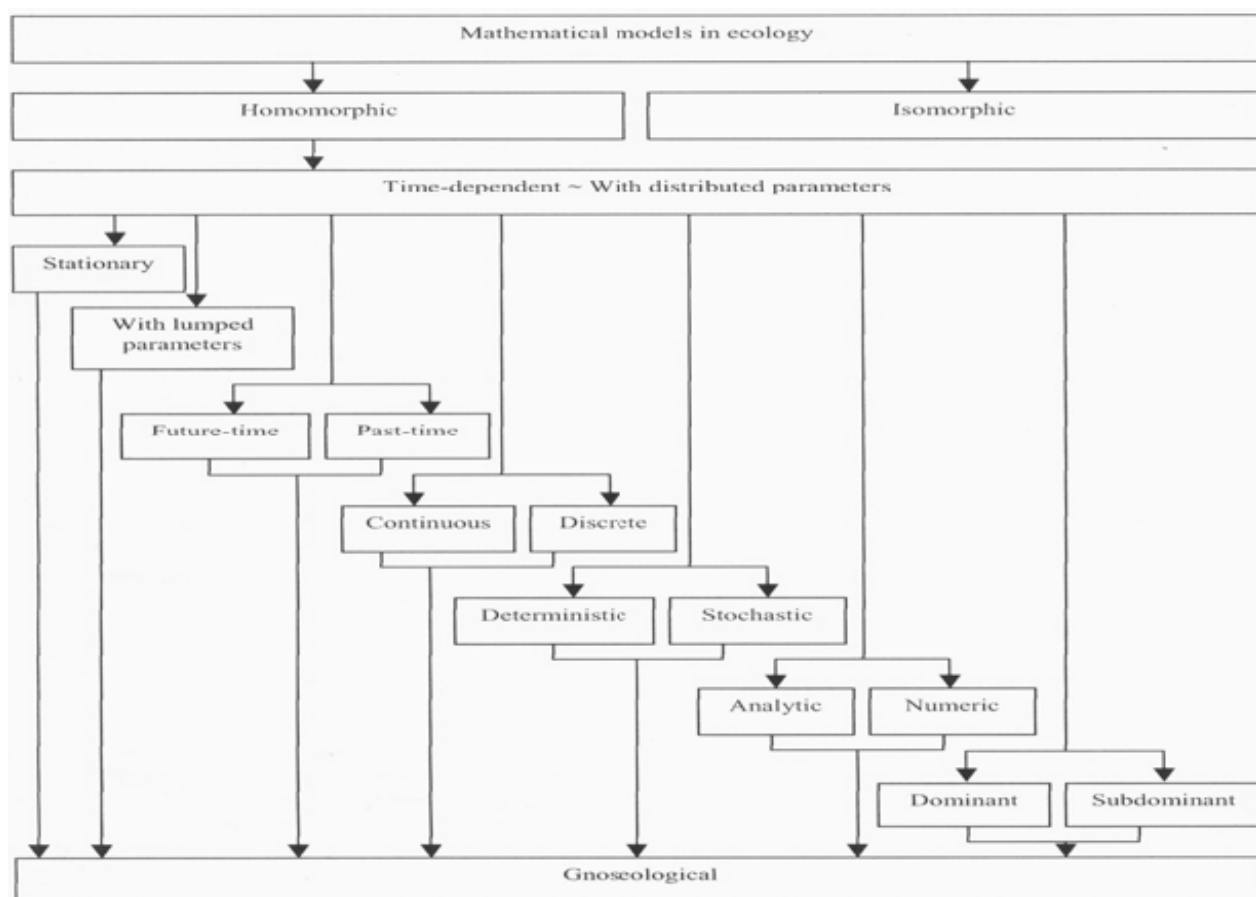
Αδρομερή μοντέλα υδατικού ισοζυγίου έχουν αναπτυχθεί για διάφορες κλίμακες χρόνου (π.χ. ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια) και διάφορους βαθμούς

πολυπλοκότητας. Το πρώτο μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1940 από τον Thornwaite (1948), το οποίο αργότερα αναθεωρήθηκε από τους Thornwaite και Mather (1955, 1957). Έκτοτε αδρομερή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί σε ένα μεγάλο φάσμα υδρολογικών προβλημάτων (Gabos & Gasparri, 1983; Alley, 1984; Vandewiele and Win, 1998). Πρόσφατα τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμοσθεί για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Arnell, 1992; Panagoulia and Dimou, 1997; Yates and Sterzepek, 1998; Guo et al., 2002), και για την μακροχρόνια πρόγνωση της απορροής (Alley, 1985; Xu and Vandewiele, 1995). Αν και για τις παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούνται ωριαία ή ημερήσια υδρολογικά μοντέλα, αυτά απαιτούν πολλά δεδομένα και έχουν πολλές περισσότερες παραμέτρους από τα αντίστοιχα μηνιαία μοντέλα.

Με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των μηνιαίων υδρολογικών μοντέλων ή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου σε ένα μεγάλο εύρος υδρολογικών προβλημάτων, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη νέων μοντέλων και τεχνικών για τον προσδιορισμό των παραμέτρων τους. Τέτοια μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με μεγάλη διαφορά στην πολυπλοκότητα των αλγορίθμων και τον αριθμό των παραμέτρων τους. Μερικά από αυτά για την επιφανειακή υδρολογία είναι:

- Abulohom (Abulohom et al. 2001)
- Loukas (Χονδρονίκου. 2004)
- Giakoumakis (Giakoumakis et al. 1991)
- L. Xiong and S. Guo (Xiong and Guo. 1999)

Στο Σχήμα 2.1 δίνεται η γραφική απεικόνιση της ταξινόμησης των μοντέλων.



Σχήμα 2.1 Γραφική απεικόνιση της ταξινόμησης των μοντέλων (από Gertsev & Gertseva, 2004)

- **Το μοντέλο Abulohom (2001)**

Το μοντέλο Abulohom έχει προταθεί πρόσφατα (Abulohom et al., 2001) και είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Στο μοντέλο οι τιμές τριών παραμέτρων, a_1 , a_2 , a_3 προσδιορίζονται με βελτιστοποίηση. Οι τιμές των άλλων δύο παραμέτρων b_1 , b_2 παίρνουν διακριτές τιμές. Το μοντέλο Abulohom διακρίνει τη συνολική απορροή σε δύο συνιστώσες: α) την άμεση απορροή και β) τη βασική απορροή. Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η άμεση απορροή είναι:

$$(R_d)_j = a_1(m_{j-i})^{b_1} (P_a)^j,$$

όπου:

$(R_d)_j$ είναι η άμεση απορροή του μήνα j ,

a_1 και b_1 παράμετροι που βελτιστοποιούνται,

m_{j-i} η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στην αρχή του μήνα j και

$(P_a)^j$ η ενεργός βροχόπτωση του μήνα j , η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$P_a = P_j - (E_a)_j \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-P_j}{(E_a)_j} \right] \right\}$$

Στην παραπάνω εξίσωση, P_j είναι η βροχόπτωση του μήνα j και $(E_a)_j$ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j .

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η βασική απορροή είναι:

$$(Rg)_j = a_2 (m_{j-i})^{b_2},$$

όπου:

$(Rg)_j$ είναι η βασική απορροή του μήνα j ,

a_2 και b_2 παράμετροι που εκτιμούνται με βελτιστοποίηση.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα ζεύγη των τιμών (a_1, b_1) και (a_2, b_2) είναι υψηλά συσχετισμένα μεταξύ τους. Τα b_1, b_2 παίρνουν συγκεκριμένες διακριτές τιμές (0, 0,5, 1, 2) και (0,5, 1, 2) αντίστοιχα. Φυσικά για κάθε λεκάνη απορροής χρησιμοποιείται μια μόνο τιμή για κάθε παράμετρο. Η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία m_j στο τέλος του μήνα j δίνεται από την εξίσωση:

$$m_j = m_{(j-1)} + P_j - (E_a)_j - (R_c)_j,$$

όπου

$(R_c)_j$ είναι η συνολική υπολογισμένη απορροή του μήνα j και είναι ίση με

$$(R_c)_j = (R_d)_j + (Rg)_j.$$

Το αποτέλεσμα της m_j είναι η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στο τέλος του τρέχοντα μήνα και ταυτόχρονα η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στην αρχή του επόμενου μήνα. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή $(E_a)_j$ βασίζεται σε δύο ποσότητες: α) στη διαθέσιμη αποθηκευμένη υγρασία για εξατμισοδιαπνοή κατά το

μήνα j και β) στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή $(E_p)_j$ του μήνα j . Δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$(E_a)_j = \min \left[(E_p)_j \left(1 - a_3 \frac{W_j}{(E_p)_j} \right) W_j \right],$$

όπου:

W_j η διαθέσιμη εδαφική υγρασία για εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα j , η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W_j = P_j + m_{j-1}$$

και το a_3 είναι μια άγνωστη παράμετρος που εκτιμάται μέσω της βελτιστοποίησης.

- **Το μοντέλο Loukas (2007)**

Το μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου Loukas (2007) διακρίνει τη συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής: α) την επιφανειακή απορροή, β) την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή και γ) τη βασική απορροή ή την απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Σύμφωνα με το μοντέλο, πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_a του μήνα j εξαρτάται από την διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα και τη μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_p του μήνα. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele & Win (1998):

$$E_a(j) = \min \left\{ E_p(j) \left(1 - a \frac{Smoist(j)}{E_p(j)} \right) Smoist(j) \right\}$$

όπου:

$Smoist(j)$ η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα j για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

α ένας συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($0 < \alpha < 1$) και

$E_p(j)$ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα.

Η επιφανειακή απορροή, SR , του μήνα j υπολογίζεται ως εξής:

$$SR(j) = (1-K) * (AS_{moist}(j) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(j) > S_{max} \text{ ή}$$

$$SR(j) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(j) < S_{max}$$

όπου:

$AS_{moist}(j) = S_{moist}(j) - E_a(j)$ η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

$S_{max} = (25400/CN) - 254$ η μέγιστη εδαφική υγρασία,

CN το curve number της Soil Conservation Service (SCS, 1972), ($0 < CN < 100$) και

K ο συντελεστής κατείσδυσης ($0 < K < 1$).

Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρο, D , του μήνα j υπολογίζεται από τον τύπο:

$$D(j) = K * (AS_{moist}(j) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(j) > S_{max} \text{ ή } D(j) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(j) < S_{max} .$$

Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα j , N_{moist} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{moist}(j) = AS_{moist}(j) - SR(j) - D(j).$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία, MR , τον μήνα j υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MR(j) = \beta * [N_{moist}(j-1) + N_{moist}(j)]$$

όπου:

β ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ($0 < \beta < 1$).

Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα j , NS_{moist} υπολογίζεται ως εξής:

$$NS_{moist}(j) = N_{moist}(j) - MR(j).$$

Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα $j+1$ είναι:

$$S_{moist}(j+1) = P(j+1) + NS_{moist}(j).$$

Η βασική απορροή από την εκροή του υδροφορέα Q_g του μήνα j υπολογίζεται από τη διήθηση D του προηγούμενου μήνα $j-1$ από τη σχέση:

$$Q_g(j) = \gamma * D(j-1)$$

όπου:

γ ο συντελεστής βασικής απορροής εκροής του υδροφορέα ($0 < \gamma < 1$).

Τέλος η συνολική απορροή Q_c υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, της ενδιάμεσης απορροής και της βασικής απορροής:

$$Q_c(j) = SR(j) + MR(j) + Q_g(j).$$

Το συγκεκριμένο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Loukas et al. (2007), είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Είναι όμως δυνατό δύο από τις παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατεΐσδυσης K να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν.

- **Το μοντέλο Giakoumakis (1991)**

Σύμφωνα με το μοντέλο Giakoumakis (Giakoumakis et al. 1991; Τσακίρης. 1995; Ψιλοβίκος και Ζαρκάδας. 2006) το υδατικό ισοζύγιο λειτουργεί στην ανώτερη επιφανειακή ζώνη του εδάφους. Η εδαφική αυτή ζώνη του ριζοστρώματος, θεωρείται ως δεξαμενή αποθήκευσης μέγιστης χωρητικότητας S_{max} στην οποία η ποσότητα S_j παριστάνει τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία κατά το μήνα j . Επομένως η διαφορά ($S_{max} - S_j$) είναι το μέσο μηνιαίο έλλειμμα υγρασίας στην επιφάνεια μιας μοναδιαίας λεκάνης. Είναι προφανές ότι το ύψος της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας αυξάνει από

την βροχόπτωση P_j και μειώνεται τόσο από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pj} , όσο και από τη βαθιά διήθηση $D(j)$. Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι η εξής:

$$S'_j = S_{j-1} + P_j - E_{pj}$$

όπου:

S_j η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα j , $0 < S < S_{\max}$,

P_j το ύψος της μηνιαίας βροχόπτωσης και

E_{pj} η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Ανάλογα με την τιμή της μεταβλητής S_j , το αντίστοιχο ύψος επιφανειακής απορροής του μήνα j , h_{oj} εκτιμάται ως εξής:

Εάν $S'_j < 0$ τότε: $S_j = 0$, $h_{oj} = 0$, $D(j) = 0$ όπου $D(j)$ το ύψος της βαθιάς διήθησης το μήνα j

Εάν $0 < S'_j < S_{\max}$ τότε: $S_j = S'_j$, $h_{oj} = 0$, $D(j) = 0$

Εάν $S'_j > S_{\max}$ τότε: $S_j = S_{\max}$, $h_{oj} = K'(S'_j - S_{\max})$, $D(j) = K'(S'_j - S_{\max})$,

όπου $K' = 1 - K$

Στο μοντέλο υπεισέρχονται δύο παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν: α) η μέγιστη διαθέσιμη εδαφική υγρασία (S_{\max}) της επιφανειακής εδαφικής ζώνης και β) ο συντελεστής βαθιάς διήθησης, (K), που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (ανάγλυφο, διηθητικότητα του εδάφους, φυτοκάλυψη, κ.λ.π.), ή να γίνει βελτιστοποίηση αυτών (calibration).

Για τον περιορισμό του αριθμού των παραμέτρων βαθμονόμησης, ο συντελεστής βαθιάς διήθησης (K) και η μέγιστη διαθέσιμη υγρασία, (S_{\max}), μπορούν να εκτιμηθούν από την παρακάτω εξίσωση της Soil Conservation Service (SCS, 1972):

$$S_{\max} = 25,4 [(1000/CN) - 10]$$

όπου:

CN ο αριθμός της καμπύλης που προσδιορίζεται από πίνακες, με βάση τις συνθήκες εδάφους, γεωλογίας, φυτοκάλυψης και χρήσης γης της λεκάνης απορροής ($0 < CN < 100$), (Τσακίρης. 1995).

- **Το μοντέλο Xiong & Guo (1998)**

Το τελευταίο από τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι των Lihua Xiong, Shenglian Guo (1998). Είναι ένα μοντέλο δύο παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της απορροής σε εβδομήντα λεκάνες απορροής στην Νότιο Κίνα. Το μοντέλο είναι σχετικά απλό σε σχέση με άλλα μοντέλα περισσότερων παραμέτρων. Μια ακόμη διαφορά σε σχέση με άλλα μοντέλα είναι ότι χρησιμοποιείται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (actual evapotranspiration). Οι περιοχές στις οποίες το μοντέλο μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σύμφωνα με τους Xiong και Guo είναι υγρές και ημιυγρές λεκάνες απορροής. Ισχύει ο τύπος:

$$E(t) = EP(t) * \tanh [P(t)/EP(t)]$$

όπου:

$E(t)$ η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή,

$EP(t)$ πραγματική ετήσια εξάτμιση,

$P(t)$ πραγματική ετήσια βροχόπτωση.

Από την προηγούμενη σχέση συνεπάγεται ότι:

$$E(t)/EP(t) = \tanh [P(t)/EP(t)].$$

Επειδή χρειάζεται η πραγματική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή, η εξίσωση μετά από πολλές δοκιμές γίνεται:

$$E(t) = c * EP(t) * \tanh [P(t)/EP(t)]$$

όπου:

c η πρώτη παράμετρος του μοντέλου.

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας απορροής χρησιμοποιείται ο τύπος παρακάτω:

$$Q(t) = S(t) * \tanh [S(t)/SC], S(t) = S(t-1) + P(t) - E(t) - Q(t)$$

όπου:

Q(t) η μηνιαία απορροή,

S(t) η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό,

SC είναι ο συμβολισμός της χωρητικότητας της περιοχής. Αυτή είναι η δεύτερη παράμετρος του μοντέλου και μετριέται σε χιλιοστά.

