



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Συγκριτική αξιολόγηση υδρολογικών μοντέλων
διαφορετικού χρονικού βήματος και αριθμού
παραμέτρων: Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής
της λίμνης Πλαστήρα**

**ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ-ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ ΑΓΡΟΝΟΜΟΣ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ**

Επιβλέπων: Σ. Γιακουμάκης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη

Αθήνα 2022

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος-Ευχαριστίες	5
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Κατάλογος Σχημάτων	9
Περίληψη.....	10
Abstract	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή.....	12
1.1 Διαχείριση Υδατικών Πόρων	12
1.2 Ο Υδρολογικός Κύκλος.....	12
1.3 Διάρθρωση της Μεταπτυχιακής Εργασίας	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Περιοχή Εφαρμογής.....	15
2.1 Η ιστορία της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.....	15
2.2 Χαρακτηριστικά Ταμιευτήρα και Φράγματος	15
2.3 Η Λεκάνη Απορροής της Λίμνης Πλαστήρα.....	16
2.3.1 Υδρολογία της Λεκάνης Απορροής.....	18
2.3.2 Χρήσεις γης της Λεκάνης Απορροής.....	19
2.3.3 Γεωλογία και Υδρογεωλογία της Λεκάνης Απορροής	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Επισκόπηση Υδρολογικών Μοντέλων.....	23
3.1 Ορισμός.....	23
3.2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων	24
3.3 Ορισμός των εννοιών βαθμονόμηση και επαλήθευση	27
3.4 Το λογισμικό Medbasin.....	28
3.4.1 Μηνιαίο Μοντέλο (Medbasin-M).....	29
3.4.2 Ημερήσιο Μοντέλο (Medbasin-D)	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Εφαρμογή του Medbasin-M.....	34
4.1 Γενικά.....	34
4.2 Δεδομένα Εισόδου.....	34
4.2.1 Βροχόπτωση	34
4.2.2 Δονητική Εξατμισοδιαπνοή.....	35
4.2.3 Εκτίμηση της παραμέτρου <i>S_{max}</i>	36
4.3 Βαθμονόμηση.....	39
4.4 Επαλήθευση	40
4.5 Αποτελέσματα-Ανάλυση Ευαισθησίας	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Εφαρμογή του Medbasin-D.....	44
5.1 Γενικά.....	44

5.2 Δεδομένα Εισόδου.....	44
5.2.1 Ημερήσια Βροχόπτωση.....	44
5.2.2 Ημερήσια Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή	44
5.3 Βαθμονόμηση.....	45
5.5 Αποτελέσματα-Ανάλυση ευαισθησίας	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Συμπεράσματα	54
Παράρτημα.....	56
Βιβλιογραφία.....	68

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Το νερό αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό που μας παρέχει η φύση και τον σημαντικότερο παράγοντα για την ίδια τη ζωή, την ανάπτυξη και την υγιεινή διαβίωση. Το μεγαλύτερο μέρος της Γης αποτελείται από νερό και συγκεκριμένα το 97,2% βρίσκεται στους ωκεανούς, το 2,2% βρίσκεται στους πόλους ως πάγος και μόλις το 0,6% στις λίμνες, τα ποτάμια και στους υπόγειους υδροφορείς γλυκού νερού.

Η ανανέωση των υδατικών πόρων πραγματοποιείται μέσω του υδρολογικού κύκλου, που αποτελεί την αέναη κυκλοφορία του νερού μεταξύ ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Προκειμένου να επιτευχθεί η προσομοίωση του κύκλου αυτού αναπτύχθηκαν κατάλληλα υδρολογικά μοντέλα, τα οποία περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών με στόχο να αναπαραστήσουν σε συνεχή χρόνο τις κύριες διεργασίες του κύκλου του νερού (Ευστρατιάδης κ.α. 2009). Στην παρούσα εργασία γίνεται συγκριτική αξιολόγηση δύο τέτοιων μοντέλων διαφορετικού χρονικού βήματος και αριθμού παραμέτρων με πεδίο εφαρμογής τη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας.

Η εν λόγω Μεταπτυχιακή Εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την καθοδήγηση και την αμέριστη υποστήριξη του επιβλέποντα καθηγητή, κ. Σ. Γιακουμάκη. Του οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τις παρατηρήσεις και τις πληροφορίες που με συνόδευαν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δ. Τίγκα Δρ. Γεωπόνο, δημιουργό του προγράμματος Medbasin, για την ουσιαστική βοήθεια και τις συμβουλές του επί τεχνικών ζητημάτων. Επιπλέον, τη ΔΕΗ Καρδίτσας για την διάθεση των απαραίτητων για τις προσομοιώσεις υδρολογικών δεδομένων.

Τέλος, ευχαριστώ τα δύο μέλη ΔΕΠ, συγκεκριμένα τον κ. Τσιχριντζή Β. Καθηγητή ΕΜΠ και τον κ. Ι. Ναλμπάντη Αν. Καθηγητή ΕΜΠ για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή της παρούσας ΜΕ, καθώς και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1	
Χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης απορροής -----	17
Πίνακας 2.2	
Χαρακτηριστικά υψόμετρα της λεκάνης απορροής -----	18
Πίνακας 3.1	
Σύγκριση των βασικών δομικών κατηγοριών των υδρολογικών μοντέλων -----	27
Πίνακας 4.1	
Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος βροχόπτωσης σταθμού φράγματος (mm)	34
Πίνακας 4.2	
Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος θερμοκρασίας αέρα σταθμού φράγματος (°C) -----	36
Πίνακας 4.3	
Υδρολογικοί τύποι εδάφους και διηθητικότητα -----	37
Πίνακας 4.4	
Αντιστοίχιση των εδαφολογικών σχηματισμών με τις κατηγορίες υδρολογικών τύπων	37
Πίνακας 4.5	
Βέλτιστες παράμετροι του μοντέλου Medbasin-M	39
Πίνακας 5.1	
Βέλτιστες παράμετροι του μοντέλου Medbasin-D -----	46
Πίνακας 5.2	
Τιμές του NSE για τις μηνιαίες τιμές της απορροής	48

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1	
Λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα-----	17
Σχήμα 2.2	
Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής -----	18
Σχήμα 2.3	
Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα -----	20
Σχήμα 3.1	
Σχηματική απεικόνιση της δομής του μοντέλου Medbasin-M -----	29
Σχήμα 3.2	
Σχηματική απεικόνιση διεργασιών του μοντέλου Medbasin-D-----	31
Σχήμα 4.1	
Κατανομή CN στην υδρολογική λεκάνη λίμνης Πλαστήρα-----	38
Σχήμα 4.2	
Το περιβάλλον του Medbasin-M κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης -----	39
Σχήμα 4.3	
Το περιβάλλον του Medbasin-M κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης -----	40
Σχήμα 4.4	
Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών απορροής -----	41
Σχήμα 4.5	
Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μηνιαίου μοντέλου-----	42
Σχήμα 5.1	
Το περιβάλλον του Medbasin-D κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης-----	46
Σχήμα 5.2	
Το περιβάλλον του Medbasin-D κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης-----	47
Σχήμα 5.3	
Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών απορροής (Medbasin-D) -----	48
Σχήμα 5.4	
Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών απορροής (Medbasin-M και Medbasin-D) -----	49
Σχήμα 5.5	
Υδρογραφήματα ημερήσιων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών απορροής -----	49
Σχήμα 5.6	
Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων ημερήσιου μοντέλου-----	50

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας αποτελεί η συγκριτική αξιολόγηση δύο διαφορετικών εννοιολογικών (conceptual) υδρολογικών μοντέλων, του Medbasin-M και του Medbasin-D. Ως περιοχή ενδιαφέροντος για τη διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου επιλέχτηκε η λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας, συνολικής έκτασης 166 km². Το Medbasin-M αποτελεί ένα μηνιαίου χρονικού βήματος τροποποιημένο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου που περιλαμβάνει 3 παραμέτρους βαθμονόμησης, ενώ το Medbasin-D είναι ημερήσιου χρονικού βήματος και περιλαμβάνει 14 παραμέτρους βαθμονόμησης. Και τα δύο μοντέλα περιλαμβάνονται στο πακέτο λογισμικού Medbasin (Τίγκας 2015).

Τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο μηνιαίου χρονικού βήματος αποτελούν η μηνιαία βροχόπτωση και η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή, ενώ στο μοντέλο του ημερήσιου χρονικού βήματος εισάγονται ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η υδρολογική περίοδος για την οποία αναζητήθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα από τη ΔΕΗ Καρδίτσας, ορίστηκε από το υδρολογικό έτος 2012-13 έως και το υδρολογικό έτος 2018-19. Τα 5 πρώτα υδρολογικά έτη αυτής της περιόδου αποτέλεσαν την περίοδο βαθμονόμησης και για τα δύο μοντέλα, ενώ τα 2 επόμενα υδρολογικά έτη χρησιμοποιήθηκαν ως περίοδος επαλήθευσης.

Από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν προέκυψε ικανοποιητική προσομοίωση της μηνιαίας απορροής από το Medbasin-M, με το κριτήριο ελέγχου ποιότητας της προσομοίωσης NSE να εκτιμάται ίσο με 0.58 για την περίοδο της βαθμονόμησης και 0.52 για την περίοδο της επαλήθευσης.

Οι αντίστοιχες τιμές για την εκτιμώμενη μηνιαία απορροή από το ημερήσιο μοντέλο Medbasin-D προέκυψαν 0.9 και 0.77 αντίστοιχα, γεγονός που αποδεικνύει ότι το μοντέλο αυτό έχει σαφώς καλύτερες επιδόσεις συγκριτικά με το μηνιαίο για τις μηνιαίες τιμές της απορροής. Η προσομοίωση των ημερήσιων τιμών της απορροής από το μοντέλο Medbasin-D ήταν ικανοποιητική αλλά όχι τόσο όσο αυτή των μηνιαίων τιμών, με το κριτήριο NSE να εκτιμάται 0.73 και 0.69 για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης αντίστοιχα. Η καλύτερη ποιότητα προσομοίωσης για τις μηνιαίες τιμές της απορροής από το μοντέλο αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι ακραίες (μέγιστες) τιμές λόγω καταγίδων της ημερήσιας μετρημένης απορροής δεν προσεγγίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, ενώ αντίθετα στις μηνιαίες τιμές, λόγω της άθροισης των ημερησίων προσομοιωμένων τιμών, οι διαφορές μεταξύ μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής μειώνονται αισθητά.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του κάθε μοντέλου ώστε να εξεταστεί ο βαθμός που η καθεμιά από αυτές επηρεάζει το αποτέλεσμα της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα, το κριτήριο αξιολόγησης NSE απεικονίστηκε ως συνάρτηση της κάθε παραμέτρου και για τα δύο μοντέλα, κρατώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές. Τούτο επετεύχθη με σειρά δοκιμαστικών προσομοιώσεων μετά τα στάδια βαθμονόμησης και επαλήθευσης και αφού είχαν προσδιοριστεί και για τα δύο μοντέλα οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων τους από τη βαθμονόμηση.

Abstract

The objective of this Master Thesis is the comparative evaluation of two different conceptual hydrological models, i.e. Medbasin-M and Medbasin-D. The catchment area of the artificial lake Plastira in the Peripheral Unit of Karditsa, with a total area of 166 km², was selected as the area of application for the investigation of the water balance. Medbasin-M is a monthly time step modified water balance model that includes 3 calibration parameters, while Medbasin-D is a daily time step model and includes 14 calibration parameters. Both models are included in the Medbasin software package (Tigkas 2015).

The input data for the monthly time step model are the monthly rainfall and the monthly potential evapotranspiration, while in the daily time step model daily rainfall and potential evapotranspiration values are entered. The hydrological period for which the required data were sought from EPC of Karditsa, was defined from the hydrological year 2012-13 to the hydrological year 2018-19. The first 5 hydrological years of this period were the calibration period for both models, while the next 2 hydrological years were used as the verification period.

The results obtained showed a satisfactory simulation of the monthly runoff from Medbasin-M model, with the quality control criterion of the simulation NSE being equal to 0.58 for the calibration period and 0.52 for the verification period.