2.3 Πεδίο εφαρμογής υδρολογικών μοντέλων

Συνήθως το πεδίο εφαρμογής των υδρολογικών μοντέλων είναι:

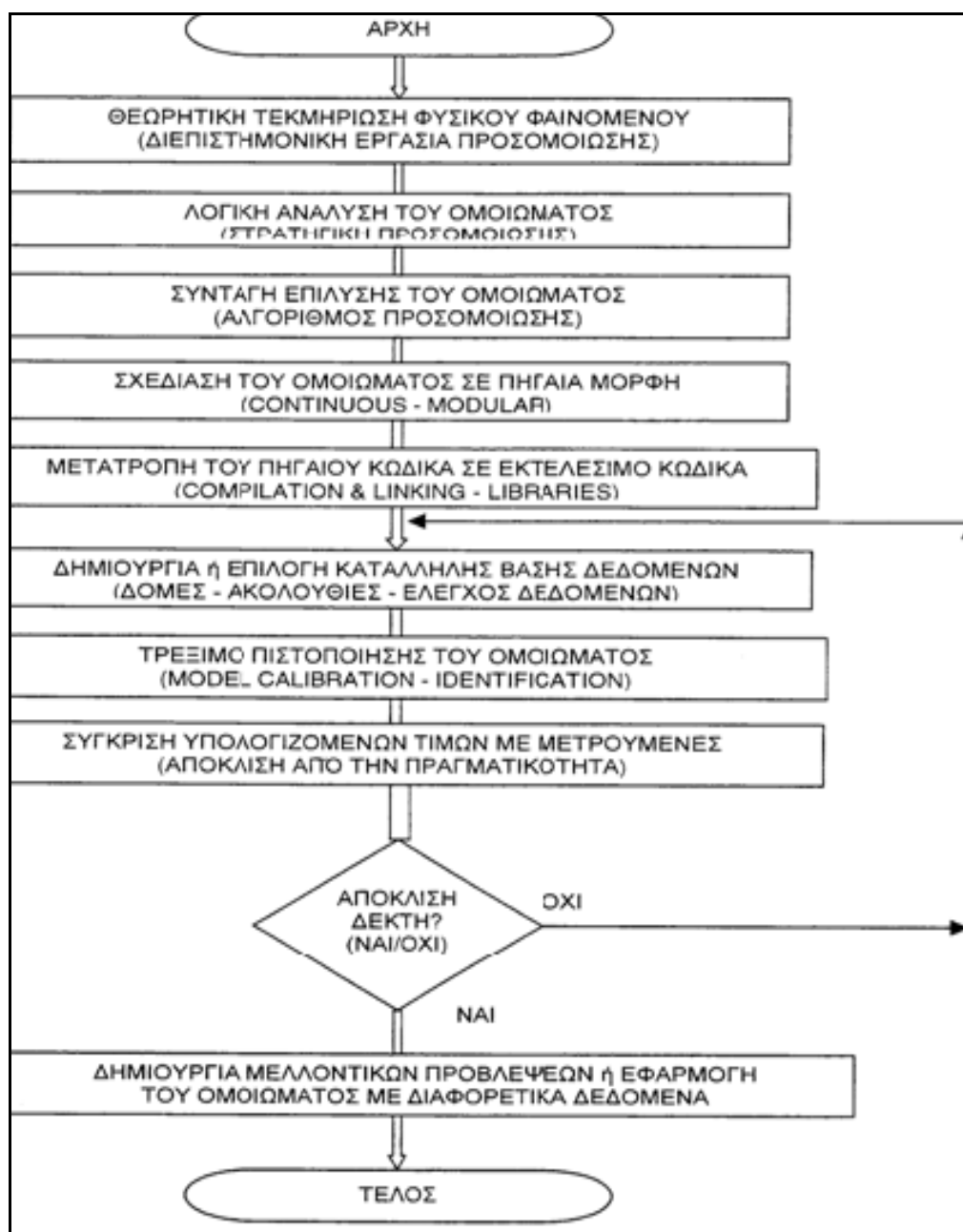
- **η λεκάνη απορροής**, όπου συνήθως εφαρμόζονται σχήματα υδατικού ισοζυγίου, που δίνουν μια συνολική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου σε μια συγκεκριμένη χωρική ενότητα (που είναι είτε η ενιαία λεκάνη είτε διακριτά τμήματα αυτής), περιγράφοντας τον μετασχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε απορροή (απ' όπου και η παραδοσιακή ορολογία μοντέλα βροχής – απορροής). Η απορροή της λεκάνης είναι η κύρια έξοδος του μοντέλου, αλλά και η μεταβλητή εκείνη με την οποία ελέγχεται η προσαρμογή του (Cavadias & Morin, 1986). Η υπόγεια (βασική) ροή θεωρείται συνιστώσα της συνολικής απορροής, και συνήθως εκτιμάται συγκεντρωτικά, με βάση απλοποιημένες παραδοχές (π.χ. θεωρώντας τον υδροφορέα ως γραμμικό ταμιευτήρα, η εκφόρτιση του οποίου τροφοδοτεί την υπόγεια απορροή).

- **Ο υδροφορέας**, όπου προσομοιώνεται ο μηχανισμός κίνησης του υπόγειου νερού, με την χωρική (ή και χρονική) διακριτότητα της προσομοίωσης να είναι, συνήθως, πολύ πιο λεπτομερής σε σχέση με τα μοντέλα επιφανειακής υδρολογίας. Πρόκειται για αριθμητικά σχήματα προσομοίωσης του πεδίου ροής του υδροφορέα, που προϋποθέτουν τη διακριτοποίησή του σε στοιχειώδη τμήματα, που καλούνται κύτταρα (cells). Για το σύνολο των κυττάρων, διατυπώνονται οι διαφορικές εξισώσεις συνέχειας και ροής, που επιλύονται με μεθόδους πεπερασμένων διαφορών, πεπερασμένων στοιχείων, πεπερασμένων όγκων, κλπ. Οι αρχικές και οριακές συνθήκες, καθώς και οι φορτίσεις (κατείδυση, αντλήσεις) θεωρούνται γνωστές και δίνονται «εξωτερικά» (από τον χρήστη του μοντέλου), ενώ η προσαρμογή του μοντέλου γίνεται με βάση παρατηρήσεις στάθμης.

Η συνδυασμένη προσομοίωση των επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών είναι λιγότερο συχνή, αλλά θεωρείται επιβεβλημένη όταν υπάρχουν συνδυασμένες χρήσεις νερού και σημαντική συνεισφορά του υπόγειου δυναμικού στη συνολική απορροή της λεκάνης. Επιπλέον, είναι αναγκαία στην περίπτωση που, εξαιτίας του διαπερατού γεωλογικού υποβάθρου, ο χρόνος απόκρισης του υπόγειου συστήματος είναι συγκρίσιμος με το χρόνο απόκρισης του επιφανειακού συστήματος. Για να είναι αποδοτική από πλευράς υπολογιστικού φόρτου, η συνδυασμένη προσομοίωση προϋποθέτει, αναγκαστικά, λιγότερο λεπτομερή περιγραφή του φυσικού συστήματος. Ωστόσο, παρέχει μια πιο ρεαλιστική εικόνα των υδρολογικών διεργασιών. Για παράδειγμα, η κατείδυση από τη βροχόπτωση, που αποτελεί την κύρια φόρτιση του υδροφορέα, υπολογίζεται από το ίδιο το μοντέλο και δεν ορίζεται, κατά αυθαίρετο τρόπο, από τον χρήστη. Επιπλέον, οι παράμετροι του μοντέλου που σχετίζονται με τις

επιφανειακές και υπόγειες διεργασίες εκτιμώνται συνδυαστικά, αξιοποιώντας μετρήσεις που αναφέρονται τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά.

2.4 Βήματα κατασκευής ενός μοντέλου



Σχήμα 2.2 Τα Βήματα κατασκευής ενός μοντέλου

Η λογική ανάλυση του παραπάνω ομοιώματος μπορεί να αναλυθεί καλύτερα στα παρακάτω στάδια (Σχήμα 2.2):

- Θεωρητική τεκμηρίωση του φυσικού φαινομένου.
- Αναλυτικές εξισώσεις που περιγράφουν το φαινόμενο.
- Δημιουργία ομοιώματος από διεπιστημονική ομάδα.
- Θεωρητική επίλυση του ομοιώματος.
- Σαφείς και παραδεκτές μαθηματικές εξισώσεις.
- Σύμβολα εξισώσεων με ειδική σημασία για τη σωστή εκτέλεση των διαφόρων υπολογισμών.
- Δημιουργία υπολογιστικού συστήματος – επανάληψη υπολογισμών και όχι επίλυση από την αρχή όπως π.χ. με αριθμομηχανή.
- Μετατροπή του συνόλου των εξισώσεων σε πρόγραμμα εκτελέσιμο από τον υπολογιστή που είναι δύσκολη και επίπονη εργασία και απαιτεί και γνώσεις και εμπειρία. Γίνεται είτε με τη χρήση γλωσσών προγραμματισμού, είτε με υπολογιστικά φύλλα.
- Στρατηγική που απαιτείται ώστε να χρησιμοποιηθούν σωστά τα δεδομένα και να δοθούν απαντήσεις στα ζητούμενα.

Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- το σκοπό της μελέτης
- την εμπειρία του μελετητή
- τα διαθέσιμα δεδομένα.

Η ποσότητα αλλά και ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων αποτελεί, συχνά, τον κύριο περιοριστικό παράγοντα σε μια μελέτη, καθώς η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, η οποία θεωρητικά εξασφαλίζεται από την χρήση αναλυτικότερων σχημάτων προσομοίωσης, προσκρούει στην ανεπάρκεια υδρολογικών μετρήσεων και

άλλων δεδομένων (π.χ. κατανεμημένη γεωγραφική πληροφορία), που είναι απαραίτητα για την κατάστρωση και σχηματοποίηση του μοντέλου.

2.5 Στάδια μοντελοποίησης

Τα στάδια της μοντελοποίησης μπορούν να αποτυπωθούν ως εξής:

- Επεξεργασία Δεδομένων Εισόδου (χαρτών, κλιματικών χρονοσειρών κλπ)
- Εισαγωγή τους και Σχηματοποίηση Λεκάνης Απορροής (watershed delineation)
- Συμπλήρωση Παραμέτρων Αρχείων Προγράμματος (parameterization)
- Εκτέλεση (run)
- Ρύθμιση – Βαθμονόμηση (calibration)
- Επαλήθευση – Εγκυρότητα (validation)
- Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων (evaluation)

Η ρύθμιση ή αλλιώς βαθμονόμηση είναι η εκτίμηση και η προσαρμογή των παραμέτρων και σταθερών του μοντέλου με σκοπό τη βελτίωση της σχέσης ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου και στα δεδομένα. Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) προέρχεται από τις στατιστικές επιστήμες και υποδηλώνει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, έτσι ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τις αντίστοιχες παρατηρημένες τιμές.

Το πρόβλημα της βαθμονόμησης υδρολογικών μοντέλων, αν και έχει διερευνηθεί διεξοδικά, παραμένει επίκαιρο, δεδομένου ότι τα μοντέλα τείνουν να γίνουν όλο και πιο σύνθετα (μεγάλος αριθμός παραμέτρων) και όλο και πιο απαιτητικά σε δεδομένα, και σε υπολογιστικό φόρτο. Το πρόβλημα αυτό, αν και παραδοσιακά έχει θεωρηθεί

ότι αφορά αποκλειστικά στα εννοιολογικά σχήματα, αποδεικνύεται τελικά κοινό και για τις υπόλοιπες κατηγορίες μοντέλων, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει η ανάγκη προσαρμογής των παραμέτρων στις παρατηρήσεις του παρελθόντος.

Εμπειρική βαθμονόμηση: Πρόκειται για όχι αυστηρά συστηματική διαδικασία, που βασίζεται στη διερεύνηση εναλλακτικών συνδυασμών παραμέτρων που επιλέγει, σύμφωνα με την εμπειρία του, ο μελετητής. Η τελική επιλογή των παραμέτρων γίνεται ελέγχοντας «με το μάτι» την προσαρμογή του μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα. Αν και η εμπειρική μέθοδος είναι μη αντικειμενική (η επιλογή δεν βασίζεται σε κάποιο αριθμητικό κριτήριο σφάλματος) και εξαιρετικά επίπονη (όταν ο αριθμός των παραμέτρων είναι σχετικά μεγάλος), εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα δεδομένου ότι η εν λόγω διαδικασία ενσωματώνει την υδρολογική εμπειρία, οδηγώντας έτσι σε τιμές παραμέτρων που είναι ρεαλιστικές και αντιπροσωπευτικές των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.

Αυτόματη βαθμονόμηση: Διατυπώνεται ένα μέτρο καλής προσαρμογής των προσομοιωμένων σε σχέση με τις παρατηρημένες αποκρίσεις της λεκάνης, το οποίο θεωρείται ως η αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος μη γραμμικής βελτιστοποίησης, με μεταβλητές ελέγχου τις παραμέτρους του μοντέλου. Η τελική επιλογή των παραμέτρων προκύπτει ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης (Gan & Biftu, 1996). Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευκολία και η αντικειμενικότητά της, ενώ το κύριο μειονέκτημά της είναι η πλήρης εξάρτηση των αποτελεσμάτων από το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιείται, τα σφάλματα που μεταφέρονται από τα δεδομένα, τις τυπικές υπολογιστικές αδυναμίες της διαδικασίας αναζήτησης και άλλες πηγές αβεβαιότητας (Gupta & Sorooshian, 1985). Για τους παραπάνω λόγους, σε ορισμένες περιπτώσεις ένα υδρολογικό μοντέλο, παρόλο που δείχνει να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρήσεις, στην πραγματικότητα λειτουργεί υπό

μορφή «μαύρου κουτιού», με παραμέτρους που δεν έχουν φυσικό νόημα και χωρίς να μπορεί να αναπαράγει όλο το φάσμα των δυνατών αποκρίσεων της λεκάνης.

Ημιαυτόματη βαθμονόμηση: Πρόκειται για μια διαδραστική μέθοδο, βάσει της οποίας ο μελετητής παρακολουθεί τη διαδικασία βελτιστοποίησης και επεμβαίνει σε αυτή, μεταβάλλοντας τα κριτήρια και τις υποθέσεις του προβλήματος, ώστε να κατευθύνει την πορεία αναζήτησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της εμπειρικής και αυτόματης βαθμονόμησης, και θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύνθετων σχημάτων, στα οποία είναι και πιο έντονη η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των παραμέτρων, λόγω της ύπαρξης πολλών ισοδύναμα καλών λύσεων.

Ανεξάρτητα από την στρατηγική που ακολουθείται, η βαθμονόμηση ενός υδρολογικού μοντέλου κρίνεται αξιόπιστη εφόσον:

- το μοντέλο διαθέτει επαρκή προγνωστική ικανότητα, δηλαδή μπορεί να αναπαράγει όλο το φάσμα των αποκρίσεων μιας λεκάνης, με ικανοποιητική ακρίβεια
- στις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του μοντέλου, μπορεί να αποδοθεί κάποιο φυσικό νόημα, ώστε να θεωρηθούν συμβατές με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος.

Πρόκειται για δύο θεμελιώσεις απαιτήσεις, που εξασφαλίζουν ότι το μοντέλο αναπαριστά με συνέπεια τους υδρολογικούς μηχανισμούς της λεκάνης, και το πεδίο εφαρμογής του δεν περιορίζεται στο διάστημα που υπάρχουν ιστορικές παρατηρήσεις (βάσει των οποίων έχει γίνει η προσαρμογή των παραμέτρων του) αλλά επεκτείνεται για οποιοδήποτε χρονικό ορίζοντα, είτε στο παρελθόν είτε στο μέλλον (Madsen, 2002). Είναι προφανές ότι αυτό προϋποθέτει ότι τα ιστορικά δείγματα φορτίσεων και

αποκρίσεων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου είναι αντιπροσωπευτικά της υδρολογικής δίαιτας της λεκάνης.

Ο όρος *επαλήθευση ή εγκυρότητα* (validation) αναφέρεται σε μια διαδικασία αξιολόγησης μαθηματικών μοντέλων, ώστε να διαπιστωθεί αν αποτελούν αντιπροσωπευτικές αναπαραστάσεις του συστήματος που προσομοιώνουν. Συνήθως, η επαλήθευση ενός υδρολογικού μοντέλου γίνεται για το βέλτιστο σύνολο παραμέτρων που έχει προκύψει από τη βαθμονόμηση, ελέγχοντας το ίδιο κριτήριο προσαρμογής για μια άλλη (κατά κανόνα μεταγενέστερη της βαθμονόμησης) χρονική περίοδο, για την οποία επίσης διατίθενται μετρημένες φορτίσεις και αποκρίσεις της λεκάνης. Η προσέγγιση είναι γνωστή ως διαχωρισμός δεδομένων (data-split), και για να έχει νόημα θα πρέπει τα χαρακτηριστικά του συστήματος να έχουν διατηρηθεί αμετάβλητα για το σύνολο της περιόδου ελέγχου του μοντέλου (περίοδος βαθμονόμησης και επαλήθευσης μαζί), ώστε να εξασφαλιστεί ότι στη λεκάνη ισχύουν συνθήκες στασιμότητας (stationarity). Διαφορετικά, οι παράμετροι πρέπει να θεωρηθούν διαχρονικά μεταβαλλόμενες, κάτι που περιορίζει δραστικά την επιχειρησιακή χρησιμότητα του μοντέλου.

Μια επιτυχής βαθμονόμηση δεν συνεπάγεται απαραίτητα επιτυχή επαλήθευση του μοντέλου. Η πολύ καλή προσαρμογή ενός μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα κατά την περίοδο βαθμονόμησης, δεν εγγυάται πάντα την επίδοση του μοντέλου με βάση το ίδιο κριτήριο κατά την περίοδο επαλήθευσης (Ndiritu & Daniel, 1999). Με την προϋπόθεση της στασιμότητας, αυτό σημαίνει ότι οι βελτιστοποιημένες παράμετροι του μοντέλου δεν αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος, αλλά το μοντέλο λειτουργεί ως «μαύρο» κουτί, υλοποιώντας μη γραμμικούς μετασχηματισμούς χωρίς φυσικό νόημα. Το φαινόμενο αναφέρεται και ως υπερπροσαρμογή (over-fitting) του μοντέλου, και αποτελεί ένα από τα πλέον

προβληματικά ζητήματα σχημάτων με μεγάλο αριθμό βαθμών ελευθερίας, όπως τα νευρωνικά δίκτυα.

Υπάρχει η άποψη ότι η παραδοσιακή προσέγγιση, που βασίζεται στον διαχωρισμό των δεδομένων, δεν αποτελεί ιδιαίτερα αξιόπιστο μέτρο της προγνωστικής ικανότητας ενός μοντέλου και κατά συνέπεια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ισχυρό τεστ για την αξιολόγηση μοντέλων με κατανεμημένη δομή.

Το κατά πόσο η βαθμονόμηση και η επαλήθευση πρέπει να υλοποιούνται ως εντελώς ανεξάρτητες διαδικασίες και το αν μπορούμε μέσω της βαθμονόμησης να ελέγξουμε όχι μόνο τη προσαρμογή αλλά και την προγνωστική ισχύ ενός μοντέλου δεν έχει αποσαφηνιστεί ακόμα. Ορισμένοι ερευνητές προτείνουν μια στρατηγική βαθμονόμησης, η οποία βασίζεται σε πολλαπλές αποκρίσεις της λεκάνης και δίνει βάρος στα ακραία υδρολογικά γεγονότα, με σκοπό να εξασφαλίσει επιτυχή επαλήθευση (Yapo, 1998). Άλλοι εκφράζουν την εντελώς αντίθετη άποψη εισάγοντας ένα πλαίσιο αποτίμησης της προγνωστικής ικανότητας των μοντέλων χωρίς την συνήθη διαδικασία βαθμονόμησης, ελέγχοντας την παρατηρημένη στατιστική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων φόρτισης (βροχόπτωση, δυνητική εξατμισοδιαπνοή) και της απορροής.

2.6 Ανάλυση αβεβαιοτήτων

Για να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία της ανάλυσης αβεβαιοτήτων, χωρίζονται τα σφάλματα του μοντέλου σε κατηγορίες, ως εξής:

α) Δομικά σφάλματα μοντέλου:

α1) Υπό-παραμετροποίηση:

- Υπερβολικά αδρή αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών, έως και απόκρυψη σημαντικών πτυχών του υδρολογικού κύκλου.
- Χρήση χαμηλότερης χρονικής κλίμακας σε σχέση με αυτήν που υποστηρίζει το θεωρητικό υπόβαθρο του μοντέλου.

a2) *Υπέρ-παραμετροποίηση:*

- Χρήση περισσότερων παραμέτρων από όσες μπορούν να υποστηρίξουν η πολυπλοκότητα των φυσικών διεργασιών, σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα.

Αρχή της φειδωλής παραμετροποίησης (principle of parsimony): Ένα μαθηματικό μοντέλο που βαθμονομείται με στατιστικές μεθόδους προσαρμογής, οφείλει να έχει την απλούστερη δυνατή παραμετροποίηση.

Εμπειρικός υδρολογικός κανόνας: Κάθε μεμονωμένο μέτρο προσαρμογής είναι επαρκές για την βαθμονόμηση 4 έως 6 παραμέτρων του μοντέλου.

β) Σφάλματα δεδομένων εισόδου:

Τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου ή ελέγχου του μοντέλου διέπονται από πλήθος αβεβαιοτήτων λόγω:

- συστηματικών και τυχαίων σφάλματα μετρήσεων·
- σφαλμάτων χρονικής μεταβλητότητας (υδρολογικές μεταβλητές σε συνεχή χρόνο, που εκτιμώνται από μετρήσεις σε διακριτό χρόνο)
- σφαλμάτων χωρικής μεταβλητότητας (ετερογενείς επιφανειακές διεργασίες, που περιγράφονται από σημειακές μετρήσεις)·
- σφαλμάτων αναγωγής της δευτερογενούς πληροφορίας σε πρωτογενή (π.χ. στάθμη → παροχή, θερμοκρασία → εξάτμιση, κλπ.).

Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι η ευαισθησία των μοντέλων επηρεάζεται σημαντικά από την χωρική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης. Σημαντική συνιστώσα αβεβαιότητας αποτελεί η εκτίμηση της συνεισφοράς της χιονόπτωσης στο υδατικό δυναμικό ορεινών λεκανών. Η επάρκεια των δεδομένων εξαρτάται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την αντιπροσωπευτικότητα παρά το μήκος της υδρολογικής πληροφορίας.

γ) **Ακαταλληλότητα μέτρων προσαρμογής:**

Το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση πρέπει να είναι συμβατό με την στατιστική δομή των υπολοίπων, $et = yt - yt'$. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, που συχνά (και αβίαστα) υιοθετείται ως τυπικό στατιστικό μέτρο βαθμονόμησης, υποθέτει ότι τα υπόλοιπα:

- ακολουθούν κανονική κατανομή, με μηδενική μέση τιμή
- είναι ομοσκεδαστικά, δηλαδή διατηρούν σταθερή διασπορά
- είναι ασυσχέτιστα στον χώρο και τον χρόνο.

Κατά κανόνα, καμία από τις παραπάνω υποθέσεις δεν ικανοποιείται, ενώ η υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας παραβιάζεται εξ ορισμού, λόγω της διαδικασίας κατασκευής των σχέσεων στάθμης-παροχής. Αν ζητείται η προσαρμογή του μοντέλου σε πολλαπλές μετρημένες αποκρίσεις ή/και σε πολλαπλά χαρακτηριστικά κάθε απόκρισης, τότε συνηθίζεται η διατύπωση ενός «καθολικού» μέτρου επίδοσης, με συνάθροιση των επιμέρους μέτρων σε μια αυθαίρετη αριθμητική έκφραση, που αποκρύπτει σημαντικές πτυχές του προβλήματος.

2.7 Το μοντέλο Med Basin

Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα λογισμικό για τις βροχοπτώσεις και τις απορροές στη λεκάνη της Μεσογείου. Αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αποτελεί ένα αυτόνομο πρόγραμμα υπολογιστών για την σχεδίαση του υδρογραφήματος ενός ποταμού. Οι κύριες εισαγωγές στοιχείων του προγράμματος είναι η μέση βροχόπτωση και η πιθανή εξάτμιση του νερού. Το πρόγραμμα είναι προσανατολισμένο για να είναι πιο προσαρμοστικό στις μεσογειακές λεκάνες ποταμών. Ο πυρήνας του λογισμικού κατασκευάζεται από τις βασικές αρχές MERO, ένα εννοιολογικό πρότυπο απορροών – βροχοπτώσεων που προτάθηκε από τον FAO.

Οι παράμετροι του προτύπου αντιπροσωπεύουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και μπορούν να βαθμονομηθούν χρησιμοποιώντας τα μετρημένα στοιχεία απορροών μέσω μιας ημιαυτόματης διαδικασίας. Το πρόγραμμα έχει πολλά πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, συμπεριλαμβανομένου του υπολογισμού της μέσης βροχόπτωσης της λεκάνης που χρησιμοποιεί τα σταθμισμένα στοιχεία από τους διαφορετικούς σταθμούς με αυτόματο μετασχηματισμό της εξάτμισης.

Τα υδρολογικά μοντέλα όπως και το μοντέλο Med Basin αποτελούν σύγχρονα εργαλεία ολοκληρωμένης προσέγγισης και διαχείρισης λεκανών απορροής (Pitman, 1973). Επίσης αποτελούν εργαλεία έρευνας σε σενάρια που έχουν να κάνουν με την κλιματική αλλαγή, τις αλλαγές στις πρακτικές διαχείρισης της γης καθώς και στις αλλαγές μέσω ανθρωπογενών επεμβάσεων και κατασκευών.

2.8 Διάγραμμα ροής του προτύπου (Med Basin)

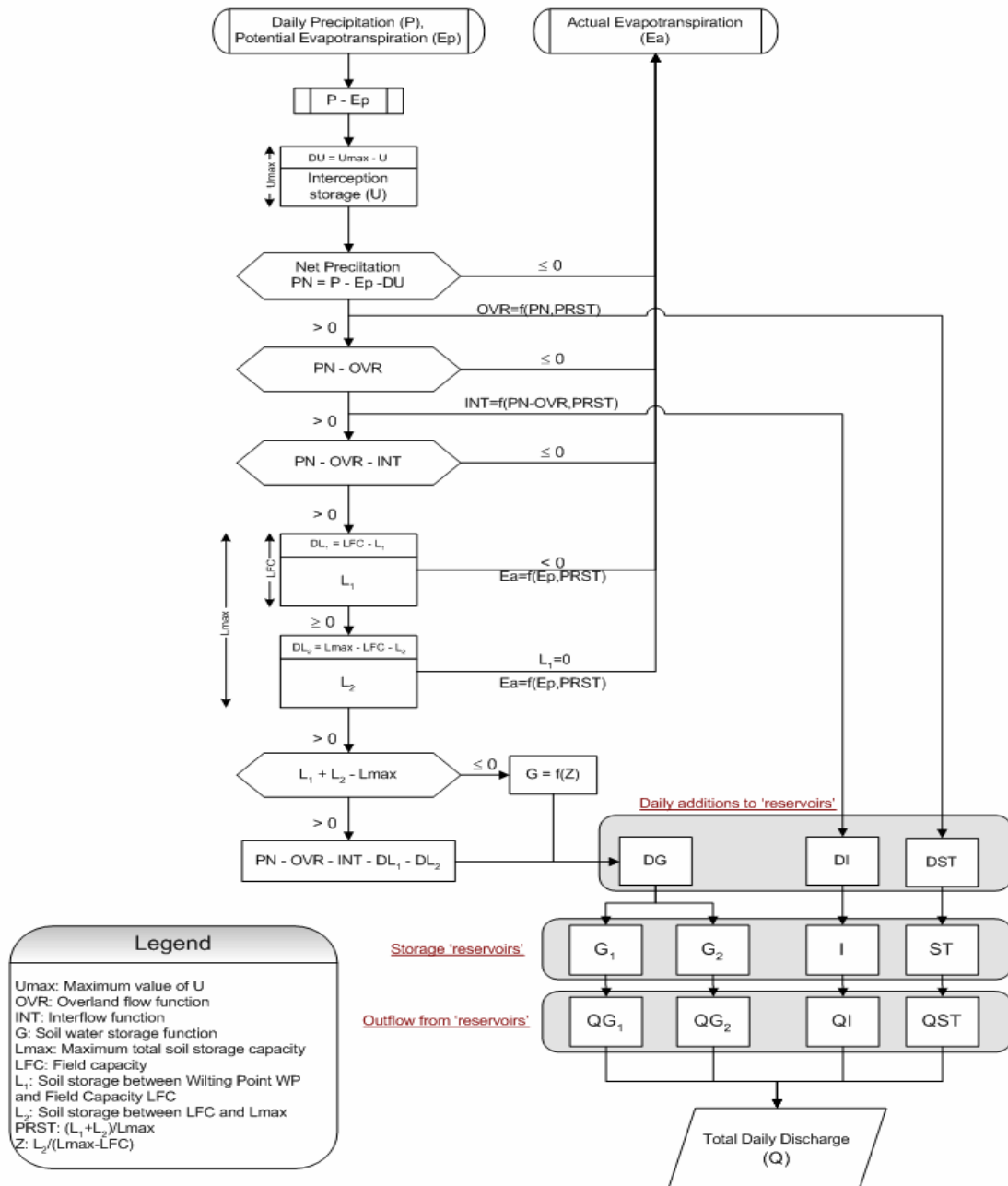
Η διαδικασία προσομοίωσης βροχόπτωσης-απορροής του Med Basin είναι βασισμένη στις βασικές αρχές του προτύπου MERO, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετά προγράμματα του FAO στις μεσογειακές λεκάνες. Το MERO είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής βασισμένο στις διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου. Οι διαδικασίες αυτές καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών περιγράφονται από εμπειρικές σχέσεις, όπως η λειτουργία της επιφανειακής απορροής, η λειτουργία της ενδιάμεσης απορροής καθώς και η σχέση αποθήκευσης και επαναφόρτισης του εδαφικού νερού (Tigkas, 2004). Οι καθημερινές τιμές των βροχοπτώσεων της μέσης λεκάνης και της πιθανής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου, ενώ η καθημερινή και μηνιαία απορροή είναι το αποτέλεσμα που εξάγει το πρότυπο (Σχήμα 2.3).

Το πρότυπο είναι ουσιαστικά μια λογιστική διαδικασία, στην οποία δεδομένα (βροχόπτωση) περνούν μέσω των ζωνών αποθήκευσης, σε κάθε μια από τις οποίες κάποια εκροή αφαιρείται, έως ότου έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων. Η ροή ενός ποταμού αποτελείται τελικά από την εκροή από τέσσερις διαφορετικούς ταμιευτήρες: από τον ταμιευτήρα επιφανειακής απορροής ST, από τον ταμιευτήρα ενδιάμεσης απορροής I, από τον προσωρινό ταμιευτήρα νερού G1 και τον μόνιμο ταμιευτήρα νερού G2 .

Σύμφωνα με τις αρχές του προτύπου, το έδαφος έχει διαιρεθεί σε δύο διαφορετικούς διασυνδεδεμένους ταμιευτήρες αποθήκευσης: από τον ταμιευτήρα που παρεμποδίζει την αποθήκευση υπόγειων νερών U και από τον ταμιευτήρα συνολικής αποθήκευσης νερού L. Στη συνέχεια ο τελευταίος έχει διαιρεθεί σε ζώνες αποθήκευσης εδάφους-νερού: η ανώτερη εδαφολογική ζώνη L_1 που μπορεί να

θεωρηθεί ως ζώνη ρίζας και στην οποία η υγρασία του εδάφους μπορεί να φθάσει σε μια μέγιστη αξία μέχρι την ικανότητα των τομέων LFC, και τη χαμηλότερη ζώνη L_2 που λαμβάνει την υγρασία από την ανώτερη ζώνη όταν η ικανότητα των τομέων έχει ξεπεραστεί. Οι ταμιευτήρες απελευθερώνουν το νερό στον ποταμό σύμφωνα με μια λειτουργία καθυστέρησης η οποία δίνεται από τη σχέση: $F = (1 - \exp(-t/T_0))$ όπου το T_0 είναι μια χαρακτηριστική τιμή για κάθε έναν από τους ταμιευτήρες. Για τον ταμιευτήρα ενδιάμεσης απορροής η τιμή αυτή μπορεί να είναι από δύο έως οκτώ ημέρες, για τον προσωρινό ταμιευτήρα νερού από οκτώ έως 50 ημέρες και για τον μόνιμο ταμιευτήρα νερού από 50 έως 250 ημέρες. Οι ανωτέρω σειρές των τιμών είναι ενδεικτικές και μπορούν να ποικίλουν μέσα στα διαφορετικά όρια.

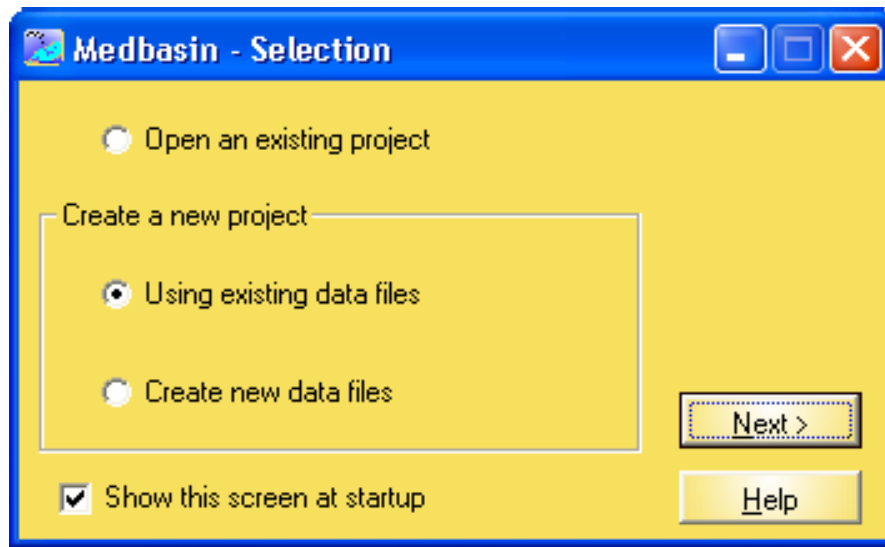
Η απορροή του ποταμού αρχικά μετριέται σε mm (χιλιοστά). Η συνολική περιοχή της λεκάνης απορροής κατανέμεται σε διάφορους ταμιευτήρες. Καθένας από τους ταμιευτήρες έχει μια συγκεκριμένη περιοχή (όγκο) εισροής.



Σχήμα 2.3 Το διάγραμμα ροής του μοντέλου MedBasin

2.9 Δομή επιλογών του Medbasin

Όταν ξεκινήσουμε το πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή υπάρχει μια οθόνη επιλογής με τις εξής επιλογές (Εικόνα 2.8):



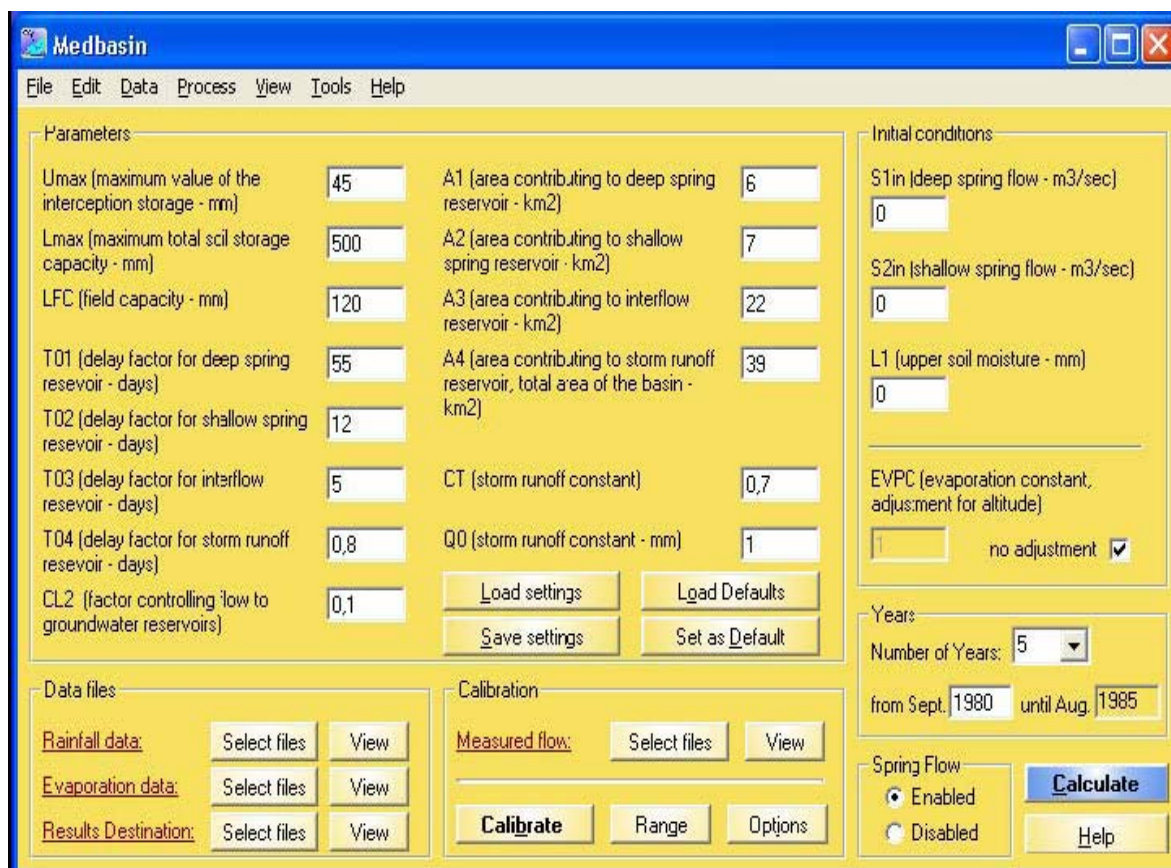
Εικόνα 2.8 Αρχική επιλογή προγράμματος

- *Ανοίξτε μια υπάρχουσα εργασία (Open an existing project)* - (μπορούμε να ανοίξουμε κάποια δεδομένα, παραμέτρους που έχουμε ήδη αποθηκεύσει από μια προηγούμενη εκτέλεση του προγράμματος).
- *Δημιουργήστε μια νέα εργασία με τα υπάρχοντα αρχεία στοιχείων (Create a new project using existing data files)* - (χρησιμοποιούμε αυτή την επιλογή εφόσον έχουμε τα αρχεία με τα στοιχεία που πρόκειται να «φορτώσουμε» στο πρόγραμμα).
- *Δημιουργήστε νέα αρχεία στοιχείων (Create new data files)* – (μπορούμε σε αυτή την επιλογή να εισαγάγουμε χειροκίνητα τα στοιχεία που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε και να σώσουμε τα αρχεία αυτά προκειμένου να τα χρησιμοποιήσουμε αργότερα).