The corresponding values for the estimated monthly runoff from the daily Medbasin-D model were 0.9 and 0.77, respectively, which means that this model is clearly performing better than the monthly one for the monthly runoff values. The simulation of the daily runoff values by the Medbasin-D model was satisfactory but not as much as that of the monthly values, with the NSE being estimated at 0.73 and 0.69 for the calibration and verification periods respectively. The best simulation quality for the monthly runoff values from this model is explained by the fact that the extreme (maximum) values due to storms of the daily measured runoff are not approached satisfactorily, while, in contrast, to the monthly values due to the sum of the daily simulated values, the differences between measured and simulated runoff are significantly reduced.

In addition, a sensitivity analysis of the parameters of each model was performed to examine the extent to which each of them affects the result of the simulation. More specifically, the NSE was represented as a function of each parameter for both models, keeping the other constants. This was achieved by a series of test simulations after the calibration and validation stages and after the optimal values of their parameters from the calibration had been determined for both models.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Εισαγωγή

1.1 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Άνθρωποι και οικονομίες επωφελούνται αιώνες τώρα από τους υδατικούς πόρους, ωστόσο είναι αρκετές οι περιοχές όπου οι υδατικοί τους πόροι δεν επαρκούν να καλύψουν τις βασικές ανάγκες των κατοίκων τους. Περιορισμένα έργα, αλόγιστη χρήση και ρύπανση από την ανθρώπινη δραστηριότητα είναι κάποιες από τις βασικές αιτίες που οδηγούν στην ανεπάρκεια.

Σήμερα, κι ενώ τα προβλήματα επάρκειας αυξάνονται σε αυτά έρχεται να προστεθεί και η γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος από τον ίδιο των άνθρωπο. Η Μεσόγειος και κατά συνέπεια και η Ελλάδα, απειλείται από τις αυξανόμενες πιέσεις στις παράκτιες περιοχές, λόγω της συνεχούς άμβλυνσης των διαφορών μεταξύ τουριστικών και αγροτικών περιοχών, των σημαντικών αλληλεπιδράσεων τους με τους υδατικούς πόρους, καθώς και της υψηλής ευαισθησίας στη ρύπανση. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού είναι συγκεντρωμένο στις παράκτιες περιοχές, η αύξηση του τουρισμού κατά τους θερινούς μήνες αναπόφευκτα οδηγεί στην έντονη εποχιακή ζήτηση του νερού. Συνέπεια αυτού είναι να παρατηρείται ανισοκατανομή της ζήτησης τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο, αυξάνοντας ταυτόχρονα και το κόστος κάλυψης των αναγκών. Όλα τα παραπάνω απαιτούν την εφαρμογή ενός σχεδιασμού πρόληψης και διαχείρισης για την αποτελεσματική αντιμετώπιση φαινομένων έλλειψης νερού, ρύπανσης και διάβρωσης (Βαλάκος 2021).

Η Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ) είναι εκείνο το επιστημονικό πεδίο το οποίο καλείται να εξασφαλίσει την κάλυψη των σημερινών και των μελλοντικών αναγκών σε νερό, για κάθε χρήση, συμβάλλοντας συγχρόνως στη διατήρηση των πόρων και του περιβάλλοντος. Οι κυριότεροι από τους στόχους της ΔΥΠ είναι ο περιορισμός των αρνητικών γεγονότων από ραγδαία καιρικά φαινόμενα, ξηρασία, πλημμύρες, αλλά και της υπέρμετρης ρύπανσης.

Οι δραστηριότητες που εντάσσονται στον τομέα της διαχείρισης των Υδατικών Πόρων δύναται να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται όλα τα έργα ανάπτυξης τους όπως είναι τα δίκτυα ύδρευσης, τα αρδευτικά έργα, καθώς και τα έργα διατήρησης και ελέγχου των υδατικών πόρων όπου εντάσσονται τα αντιπλημμυρικά έργα. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν όλες εκείνες οι ενέργειες που θα εξασφαλίσουν την βέλτιστη χρήση, παροντικά αλλά και στο μέλλον.

1.2 Ο Υδρολογικός Κύκλος

Το νερό αποτελεί ίσως το σημαντικότερο αγαθό του πλανήτη μας, από το οποίο εξαρτάται η ύπαρξη της ίδιας της ζωής. Η σχέση ανθρώπου - νερού βρίσκεται σε ένα περιβάλλον απόλυτης αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης, αφού το νερό σε οποιαδήποτε από τις τρεις καταστάσεις και αν βρίσκεται - στερεή, υγρή και αέρια - συμμετέχει σχεδόν σε κάθε παραγωγική διαδικασία του ανθρώπινου πολιτισμού. Η

προστασία του λοιπόν, σαν φυσικός πόρος, κρίνεται απαραίτητη τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

Η ανανέωση του νερού πραγματοποιείται μέσω του υδρολογικού κύκλου ή αλλιώς κύκλο του νερού, ο οποίος περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του στην επιφάνεια της γης, αλλά και στο υπέδαφος. Το νερό βρίσκεται πάντοτε σε κίνηση και σε αλλαγή κατάστασης μεταξύ των τριών μορφών στερεά, υγρή και αέρια. Η εξάτμιση από τους ωκεανούς, τις λίμνες, τα ποτάμια, το έδαφος ακόμη και η διαπνοή των φυτών αποδίδουν υδρατμούς στην ατμόσφαιρα που επιστρέφουν στη γη με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Από την ποσότητα νερού που πέφτει στη στεριά ένα σημαντικό μέρος καταλήγει μέσω των υδατορευμάτων στη θάλασσα υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Ωστόσο, κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη διαδικασία της διήθησης, εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς με μεγάλες ποσότητες νερού.

Αυτή η σχέση που συνδέει βροχόπτωση και απορροή χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο πολύπλοκα φαινόμενα με τα οποία ασχολείται η επιστήμη της υδρολογίας, καθώς έχει πολύ μεγάλη βαρύτητα στο σχεδιασμό και στην ανάπτυξη του τομέα της διαχείρισης υδατικών πόρων. Η προσομοίωση του φαινομένου παρέχει σημαντικές πληροφορίες που αφορούν υδρολογικά ζητήματα όπως είναι οι ακραίες παροχές, η πλημμυρική επικινδυνότητα, η διευθέτηση ποταμών και η διαχείριση του νερού σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας που τη χαρακτηρίζει, η σχέση αυτή αποτελεί μια διαδικασία σύνθετη και μη γραμμική, που εξαρτάται εκτός των άλλων από κλιματικές και φυσιογραφικές μεταβλητές.

Ειδικότερα, σε επίπεδο λεκάνης, η πρόβλεψη της απορροής εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, με την τελική τιμή που προκύπτει να εξαρτάται εκτός από τη βροχόπτωση, από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, τις χρήσεις γης της περιοχής, το γεωλογικό της υπόβαθρο και τις συνθήκες υγρασίας.

Η Ελλάδα, αν και χώρα μικρή σε έκταση, παρουσιάζει ιδιόμορφη γεωμορφολογική διάρθρωση λόγω του έντονου ανάγλυφου και του μεγάλου αναπτύγματος των ακτών της, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλές και μικρές λεκάνες απορροής για κάθε μια από τις οποίες απαιτείται διαφορετική διαχειριστική πολιτική. Έτσι, η πρόβλεψη της απορροής σε διάφορα χρονικά επίπεδα, ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια είναι πρωταρχικής σημασίας για την έρευνα των υδατικών της συστημάτων, αλλά και για το σχεδιασμό και τη λειτουργία του υδατικού ισοζυγίου των λεκανών απορροής.

1.3 Διάρθρωση της Μεταπτυχιακής Εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία συντίθεται ως εξής:

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται εισαγωγή για το νερό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται εκτενώς η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος στην οποία εντοπίζεται η λεκάνη απορροής. Γίνεται κυρίως γεωμορφολογική και

υδρολογική παρουσίαση και δίνεται έμφαση στην ανάλυση των χαρακτηριστικών της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται γενική αναφορά στα υδρολογικά μοντέλα (βροχόπτωσης-απορροής) και ειδικότερα αναλύεται το λογισμικό Medbasin.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου Medbasin-M στη λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που προέκυψαν και παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου .

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου Medbasin-D στη λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που προέκυψαν και παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρατίθενται τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των δύο μοντέλων στην περιοχή ενδιαφέροντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Περιοχή Εφαρμογής

2.1 Η ιστορία της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα

Η τεχνητή λίμνη Ταυρωπού ή Πλαστήρα, όπως και επικράτησε, δημιουργήθηκε κοντά στην πόλη της Καρδίτσας, στο ξακουστό οροπέδιο της Νευρόπολης των Θεσσαλικών Αγράφων, μετά το κλείσιμο της κοίτης του ποταμού Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου. Η σύλληψη της ιδέας για την κατασκευή του φράγματος και τη δημιουργία της λίμνης στη θέση Κακαβάκια έγινε από το Νικόλαο Πλαστήρα περί το έτος 1925. Το κλείσιμο του ποταμού Ταυρωπού και η εκτροπή του νερού στο Θεσσαλικό κάμπο που θα επακολουθούσε, εκτός από την εξασφάλιση ενέργειας θα έδινε και ζωή κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου στην οποία η περιοχή υπέφερε από λειψυδρία.

Η ιδέα άρχισε να καλλιεργείται και το 1927 ξεκινούν να πραγματοποιούνται οι πρώτες μελέτες μετά τις θετικές εισηγήσεις των ειδικών από τις υπηρεσίες του Υπουργείου Γεωργίας. Το έτος 1932 πραγματοποιείται συμπληρωματική μελέτη με εντολή του ίδιου υπουργείου η οποία αφορά τα αρδευτικά έργα. Η οικονομική ανάπτυξη που κρίθηκε αναγκαία μετά τη λήξη της γερμανικής κατοχής έφερε εκ νέου στο προσκήνιο τις συζητήσεις για την κατασκευή του φράγματος.

Το Δεκέμβριο του έτους 1955, επί πρωθυπουργίας Κωνσταντίνου Καραμανλή, θεμελιώνεται το έργο Ταυρωπού του οποίου η κατασκευή θα ολοκληρωθεί το 1959, όπου και ξεκινά η πλήρωση του ταμιευτήρα. Τη χρονιά αυτή το οροπέδιο της Νευρόπολης κατακλύζεται με τα νερά της λίμνης, γεγονός που άλλαξε πλήρως τόσο τη φυσιογνωμία της περιοχής όσο και την ποιότητα ζωής των ντόπιων κατοίκων.

2.2 Χαρακτηριστικά Ταμιευτήρα και Φράγματος

Η τεχνητή λίμνη Ταυρωπού, γνωστή ως λίμνη Πλαστήρα, χωροθετείται μόλις 25 χλμ. δυτικά της πόλης της Καρδίτσας και σχηματίστηκε ύστερα από το κλείσιμο της κοίτης του ποταμού Ταυρωπού, παραπόταμου του Αχελώου. Η λίμνη βρίσκεται σε υψόμετρο 800 m, καταλαμβάνει συνολική έκταση 25.2 km² και παρουσιάζει μέγιστο μήκος 14 km και μέγιστο πλάτος 4 km. Πρόκειται για μια λίμνη με βαθιά νερά, καθώς το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 80 m και το μέσο βάθος της τα 47 m. Μέσω του ταμιευτήρα εξυπηρετούνται αρκετές χρήσεις νερού, όπως η ύδρευση, η άρδευση και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΥΗΣ) του Ταυρωπού στην περιοχή Μοσχάτου, 40 km από την πόλη της Καρδίτσας.