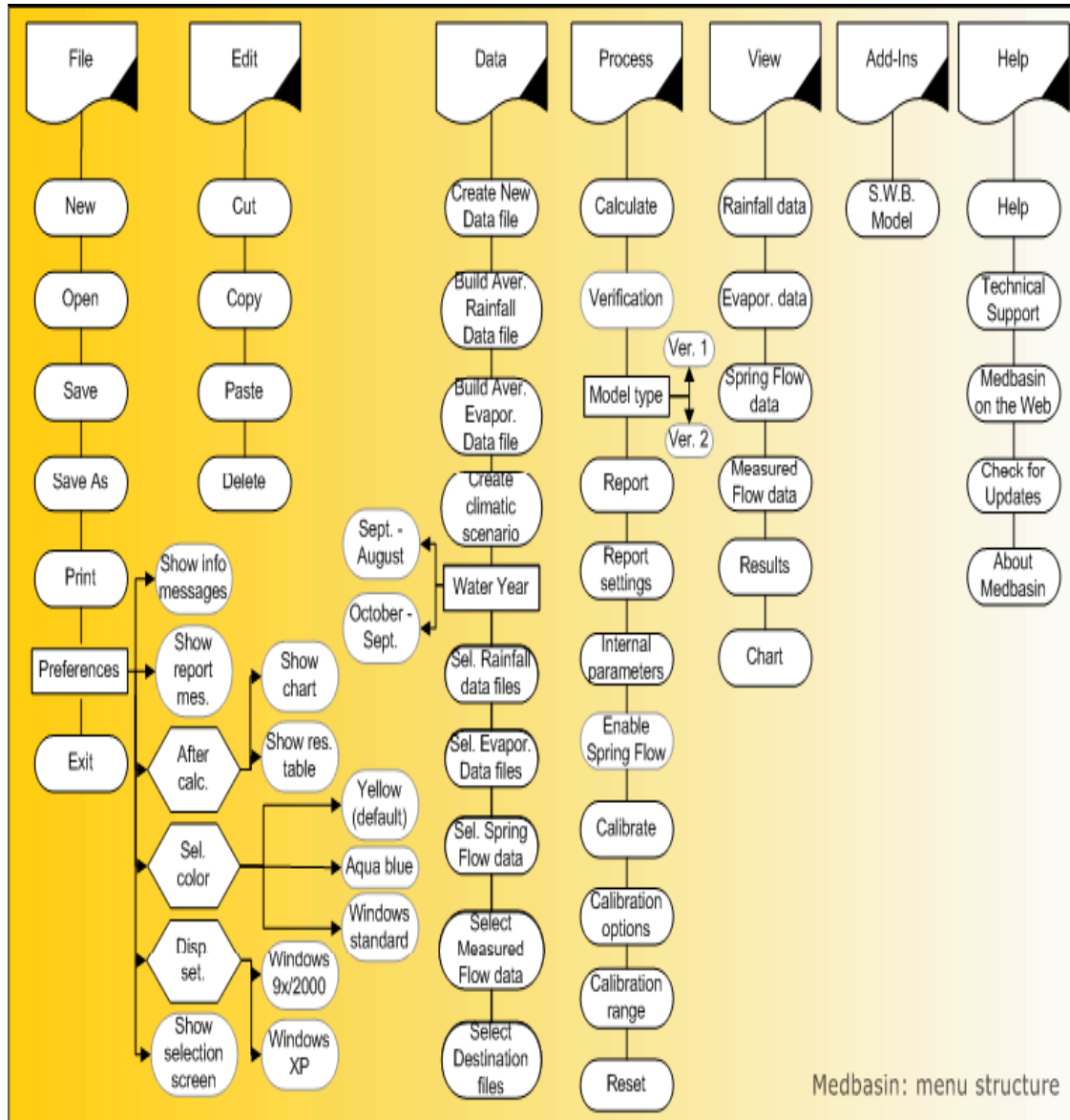
Στο κύριο παράθυρο του προγράμματος (Εικόνα 2.9) υπάρχουν παράμετροι του προτύπου, το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί με τη δακτυλογράφηση των τιμών τους στα παράθυρα κειμένου ή με τη φόρτωση τους από ένα αρχείο. Υπάρχει επίσης η επιλογή να σωθεί το επιλεγμένο σύνολο παραμέτρων. Οι παράμετροι μπορούν να

οριστούν χρησιμοποιώντας την ημιαυτόματη διαδικασία βαθμολόγησης ή με το χέρι ακολουθώντας μια διαδικασία δοκιμής-διόρθωσης.

Όλες οι βασικές εντολές του προγράμματος μπορούν να προσεγγιστούν και να εκτελεστούν άμεσα από τις λίστες επιλογών. Η δομή των επιλογών φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 2.10.



Εικόνα 2.9 Κεντρικό παράθυρο επιλογών του Medbasin



Εικόνα 2.10 Δομή επιλογών του Medbasin

Αρχείο (File): Από αυτόν τον κατάλογο επιλογών τα αρχεία προγράμματος μπορούν να ανοίξουν και να σωθούν καθώς και να οριστούν διάφορες επιλογές π.χ. να δημιουργήσουμε μια νέα εργασία, να ανοίξουμε μια ήδη υπάρχουσα εργασία, να αποθηκεύσουμε σχετικές με την εργασία πληροφορίες, να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα και τους πίνακες μετά την επεξεργασία των δεδομένων.

Δεδομένα (Data): Σε αυτό το σύνολο επιλογών τα αρχεία των δεδομένων μπορούν να διαχειριστούν. Τα εργαλεία για να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν τα σύνολα

των δεδομένων παρέχονται επίσης εδώ (Δημιουργία νέων αρχείων για να χρησιμοποιηθούν για τα κλιματολογικά σενάρια ή να εφαρμοστούν τα σενάρια στην περιοχή χωρίς δημιουργία των νέων αρχείων, άνοιγμα του επιτραπέζιου πλέγματος δεδομένων, δημιουργία ενός δέκα ημερών μέσου αρχείου εξάτμισης χρησιμοποιώντας τη σειρά συνόλων δεδομένων εξάτμισης, επιλογή της περιόδου έτους νερού ανάλογα με τα υπάρχοντα δεδομένα, δημιουργία ενός νέο μέσου αρχείου βροχοπτώσεων χρησιμοποιώντας τα σταθμισμένα στοιχεία).

Διαδικασία (Process): Οι εντολές για όλες τις βασικές διαδικασίες μπορούν να προσεγγιστούν από αυτόν τον κατάλογο επιλογών. Μπορούμε δηλαδή να επιλέξουμε τις παρακάτω επιλογές:

- υπολογισμοί έναρξης για την εκτίμηση απορροών,
- επισκόπηση των αποτελεσμάτων μετά τους υπολογισμούς,
- επισκόπηση των τιμών των εσωτερικών παραμέτρων του μοντέλου μετά τους υπολογισμούς,
- έναρξη διαδικασίας βαθμονόμησης,
- έναρξη διαδικασίας επαλήθευσης,
- καθορισμός σειράς παραμέτρων κατά την διαδικασία βαθμονόμησης.

Επισκόπηση (View): Αυτός ο κατάλογος παρέχει την πρόσβαση σε πίνακες στοιχείων και διαγράμματα όπως πίνακες δεδομένων βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής καθώς και σε πίνακες αποτελεσμάτων.

Βοήθεια: Τα αρχεία βοήθειας, οι πληροφορίες τεχνικής υποστήριξης και οι συνδέσεις Ιστού (διαδίκτυο) μπορούν να προσεγγιστούν από αυτόν τον κατάλογο.

Όσο αφορά την εισαγωγή δεδομένων τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα είναι σε καθημερινή βάση. Οι μέσες βροχοπτώσεις και η πιθανή εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης απορροής απαιτούνται. Αν υπάρχει πηγή ή μια άλλη

ροή εισαγωγής που συμβάλλουν στην απορροή ποταμών και η παροχή νερού της βρίσκεται έξω από τη λεκάνη, το μέσο μηνιαίο στοιχείο ροής της πηγής μετριέται ως εισαγωγή στο πρότυπο. Η μετρημένη ροή ποταμών απαιτείται επίσης για τη διαδικασία βαθμονόμησης.

Τα αρχεία των δεδομένων (στοιχείων) είναι φύλλα εργασίας του Excel. Τα δεδομένα πρέπει να τοποθετηθούν ή να εισαχθούν στο πρώτο ενεργό φύλλο εργασίας (ένα αρχείο ανά υδρολογικό έτος). Ένα σημαντικό σημείο είναι το όνομα των μηνών, στο οποίο το πρώτο τους γράμμα πρέπει να είναι ελληνικό ή αγγλικό και πρέπει να τοποθετείται μέσα στις πρώτες 20 γραμμές του φύλλου εργασίας, επάνω από τις τιμές των δεδομένων, για να είναι σε θέση το πρόγραμμα να αναγνωρίσει τη θέση των δεδομένων και να τα χρησιμοποιήσει κατάλληλα. Οι προηγούμενες γραμμές στο φύλλο (που μπορεί να περιέχει τις πρόσθετες πληροφορίες για το σύνολο των δεδομένων) θα αγνοηθούν. Ένα παράδειγμα του σχήματος του φύλλου εργασίας εμφανίζεται στην Εικόνα 2.11.

Microsoft Excel - Koutsoulidis Flow 99 00

Station ID: 1287
 Number on map: 32
 35o 14'
 Gauging station: **Faneromeni**
 Coordinates:
 River Basin: **Koutsoulidis**
 25o 26'
 Operating since: **1979**
 Altitude: 430m

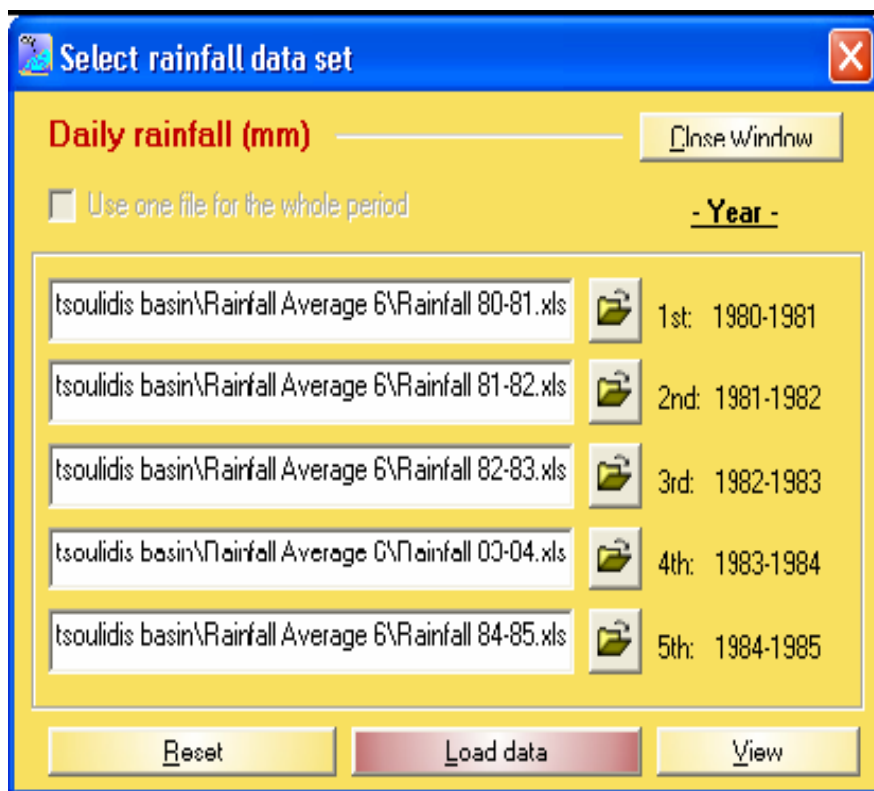
Average Daily River Flow (mm) - Water year: 1999 - 2000

Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
1	0,018	0,096	0,138	0,168	0,512	2,566	1,540	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
2	0,018	0,096	0,138	0,168	0,455	2,294	1,316	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
3	0,018	0,096	0,138	0,168	0,426	2,096	1,172	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
4	0,018	0,096	0,138	0,152	0,436	2,371	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
5	0,018	0,096	0,138	1,389	1,712	2,582	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
6	0,018	0,096	0,138	0,413	2,767	3,535	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
7	0,018	0,096	0,138	0,248	4,798	3,188	1,076	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
8	0,018	0,096	0,138	0,184	13,273	4,356	0,920	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
9	0,018	0,096	0,138	0,242	13,245	2,902	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
10	0,018	0,096	0,138	0,554	5,143	2,492	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
11	0,018	0,096	0,138	0,427	3,053	2,344	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
12	0,018	0,096	0,138	0,284	2,269	2,195	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
13	0,018	0,096	0,138	0,248	1,964	1,997	0,788	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
14	0,018	0,096	0,138	0,248	1,780	1,848	0,788	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
15	0,018	0,096	0,138	0,219	2,080	1,925	0,764	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
16	0,018	0,096	0,138	0,184	13,935	1,750	0,710	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
17	0,018	0,096	0,138	0,168	6,772	1,570	0,683	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
18	0,018	0,096	0,138	0,152	3,537	3,359	0,664	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
19	0,018	0,096	0,138	0,884	4,516	2,298	0,772	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
20	0,018	0,096	0,138	2,004	3,268	1,912	0,740	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
21	0,018	0,096	0,138	5,091	16,513	1,750	0,712	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
22	0,018	0,096	0,138	1,661	13,337	1,604	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
23	0,018	0,096	0,138	2,214	8,751	1,793	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
24	0,018	0,096	0,138	2,450	6,340	2,018	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
25	0,018	0,096	0,138	1,599	6,055	1,592	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
26	0,018	0,096	0,138	1,145	4,747	1,456	0,569	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
27	0,018	0,096	0,138	0,966	3,625	2,246	0,540	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
28	0,010	0,096	0,100	0,797	2,992	1,709	0,512	0,407	0,300	0,163	0,161	0,110
29	0,018	0,096	0,138	0,623	2,591		0,512	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
30	0,018	0,096	0,138	0,547	3,690		0,512	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
31		0,096		0,521	3,994		0,512		0,300		0,161	0,118
Monthly	0,018	0,096	0,138	0,843	5,115	2,280	0,807	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
Monthly vol. in mil. m ³												
Peak m ³ /sec												

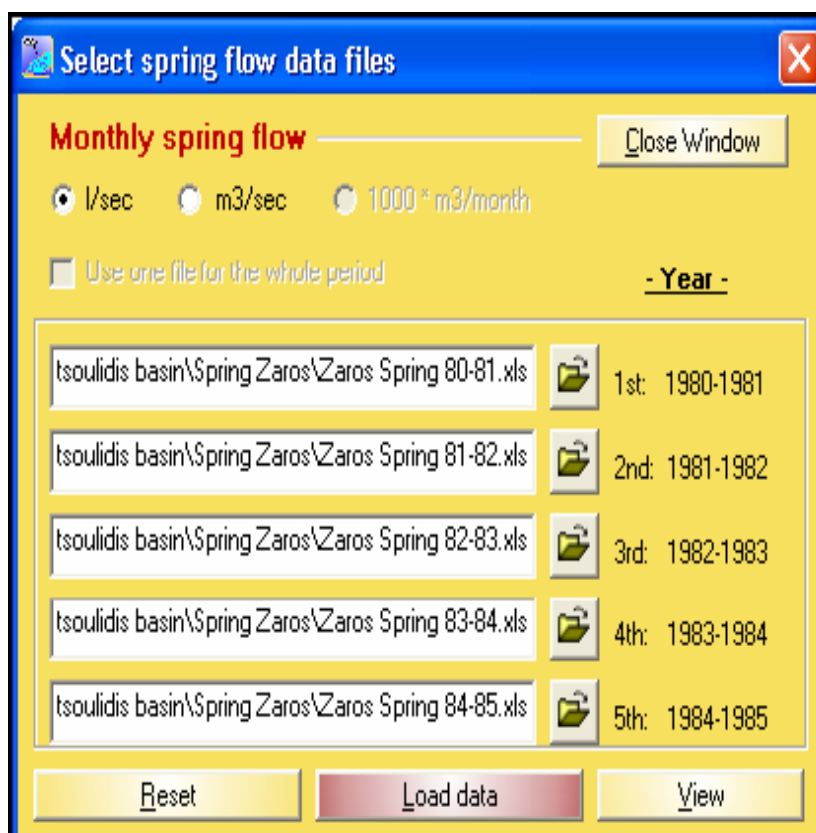
River flow /

Εικόνα 2.11 Δεδομένα σε φύλλο εργασίας Excel

Η επιλογή αρχείων δεδομένων μπορεί να γίνει μέσω τεσσάρων παραθύρων επιλογών ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων (Εικόνες 2.12, 2.13, 2.14 και 2.15). Αυτά τα παράθυρα επιλογών μπορούν να ανοίξουν χρησιμοποιώντας τα κουμπιά εντολής στο πλαίσιο των αρχείων δεδομένων του κύριου παραθύρου, ή από τις επιλογές Data (Δεδομένα).