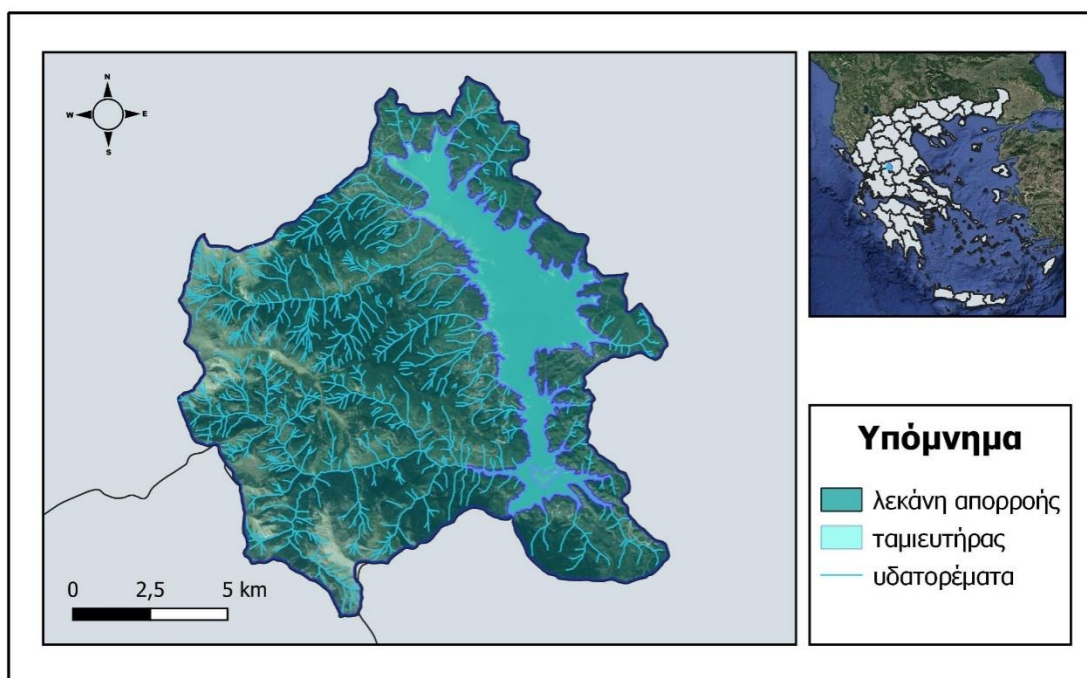
Η κατώτατη στάθμη λειτουργίας της λίμνης βρίσκεται στο υψόμετρο 776 m (νεκρός όγκος), ενώ το επίπεδο υπερχειλίσης βρίσκεται στα 792 m. Η συνολική χωρητικότητά της ανέρχεται στα 361.8 εκατομμύρια κυβικά (hm³), ενώ η χωρητικότητά της στην κατώτατη στάθμη λειτουργίας, δηλαδή ο νεκρός όγκος, αγγίζει τα 75.5 hm³. Από τα δεδομένα αυτά η συνολική ενεργός χωρητικότητα του ταμιευτήρα προκύπτει ίση με 286.3 hm³ (Giakoumakis and Petropoulou 2020).

Όσον αφορά το τοξοειδές φράγμα διπλής καμπυλότητας από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατασκευάστηκε επί της κοίτης του ποταμού Ταυρωπού, από τον οποίο τροφοδοτείται και η λίμνη. Για την εποχή του θεωρείται ένα από τα πιο πρωτοποριακά έργα, το οποίο μάλιστα έχει συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας. Χωροθετείται στο νότιο άκρο της λίμνης, κοντά στον οικισμό Μούχα της Κοινότητας Καστανιάς. Το φράγμα έχει όγκο 100.000 κυβικά μέτρα (m³), μέγιστο ύψος 83 m από τη βάση του, ενώ το μήκος στη στέψη αγγίζει τα 220 m, το πλάτος τα 4 m και το υψόμετρο στέψης βρίσκεται στα 795.20 m.

2.3 Η Λεκάνη Απορροής της Λίμνης Πλαστήρα

Η λεκάνη απορροής της λίμνης απλώνεται σε μια έκταση περίπου 166 km², εντός της οποίας συναντάται μεγάλος αριθμός ρεμάτων, τα οποία εκβάλλουν σε αυτή. Αν και υδρολογικά ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη του ποταμού Αχελώου, από διαχειριστική σκοπιά εντάσσεται σε αυτή του ποταμού Πηνειού, ανήκει δηλαδή στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, αφού πρακτικά το σύνολο των υδατικών πόρων της κατευθύνεται προς το Θεσσαλικό κάμπο (Ειδική Γραμματεία Υδάτων 2017). Περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό ρεμάτων με μικρές λεκάνες απορροής, συγκριτικά με το μέγεθος του ταμιευτήρα, τα οποία και εκβάλλουν σε αυτόν. Αναφορικά με την πρόσχωση της λίμνης, πρωτεύοντα ρόλο έχουν τα ρέματα Μεγάλο Ποτάμι, Μπελάγιας, Καριτσιώτης και Κερασιώτης.

Στον Χάρτη 2.1 που ακολουθεί απεικονίζονται ψηφιακά το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής ενδιαφέροντος, ο υδροκρίτης που ορίζει την υπολεκάνη ανάντη του φράγματος και ο ταμιευτήρας της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα ως τη θέση του ομώνυμου φράγματος. Για τη χάραξη της λεκάνης απορροής, του υδρογραφικού δικτύου και την παραγωγή τόσο αυτού του χάρτη όσο και αυτών που ακολουθούν έγινε χρήση του λογισμικού GIS ανοιχτού κώδικα, QGIS 3.16.0.



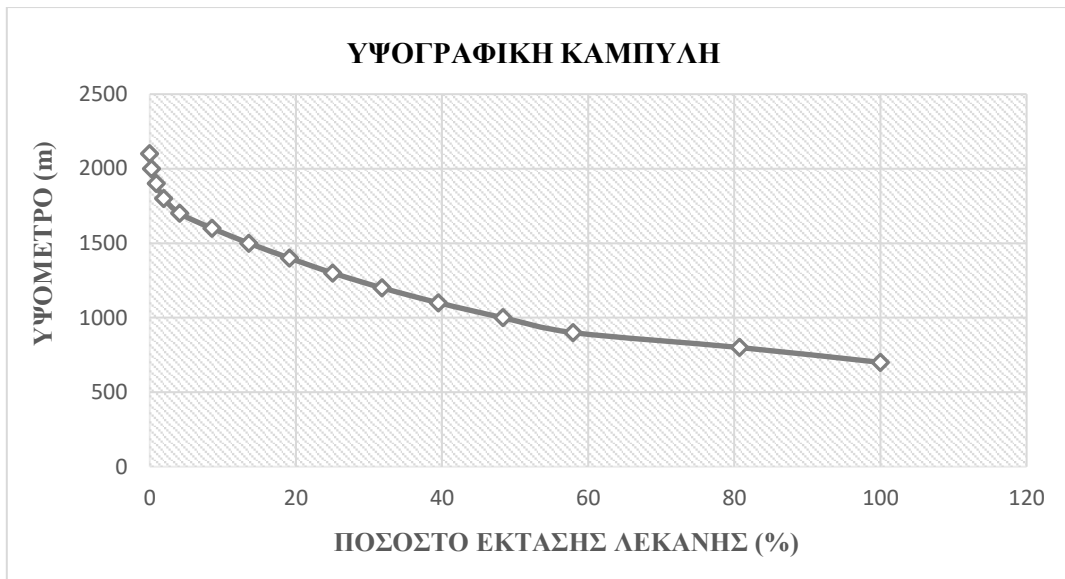
Σχήμα 2.1: Λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα (Ιδία επεξεργασία)

Στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί αναγράφονται το εμβαδόν και η περίμετρος της λεκάνης απορροής (Πετροπούλου 2020):

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη της λεκάνης απορροής

Εμβαδόν (km ²)	166.2
Περίμετρος (km)	70

Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται η υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα (Πετροπούλου 2020). Πρόκειται για την καμπύλη η οποία χαράσσεται σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων με τεταγμένη κάθε φορά το υψόμετρο και τετμημένη το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που βρίσκεται πάνω από αυτό το υψόμετρο.



Σχήμα 2.2: Υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής (Πετροπούλου 2020)

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής έχει άμεση σχέση με τα κατακρημνίσματα που εκείνη δέχεται, αλλά και με τις θερμοκρασίες που επικρατούν στην έκτασή της. Η αύξηση του υψομέτρου της λεκάνης συνεπάγεται αύξηση των κατακρημνισμάτων και μείωση της θερμοκρασίας. Αυτή η άμεση σχέση του υψομέτρου με τα κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία συντελεί και στην επιρροή της απορροής από το υψόμετρο.

Τα χαρακτηριστικά υψόμετρα της λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πετροπούλου 2020):

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά υψόμετρα της λεκάνης απορροής

Μέσο Υψόμετρο (m)	1.382,3
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	800
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	2.154

2.3.1 Υδρολογία της Λεκάνης Απορροής

Στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα εντοπίζονται περίπου 16 υδατορεύματα που πηγάζουν από τα δυτικά, όπου και συναντώνται τα μεγαλύτερα υψόμετρα, και με μια γενική διεύθυνση ροής προς τα ανατολικά, διασχίζοντας δασωμένες και απότομες πλαγιές εκβάλλουν στη λίμνη. Τα πιο σημαντικά είναι ο Καριτσιώτης, το Μεγάλο Ποτάμι και ο Κερασιώτης.

Πιο αναλυτικά, το υδρογραφικό δίκτυο της ορεινής περιοχής στην οποία εντάσσεται η περιοχή ενδιαφέροντος είναι πλούσιο και αρκετά ανεπτυγμένο, χαρακτηρίζεται ως δενδρικού τύπου, λόγω της παρουσίας του φλύσχη, αλλά και άλλων αδιαπέρατων πετρωμάτων, τα οποία προκαλούν την επιφανειακή απορροή. Τα μικρότερα ρέματα που αναπτύσσονται, κυρίως στην ανατολική πλευρά της λίμνης έχουν μικρές λεκάνες απορροής ως προς το μέγεθος αυτής. Η μεγάλη διασπορά τους

ως προς τη θέση εκβολής τους στη λίμνη, διασπείρει αντίστοιχα και τις προσχώσεις σε διάφορα σημεία του λιμναίου χώρου, ελαχιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό την επίδρασή τους (Βασιλάκος 2010).

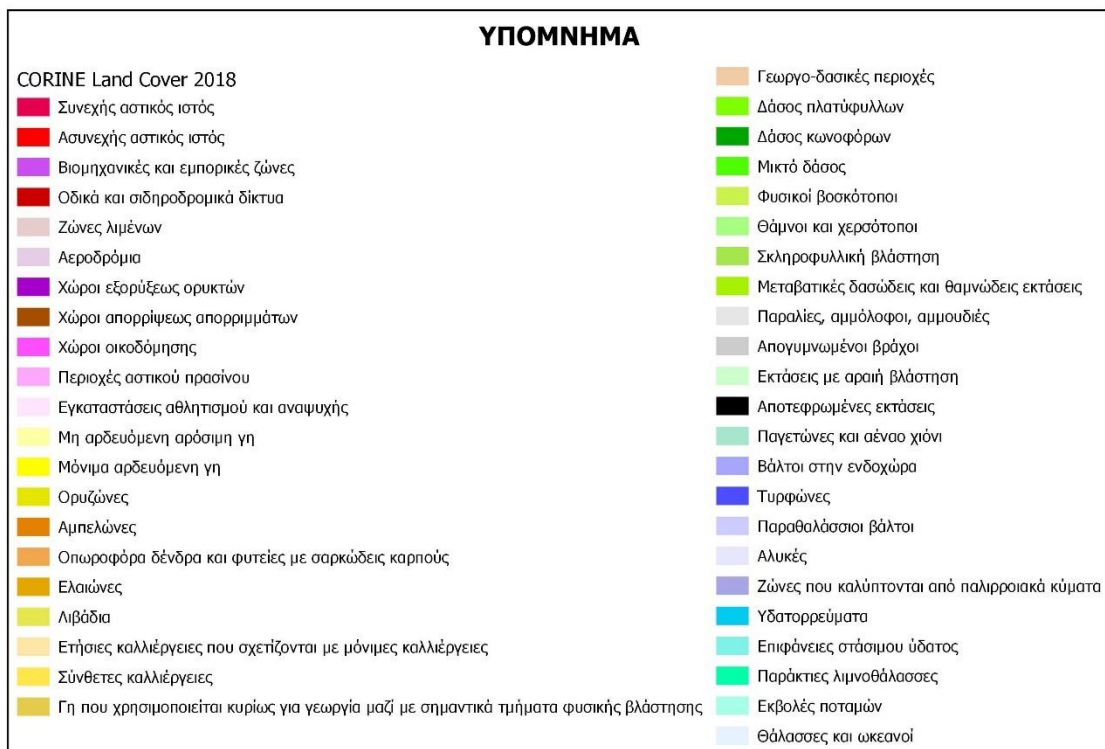
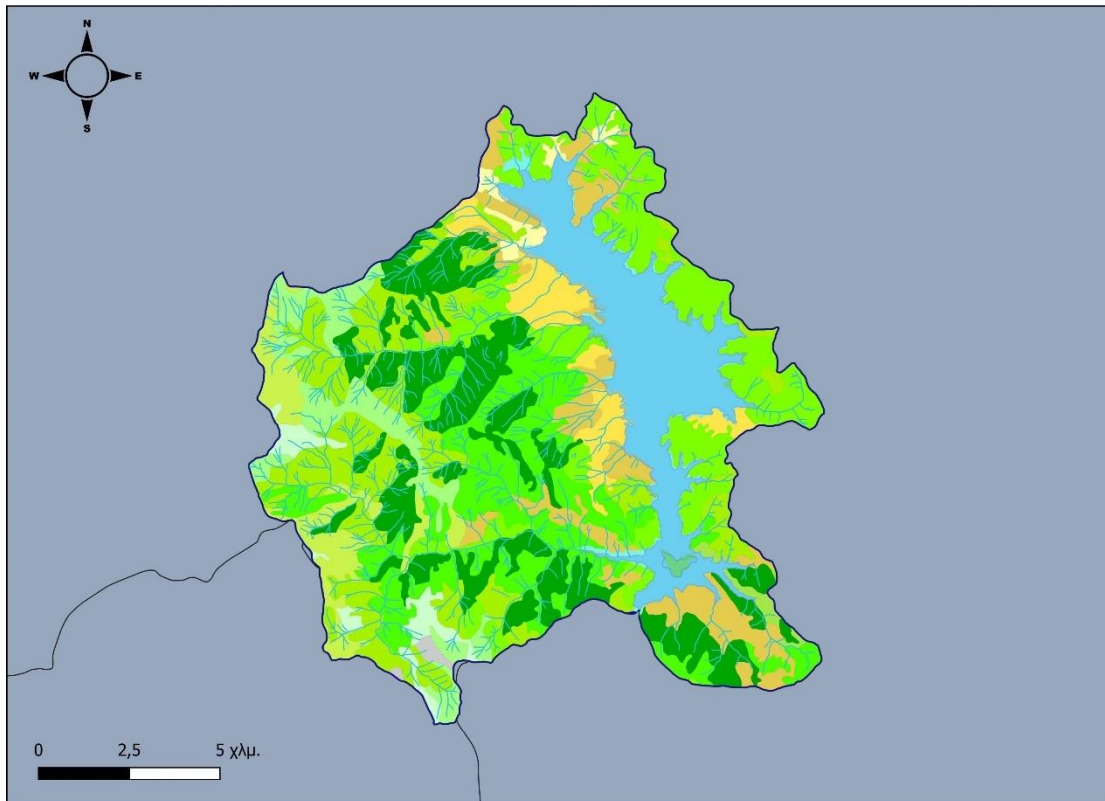
Σχετικά με τις εισροές και τις εκροές υδάτων στη λίμνη, οι πρώτες προέρχονται από την άμεση κατακρήμιση, τα επιφανειακά νερά της λεκάνης απορροής, αλλά και από εισροές υπόγειου νερού κάτω από την επιφάνεια της λίμνης, ενώ οι εκροές πραγματοποιούνται με απόληψη προς τον ΥΗΣ, με υπόγειες διαφυγές αλλά και την εξάτμιση άμεσα από την επιφάνεια της λίμνης.

Σύμφωνα με την Πετροπούλου (2020), για το χρονικό μήκος της υδρολογικής περιόδου από το έτος 1961-62 έως και το έτος 2018-19, από τα στοιχεία των εισροών λόγω απορροής της υπολεκάνης ανάντη της λίμνης Πλαστήρα, προέκυψε η μέση ετήσια απορροή για τα παραπάνω έτη ίση με 147 εκατομμύρια κυβικά (hm^3). Πρόκειται για μία τιμή η οποία θεωρείται αρκετά υψηλή για τα ελληνικά δεδομένα που αποδεικνύει τον πλούτο σε υδατικό δυναμικό που διαθέτει η περιοχή.

2.3.2 Χρήσεις γης της Λεκάνης Απορροής

Οι χρήσεις γης και ειδικότερα η φυτοκάλυψη είναι ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απορροή με πολλούς τρόπους, με έναν από αυτούς να είναι ο λεγόμενος μηχανισμός παρεμπόδισης της χλωρίδας. Αποτέλεσμα του μηχανισμού αυτού είναι η μείωση του όγκου της απορροής κατά την ποσότητα αυτή που κατακρατείται από τη χλωρίδα και τελικά εξατμίζεται ή απορροφάται από αυτή. Αυτός ο μηχανισμός είναι επίσης υπεύθυνος για την χρονική υστέρηση της απορροής, η οποία εξαρτάται και από την τραχύτητα του εδάφους. Είναι σαφές πως η φυτοκάλυψη συμβάλλει στη μείωση του όγκου της άμεσης απορροής καθώς και της επιβράδυνσης και εξομάλυνσής της, γεγονός που συμβάλλει και στον περιορισμό των πλημμυρικών φαινομένων (Αργυράκης 2015).

Για την ανάλυση των χρήσεων γης στην περιοχή ενδιαφέροντος χρησιμοποιήθηκε το σύνολο γεωχωρικών δεδομένων Corine LandCover για το έτος 2018, τα οποία διατίθενται μέσω του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus. Έτσι, δημιουργήθηκε ο Χάρτης του Σχήματος 2.3 των χρήσεων γης της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα.



Σχήμα 2.3: Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα (Ιδία επεξεργασία)

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω χάρτη, την μεγαλύτερη έκταση ως προς τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής καταλαμβάνουν τα δάση κωνοφόρων, πλατύφυλλων και μικτά, στην συνέχεια ακολουθούν οι θαμνότοποι και τα λιβάδια και

σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται οι μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις και οι μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις.

2.3.3 Γεωλογία και Υδρογεωλογία της Λεκάνης Απορροής

Η σύσταση των εδαφών της λεκάνης απορροής επιδρά κυρίως στα υδρολογικά ελλείμματα, δηλαδή στο να διαχωριστεί η ενεργός βροχόπτωση από τη συνολική. Πιο ειδικά, οι μηχανικές ιδιότητες του εδάφους, υδροπερατότητα και υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζουν άμεσα το ρυθμό διήθησης και από την άλλη, η χημική του σύσταση είναι εκείνη που καθορίζει το είδος της φυτοκάλυψης και τους επικρατούντες τύπους χλωρίδας, που επηρεάζουν τόσο την κατακράτηση όσο και τη διήθηση (Αργυρίου 2015).

Στη ΛΑΠ Αχελώου, στην οποία εντάσσεται υδρολογικά η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα συναντώνται οι παρακάτω γεωτεκτονικές ζώνες: Ιόνιος Ζώνη στο Δυτικό τμήμα της ΛΑΠ, Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, σε μικρή έκταση στο νοτιοανατολικό άκρο και Ζώνη Πίνδου στα ανατολικά και βορειοανατολικά της λεκάνης απορροής. Όσων αφορά τις υπόγειες υδροφορίες, αυτές αναπτύσσονται στους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου Ζώνης και της Ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου αναπτύσσονται διαφορετικής έκτασης υδρολογικές λεκάνες και αντίστοιχα ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες.

Η περιοχή της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα τοποθετείται στο καρστικό υδροφόρο σύστημα Ωλονού-Πίνδου, το οποίο έχει έκταση 3.550 km² περίπου και αναπτύσσεται βόρεια του υδροσυστήματος της Ναύπακτου. Εκτείνεται από τον Κορινθιακό Κόλπο και φτάνει προς βορρά μέχρι τα όρη Αθαμάνων (Τζουμέρκα) της οροσειράς της Νότιας Πίνδου, ενώ καταλαμβάνει τα μεγάλα ορεινά τμήματα των Περιφερειακών Ενοτήτων Αιτωλοακαρνανίας, Ευρυτανίας και μικρότερα ορεινά των Π.Ε Καρδίτσας, Τρικάλων, Άρτας και Φωκίδας (thessaly.gov.gr).

Η λεκάνη απορροής αποτελείται κυρίως από δύο τύπους φλύσχη, τον πηλιτικό και τον ψαμμιτικό, ενώ σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι. Συγκεκριμένα, η υδρολογική λεκάνη στο μεγαλύτερο ποσοστό της καλύπτεται από αδιαπέρατα μεταμορφωμένα και ηφαιστειακά πετρώματα (61%), σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται τα ασβεστολιθικά πετρώματα (23%) και το υπόλοιπο ποσοστό (16%) καλύπτεται από κοκκώδεις και προσχωματικές αποθέσεις (Πετροπούλου 2020).

Αναφορικά με τις υδρογεωλογικές συνθήκες μίας περιοχής, εκτός από τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία, προσδιορίζονται και από τα επιμέρους υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που καθορίζουν τη δομή τους. Οι υδρογεωλογικοί χαρακτήρες προσδιορίζονται τόσο από τις ιδιότητες των πετρωμάτων, όσο και από το βαθμό που εκείνα επιτρέπουν την κυκλοφορία και την αποθήκευση του νερού στα πρωτογενή ή δευτερογενή διάκενα που υπάρχουν στη μάζα τους. Η ιδιότητα αυτή προσδιορίζεται από δύο σημαντικές παραμέτρους, την υδροπερατότητα και το πορώδες. Ως υδροπερατότητα ορίζεται η ιδιότητα των πετρωμάτων και των γεωλογικών σχηματισμών να επιτρέπουν τη ροή του νερού δια μέσω αυτών (thessaly.gov.gr).

Έτσι, υδρογεωλογικά στην έκταση της λεκάνης απορροής επικρατούν οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί του φλύσχη (61%), σε μικρότερη έκταση συναντώνται μέτριας προς υψηλής διαπερατότητας σχηματισμοί (23%), ιδιαίτερα στο δυτικό ορεινό της τμήμα, και κυρίως ασβεστόλιθοι, ενώ σε πολύ μικρότερο ποσοστό (16%) βρίσκονται οι μέτριας υδροπερατότητας προσχώσεις. Ως εκ τούτου, τα υπόγεια αποθέματα της λεκάνης απορροής μπορούν να χαρακτηρισθούν ως σχετικώς περιορισμένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Επισκόπηση Υδρολογικών Μοντέλων

Η μοντελοποίηση της δυναμικής σχέσης βροχόπτωσης - απορροής αποτελεί ένα από εκείνα τα πεδία της επιστήμης της υδρολογίας τα οποία έχουν μελετηθεί περισσότερο εξ αιτίας των βασικών εφαρμογών στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι έρευνες που πραγματοποιούνται για την κατανόηση του φαινομένου προσπαθούν να ερμηνεύσουν τον τρόπο μετατροπής των κατακρημνίσεων σε απορροή και τελικά σε παροχές στα υδατορεύματα. Τα μοντέλα που αναπτύσσονται επιχειρούν να επιτύχουν την καλύτερη δυνατή εκτίμηση των παραμέτρων που επηρεάζουν το φυσικό αυτό φαινόμενο ενσωματώνοντας έναν μαθηματικό αλγόριθμο που περιγράφει όσο το δυνατόν ακριβέστερα αυτόν το φυσικό μετασχηματισμό (Μπότσης 2016).

3.1 Ορισμός

Με τον όρο υδρολογικά μοντέλα περιγράφονται όλοι εκείνοι οι μαθηματικοί μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου όπως τα υδρολογικά και τα γεωμορφολογικά, καθώς και οι εύλογες υποθέσεις σχετικά με τον υδρολογικό κύκλο και τους μηχανισμούς του, έτσι ώστε να αναπαρασταθούν οι υδρολογικές διεργασίες σε κατάλληλη χωρική και χρονική κλίμακα (Μαμάσης και Ευστρατιάδης 2017).

Πιο αναλυτικά, τα υδρολογικά μοντέλα επιχειρούν να αναπαραστήσουν με απλό τρόπο τα πραγματικά υδρολογικά συστήματα, προχωρούν στην πρόβλεψη των διαφόρων υδρολογικών παραμέτρων και επιχειρούν την όσο το δυνατόν καλύτερη κατανόηση των υδρολογικών γεγονότων. Η έννοια της προσομοίωσης εισάγεται λοιπόν για να περιγράψει τη μαθηματική συμπεριφορά ενός συστήματος υδατικών πόρων για μια συγκεκριμένη υδρολογική περίοδο στοχεύοντας κυρίως στην εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου και στην προσομοίωση των υδατικών αποθεμάτων, στην εκτίμηση των απωλειών νερού και στην επίτευξη του περιορισμού αυτών, στην εκτίμηση και πρόβλεψη των πλημμυρικών φαινομένων, στην βελτιστοποίηση της χρήσης των επιφανειακών υδατικών πόρων κλπ. (Τερελίδης 2013).