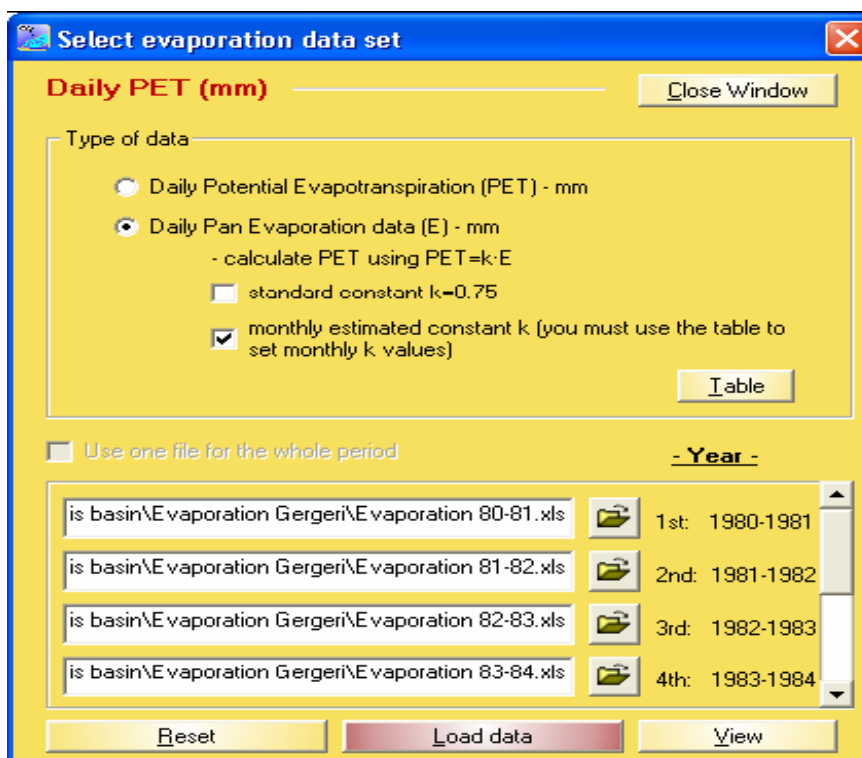


Εικόνα 2.12 Επιλογή δεδομένων βροχόπτωσης



Εικόνα 2.13 Επιλογή μονάδων μέτρησης μηνιαίας απορροής

Μετά την επιλογή όλων των αρχείων (ίσο με τον αριθμό των ετών νερού που είχαμε καθορίσει στο κύριο παράθυρο επιλογών) ενεργοποιείται η επιλογή “φόρτωση δεδομένων” και έτσι τα δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα. Ειδικά για τα στοιχεία εξάτμισης, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι άμεσα πιθανές τιμές εξατμισοδιαπνοής (PET) και να υπολογιστεί έτσι η πιθανή εξατμισοδιαπνοή με τον πολλαπλασιασμό είτε με μια τυποποιημένη ετήσια σταθερά (0.75), είτε ή με τις μηνιαίες σταθερές (εάν ο συσχετισμός μεταξύ εξάτμισης και πιθανής εξατμισοδιαπνοής είναι γνωστός για τη συγκεκριμένη περιοχή). Αυτές οι μηνιαίες σταθερές καθορίζονται σε ένα χωριστό παράθυρο (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα). Οι τιμές μπορούν να ρυθμιστούν με το χέρι στα παράθυρα κειμένου για κάθε μήνα. Μπορούν επίσης να εισαχθούν από ένα αρχείο ή να σωθούν σε ένα αρχείο (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.14 Επιλογή δεδομένων εξάτμισης-πιθανής εξατμισοδιαπνοής

Set "k" monthly values

September	0,58	March	0,83
October	0,96	April	0,73
November	1,18	May	0,71
December	1,26	June	0,59
January	1,01	July	0,68
February	0,92	August	0,57

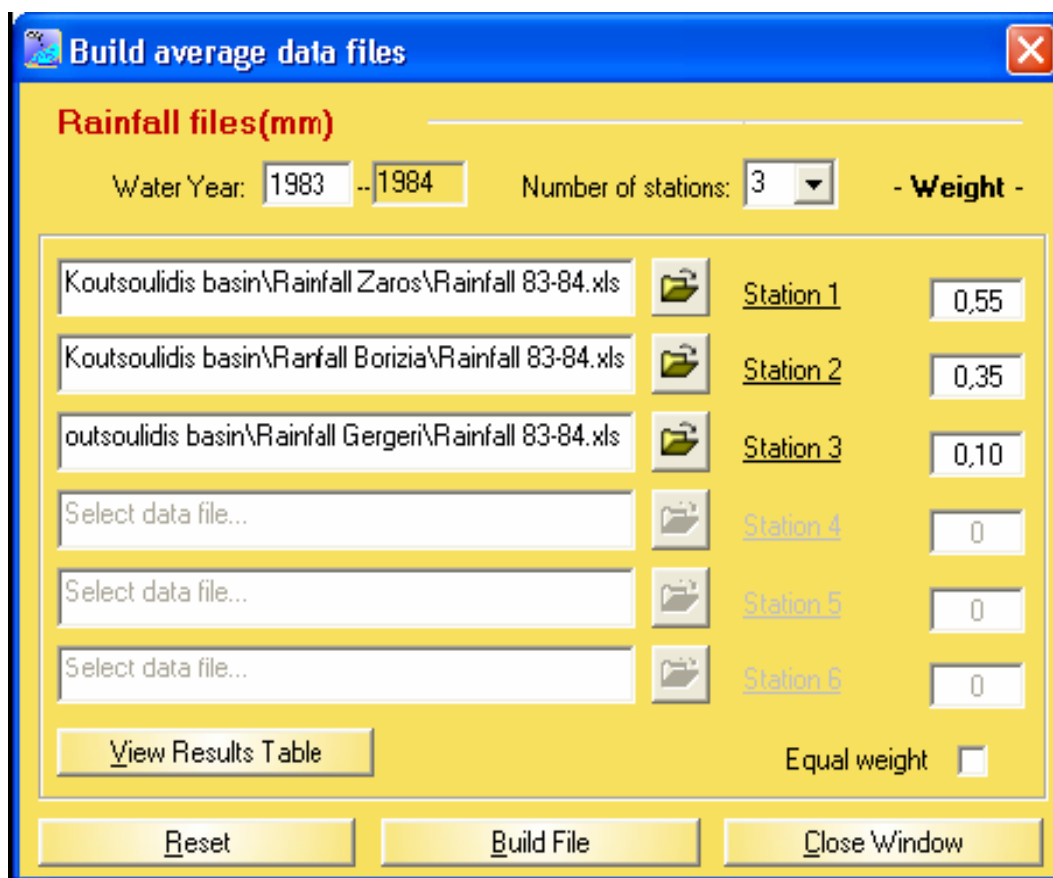
Εικόνα 2.15 Επιλογή μηνιαίων σταθερών k

Create Data Set

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
1	0,0	0,0	0,0	2,8	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	18,4	0,0	16,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	45,2	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	9,4	4,7	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	3,4	21,0	18,5	3,2	0,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	15,6	12,1	3,0	8,2	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	22,1	14,7	18,4	7,1	34,4	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	5,6	35,0	6,4	24,6	8,8	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	6,6	35,5	24,0	0,0	23,9	14,6	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	14,8	26,2	0,2	0,0	12,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	3,2	6,1	10,9	10,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	3,6	12,4	10,2	3,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,6	5,9	4,1	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	4,5	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,7	2,9	0,0	4,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	26,7	0,0	0,0	11,0	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,2	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,1	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	1,3	0,0	5,6	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	4,5	17,7	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	17,8	22,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	3,5	6,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,9	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0
30	0,0	0,0	32,3	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
31		0,0		8,3	0,0		0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
Monthly Total:	1,6	25,8	184,8	274,6	152,5	162,8	54,8	125,2	0,1	0,0	9,4	0,0

Εικόνα 2.16 Δημιουργία αρχείου δεδομένων

Δημιουργία συνόλου δεδομένων (βάσεις δεδομένων): Τα αρχεία δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν μέσα σε μια μορφή βασισμένη σε πλέγμα, είτε με τη δακτυλογράφηση των τιμών του συνόλου δεδομένων είτε με τη χρησιμοποίηση άλλων συνόλων δεδομένων για να παραγάγουν τις μέσες βροχοπτώσεις λεκανών είτε τη μέση εξάτμιση των δέκα ημερών. Αυτή η μορφή μπορεί να προσεγγιστεί από το παράθυρο Selection-Επιλογή (με το τσεκάρισμα της τρίτης επιλογής) ή από τις επιλογές προγράμματος Data-Δεδομένα (Δημιουργήστε το νέο αρχείο δεδομένων).



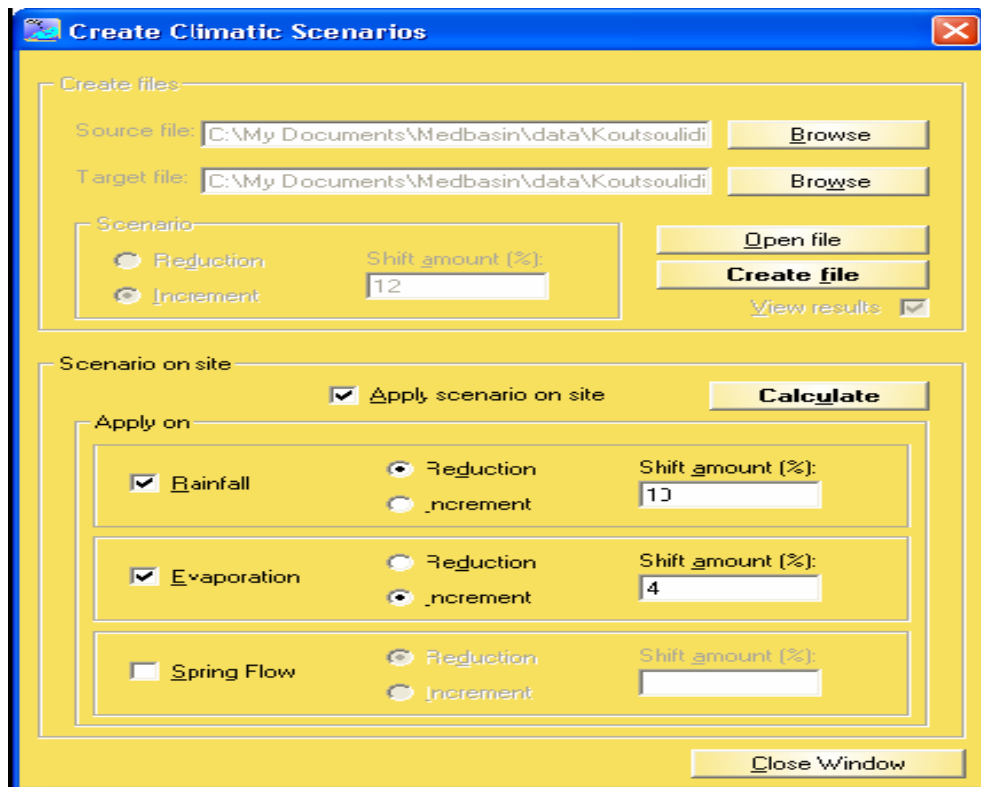
Εικόνα 2.17 Δημιουργία αρχείου βροχοπτώσεων

Για να δημιουργήσουμε το μέσο αρχείο βροχοπτώσεων (Εικόνα 2.17) μπορούμε να επιλέξουμε από την επιλογή Data Build Average Rainfall data set (δημιουργία μέσου

συνόλου στοιχείων βροχοπτώσεων), θα εμφανιστεί ένα νέο παράθυρο. Δύο έως έξι σταθμοί βροχοπτώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραγάγουν τις μέσες βροχοπτώσεις. Κάθε μέτρηση μπορεί να είναι από 0,01 έως 1,00 και το ποσό των μετρήσεων πρέπει να είναι ίσο με 1,00. Ο καθορισμός του έτους νερού είναι σημαντικός για να υπολογιστούν σωστά οι ημέρες ανά μήνα.

Δημιουργία ενός μέσου συνόλου εξάτμισης δέκα ημερών: Μια σειρά ετήσιων συνόλων δεδομένων εξάτμισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ένα δέκα ημερών μέσο σύνολο δεδομένων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στατιστικούς λόγους ή σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία εξάτμισης για μερικά έτη. Αρχικά τα αρχεία εξάτμισης πρέπει να επιλεχθούν στο παράθυρο των επίλεκτων αρχείων εξάτμισης, από τις επιλογές Data>Build Average Evaporation data set (δημιουργία μέσου συνόλου δεδομένων εξάτμισης) το νέο σύνολο δεδομένων θα δημιουργηθεί. Τα αποτελέσματα και των δύο προηγούμενων διαδικασιών θα επιδειχθούν σε ένα παράθυρο πλέγματος δεδομένων και μπορούν να σωθούν ως φύλλο εργασίας Excel.

Δημιουργία κλιματολογικών σεναρίων: Υπάρχει η επιλογή να δημιουργηθούν τα νέα αρχεία δεδομένων, που παράγονται από τα αρχικά σύνολα δεδομένων με την προσθήκη ή την αφαίρεση ενός ποσοστού των αρχικών τιμών (Εικόνα 2.18). Αυτά τα αρχεία μπορούν να φορτωθούν στο πρόγραμμα και να χρησιμοποιηθούν για να εφαρμόσουν τα σεναρία αλλαγής κλίματος. Εντούτοις, τα σεναρία μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην περιοχή, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα στοιχεία, χωρίς δημιουργία των νέων αρχείων. Για να χρησιμοποιήσει αυτή τη λειτουργία το πρόγραμμα πρέπει να θέσει κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις ως προς τους τύπους συνόλων των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 2.18 Δημιουργία κλιματικών σεναρίων

Πίνακες δεδομένων: Τα υπάρχοντα αρχεία δεδομένων παρουσιάζονται στους πίνακες που μπορούν να προσεγγιστούν μέσω των επιλογών View στο κύριο παράθυρο επιλογών του προγράμματος. Οι καθημερινές τιμές των πινάκων μπορούν να τροποποιηθούν εάν είναι απαραίτητο, τα μηνιαία και ετήσια σύνολα υπολογίζονται αυτόματα (δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης μετριοούνται σε mm, ενώ δεδομένα ροής σε m^3). Για τη διαδικασία υπολογισμού κανένα κενό κελί στα σύνολα δεδομένων δεν επιτρέπεται (ειδάλλως ένα μήνυμα λάθους θα επιδειχθεί). Εάν υπάρχουν κενά κελιά που αφήνονται κατά τη διάρκεια της τροποποίησης του συνόλου δεδομένων, πάλι ένα μήνυμα προειδοποίησης θα εμφανιστεί.

Διαδικασία βαθμονόμησης: Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται στη διαδικασία βαθμονόμησης είναι βασισμένος σε μια επαναληπτική ρουτίνα.

Αρχικά, τα όρια κάθε παραμέτρου καθώς επίσης και της επιλογής των καθορισμένων αρχικών τιμών βημάτων επανάληψης (Set initial values) εφαρμόζουν τις επιλεγμένες παραμέτρους συγκεκριμένης περιόδου από το κύριο παράθυρο καθώς οι αρχικές τιμές της βαθμονόμησης κυμαίνονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Η κράτηση μιας σταθερής τιμής για μερικές από τις παραμέτρους, με τον έλεγχο του κιβωτίου επιλογής, θα επιταχύνει αρκετά τη διαδικασία. Η επιλογή των ορίων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Η διαδικασία βελτιστοποίησης σκοπεύει να καθορίσει την ρύθμιση των παραμέτρων η οποία θα ελαχιστοποιήσει την επιλεγμένη αντικειμενική λειτουργία. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές αλλάζοντας το εύρος και την σταθερή τιμή των παραμέτρων, μέχρι να επιτευχθεί μια ικανοποιητική τιμή αντικειμενικής λειτουργίας. Μετά από το τέλος της διαδικασίας βαθμονόμησης, οι βέλτιστες (επιλεγμένες) τιμές μπορούν να εφαρμοστούν στο πρόγραμμα είτε αυτόματα (με τον έλεγχο του παραθύρου επιλογής), είτε με την επιλογή Apply to the project (εφαρμογή στο πρόγραμμα).

Στο παράθυρο των επιλογών βαθμονόμησης είναι δυνατό να αποκλειστούν δεδομένα (ημερήσια ή μηνιαία) από τη διαδικασία βαθμονόμησης. Ο αποκλεισμός δεδομένων είναι ένας τρόπος να αποφευχθούν τα προβλήματα που προκαλούνται από τα ανακριβή ή ελλιπή στοιχεία. Εντούτοις, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως τεχνική για να στραφεί η βελτιστοποίηση στα συγκεκριμένα μέρη του υδρογραφήματος (π.χ. αιχμές). Οι ρυθμίσεις δεδομένων που έχουν εξαιρεθεί μπορούν να σωθούν ή να φορτωθούν από ένα αρχείο. Στο ίδιο παράθυρο οι διαδικασίες βαθμονόμησης και επαλήθευσης μπορούν να ρυθμιστούν σε καθημερινή ή μηνιαία βάση. Εάν η επιλογή επαλήθευσης επιλεγθεί στο μενού επιλογών διαδικασίας, οι τιμές των κριτηρίων επαλήθευσης θα εμφανιστούν στο αντίστοιχο πλαίσιο.