Ο σκοπός της έρευνας, η εμπειρία του ερευνητή και τα διαθέσιμα δεδομένα είναι αυτά που καθορίζουν την επιλογή του μοντέλου. Τόσο η ποσότητα, όσο και η ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων αποτελούν σε μια έρευνα έναν από τους βασικούς περιοριστικούς παράγοντες δεδομένου ότι η δυνατότητα επίτευξης μεγαλύτερης ακρίβειας, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αναλυτικότερων σχημάτων προσομοίωσης έρχεται σε αντίθεση με την ανεπάρκεια υδρολογικών μετρήσεων και άλλων δεδομένων εισόδου, τα οποία κρίνονται απαραίτητα για την σχηματοποίηση του μοντέλου. Η επιλογή του μοντέλου ακολουθείται στη συνέχεια από τη διαδικασία προσαρμογής του στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής, εκτιμώνται δηλαδή οι παράμετροι του (Ευστρατιάδης κ.α. 2009). Σύμφωνα με την αρχή της φειδωλότητας, εάν στην εξεταζόμενη περίπτωση μπορούν να ανταποκριθούν περισσότερα του ενός μοντέλα, τότε θα πρέπει να επιλεγεί το λιγότερο περίπλοκο, δηλαδή εκείνο με τις λιγότερες παραμέτρους (Giakoumakis et al. 2015).

3.2 Κατηγορίες Υδρολογικών Μοντέλων

Τα στοιχεία όπως η χωρική κλίμακα, η χρονική διακριτότητα, η στοχαστική ή μη δομή των μεταβλητών και ο βαθμός προσέγγισης των φυσικών διεργασιών είναι εκείνα που καθορίζουν τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα υδρολογικά μοντέλα. Από την άλλη, η δομή ενός μοντέλου είναι εκείνη που καθορίζει τον τρόπο υπολογισμού της απορροής. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται εύκολα με λίγες μεταβλητές, ενώ άλλα απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό διασυνδεδεμένων μεταβλητών. Έτσι, η δομή των μοντέλων διακρίνεται από απλή έως και σύνθετη, ανάλογα με τις εξισώσεις που το διέπουν.

Στη συνέχεια αναλύονται οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα υδρολογικά μοντέλα, ενώ στον Πίνακα 3.1 εμφανίζονται τρεις περιπτώσεις υδρολογικών μοντέλων ευρείας χρήσης με τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία τους.

Κατηγοριοποίηση με βάση τη χωρική κλίμακα

Αδιαμέριστα μοντέλα (lumped)

Τα μοντέλα αυτά στηρίζονται στην υπόθεση πως τα μεγέθη εισόδου (βροχόπτωση και θερμοκρασία), αλλά και τα μεγέθη εξόδου (απορροή), κατανομονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής, μη λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές των μεταβλητών στο χώρο.

Ημι-κατανεμημένα μοντέλα (semi-distributed)

Στην περίπτωση αυτή η λεκάνη απορροής διακρίνεται σε επιμέρους υπολεκάνες, όπου πρόκειται για ενότητες είτε φυσικές είτε χωρικές που παρουσιάζουν κοινά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, με διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης, αλλά και τιμές παραμέτρων. Η εκτιμώμενη απορροή στην έξοδο της λεκάνης προκύπτει ως συνάρτηση των υπολογισμών για κάθε υπολεκάνη.

Ημι-αδιαμέριστα μοντέλα (semi-lumped)

Η περίπτωση αυτή θεωρείται μια ενδιάμεση μορφή ενός αδιαμέριστου και ημι-κατανεμημένου μοντέλου, όπου η λεκάνη απορροής διαχωρίζεται σε επιμέρους χωρικές ενότητες οι οποίες δέχονται διαφορετικές φορτίσεις. Ωστόσο, σε όλες τις υπολεκάνες εφαρμόζονται κοινές παράμετροι.

Πλήρως κατανεμημένα μοντέλα (distributed)

Το φυσικό σύστημα υφίσταται κατάτμηση σε πολύ μικρές χωρικές ενότητες που αντιπροσωπεύουν ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, στα οποία αντιστοιχούν τόσο διαφορετικές τιμές φόρτισης όσο και διαφορετικές τιμές παραμέτρων.

Κατηγοριοποίηση με βάση τη χρονική διακριτότητα

Πρόκειται για ένα στοιχείο άρρηκτα συνδεδεμένο με το σκοπό του μοντέλου. Όταν η προσομοίωση έχει διαχειριστικούς σκοπούς, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι σε μηνιαίο και σπανιότερα σε ημερήσιο χρονικό βήμα.

Αντίθετα, τα μοντέλα πλημμυρών ή τα συνδυαστικά υδρολογικά – υδροδυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούν μικρότερες κλίμακες, με την ημερήσια να θεωρείται η μέγιστη.

Μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος

Στην κατηγορία αυτή, τα μοντέλα περιγράφουν μεμονωμένα γεγονότα ραγδαίας βροχόπτωσης και πλημμυρογραφήματος που αναφέρεται σε αυτήν.

Συνεχή μοντέλα

Τα μοντέλα αυτά εξυπηρετούν στην περιγραφή της διαχρονικής εξέλιξης του ισοζυγίου υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας.

Κατηγοριοποίηση με βάση την στοχαστική ή μη δομή των μεταβλητών του μοντέλου

Στοχαστικά μοντέλα

Τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται σε περιπτώσεις όπου η πραγματοποίηση ενός υδρολογικού φαινομένου, όπως είναι η αιχμή μιας πλημμύρας, είτε είναι είτε μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη από κάθε άλλη πραγματοποίηση του ίδιου φαινομένου. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας είναι η πιθανολογική προσέγγιση των υδρολογικών διεργασιών, οι οποίες αντιμετωπίζονται ως τυχαίες μεταβλητές. Με την αναπαράσταση των στατιστικών μεγεθών των παρατηρημένων χρονοσειρών εξασφαλίζεται τόσο η στατιστική συνέπεια όσο και η συνέπεια με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος.

Προσδιοριστικά μοντέλα

Πρόκειται για μια κατηγορία μοντέλων που είναι ικανά να προσομοιάσουν πλήρως τον υδρολογικό κύκλο και όλες τις συνιστώσες του, αποτελώντας ταυτόχρονα μια αξιόπιστη αναπαράσταση της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος.

Κατηγοριοποίηση με βάση το βαθμό προσέγγισης των φυσικών διεργασιών

Μοντέλα φυσικής βάσης (physically-based)

Πρόκειται για κατανεμημένα μοντέλα τα οποία αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες μικρής κλίμακας στηριζόμενα στους νόμους της φυσικής που σχετίζονται με την κίνηση του νερού. Βέβαια, τα μοντέλα περιγραφής των φυσικών διεργασιών είναι σχεδόν αδύνατο να είναι φυσικής βάσης, καθώς οι ενδιάμεσες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του υδρολογικού κύκλου δεν είναι πλήρως γνωστές.

Εννοιολογικά μοντέλα (conceptual)

Πρόκειται για μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούν παραμετρικές σχέσεις, αναπαριστώντας τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και τα αποτελέσματά τους εξαρτώνται από την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων.

Μοντέλα μαύρου κουτιού (black-box)

Οι εξισώσεις των μοντέλων αυτών δεν αναπαριστούν τις ενδιάμεσες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, αλλά έχουν ως βασικό πλεονέκτημά τους, σε σχέση με τα αναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης, τη χρήση απλών μαθηματικών εξισώσεων για να πετύχουν την ικανοποιητική προσομοίωση του υδρογραφήματος της μετρημένης απορροής.

Ειδικότερα, τα εννοιολογικά και φυσικής βάσης μοντέλα ενσωματώνουν φυσικά στοιχεία εκφρασμένα σε απλοποιημένες μορφές, αντιπροσωπεύοντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικές ή κυρίαρχες επιμέρους διεργασίες των υδρολογικών φαινομένων, όπως είναι και ο μετασχηματισμός της βροχόπτωσης σε απορροή. Σε επίπεδο λεκάνης απορροής, η εφαρμογή των μοντέλων αυτών δίνει τη δυνατότητα ταυτοποίησης των υδρολογικών διεργασιών και βελτίωσης των αντίστοιχων γνώσεων σχετικά με αυτές. Βέβαια, αυτές οι επιμέρους διεργασίες αλληλοεπιδρούν σε διαφορετικές κλίμακες και με τρόπο μη γραμμικό με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητές και φυσικά να αναπαρασταθούν.

Τα εννοιολογικά μοντέλα ερμηνεύουν τις διαδικασίες απορροής συνδέοντας απλοποιημένα στοιχεία στο σύνολο της υδρολογικής διαδικασίας. Βασίζονται σε δεξαμενές νερού και σε απλοποιημένες εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν τη φυσική υδρολογική διαδικασία. Το υδατικό ισοζύγιο αντιπροσωπεύεται από μία εξίσωση όπου η βροχόπτωση μετατρέπεται σε απορροή, εξατμισοδιαπνοή και υπόγεια ύδατα και κάθε μεταβλητή της εξίσωσης αυτής εκτιμάται από μαθηματικές πράξεις. Γενικότερα, οι εξισώσεις που ενσωματώνονται στα εννοιολογικά μοντέλα αποτελούν παραλλαγές της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου και συμβάλλουν στον έλεγχο της διακύμανσης των επιφανειακών υδάτων και της αποθήκευσής τους. Η γενική μορφή της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου παρατίθεται στη συνέχεια (Sitterson et al. 2017):

$$\frac{dS}{dt} = P - ET - Q_s \pm GW$$

όπου dS/dt είναι η μεταβολή στην αποθήκευση στη δεξαμενή, P είναι η κατακρήμνιση, ET είναι η εξατμισοδιαπνοή, Q_s η επιφανειακή απορροή και GW είναι τα υπόγεια ύδατα.

Πίνακας 3.1: Σύγκριση των βασικών δομικών κατηγοριών των υδρολογικών μοντέλων (Sitterson et al. 2017)

	Εμπειρικά	Εννοιολογικά	Φυσικά
Μεθοδολογία	Μη γραμμική σχέση μεταξύ των εισροών και των εκροών, μοντέλα μαύρου κουτιού (blackbox)	Απλοποιημένες εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν την αποθήκευση νερού στη λεκάνη απορροής	Φυσικοί νόμοι και εξισώσεις βασισμένα σε πραγματικές υδρολογικές συνθήκες
Δυνατά σημεία	Μικρός αριθμός παραμέτρων, πιο ακριβές, ταχύτητα στην εκτέλεση	Ευκολία στη βαθμονόμηση, απλή δομή	Ενσωματώνει την χωρική και χρονική μεταβλητότητα
Αδύνατα σημεία	Καμία σύνδεση με τη φυσική λεκάνη απορροής, παραμόρφωση των δεδομένων εισόδου	Δεν εξετάζεται η χωρική μεταβλητότητα εντός της λεκάνης απορροής	Μεγάλος αριθμός παραμέτρων, απαιτείται βαθμονόμηση
Καλύτερη χρήση	Η απορροή είναι το μόνο στοιχείο εξόδου που απαιτείται	Περιορισμένος χρόνος ή δεδομένα	Καλής ποιότητα δεδομένα σε μικρή κλίμακα

3.3 Ορισμός των εννοιών βαθμονόμηση και επαλήθευση

Ο όρος βαθμονόμηση ή αλλιώς calibration, προερχόμενος από τις επιστήμες της στατιστικής, εκφράζει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, ώστε να επιτύχει οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις αντίστοιχες παρατηρημένες. Η διαδικασία της βαθμονόμησης ενός υδρολογικού μοντέλου απαιτεί την ύπαρξη συστηματικών μετρήσεων, δηλαδή χρονοσειρών, για ένα επαρκές χρονικό διάστημα, επιτρέποντας τη σύγκριση των ιστορικών με τα προσομοιωμένα δεδομένα (Ευστρατιάδης κ.α. 2009). Αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης είναι η εξαγωγή του συμπεράσματος για το πόσο καλά προσαρμόζονται οι δύο χρονοσειρές και φυσικά γίνεται αντιληπτό το πόσο καλά προσαρμόζεται το εκάστοτε μοντέλο στα δεδομένα που διατίθενται. Ως μέτρο καλής προσαρμογής έχει οριστεί και χρησιμοποιείται ευρέως ο συντελεστής επίδοσης των Nash και Sutcliffe, NSE, για τον οποίο ισχύει ότι (Τίγκας 2015):

$$-\infty \leq NSE \leq 1$$

Όταν ο συντελεστής λαμβάνει αρνητική τιμή υποδηλώνει ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου κρίνονται ανεπαρκή και χειρότερα ακόμη και από την απλή θεώρηση της μέσης τιμής των μετρημένων απορροών και κατά συνέπεια το μοντέλο χαρακτηρίζεται ως μη αποδεκτό. Από την άλλη, μια τιμή του συντελεστή NSE που

τείνει στην μονάδα υποδηλώνει την καλή προσαρμογή του μοντέλου (Γουργουλιός 2019).

Θεωρώντας πως διατίθενται ταυτόχρονες χρονοσειρές απορροής από μετρήσεις υδρολογικών μεγεθών εισόδου και ότι το υδρολογικό μοντέλο που χρησιμοποιείται έχει K παραμέτρους (a_1, a_2, \dots, a_K) τότε η χρονοσειρά της συνθετικής απορροής για τυχαίες τιμές των παραπάνω παραμέτρων προκύπτει ως συνάρτηση των παραμέτρων και των υδρολογικών μεγεθών. Εφαρμόζοντας μια οποιαδήποτε κατάλληλη μέθοδο βελτιστοποίησης, η συνάρτηση στόχου προς μεγιστοποίηση είναι ο συντελεστής NSE και οι μεταβλητές απόφασης το πλήθος των παραμέτρων του μοντέλου.

Οι βέλτιστες παράμετροι που προκύπτουν από τη διαδικασία της βαθμονόμησης εισάγονται πλέον στο μοντέλο μαζί με τις χρονοσειρές των υδρολογικών μεγεθών που εισάγονται σε αυτό για την εξεταζόμενη περιοχή, αλλά για διαφορετική υδρολογική περίοδο από εκείνη που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Η υδρολογική αυτή περίοδος καλείται περίοδος επαλήθευσης. Με τον όρο επαλήθευση ή αλλιώς validation καλείται εκείνη η διαδικασία αξιολόγησης μοντέλων που στόχο έχει να διαπιστώσει αν αυτά αποτελούν αντιπροσωπευτικές αναπαραστάσεις του συστήματος που προσομοιώνουν. Από τη διαδικασία αυτή προκύπτει μια νέα τιμή του συντελεστή NSE, συνήθως μικρότερη, που στη συνέχεια θα συγκριθεί με εκείνη που προέκυψε κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Αν οι δύο αυτές τιμές είναι συγκρίσιμες τότε το μοντέλο γίνεται αποδεκτό, διαφορετικά απορρίπτεται (Γουργουλιός 2019).

3.4 Το λογισμικό Medbasin

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα υδρολογικά μοντέλα αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού μιας περιοχής.

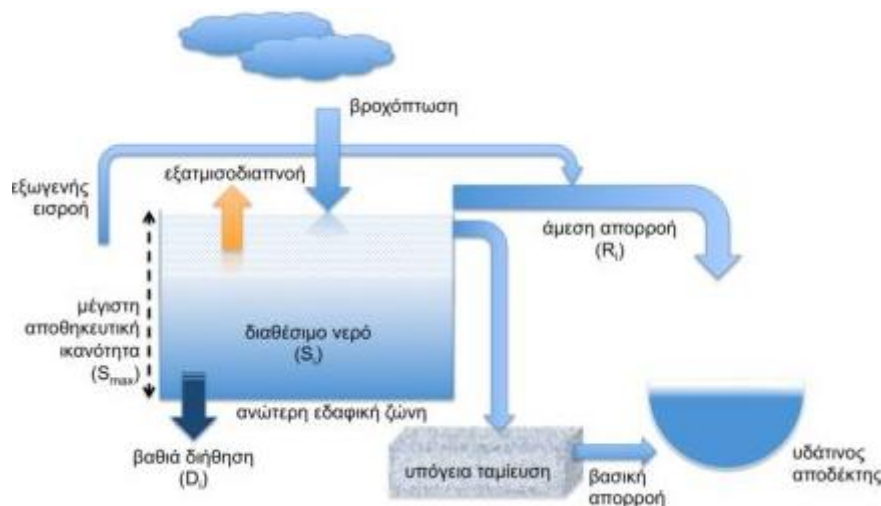
Το λογισμικό Medbasin ενσωματώνει δύο διαφορετικά υδρολογικά μοντέλα (βροχόπτωσης απορροής) το Medbasin-M, το οποίο λειτουργεί σε μηνιαία χρονική βάση και το Medbasin-D σε ημερήσια. Η ανάπτυξη του λογισμικού Medbasin στόχευε στην δημιουργία ενός εύχρηστου εργαλείου για την αντιμετώπιση ζητημάτων διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων σε μια περιοχή σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Εστιάζει στην προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν σε λεκάνες απορροής της περιοχής της Μεσογείου.
- Η προσομοίωση της απορροής για μικρού και μεσαίου μεγέθους υδρολογικές λεκάνες κρίνεται ικανοποιητική.
- Η βροχόπτωση και η δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι τα βασικά δεδομένα εισόδου.
- Δυνατότητα εκτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.
- Ανάπτυξη και προσομοίωση σεναρίων εισροής νερού από καρστικά συστήματα.
- Ανάπτυξη και προσομοίωση σεναρίων ξηρασίας και κλιματικών μεταβολών.

3.4.1 Μηνιαίο Μοντέλο (Medbasin-M)

Το Medbasin-M αποτελεί το μηνιαίο μοντέλο του λογισμικού με κύρια δεδομένα εισόδου τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η δεύτερη μπορεί να υπολογιστεί είτε με μεθόδους που κάνουν χρήση της θερμοκρασίας, όπως η μέθοδος Thornthwaite που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ή με πιο σύνθετες μεθόδους όπως αυτή του FAO κατά Penman-Moenteith.

Στο Σχήμα 3.1 δίνεται η απεικόνιση της δομής και των διαδικασιών που μπορούν να προσομοιωθούν από το μοντέλο Medbasin-M.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της δομής του μοντέλου Medbasin-M (Τίγκας 2015)

Κατά το μοντέλο αυτό, το επιφανειακό στρώμα του εδάφους της λεκάνης απορροής (ζώνη ριζοστρώματος) αποτελεί «δεξαμενή» ταμίευσης του νερού με μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης S_{max} . Σύμφωνα με το Σχήμα 3.1, η μεταβλητή S_i (mm) αντιπροσωπεύει το διαθέσιμο νερό για οποιοδήποτε μήνα i (υγρασία εδάφους). Το μηνιαίο έλλειμμα υγρασίας του εδάφους στη λεκάνη απορροής ορίζεται από τη διαφορά $S_{max}-S_i$, κατά μέσο όρο.

Σε αυτήν τη «δεξαμενή» προστίθεται η μηνιαία βροχόπτωση P_i και αφαιρείται η τιμή της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής PET_i . Στην περίπτωση που η ποσότητα που περισσεύει ξεπερνά τη μέγιστη τιμή της παραμέτρου S_{max} , αυτή επιμερίζεται σε δύο τμήματα με το πρώτο να αποτελεί την άμεση απορροή R_i και το δεύτερο τις απώλειες βαθιάς διήθησης D_i . Η παράμετρος επιμερισμού K με εύρος τιμών μεταξύ 0 και 1, είναι εκείνη που ρυθμίζει το μέγεθος των τμημάτων αυτών (Giakoumakis et al. 2015).

Συνήθως, εκτιμάται μια δεύτερη, ακριβέστερη τιμή της απορροής μέσω μιας παραμέτρου a (συντελεστής υστέρησης) στην περίπτωση που στη λεκάνη υπάρχει βασική ροή καθ' όλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους. Η τιμή της παραμέτρου αυτής κυμαίνεται στο διάστημα μεταξύ 0 και 1. Αν βρίσκεται κοντά στη μονάδα σημαίνει ότι η απορροή συγκεντρώνεται τους χειμερινούς μήνες (χωρίς βασική ροή), διαφορετικά όσο πλησιάζει το 0 η απορροή επεκτείνεται στους εαρινούς και θερινούς μήνες. Στην περίπτωση που αντικείμενο της έρευνας είναι οι ετήσιες τιμές της

απορροής, η χρήση της παραμέτρου a μπορεί να παραλειφθεί, αφού επηρεάζει την κατανομή της απορροής ανά μήνα και όχι τον συνολικό ετήσιο όγκο της (Τίγκας 2015).

Η λειτουργία του μοντέλου ξεκινά με τον υπολογισμό μιας δοκιμαστικής τιμής της εδαφικής υγρασίας S_i' που αφορά την υφιστάμενη ποσότητα νερού στο έδαφος με την εξίσωση που ακολουθεί (Giakoumakis et al. 2015):

$$S'_i = S_{i-1} + P_i - PET_i \quad (3.1)$$

όπου ο δείκτης $i=2,3,\dots,n$ αντιπροσωπεύει τον αριθμό του μήνα. Η τιμή S_{i-1} που εκφράζει την ποσότητα νερού κατά τον πρώτο μήνα ορίζεται από το χρήστη και μπορεί να θεωρηθεί μηδενική στην περίπτωση που εξετάζονται μικρές λεκάνες με εποχική ροή.

Με γνωστή την τιμή S_i' οι αντίστοιχες μηνιαίες τιμές απορροής και βαθιάς διήθησης R_i και D_i αντίστοιχα, υπολογίζονται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

$$\text{Αν } S'_i < 0, \text{ τότε } S_i=0, R_i=0 \text{ και } D_i=0 \quad (3.2)$$

$$\text{Αν } 0 \leq S'_i \leq S_{max}, \text{ τότε } S_i= S'_i, R_i=0 \text{ και } D_i=0 \quad (3.3)$$

$$\text{Αν } S'_i > S_{max}, \text{ τότε } S_i=S_{max}, R_i=(1-K) \cdot (S'_i - S_{max}) \text{ και } D_i=K \cdot (S'_i - S_{max}) \quad (3.4)$$

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα ET_{Ai} υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ET_{Ai} = P_i - (S_i - S_{i-1}) - R_i - D_i \quad (3.5)$$

Τελικά, η τιμή της μηνιαίας απορροής Q_i , στην περίπτωση που γίνεται χρήση και του συντελεστή υστέρησης a , προκύπτει σύμφωνα με την εξίσωση:

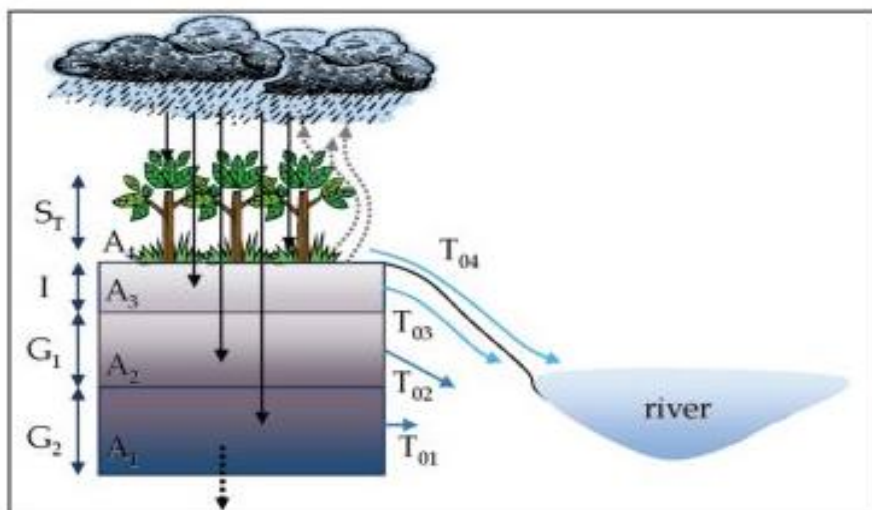
$$Q_i = a R_i + (1-a) Q_{i-1} \quad (3.6)$$

3.4.2 Ημερήσιο Μοντέλο (Medbasin-D)

Το ημερήσιο μοντέλο του λογισμικού βασίζεται στο μοντέλο MERO που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 με εφαρμογή σε λεκάνες απορροής της νήσου Κύπρου (Phanartzis 1972). Επίσης, αναφορικά με το μοντέλο Medbasin-D χρησιμοποιήθηκε και μια τροποποιημένη εκδοχή του που εφαρμόστηκε από τους Giakoumakis et al. (1991) σε λεκάνες απορροής νησιών του Αιγαίου. Στη συνέχεια, το μοντέλο ενισχύθηκε με επιπλέον εργαλεία, όπως αυτά της διαμόρφωσης σεναρίων κλιματικών μεταβολών, ξηρασίας και παροχής πηγών, ενσωματώθηκαν δε σε αυτό δυνατότητες βαθμονόμησης με εναλλακτικούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης (Τίγκας 2015).

Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο είναι η ημερήσια βροχόπτωση και η ημερήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Στην περίπτωση που δεν διατίθενται δεδομένα ημερήσιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, μπορεί να γίνει χρήση των διαθέσιμων μετεωρολογικών (π.χ. θερμοκρασιών αέρα), αφού το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη υπολογισμού της με τις μεθόδους Hargreaves και Thornthwaite. Ακόμη, το μοντέλο επιτρέπει και τη χρήση δεδομένων εξατμισόμετρου λεκάνης, τα οποία μετατρέπονται σε δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τους κατάλληλους διορθωτικούς συντελεστές.

Η δομή του μοντέλου στηρίζεται στο διαχωρισμό του επιφανειακού και του υπεδάφιου συστήματος σε αποθηκευτικά στρώματα στα οποία λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι διεργασίες που ορίζουν τη διαδρομή του διαθέσιμου υδατικού αποθέματος. Στο Σχήμα 3.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται μια απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση των διεργασιών που πραγματοποιούνται στο μοντέλο Medbasin-D.



Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση διεργασιών του μοντέλου Medbasin-D (Τίγκας 2015)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι η ημερήσια απορροή ποταμού είναι η άθροιση της εκροής από τέσσερις διαφορετικές «δεξαμενές» δηλαδή, αυτή συντίθεται από την επιφανειακή ροή S_T , την υπεδάφια ροή I , G_1 τη ροή από την προσωρινή «δεξαμενή» αποθήκευσης και G_2 τη ροή από την υποκείμενη αυτής μόνιμη «δεξαμενή» αποθήκευσης (temporary and permanent spring reservoirs, αντίστοιχα, που τρόπον τινά αντιστοιχούν στην επονομαζόμενη βασική ροή ποταμού). Οι παράμετροι A_1 , A_2 , A_3 , A_4 αντιπροσωπεύουν τις επιφάνειες στη λεκάνη απορροής πρόσληψης νερού για την κάθε αποθηκευτική δεξαμενή, ενώ οι T_{01} , T_{02} , T_{03} και T_{04} καλούνται ως συντελεστές καθυστέρησης που καθορίζουν την εκροή από τις «δεξαμενές» εκροής. Συνήθως οι τιμές τους κυμαίνονται έως 24 ώρες για την επιφανειακή ροή (T_{04}), 2 έως 8 μέρες για την υπεδάφια (T_{03}), από 8 έως 50 μέρες για την προσωρινή (T_{02}) και 50 έως 250 μέρες για τη μόνιμη δεξαμενή εκροής (T_{01}) (Giakoumakis et al. 1991). Οι παράμετροι A_1 , A_2 , A_3 , A_4 και T_{01} , T_{02} , T_{03} και T_{04} προσδιορίζονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου.

Τα δύο βασικά συστήματα αποθήκευσης νερού που ορίζονται στο μοντέλο Medbasin-D είναι αλληλοσυνδεδεμένα και διακρίνονται στο σύστημα ανάσχεσης (interception) (U) λόγω της βλάστησης κλπ., επάνω από την επιφάνεια του εδάφους, και το σύστημα του αποθηκευμένου εδαφικού νερού (L). Η ανώτερη εδαφική ζώνη θεωρείται ότι καλύπτει την περιοχή της ριζικής ζώνης στην οποία η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία L_1 μπορεί να λάβει μία μέγιστη τιμή, γνωστή ως υδατοϊκανότητα του εδάφους (Field Capacity- L_{FC}). Η κατώτερη ζώνη με αποθηκευμένη εδαφική υγρασία L_2 δέχεται την περίσσεια υγρασίας του ανώτερου εδαφικού στρώματος, όταν η τιμή της υπερβαίνει αυτή της υδατοϊκανότητας. Η μέγιστη τιμή του στρώματος

ανάσχεσης (U_{max}), η μέγιστη συνολική εδαφική υγρασία (μέγιστο άθροισμα των L_1 και L_2) (L_{max}), καθώς και η υδατοϊκανότητα του εδάφους L_{FC} δεν προέρχονται από μετρήσεις πεδίου, αλλά οι τιμές τους προσδιορίζονται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του μοντέλου, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή προσαρμογή στις παρατηρημένες τιμές της ημερήσιας απορροής.

Οι συναρτήσεις εκροής από τις αντίστοιχες «δεξαμενές», που δίνουν ως άθροισμα τις επιμέρους συνιστώσες της ημερήσιας απορροής, προέκυψαν με βάση δεδομένα από την Κύπρο και είναι όπως παρακάτω (Phanartzis 1972, Tigkas και Tsakiris 2004):

Επιφανειακή ροή ST (mm)

$$ST = (-0.32 + 0.071 * P_N + 0.05 * (PRST - 0.5) - Q_0) * CT \quad (3.7)$$

εάν $P_N \leq 10 \text{ mm}$

$$ST = (-0.45 + 0.06 * P_N + 0.0025 * P_N^2 - 0.00001 * P_N^3 + 0.25 * (P_N - 8) * (PRST - 0.5) - Q_0) * CT \quad (3.8)$$

εάν $P_N > 10 \text{ mm}$

$$ST = (1.43 - 0.039 * P_N + 0.0032 * P_N^2 - 0.000003 * P_N^3 + 0.25 * (P_N - 8) * (PRST - 0.5) - Q_0) * CT \quad (3.9)$$

εάν $P_N > 40 \text{ mm}$

όπου P_N καθαρή βροχόπτωση, $PRST=L/L_{max}$ είναι ο λόγος του αθροίσματος της εδαφικής υγρασίας και των δύο ζωνών προς τη μέγιστη συνολική εδαφική υγρασία L_{max} , ενώ οι παράμετροι Q_0 και CT είναι παράμετροι βαθμονόμησης. Κατά τον Phanartzis (1972) είναι σταθερές με τιμές 0.05 και 0.4, αντίστοιχα.

Υπεδάφια ροή I (mm)

$$I = (P_N - ST)(0.01 + 0.05 PRST) \quad (3.10)$$

Για τη βασική (υπόγεια) ροή (temporary and permanent spring reservoirs) ισχύει:

$$GW = CL_2 * L_2^2 / (L_{max} - L_{FC}) \quad (3.11)$$

όπου CL_2 είναι η παράμετρος ρύθμισης υπόγειας ροής (προκύπτει από τη βαθμονόμηση του μοντέλου) με εύρος τιμών από 0.001 έως 0.1 και L_2 η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στην κατώτερη εδαφική ζώνη.

Οι 4 «δεξαμενές» εκροής απελευθερώνουν νερό που προστίθεται στην ημερήσια απορροή με τους πολλαπλασιαστικούς συντελεστές καθυστέρησης: $F = 1 - \exp(-1/T_{oi})$, $i=1,2,3,4$ (Σχήμα 3.2). Για τις εξισώσεις (3.7), (3.8) και (3.9) $i=4$, για την εξ. (3.10) $i=3$ και για την εξ.(3.11) $i=2$ και 1 για τις ποσότητες G_1 και G_2 , αντίστοιχα (Σχήμα 3.2).

Η διαφορά της ημερήσιας βροχόπτωσης από την αντίστοιχη δυνητική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το αρχικό δεδομένο εισόδου στο μοντέλο, που μειώνεται αρχικά από το στρώμα ανάσχεσης U . Η ποσότητα της βροχόπτωσης που απομένει

αποτελεί την καθαρή βροχόπτωση (net precipitation, P_N). Αν η τιμή της τελευταίας είναι αρνητική, αφαιρείται ως πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET_a) από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, αρχικά της ανώτερης εδαφικής ζώνης L_1 . Αν $L_1=0$, τότε η αφαίρεση εδαφικής υγρασίας συνεχίζεται από την κατώτερη εδαφική ζώνη L_2 . Αν η απομένουσα καθαρή βροχόπτωση P_N έχει θετική τιμή, μέσω των εξ. (3.7) ή (3.8) ή (3.9) εκτιμάται το ύψος της επιφανειακής ροής ST . Αφού αφαιρεθεί και η τελευταία, και η καθαρή βροχόπτωση εξακολουθεί να έχει θετική τιμή, αφαιρείται και η υπεδάφια ροή I που υπολογίζεται από την εξ. 3.10. Το περίσσειμα αν εξακολουθεί να έχει θετική τιμή προστίθεται ως εδαφική υγρασία πρώτα στην ζώνη L_1 και μετά στην L_2 . Αν $L_1+L_2-L_{max}$ θετικό ($PRST>1$) γίνεται απευθείας τροφοδοσία της προσωρινής και της μόνιμης υπόγειας «δεξαμενής» εκροής (temporary and permanent spring reservoirs, αντίστοιχα), διαφορετικά, αν $PRST<1$, μέσω της εξίσωσης εκροής (3.11).

Επίσης, εάν στην απορροή συνεισφέρει και η παροχή πηγών (spring flow) Q_{sp} αυτή θεωρείται εξωγενής εισροή στη λεκάνη απορροής και μπαίνει ως δεδομένο εισόδο (input) στο μοντέλο. Έτσι, ο τελικός υπολογισμός της ημερήσιας απορροής Q πραγματοποιείται από την εξίσωση:

$$Q = ST + I + G_1 + G_2 + Q_{sp} \quad (3.12)$$

όπου Q η ημερήσια απορροή, ST η ημερήσια επιφανειακή ροή (overland flow), I η ημερήσια υπεδάφια ροή (interflow), G_1 η ημερήσια ροή από την προσωρινή «δεξαμενή» εκροής (temporary spring reservoir), G_2 η ημερήσια ροή από την μόνιμη «δεξαμενή» εκροής (permanent spring reservoir) και Q_{sp} η ημερήσια παροχή πηγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Εφαρμογή του Medbasin-M

4.1 Γενικά

Η βαθμονόμηση του μοντέλου Medbasin-M χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο, ώστε να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση ορισμένων συναρτήσεων σκοπού. Ο αριθμός των παραμέτρων που απαιτούνται από το μοντέλο είναι δύο ή τρεις, με τον χρόνο υπολογισμού τους να θεωρείται σχετικά μικρός. Βέβαια, η βαθμονόμηση του μοντέλου μπορεί να επιτευχθεί και μέσω δοκιμών, διαδικασία όπου μπορούν να ελεγχθούν τα αποτελέσματα βάσει στατιστικών κριτηρίων και να διαπιστωθούν τυχόν αδυναμίες στη διαδικασία προσομοίωσης του μοντέλου.

Για την εφαρμογή του μηνιαίου μοντέλου στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα επιλέχθηκε η υδρολογική περίοδος από το έτος 2012-13 έως το έτος 2018-19. Το υδρολογικό αυτό διάστημα διαχωρίστηκε σε δύο περιόδους, με τα 5 πρώτα έτη 2012-13 έως 2016-17 να αποτελούν την περίοδο βαθμονόμησης και τα 2 τελευταία έτη 2017-19 έως 2018-19 να αποτελούν την περίοδο επαλήθευσης του μοντέλου. Αξίζει να σημειωθεί πως πριν την επιλογή της τελικής υδρολογικής περιόδου που χρησιμοποιήθηκε πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές ως προς το μήκος της περιόδου προσομοίωσης, αλλά και ως προς το διαχωρισμό της σε έτη βαθμονόμησης και επαλήθευσης, ώστε να επιλεγεί τελικά η καλύτερη δυνατή λύση που προσαρμόζεται βέλτιστα στις συνθήκες της λεκάνης απορροής που επελέγη.