Calibration Range	From	Selected	To	Step	Fixed Value
Umax (maximum value of the interception storage - mm)	10	40	50	5	<input type="checkbox"/>
Lmax (maximum total soil storage capacity - mm)	300	420	500	10	<input type="checkbox"/>
LFC (field capacity - mm)	50	100	110	5	<input type="checkbox"/>
T01 (delay factor for deep spring reservoir - days)	64	64	80	4	<input checked="" type="checkbox"/>
T02 (delay factor for shallow spring reservoir - days)	12	12	30	4	<input checked="" type="checkbox"/>
T03 (delay factor for interflow reservoir - days)	2	4	8	1	<input type="checkbox"/>
T04 (delay factor for storm runoff reservoir - days)	0,5	0,5	1	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>
CL2 (factor controlling flow to groundwater reservoirs)	0,1	0,1	0,1	0,999	<input checked="" type="checkbox"/>
A1 (area contributing to deep spring reservoir - km2)	2	2	10	2	<input checked="" type="checkbox"/>
A2 (area contributing to shallow spring reservoir - km2)	8	8	16	2	<input checked="" type="checkbox"/>
A3 (area contributing to interflow reservoir - km2)	20	28	35	2	<input type="checkbox"/>
A4 (area contributing to storm runoff reservoir, total area of the basin - km2)	39	39	46	7	<input checked="" type="checkbox"/>
CT (storm runoff constant)	0,3	1	1	0,1	<input type="checkbox"/>
Q0 (storm runoff constant - mm)	0	0,2	1	0,1	<input type="checkbox"/>

Buttons: Load settings, Save settings, Automatically apply calibrated parameters, Help, Set initial values, Reset, Apply to project, **Calibrate**, Close Window

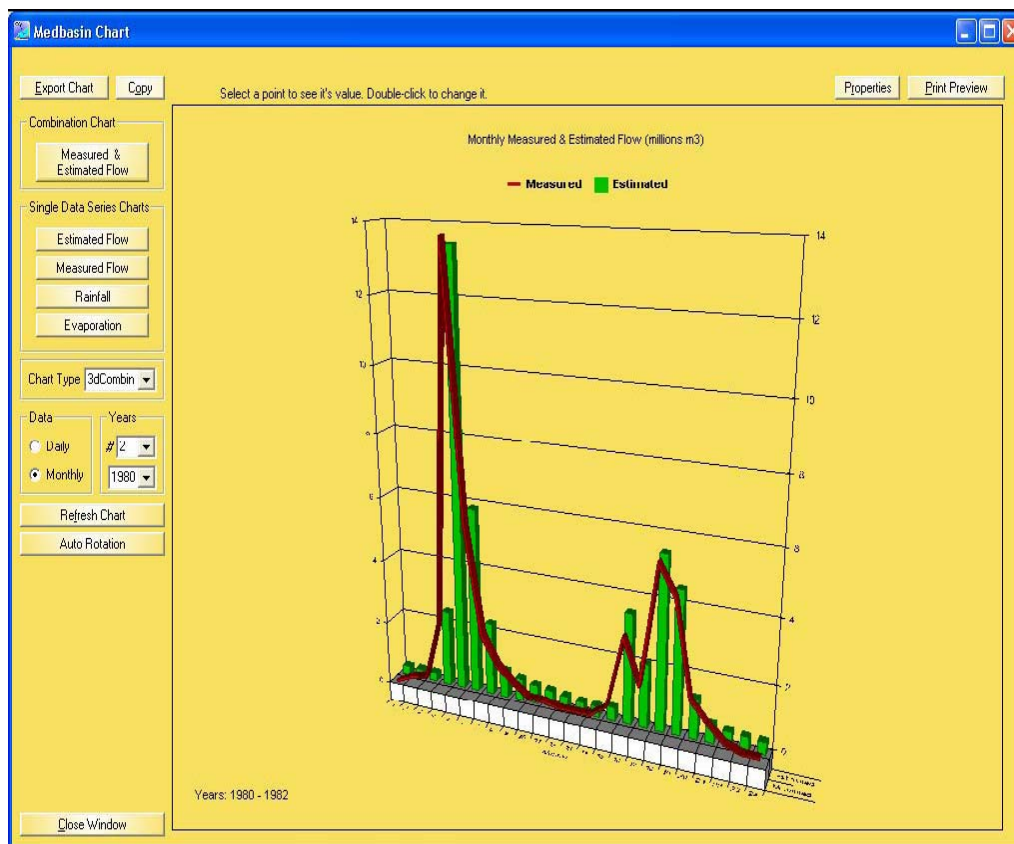
Εικόνα 2.19 Εύρος παραμέτρων βαθμονόμησης

Πριν από την έναρξη της βαθμονόμησης (Εικόνα 2.19) ένα μήνυμα ενημερώνει για την αναμενόμενη διάρκεια της διαδικασίας. Είναι δυνατό να διακοπεί η διαδικασία βαθμονόμησης αν πιάσουμε το πλήκτρο Esc.

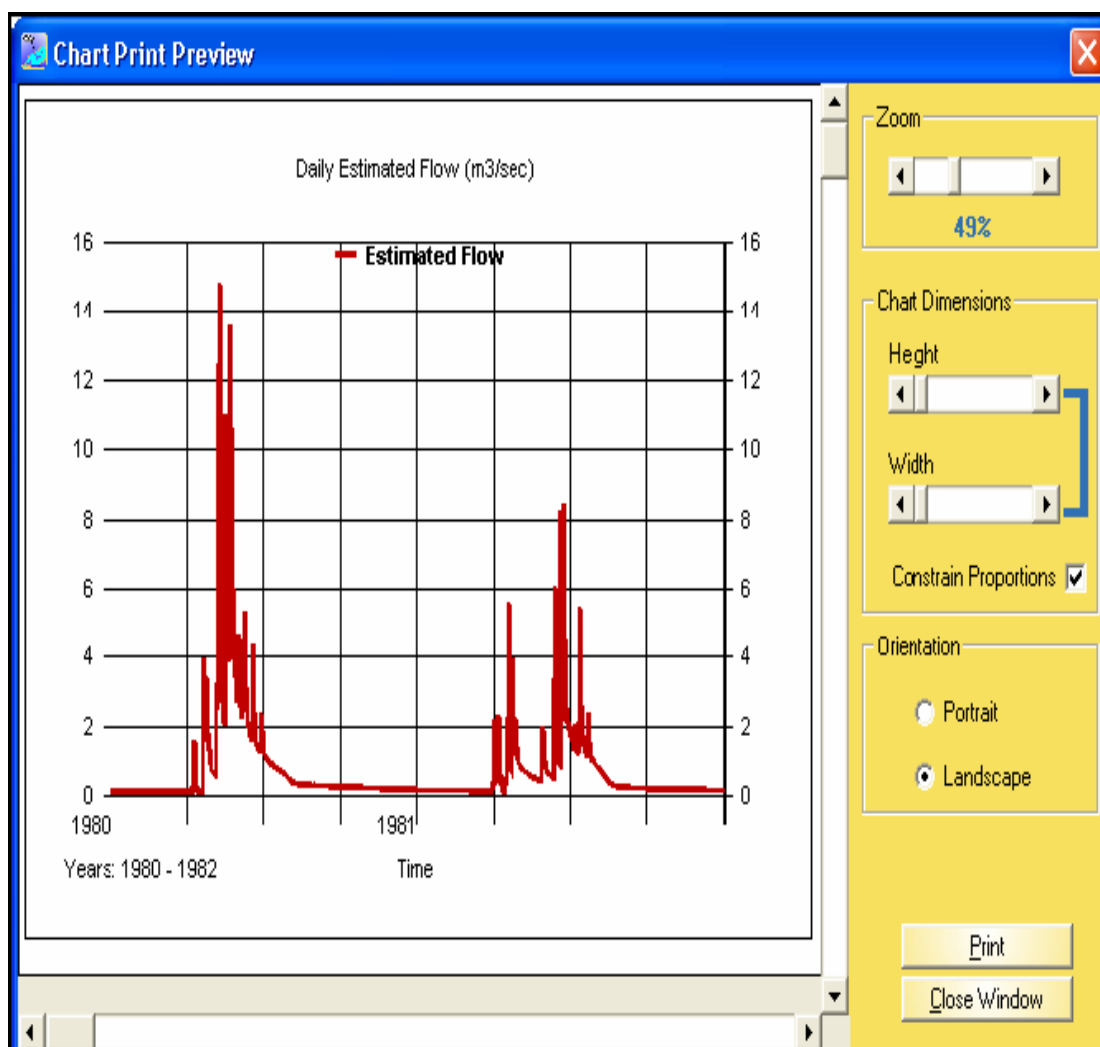
Διαδικασία προσομοίωσης απορροών: Αφότου έχουν τεθεί οι παράμετροι, η προσομοίωση απορροών μπορεί να αρχίσει με την επιλογή Calculate στο κύριο παράθυρο ή από τις επιλογές: Process> Υπολογίστε. Η διαδικασία επαλήθευσης μπορεί επίσης να τρέξει εάν τα μετρημένα στοιχεία ροής έχουν παρασχεθεί και η επιλογή επαλήθευσης ελέγχεται (Εικόνα 2.20). Υπάρχουν δύο εκδόσεις του προτύπου που μπορεί να προσεγγιστεί από τις επιλογές: Process> Τύπος προτύπου. Διαφέρουν με τον τρόπο που υπολογίζουν το ποσό προσθήκης υγρασίας στη δεξαμενή απορροών

επιφάνειας. Τα αποτελέσματα μπορούν να σωθούν άμεσα στα επιλεγμένα αρχεία στο παράθυρο των επίλεκτων αρχείων προορισμού (Select destination files) και μπορούν να προβληθούν στο παράθυρο των πινάκων δεδομένων (Data and results tables) ή να προσδιορισθούν γραφικά στο παράθυρο διαγραμμάτων (Chart window).

Σε ότι αφορά το παράθυρο διαγραμμάτων, οι σειρές και τα αποτελέσματα των δεδομένων μπορούν να προβληθούν γραφικά. Υπάρχουν τέσσερις ενιαίες επιλογές διαγραμμάτων σειράς (κατ' εκτίμηση ροή, μετρημένη ροή, στοιχεία βροχοπτώσεων και στοιχεία εξάτμισης) και διάγραμμα ενός συνδυασμού (που αφορά μετρημένη και κατ' εκτίμηση ροή). Τα διαγράμματα μπορούν να είναι ημερήσιας ή μηνιαίας βάσης και η περίοδος ετών των διαγραμμάτων που απεικονίζονται μπορεί να καθοριστεί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι δισδιάστατων και τρισδιάστατων διαγραμμάτων που είναι διαθέσιμα από τον κατάλογο επιλογών.



Εικόνα 2.20 Διάγραμμα μετρημένης-εκτιμημένης απορροής



Εικόνα 2.21 Παράθυρο επιλογών προεπισκόπησης εκτύπωσης διαγραμμάτων

Στο παράθυρο με τις ιδιότητες των διαγραμμάτων η βασική απεικόνιση του διαγράμματος καθώς και τα χαρακτηριστικά του μπορούν να ρυθμιστούν κατάλληλα, ενώ μπορούν να καθοριστούν και οι επιλογές εκτύπωσης του διαγράμματος μέσω επιλογών από το παράθυρο προεπισκόπησης εκτύπωσης διαγραμμάτων (Chart Print Preview), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.21.

Μετά από μια νέα φόρτωση δεδομένων ή από έναν νέο υπολογισμό το διάγραμμα πρέπει να επαναπροσδιορισθεί με την επιλογή ανανέωση διαγράμματος (Refresh chart) για να έχουμε τα νέα αποτελέσματα (Εικόνα 2.22).



Εικόνα 2.22 Επιλογές ιδιοτήτων διαγράμματος

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκτιμημένη απορροή υπολογίστηκε με το υδρολογικό μοντέλο Med Basin εισάγοντας σε αυτό ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και μετρημένης απορροής. Οι χρονοσειρές των δεδομένων αφορούν μια περίοδο τριών υδρολογικών ετών (Σεπτέμβριος - Αύγουστος 2006-2009). Βάσει αυτών των δεδομένων τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία τους από το μοντέλο δίνονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα:

Πίνακας 3.1 Εκτιμημένη απορροή (σε m³/sec) για το έτος 2006-2007

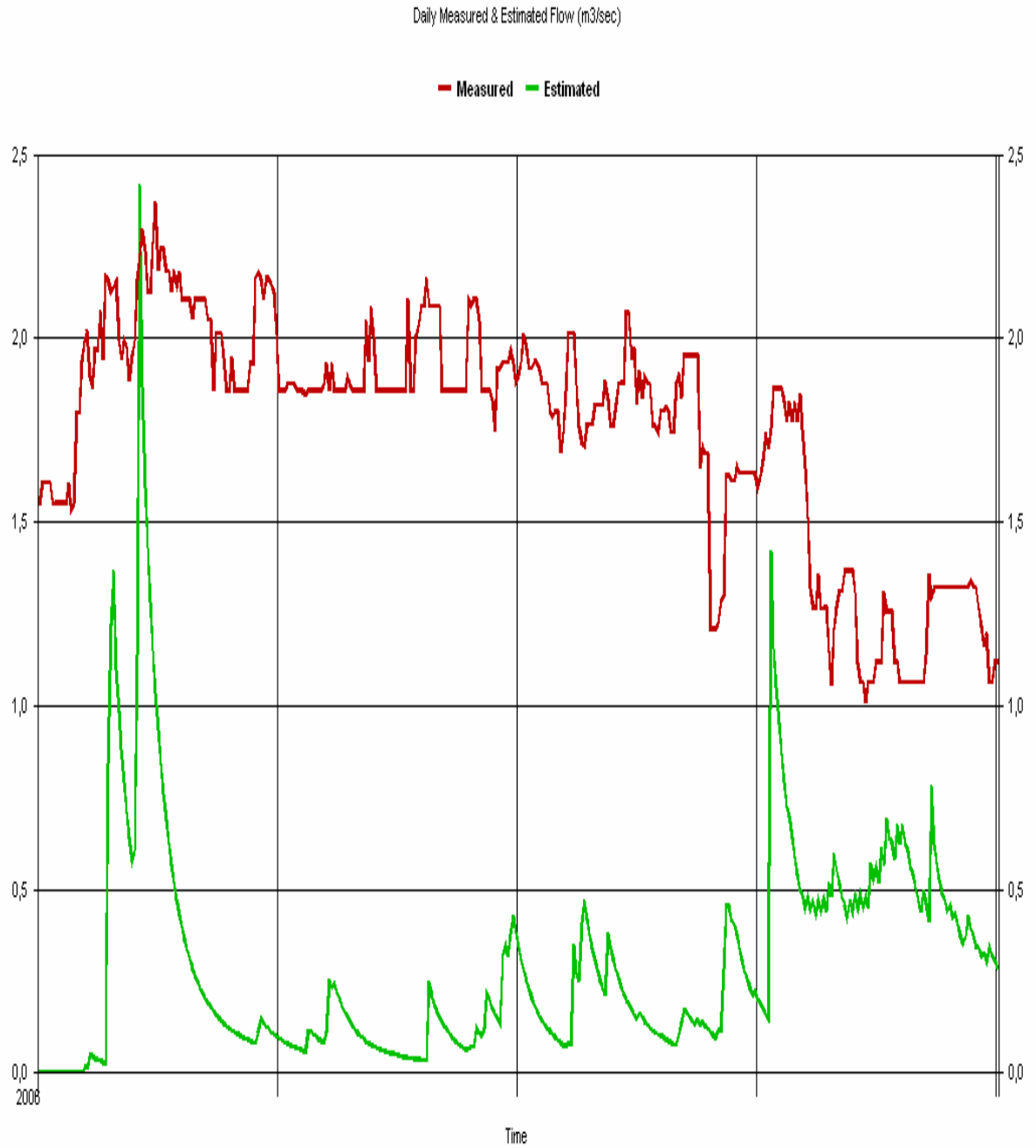
Day.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0,000	0,986	0,232	0,096	0,103	0,140	0,384	0,282	0,077	0,204	0,551	0,469
2	0,000	0,884	0,217	0,091	0,096	0,127	0,345	0,255	0,106	0,194	0,516	0,438
3	0,000	0,793	0,204	0,086	0,087	0,116	0,311	0,231	0,138	0,178	0,478	0,499
4	0,000	0,713	0,192	0,082	0,082	0,106	0,281	0,210	0,170	0,163	0,458	0,464
5	0,000	0,642	0,180	0,078	0,078	0,097	0,254	0,380	0,168	0,150	0,426	0,410
6	0,000	0,578	0,170	0,074	0,074	0,089	0,230	0,345	0,155	1,423	0,472	0,782
7	0,000	0,605	0,160	0,071	0,070	0,082	0,208	0,313	0,143	1,158	0,438	0,624
8	0,000	1,135	0,152	0,068	0,066	0,075	0,189	0,285	0,132	1,051	0,483	0,575
9	0,000	2,417	0,144	0,065	0,063	0,070	0,173	0,260	0,145	0,955	0,449	0,530
10	0,000	1,868	0,137	0,062	0,060	0,064	0,158	0,237	0,134	0,870	0,489	0,491
11	0,000	1,597	0,130	0,060	0,058	0,065	0,144	0,217	0,142	0,794	0,454	0,475
12	0,000	1,431	0,124	0,111	0,055	0,072	0,136	0,199	0,131	0,726	0,482	0,441
13	0,000	1,284	0,118	0,117	0,053	0,071	0,125	0,190	0,122	0,699	0,447	0,457
14	0,000	1,154	0,113	0,109	0,051	0,126	0,116	0,175	0,113	0,642	0,570	0,425
15	0,000	1,038	0,108	0,102	0,049	0,115	0,107	0,161	0,105	0,590	0,527	0,434
16	0,000	0,935	0,104	0,095	0,047	0,104	0,099	0,150	0,098	0,544	0,560	0,404
17	0,000	0,844	0,099	0,089	0,045	0,121	0,091	0,164	0,116	0,503	0,517	0,377
18	0,018	0,763	0,096	0,084	0,043	0,218	0,085	0,153	0,114	0,482	0,614	0,352
19	0,017	0,691	0,092	0,112	0,042	0,199	0,079	0,142	0,281	0,447	0,566	0,372
20	0,051	0,627	0,088	0,256	0,040	0,180	0,074	0,133	0,455	0,478	0,694	0,426
21	0,046	0,570	0,085	0,232	0,039	0,163	0,083	0,125	0,454	0,444	0,638	0,395
22	0,041	0,520	0,082	0,243	0,038	0,148	0,078	0,117	0,418	0,467	0,629	0,372
23	0,037	0,474	0,109	0,221	0,036	0,134	0,350	0,110	0,406	0,434	0,581	0,347
24	0,034	0,434	0,150	0,201	0,035	0,321	0,275	0,107	0,380	0,475	0,675	0,341
25	0,031	0,398	0,140	0,184	0,034	0,349	0,249	0,102	0,343	0,441	0,622	0,319
26	0,028	0,366	0,130	0,168	0,035	0,314	0,409	0,099	0,310	0,473	0,677	0,326
27	0,843	0,337	0,122	0,154	0,250	0,376	0,470	0,094	0,281	0,439	0,624	0,305
28	1,219	0,311	0,114	0,142	0,209	0,427	0,422	0,089	0,255	0,516	0,608	0,346
29	1,370	0,288	0,108	0,130	0,188		0,380	0,085	0,234	0,478	0,562	0,323
30	1,101	0,267	0,101	0,120	0,170		0,342	0,080	0,213	0,597	0,543	0,307
31		0,249		0,111	0,154		0,311		0,223		0,504	0,288

Πίνακας 3.2 Εκτιμημένη απορροή (σε m³/sec) για το έτος 2007-2008

Day.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0,279	0,088	0,868	0,262	0,242	0,054	0,084	0,052	0,197	0,121	0,298	0,430
2	0,263	0,085	0,796	0,243	0,224	0,053	0,079	0,050	0,204	0,116	0,274	0,395
3	0,248	0,083	0,798	0,226	0,208	0,051	0,075	0,047	0,191	0,111	0,297	0,420
4	0,234	0,080	0,891	0,231	0,193	0,049	0,071	0,400	0,217	0,106	0,274	0,387
5	0,221	0,078	0,804	0,216	0,180	0,206	0,067	0,713	0,203	0,102	0,303	0,391
6	0,210	0,076	0,726	0,202	0,180	0,274	0,064	0,639	0,409	0,097	0,279	0,361
7	0,199	0,074	0,657	0,189	0,173	0,284	0,130	0,575	0,943	0,094	0,257	0,397
8	0,190	0,140	0,596	0,178	0,162	0,626	0,167	0,518	0,696	0,254	0,238	0,367
9	0,181	0,293	0,542	0,477	0,152	0,484	0,153	0,468	0,631	0,235	0,220	0,340
10	0,173	0,821	0,497	0,418	0,142	0,436	0,154	0,423	0,573	0,278	0,301	0,343
11	0,165	1,320	0,454	0,382	0,133	0,394	0,229	0,383	0,522	0,255	0,277	0,318
12	0,158	0,996	0,415	0,505	0,125	0,356	0,209	0,348	0,476	0,235	0,325	0,373
13	0,152	0,900	0,380	0,474	0,118	0,322	0,190	0,316	0,435	0,217	0,299	0,346
14	0,146	0,808	0,393	0,432	0,117	0,293	0,174	0,462	0,398	0,201	0,331	0,351
15	0,140	0,726	0,534	0,433	0,111	0,266	0,159	0,478	0,366	0,186	0,305	0,325
16	0,135	0,654	0,583	0,396	0,105	0,242	0,146	0,434	0,337	0,173	0,336	0,393
17	0,149	0,589	0,901	0,379	0,100	0,221	0,134	0,394	0,311	0,161	0,309	0,363
18	0,142	0,532	0,840	0,367	0,095	0,203	0,123	0,359	0,287	0,150	0,404	0,490
19	0,136	0,482	0,759	0,337	0,091	0,186	0,114	0,328	0,266	0,141	0,371	0,450
20	0,131	0,484	0,687	0,310	0,087	0,171	0,105	0,300	0,247	0,132	0,390	0,438
21	0,125	0,446	0,622	0,285	0,083	0,157	0,098	0,275	0,230	0,245	0,359	0,404
22	0,121	1,509	0,565	0,263	0,079	0,145	0,091	0,253	0,215	0,226	0,401	0,476
23	0,116	0,954	0,514	0,244	0,076	0,135	0,085	0,233	0,201	0,252	0,368	0,439
24	0,112	0,867	0,469	0,226	0,073	0,125	0,083	0,215	0,189	0,232	0,362	0,454
25	0,108	0,781	0,428	0,232	0,070	0,116	0,077	0,199	0,177	0,269	0,334	0,419
26	0,104	0,704	0,392	0,311	0,067	0,109	0,073	0,258	0,167	0,247	0,309	0,450
27	0,100	0,706	0,360	0,328	0,065	0,101	0,068	0,261	0,158	0,264	0,286	0,416
28	0,097	0,777	0,331	0,300	0,062	0,095	0,066	0,242	0,149	0,244	0,300	0,415
29	0,094	0,746	0,305	0,276	0,060	0,089	0,062	0,226	0,141	0,269	0,279	0,384
30	0,091	0,674	0,282	0,254	0,058		0,058	0,211	0,134	0,248	0,286	0,396
31		0,844		0,235	0,056		0,055		0,127		0,267	0,367

Πίνακας 3.3 Εκτιμημένη απορροή (σε m³/sec) για το έτος 2008-2009

Day.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.
1	0,342	1,029	0,234	0,393	0,518	0,941	0,155	0,329	0,340	0,328	0,429	0,278
2	0,319	0,931	0,220	0,358	0,478	0,954	0,148	0,303	0,381	0,300	0,391	0,326
3	0,298	0,916	0,208	0,363	0,514	0,886	0,141	0,364	0,471	0,275	0,358	0,301
4	0,279	0,831	0,196	0,622	0,598	0,841	0,135	0,334	0,469	0,252	0,328	0,312
5	0,261	0,857	0,185	0,517	0,601	0,786	0,267	0,308	0,445	0,232	0,301	0,288
6	0,246	0,779	0,176	0,469	0,614	0,714	0,373	0,284	0,404	0,215	0,297	0,284
7	0,282	0,709	0,167	0,547	0,561	0,651	0,474	0,263	0,368	0,199	0,324	0,264
8	0,264	0,647	0,159	0,496	0,514	0,594	0,446	0,244	0,335	0,196	0,298	0,245
9	0,255	0,592	0,151	0,450	0,486	0,544	0,407	0,227	0,306	0,182	0,274	0,276
10	0,240	0,542	0,144	0,410	0,482	0,499	0,373	0,212	0,280	0,169	0,253	0,310
11	0,296	0,498	0,138	0,374	0,443	0,458	0,342	0,198	0,257	0,158	0,234	0,286
12	0,277	0,458	0,132	0,739	0,408	0,422	0,314	0,186	0,248	0,216	0,217	0,319
13	0,259	0,423	0,127	1,174	0,377	0,414	0,289	0,175	0,229	0,200	0,201	0,302
14	0,242	0,391	0,121	0,922	0,441	0,383	0,267	0,196	0,211	0,271	0,188	0,279
15	0,455	0,363	0,131	1,502	0,583	0,355	0,247	0,197	0,195	0,249	0,175	0,257
16	0,480	0,337	0,218	1,722	0,531	0,329	0,229	0,184	0,185	0,289	0,164	0,238
17	0,459	0,314	0,231	1,516	0,486	0,306	0,213	0,173	0,172	0,266	0,180	0,221
18	0,422	0,293	0,229	1,792	0,446	0,286	0,199	0,162	0,160	0,259	0,168	0,205
19	0,389	0,399	0,669	1,539	0,410	0,272	0,186	0,158	0,247	0,646	0,237	0,191
20	0,359	0,370	0,500	1,385	0,377	0,255	0,174	0,175	0,228	0,488	0,219	0,182
21	0,333	0,344	0,453	1,248	0,352	0,239	0,389	0,164	0,211	0,443	0,262	0,171
22	0,309	0,320	0,412	1,126	0,453	0,225	1,141	0,348	0,195	0,531	0,242	0,178
23	0,287	0,298	0,511	1,018	1,833	0,212	0,762	0,733	0,181	0,499	0,343	0,167
24	0,268	0,279	0,497	0,922	2,230	0,200	0,689	0,559	0,169	0,470	0,315	0,172
25	0,559	0,261	0,453	0,837	1,649	0,189	0,624	0,506	0,195	0,656	0,319	0,162
26	1,698	0,246	0,412	0,761	1,482	0,179	0,566	0,458	0,181	0,572	0,293	0,152
27	1,147	0,231	0,375	0,709	1,332	0,170	0,514	0,417	0,168	0,518	0,308	0,143
28	1,147	0,218	0,342	0,739	1,325	0,162	0,468	0,379	0,248	0,561	0,284	0,135
29	1,307	0,206	0,471	0,674	1,194		0,427	0,379	0,289	0,518	0,344	0,127
30	1,139	0,195	0,432	0,616	1,076		0,390	0,345	0,319	0,471	0,317	0,121
31		0,249		0,564	0,976		0,358		0,360		0,301	0,105



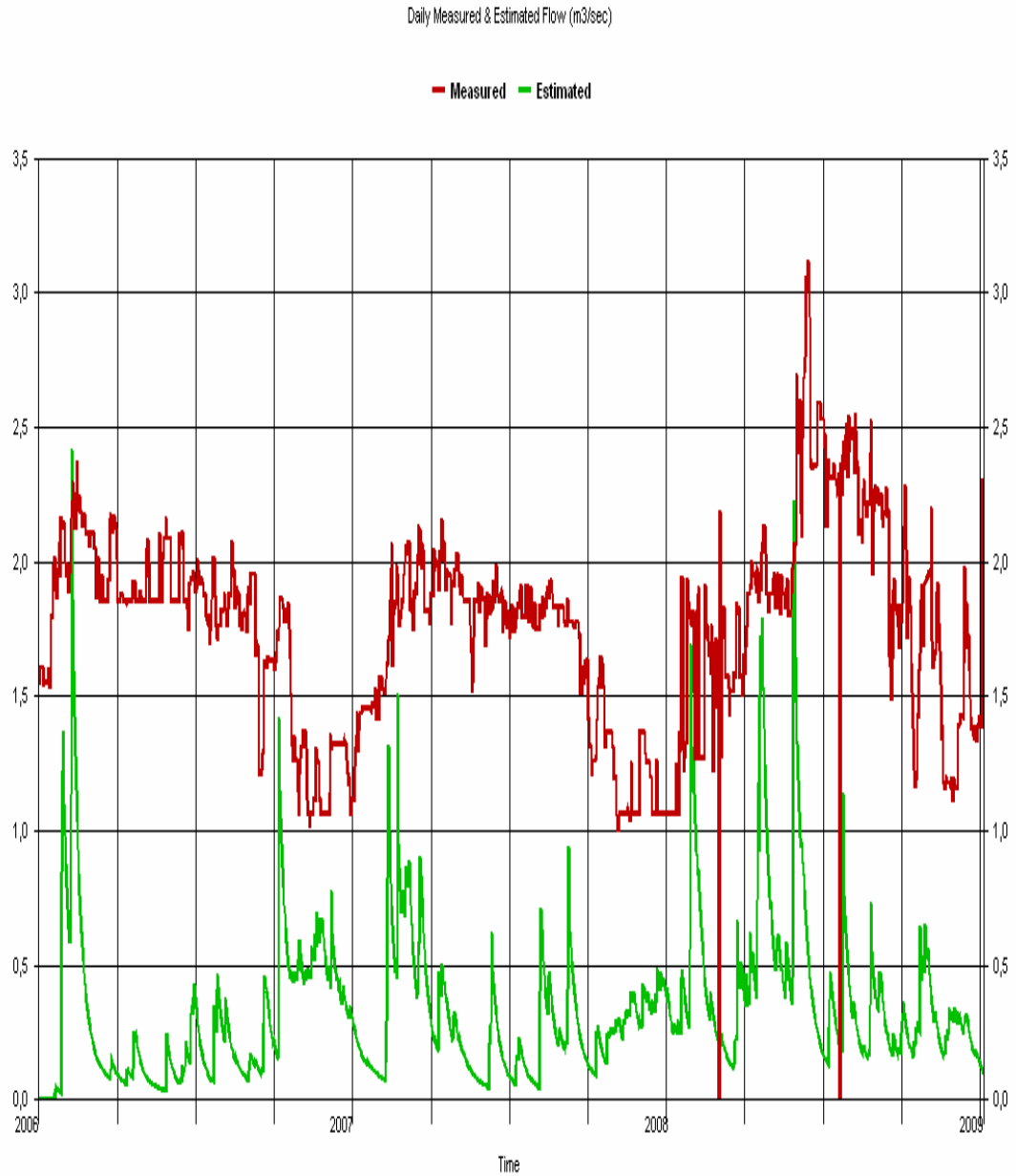
Year: 2006 - 2007

Σχήμα 3.1 Διάγραμμα μετρημένης (με κόκκινο) – εκτιμημένης (με πράσινο) αποροής για το έτος 2006 – 2007



Years: 2006 - 2008

Σχήμα 3.2 Διάγραμμα μετρημένης (με κόκκινο) – εκτιμημένης (με πράσινο) απορροής για τα έτη 2006 – 2008



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα μετρημένης (με κόκκινο) – εκτιμημένης (με πράσινο) απορροής για τα έτη 2006 – 2009

Για τον υπολογισμό της πιθανής εξατμισοδιαπνοής (PET) από το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε μια τυποποιημένη μηνιαία σταθερά ($k=0,75$) διότι δε γνωρίζαμε τον ακριβή συσχετισμό μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές μηνιαίες σταθερές. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των μετρημένων-εκτιμημένων απορροών το μοντέλο Med Basin προσομοιώνει αρκετά καλά ως ικανοποιητικά τα μέγιστα των απορροών και των τριών υδρολογικών ετών αλλά αποτυγχάνει να προσομοιώσει όλες τις υπόλοιπες τιμές απορροών, τόσο τις μέσες όσο και τις χαμηλές. Είναι χαρακτηριστική η μεγάλη απόκλιση από τις χαμηλές τιμές απορροών στις άνομβρες περιόδους κάθε έτους (π.χ. τον Ιούνιο και των τριών ετών). Αυτό μπορεί να οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Οι ημερήσιες τιμές απορροής του ΥΗΣ Άγρα δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική απορροή παρά μόνο αυτή που συγκεντρώνει ο σταθμός στην περιοχή του φράγματος,
- Οι τιμές της βροχόπτωσης έχουν μετρηθεί από δύο μόνο βροχόμετρα τα οποία δεν έχουν σχεδόν καμία διαφορά υψομέτρου (το πρώτο βροχόμετρο βρίσκεται στα 470 m και το δεύτερο στα 479m),
- Η ύπαρξη καρστικών φαινομένων όπως οι ασυνέχειες και οι καταβόθρες επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μετρημένης απορροής καθώς και η ύπαρξη αρκετών καρστικών πηγών όπου εκφορτίζονται μέσα στη λίμνη, μεταφέροντας νερό από άλλες λεκάνες απορροής.
- Τέλος αυτό μπορεί να οφείλεται και στο ίδιο το υδρολογικό μοντέλο, το οποίο μπορεί να μην είναι το πιο κατάλληλο για να προσαρμοστεί στη συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία έχει ως θέμα την διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου Med Basin. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Άγρα. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής του μετεωρολογικού σταθμού ιδιοκτησίας του ΥΗΣ Άγρα, ο οποίος είναι εγκατεστημένος ανάντη του οικισμού Άγρα, στη θέση εισόδου της προσαγωγού διώρυγας προς το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. Η θέση αυτή βρίσκεται εκτός της στενής περιοχής μελέτης, ωστόσο σε μικρή απόσταση από αυτήν. Επομένως εκτιμάται ότι τα δεδομένα σε ημερήσια διάταξη και για μια χρονική περίοδο τριών ετών (2006-2009) του σταθμού αυτού μπορούν με ικανοποιητική ακρίβεια να αποδώσουν την κατάσταση από πλευράς ύψους βροχόπτωσης εντός της λεκάνης του υδροτόπου. Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από δύο βροχόμετρα τα οποία ήταν τοποθετημένα στον υδροηλεκτρικό σταθμό της ΔΕΗ (στο ύψος του φράγματος, 470 m) και στο υψηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής (σε ύψος 479 m). Τα υδρολογικά έτη ορίστηκαν από τον Σεπτέμβριο του 2006 έως και τον Αύγουστο του 2007 και αντίστοιχα ορίστηκαν και τα έτη 2008 και 2009. Στο μοντέλο εισήχθησαν τα δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης για να μπορέσει αυτό να προσομοιώσει την μετρημένη απορροή που είχαμε από τα στοιχεία της ΔΕΗ. Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε ότι η εκτιμημένη απορροή που προσομοίωσε το μοντέλο είναι αρκετά καλή ως ικανοποιητική όσο αφορά τα μέγιστα των τιμών της μετρημένης απορροής. Αντιθέτως υπάρχει σημαντική απόκλιση ως προς όλες τις υπόλοιπες τιμές των απορροών, οι οποίες αποτελούν την πλειοψηφία των μετρήσεων κατά τη διάρκεια αυτών των τριών ετών μελέτης.

Από τη μελέτη των μετρήσεων της βροχόπτωσης προκύπτει ότι οι ξηρότεροι μήνες είναι οι θερινοί και οι πλέον υγροί μήνες οι χειμερινοί. Η εικόνα αυτή συνάδει με τη συνήθη κατανομή βροχής-απορροής στον ευρύτερο χώρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών παρατηρούνται σημαντικά επεισόδια βροχόπτωσης και ως εκ τούτου το ύψος βροχής των θερινών μηνών δεν είναι αμελητέο. Επίσης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η χρονική περίοδος παρατήρησης χαρακτηρίζεται από έντονες κυμάνσεις του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης και τα έτη 2006 και 2009 παρουσιάζονται ως ιδιαίτερος υγρά (κυρίως το 2009). Το πλεονάζον του μέσου όρου ύψος βροχής κατά το έτος 2009 σημειώνεται σε γενικές γραμμές με τη μορφή υψηλότερης βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των τυπικών υγρών μηνών. Έτσι, οι τυπικά ξηροί μήνες εμφανίζουν σε γενικές γραμμές τα συνήθη ύψη βροχής. Επομένως η κατανομή της πλεονάζουσας βροχόπτωσης γίνεται σε επιλεκτικές χρονικές περιόδους του έτους. Το γεγονός των μειωμένων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία της λίμνης και τον όγκο νερού που αποθηκεύεται σε αυτήν, όπως επίσης και τους μηχανισμούς που ελέγχουν τις βιοτικές παραμέτρους της λίμνης (χλωρίδα-πανίδα). Το μοντέλο δεν προσομοιώνει ικανοποιητικά το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της λίμνης του Άγρα. Χρειάζεται περαιτέρω μελέτη και ίσως και η εφαρμογή και άλλων μοντέλων ή άλλων μεθόδων για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα. Συνοψίζοντας τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα που αφορούν στους μηχανισμούς λειτουργίας και εξέλιξης του υδατικού σώματος της λίμνης Νησίου.

- Η υδραυλική συμπεριφορά του υδατικού σώματος παρουσιάζει ομοιότητες τόσο με μία τυπική λίμνη όσο και με ένα ποτάμι.

- Η τροφοδοσία του υδατικού σώματος στηρίζεται κύρια στις εκφορτίσεις των 4 μεγάλων πηγών που εκβάλλουν στο κεντρικό και δυτικό τμήμα αυτού (πηγές Βρυττών, Νησίου).
- Πρόσθετη τροφοδοσία δέχεται το υδατικό σώμα από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην ελεύθερη επιφάνειά του, καθώς και τις υπόγειες πλευρικές μεταγίσεις από το φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται περίξ αυτής στο νότιο τμήμα της (κατά τις περιόδους που η στάθμη σε αυτόν είναι υψηλότερη της στάθμης της λίμνης). Επίσης, πολύ μεγάλο μέρος αυτής της διαφοράς μεταξύ μετρημένων και υπολογισμένων τιμών, οφείλεται στα έντονα καρστικά φαινόμενα όπως περιγράφηκε πιο πριν.
- Τέλος, στη δίαιτα της λίμνης συνεισφέρουν οι απορροές των βασικών χειμάρρων που εκβάλλουν σ' αυτήν.

Η κύρια εκφόρτιση της λίμνης επιτελείται μέσω των απολήψεων σε ημερήσια βάση από το φράγμα στα ανατολικά της όρια. Σημαντικός παράγοντας εκτιμάται ότι είναι επίσης οι απολήψεις για κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής, καθώς επίσης και οι απώλειες λόγω εξάτμισης από την ελεύθερη επιφάνεια της λίμνης. Ωστόσο λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων οι παράμετροι αυτές δεν είναι δυνατό να προσεγγιστούν.

Η σημαντική κύμανση που παρατηρείται στα ανατολικά όρια της λίμνης (ανάντη του φράγματος), είναι το αποτέλεσμα της περιοδικής εκφόρτισής της και του γεγονότος ότι η λίμνη στο σύνολό της δε χαρακτηρίζεται από μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα. Αξίζει να σημειωθεί η εποχιακή κύμανση της στάθμης παρουσιάζει εικόνα αντίθετη με την υδρολογικά αναμενόμενη. Δηλαδή οι μέγιστες τιμές στάθμης διαμορφώνονται κατά την ξηρή θερινή περίοδο και οι ελάχιστες κατά την υγρή χειμερινή περίοδο. Αυτό είναι το αποτέλεσμα της διαχειριστικής πρακτικής που

εφαρμόζει ο ΥΗΣ Άγρα για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής. Έτσι, κατά την έναρξη της υγρής περιόδου όπου εμπειρικά αναμένονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής και έντονα επεισόδια βροχόπτωσης, το φράγμα λειτουργεί για περισσότερες ώρες κάθε ημέρα και εκφορτίζει μεγαλύτερους όγκους νερού. Αυτό οδηγεί σε τεχνητή ταπείνωση της στάθμης σε επίπεδα κατώτερα αυτών που μπορεί να φιλοξενήσει η λίμνη. Αυτή η πρακτική ακολουθείται ώστε να υφίσταται διαρκώς επαρκές περιθώριο στη λίμνη για να φιλοξενήσει όμβρια ύδατα σε περίπτωση έντονης και διαρκούς βροχόπτωσης και να αποφευχθεί η πιθανότητα πλημμύρισης της πόλης της Έδεσσας και της λεκάνης της Σκύδρας. Τους χειμερινούς μήνες ο ΥΗΣ εκφορτίζει υψηλότερες ποσότητες νερού για το σκοπό αυτό. Τη θερινή περίοδο κατά την οποία ο κίνδυνος πλημμυρικών φαινομένων είναι μικρός, η τροφοδοσία της λίμνης είναι περιορισμένη και οι απολήψεις από αυτήν αυξημένες, ο ΥΗΣ εκφορτίζει μικρότερες ποσότητες νερού ανά ημέρα και διατηρεί τη στάθμη σε υψηλότερα επίπεδα κατά την επαναφορά, ώστε να συγκρατούνται επαρκείς ποσότητες στη λίμνη τόσο για τις ανάγκες ηλεκτροπαραγωγής όσο και για τη διατήρηση του υδροτοπικού συστήματος. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι λόγω των μειωμένων τροφοδοσιών το καλοκαίρι και παράλληλα των αυξημένων απολήψεων, παρατηρείται έντονη ημερήσια κύμανση στάθμης στο ανατολικό τμήμα της λίμνης. Αντίθετα στο δυτικό τμήμα αυτής, οι κυμάνσεις είναι περιορισμένες λόγω γειτνίασης του χώρου με τις ζώνες τροφοδοσίας. Η λειτουργία της λίμνης στο σύνολό της θα μπορούσε να παραλληλιστεί με ένα κεκλιμένο πορώδες φίλτρο νερού το οποίο δέχεται σταθερή ποσότητα νερού στο ανάντη άκρο του και εκφορτίζεται περιοδικά από το κατάντη άκρο του, με αποτέλεσμα σε ημερήσια βάση να γεμίζει και να αδειάζει.

Η συνολική εικόνα των υδατικών πόρων της λίμνης, όπως αυτή μελετήθηκε με βάση τα δεδομένα στάθμης, δείχνει ένα σύστημα με περιορισμένη αποθηκευτική

ικανότητα και ελεγχόμενη από την κατάσταση των καναλιών κίνηση νερού από τα ανάντη προς τα κατάντη. Η διαχείριση του συστήματος είναι ιδιαίτερα κρίσιμη κυρίως κατά τη θερινή περίοδο που είναι προφανής η έλλειψη νερού για τη διατήρηση συνθηκών κύμανσης της στάθμης σε ελεγχόμενο περιορισμένο επίπεδο. Το 2006 χαρακτηρίστηκε από μεγάλο ύψος βροχής, το οποίο βελτίωσε ελαφρά την κατάσταση της λίμνης, κυρίως λόγω ενίσχυσης της τροφοδοσίας της από τις περιβάλλουσες πηγές. Ωστόσο η βιωσιμότητα του υγροτόπου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις διαχειριστικές ενέργειες που αφορούν στους υδατικούς της πόρους, οι οποίοι σε μεγάλο ποσοστό ανανεώνονται ημερησίως.

Είναι προφανές ότι η λίμνη Άγρα αποτελεί ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο οικοσύστημα, η αειφορία και προστασία της οποίας απαιτεί συντονισμένη δράση και υλοποίηση προσεκτικά σχεδιασμένων δράσεων και μέτρων. Όσον αφορά στους υδατικούς πόρους εκτιμάται ότι τα παρακάτω μέτρα θα συνεισφέρουν αποτελεσματικά στη διαχρονική μελέτη και παρακολούθηση και μέσω αυτών στην αποτελεσματική προστασία και ανάδειξη της λίμνης.

Εκτιμάται ότι η αποκατάσταση των καναλιών και της παλαιάς κοίτης στο αρχικό τους πλάτος και βάθος θα συνεισφέρει σημαντικά τόσο στον αποθηκευόμενο όγκο νερού εντός της λίμνης, όσο και στις συνθήκες ροής του νερού μέσα στον υγρότοπο. Με τον τρόπο αυτό θα αυξηθεί σημαντικά το περιθώριο ανοχής της λίμνης σε περιόδους ακραίων υδρολογικών συνθηκών (είτε υγρών είτε ξηρών). Παράλληλα, η εκβάθυνση των κύριων υδατικών σωμάτων στην αρχική τους κατάσταση, μέσω της απομάκρυνσης των φερτών υλών που κατά καιρούς αποτίθενται στη λίμνη από τους συμβάλλοντες χείμαρρους, θα συνεισφέρει προς την παραπάνω κατεύθυνση. Με την εφαρμογή των μέτρων αυτών θα μειωθεί και η ημερήσια κύμανση στάθμης που σήμερα αποτελεί μείζον ζήτημα στα κατάντη τμήματα της λίμνης τη θερινή περίοδο.

Επικουρικό έργο προς την ίδια κατεύθυνση θα αποτελούσε επίσης η ανύψωση του αναχώματος της παλαιάς κοίτης. Κάτι τέτοιο θα επέτρεπε την αύξηση της επιφάνειας της λίμνης και παράλληλα το βάθος της, ενώ θα αύξανε σημαντικά τον όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί σε αυτήν. Η ΔΕΗ έχει κινηθεί επανειλημμένα προς αυτήν την κατεύθυνση. Ωστόσο η ανάπτυξη οριζόντων τύρφης στην περιοχή προσδίδει στο έδαφος κακές γεωτεχνικές ιδιότητες που εμποδίζουν τη διατήρηση του αναχώματος στο επιθυμητό ύψος. Η επιτυχής επίτευξη του στόχου αυτού θα απαιτούσε δαπανηρά έργα έδρασης του αναχώματος σε υγιές έδαφος, κάτω από τα στρώματα τύρφης. Δεν έχει εξεταστεί ωστόσο το ενδεχόμενο μείωσης του βάρους του αναχώματος με φύτευση κατά μήκος του δασικών θαμνωδών ειδών που θα περιορίζαν το ειδικό βάρος της κατασκευής και θα αύξαναν ταυτόχρονα τη μηχανική του αντοχή και την αντοχή σε διάβρωση. Θεωρείται απαραίτητη η άμεση κατασκευή έργων ορεινής υδρονομίας για τη διαχείριση των στερεοπαροχών των βασικών χειμάρρων που εκβάλλουν στη λίμνη, ώστε να αμβλυνθεί το φαινόμενο προοδευτικής μείωσης του βάθους της.

Σήμερα, η αντιπλημμυρική διαχείριση της λίμνης στηρίζεται στη σημαντική εμπειρία των στελεχών του ΥΗΣ Άγρα. Η ανάπτυξη ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης, στηριζόμενο σε μετεωρολογικές προβλέψεις και δεδομένα της εξέλιξης της στάθμης της λίμνης και της τροφοδοσίας που δέχεται αυτή, θα μπορούσε να οδηγήσει στη διατήρηση ενός αποτελεσματικού συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας, όπως και σήμερα, με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υφιστάμενων υδατικών πόρων.

Τέλος εκτιμάται απαραίτητη η εγκατάσταση και διαχρονική λειτουργία αυτογραφικού δικτύου παρακολούθησης βασικών ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων του συστήματος. Το δίκτυο αυτό θα πρέπει να συμπληρωθεί με την

εγκατάσταση και λειτουργία πλήρους μετεωρολογικού σταθμού. Με βάση τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού, θα ήταν δυνατός ο υπολογισμός των πραγματικών αναγκών των καλλιεργειών σε νερό και η εκτίμηση των απολήψεων νερού από τη λίμνη για το σκοπό αυτό. Έτσι, θα καταστεί δυνατή η προσέγγιση ενός ρεαλιστικού υδατικού ισοζυγίου της περιοχής και επίσης θα τεθούν οι βάσεις εξορθολογισμού της διαχείρισης του νερού για άρδευση.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Abulohom, M.S., (2001).** Development of a Rainfall-Runoff Model, its Calibration and Validation, water resources management. Journal of Hydrology, vol.15.
- **Adams, F.D., (1954).** The birth and development of geological sciences. Dover Publ., New York, 426-460.
- **Alley, W.M., (1984).** On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models. Water Resources, 20(8):113-115
- **Alley, W.M. (1985).** Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting, Water Resources Research, 21(4): 597–606.
- **Arnell, N.W. (1992).** Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment, Journal of Hydrology, 132:321–342.
- **Blaney, H.F. and Griddle W.D. (1950).** Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigated data. USDA Soil Conservation Service SCS-TP96, 44 pp.
- **Biswas, A.K. (1969).** A short history of hydrology. In: Progress of hydrology, Proc. of the First International Seminar for Hydrology Professors, Univ. of Illinois, Urbana, 111:914-936.

- **Cavadias, G., Morin G.: (1986)**, The combination of simulated discharges of hydrological models. Application to the WMO intercomparison of conceptual models of snowmelt runoff. *Nordic Hydrology*; 17:21-32.
- **Chow, V.T. (1964)**. Hydrology and its development. In: *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill Book Co., New York, Chapter 1:1-10.
- **Chow, V.T. (1988)**. *Applied hydrology*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1:1-49.
- **Creutin, J., Delrieu G., Lebel T. (1988)**. Rain measurement by raingage-combination: A geostatistical approach. *Journal of Atmosp. Ocean Vol. 5*: 102-115.
- **Gabos, A. and Gasparri L., (1983)**. Monthly runoff model for regional planning, *Water International*, **8**, pp. 42–45.
- **Giakoumakis, S., Tsakiris G., and Efremides D. (1991)**. On the Rainfall – Runoff Modeling in a Mediterranean Island Environment, *Advances in Water Resources Technology*, Balkema, Rotterdam.
- **Gan, T. Y., Biftu G. B. (1996)**. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: optimization algorithms, catchment conditions, and model structure. *Water Resour. Res.*, 32 (12):3513-3524.
- **Gan, T. Y., Dlamini E. M. Biftu G. F. (1997)**. Effects of model complexity and structure, data quality, and objective function in hydrologic modeling. *J. Hydrol.*, 192, :81-103.
- **Gertsev, V.I. & Gertseva V.V. (2004)**. *Ecological Modelling*, 178, 324 – 344.

- **Gleick, P. (1996).** Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. By S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol.2:817-823.
- **Guo, S., Wang J., Xiong L., Ying A. and Li D. (2002).** A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China, Journal of Hydrology, 268, :1-15.
- **Gumbel, E.J. (1941).** The return period of flood flows. Ann. Math. Stat., vol.12:163-190.
- **Gupta, V. K., Sorooshian S. (1985).** The automatic calibration of conceptual models using deterministic based optimization algorithms. Water Resour. Res., 21 (4): 473-485.
- **Knight, C.G., Chang R. Staneva P.M. Kostov D. (2001).** An amplified basin model for simulating runoff, The Struma river GIS, Professional Geographer, 53(4):533-545
- **Linsley, R.K., Kohier M.A. Paulhus J.L.H. (1949).** Applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, 1-4.
- **Loukas, A. (2002).** Flood frequency estimation by a derived distribution procedure. Journal of Hydrology., vol.225., Issues 1-4.,:69-89.
- **Madsen, H., Wilson G. Ammentorp H. C. (2002).** Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall-runoff models. J. Hydrol., 261:48-59.
- **Meinzer, O.E. (1942).** Definition of hydrology, In. Hydrology. Dover Publ. Inc., New York, 1-31.

- **Ndiritu, J. G., Daniel T. M. (1999).** Accessing model calibration adequacy via global optimization. *Water SA*, 25:317-326.
- **Panagoulia, D. and Dimou G. (1997).** Linking space-time scale in hydrological modeling with respect to global climate change: model properties and experimental design, *Journal of Hydrology*, 194:15–37
- **Perrin, C., Michel C. Andreassian, V. (2001).** Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments, *Journal of Hydrology*, 242:275-301.
- **Pitman, W.V. (1973).** A mathematical model for generating monthly river flows from meteorological data in South Africa, Report 2-3, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- **Psilovikos, A., Vavliakis E. Margoni S. Koutalou V. (2003).** Determination of the runoff coefficient in the hydrological basins of the main torrents in Samos island after the fire of 2000 using orthophotomaps and GIS. International symposium: GIS and Remote Sensing. Environmental Applications, 7-9 November, Volos.
- **SCS (Soil Conservation Service) (1972).** National Engineering Handbook, Section of Hydrology, SCS, Washington D.C., U.S.A.
- **Thornthwaite, C.W. (1948).** An approach toward a radiation classification of climate, *Geographical Reviews*, 38(1), pp. 55-94.
- **Thornthwaite, C.W. and Mather J.R. (1955).** The water balance, Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, 8(8):1-104.

- **Tigkas, D., Tsakiris G. (2004).** Medbasin : A rainfall – runoff package software for Mediterranean basins. *European Water: 4-5:3-12.*
- **Tsakiris, G., Tigkas D. Pangkalou D. (2004).** On the assesment of climatic and drought scenarios on runoff in Mediterranean islands river basins. In *Proceedings of EWRA International Symposium, Water Resources Management: Risks and Challenges for the 21st century*, Harmancioglu N. et al (ed.), Vol. 2, Izmir, Turkey.
- **Vandewiele, G.L. and Win N.L. (1998).** Monthly water balance for 55 basins in 10 Countries, *Hydrological Sciences Journal*, 43(5):687-699.
- **Xu, C.Y. and Vandewiele G.L. (1995).** Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements, *Advances in Water Resources*, 18:39–48.
- **Xiong, L., Guo S. (1999).** A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of Hydrology.*, vol. 216., Issues 1-2.,:111-123.
- **Yapo, P. O. Gupta H. V. Sorooshian S. (1998).** Multi-objective optimization for hydrological models. *J. Hydrol.*, 204:83-97.
- **Yates, D.N. and Strzepek K.M. (1998).** Modeling the Nile Basin under climatic change, *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(2):98-108.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Παπανίκος, Ν.** (2008). Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα Θεσσαλίας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 249.
- **Τσακίρης, Γ.** 1995. Υδατικοί Πόροι Ι: Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, σελ. 675.
- **Ψιλοβίκος, Α., και Ζαρκάδας Π.** (2006). Μοντέλο προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς, 10⁰ Πανελλήνιο Συνέδριο της Ε.Υ.Ε. : “ Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος. Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές ”, Τόμος Α’, σελ. 63-70, Ξάνθη.

6.ABSTRACT

In the present project a mathematic model of watery balance (Med Basin) was used for the investigation of watery balance in the basin of flow in lake Agra (Nisiou). The mathematic model is a mathematic system that represents a real entity or situation, is that to say the reproduction of behaviour and response of natural system. Hydrologic or watery balance of basin of flow is the mathematic expression of her hydrologic circle. The operation of the basin is assimilated with the operation of conceptual reservoir of storage of water. Entries are the rainfall and potential evapotranspiration and exits the flow and real evapotranspiration. Main operation of lake is the concentration and the storage of water for the production of electric energy. Administrative institution of lake is the hydroelectric station of NATIONAL ELECTRICAL COMPANY (NATIONAL ELECTRICAL COMPANY / HES AGRA). Were received data of rainfall, evaporation and flow in daily base for a time period of three years (2006-2009) which need the model in order to assimilate measured flow. The daily prices of rainfalls of medium basin and evapotranspiration are used as data of entry, while the daily and monthly flow is the result that exports the model. After the process of data from the model the results that were exported are that the model Med Basin assimilates well enough as satisfactory the biggest flows for the three hydrologic years but fails to assimilate the low prices of flows in dry periods. This shows that the particular model is not suitable for satisfactory investigation of watery balance of the particular basin of flow and is also needed other methods for correct administration and rational management of lake Agra.

KEYWORDS: Water balance, simulation model, lake Agra (Nisiou), daily runoff,
Med Basin.