4.2 Δεδομένα Εισόδου

4.2.1 Βροχόπτωση

Για την εφαρμογή του μοντέλου και την προσομοίωση της μηνιαίας απορροής χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία ύψη βροχόπτωσης από το βροχομετρικό σταθμό φράγματος της λίμνης για τα υδρολογικά έτη 2012-13 έως το 2018-19 (Πετροπούλου 2020). Πρόκειται για το σταθμό που βρίσκεται στη θέση του φράγματος, σε υψόμετρο 801 m, και λειτουργεί υπό την εποπτεία της ΔΕΗ. Το δείγμα των βροχομετρικών δεδομένων του εν λόγω σταθμού μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αντιπροσωπευτικό της επιφανειακής βροχόπτωσης, λόγω της γειννίας του σταθμού με τον ταμιευτήρα, αλλά και του υψομέτρου, δεδομένου ότι η στάθμη του ταμιευτήρα κυμαίνεται μεταξύ +776 m και +792 m. Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος των 7 υδρολογικών ετών (Πετροπούλου 2020).

Πίνακας 4.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος βροχόπτωσης σταθμού φράγματος (mm) - Υδρολογικά έτη 2012-13 έως 2018-19 (χωρίς κενά)

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
Μ.Ο	125,7	168,5	95,1	81,3	119,9	116,2	63,7	65,0	78,3	56,9	19,8	56,8	954,2
Τ.Α	65,9	54,0	76,1	41,3	45,6	50,7	40,1	35,9	44,7	24,9	16,0	33,8	413,0

Στη συνέχεια τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης του σταθμού του φράγματος ανήχθησαν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, το οποίο εκτιμήθηκε ίσο με 1382.3 m, κάνοντας χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$h'_s = h_s + \beta(z_s - z_\sigma) \quad (4.1)$$

όπου h_s το ύψος της βροχόπτωσης του σταθμού και β η βροχομετρική βαθμίδα, δηλαδή η ανά μονάδα υψόμετρου μεταβολή του ύψους της βροχόπτωσης, η οποία έχει εκτιμηθεί περίπου ίση με 0,3 mm/m (Πετροπούλου 2020).

Οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης του σταθμού του φράγματος, καθώς και οι ανηγμένες τιμές τους στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2 αντίστοιχα, στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας.

4.2.2 Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) ET νοείται το σύνολο του νερού που μετατρέπεται από την υγρή φάση στην αέρια, στην οποία περιλαμβάνονται η εξάτμιση μέσω των υδάτινων επιφανειών, η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και η διαπνοή των φυτών.

Με τον όρο δυνητική εξατμισοδιαπνοή ET_p περιγράφεται ο μέγιστος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μία φυτοκαλυμμένη επιφάνεια, στην οποία παρατηρείται επάρκεια νερού κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες.

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής σε μηνιαίο χρονικό βήμα στην λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα Ταυρωπού χρησιμοποιήθηκαν μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα από το σταθμό του φράγματος (Πετροπούλου 2020) οι οποίες έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής και για τον υπολογισμό της εφαρμόστηκε η εμπειρική μέθοδος Thornthwaite η οποία βασίζεται στην εξίσωση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999):

$$ET_p = 16 \left(\frac{10T_a}{J} \right)^a \frac{\mu N}{360} \quad (4.2)$$

όπου ET_p η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα, T_a η μέση θερμοκρασία του μήνα ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής σε °C, μ ο αριθμός ημερών του μήνα, N η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας, J εμπειρικός συντελεστής που ονομάζεται ετήσιος θερμικός δείκτης και a ένας δεύτερος εμπειρικός συντελεστής συναρτήσει του J . Οι δύο εμπειρικοί συντελεστές υπολογίζονται με βάση τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των 12 μηνών του έτους από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$a = 0.016J + 0.5 \quad (4.3)$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} i_j \quad (4.4)$$

$$i_j = 0.09T a_j^{3/2} \quad (4.5)$$

Ο υπολογισμός της ανηγμένης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε με χρήση της παρακάτω εξίσωσης (Τσακίρης και Βαγγέλης 2009):

$$T_a = T_{\Sigma,\phi} + \theta \frac{z-z_{\Sigma,\phi}}{100} \quad (4.6)$$

όπου $T_{\Sigma,\phi}$ η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα του σταθμού του φράγματος, z το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, $z_{\Sigma,\phi}$ το υψόμετρο του σταθμού φράγματος (801 m) και θ η θερμοβαθμίδα της περιοχής, η οποία εκτιμήθηκε ίση με $-0,4^\circ\text{C}/100$ m (Πετροπούλου 2020). Στον Πίνακα 4.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας αέρα του εν λόγω σταθμού για την υδρολογική περίοδο 2012-13 έως 2018-19, οι οποίες έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 4.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίου δείγματος θερμοκρασίας αέρα σταθμού φράγματος ($^\circ\text{C}$) -Υδρολογικά έτη 2012-13 έως 2018-19

	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
M.O	11,0	6,3	2,1	1,1	1,6	4,3	8,0	12,9	17,3	19,7	19,5	16,0
T.A	1,5	1,0	1,2	1,2	1,9	0,8	1,6	1,1	0,7	0,4	0,8	0,7

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης 4.2 για την υδρολογική περίοδο 2012-13 έως 2018-2019 παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 στο Παράρτημα αυτού του τεύχους.

4.2.3 Εκτίμηση της παραμέτρου S_{max}

Η παράμετρος S_{max} του Medbasin-M μπορεί να εκτιμηθεί με τη χρήση του Αριθμού Καμπύλης Απορροής (Curve Number, CN) με τη βοήθεια της ακόλουθης εξίσωσης (Τίγκας 2015):

$$S_{max} = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (4.7)$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS τα εδάφη κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την υδροπερατότητά τους, όπως φαίνονται στον Πίνακα 4.3, ενώ ορίζονται και τρεις διαφορετικοί τύποι προηγούμενων συνθηκών υγρασίας (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999):

Τύπος I: ξηρές συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13 mm ή μικρότερη από 35 mm σε περιοχές με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης.

Τύπος II: μέσες συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών βρίσκεται μεταξύ των τιμών 13-38 mm ή μεταξύ των τιμών 35-53 mm σε περιοχές με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης.

Τύπος III: υγρές συνθήκες, δηλαδή εδάφη σχεδόν κορεσμένα, οι οποίες αντιστοιχούν στην περίπτωση όπου η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 38 mm ή μεγαλύτερη από 53 mm σε περιοχές με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης.

Για τους τύπους των προηγούμενων συνθηκών υγρασίας I και III ο υπολογισμός του συντελεστή CN πραγματοποιείται με τη χρήση εξισώσεων, ενώ για τον τύπο προηγούμενων συνθηκών υγρασίας τύπου II, η SCS διαθέτει ειδικούς πίνακες με τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης.

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της παραμέτρου CN ορίστηκαν προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II. Η διαδικασία υπολογισμού έγινε με τη χρήση εργαλείων QGIS. Προκειμένου να ταξινομηθεί η περιοχή ενδιαφέροντος στις κατηγορίες A, B, C, D ψηφιοποιήθηκε ο εδαφολογικός χάρτης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).

Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας:

- Χάρτης χρήσεων γης Corine LandCover 2018 της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα
- Εδαφολογικός χάρτης της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Πλαστήρα

Πίνακας 4.3: Υδρολογικοί τύποι εδάφους και διηθητικότητα

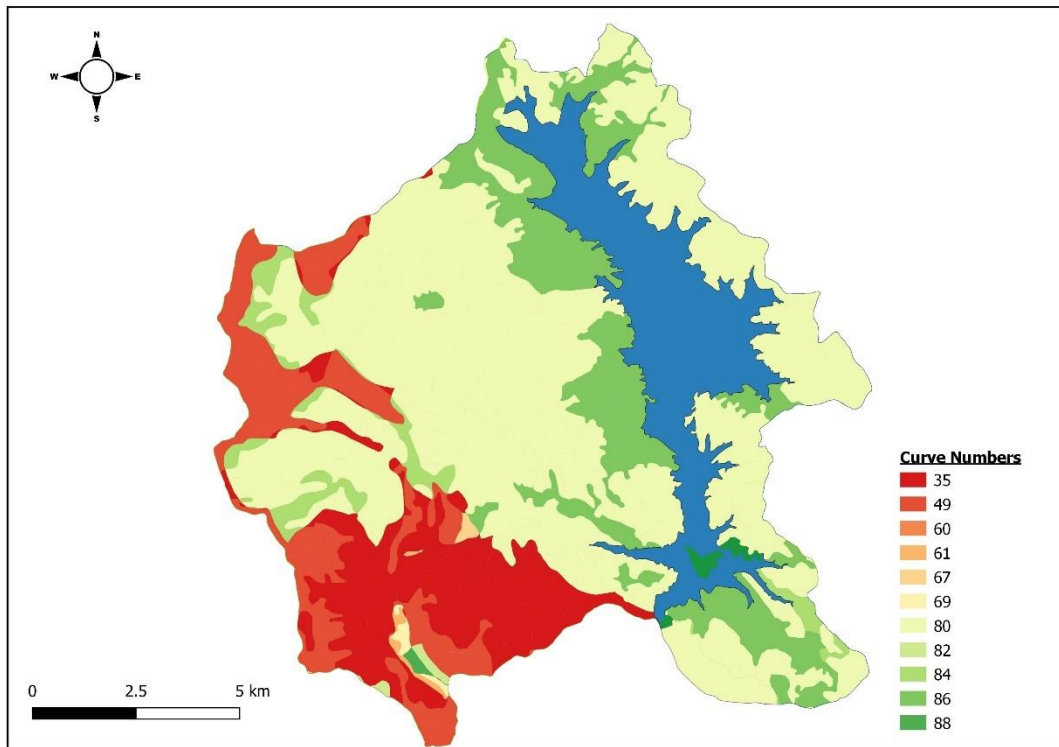
Υδρολογικός Τύπος Εδάφους	Διηθητικότητα
A	Μεγάλη
B	Μέση
C	Μικρή
D	Πολύ μικρή

Στη συνέχεια οι διάφοροι εδαφολογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται εντός της λεκάνης απορροής της λίμνης Πλαστήρα, όπως προέκυψαν από τον εδαφολογικό χάρτη, αντιστοιχίζονται με τις παραπάνω κατηγορίες υδρολογικού τύπου εδάφους όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Αντιστοίχιση των εδαφολογικών σχηματισμών με τις κατηγορίες υδρολογικών τύπων

Σχηματισμός	Διηθητικότητα	Υδρολογικός Τύπος
Σκληροί ασβεστόλιθοι	Μεγάλη	A
Ψαμμιτικός φλύσχος	πολύ μικρή	D
Φλύσχος επί ασβεστόλιθων	πολύ μικρή	D
Μικτός φλύσχος	πολύ μικρή	D
Κολλούβια φλύσχη	πολύ μικρή	D
Αργιλικός φλύσχος	πολύ μικρή	D
Κολλούβια ασβεστόλιθου	μεγάλη	A
Σάρρες	μέση	B

Με τη βοήθεια των εργαλείων του QGIS υπολογίστηκε ένας κάρναβος με τις τιμές της παραμέτρου CN για την υδρολογική κατάσταση II, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Κατανομή CN στην λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα

Τελικά, η τιμή του Curve Number της περιοχής προέκυψε ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών του καννάβου και ίση με 72. Σύμφωνα με την εξίσωση 4.7 η παράμετρος S_{max} για τη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα εκτιμήθηκε ίση με 98,8 mm.

4.3 Βαθμονόμηση

Στο Σχήμα 4.2 που παρατίθεται στη συνέχεια απεικονίζεται το περιβάλλον του Medbasin-M μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της βαθμονόμησης.

The screenshot shows the Medbasin-M (monthly model) software interface. It is divided into several sections:

- Parameters:**
 - Smax (maximum total soil capacity - mm): 100
 - CN (curve number): ?
 - Sin (initial value of S): 0
 - C (deep percolation coefficient): 0,56
 - a (second approx. enabled): 0,9
 - Total area: km2 m2, value: 141,2
- Medbasin-M output:**

Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
95,4	178,0	181,5	162,4	167,7	144,8	111,3	102,0	82,0	81,2	79,6	81,8

Annual Total (mm): 1467,7. Select Year: 1. Year: 2012 - 2013. Estimated monthly flow: mm
- Stand - alone mode properties:**
 - Stand-alone mode
 - Input files:**
 - Rainfall data file (mm): C:\excel_ME\plastiras_basin_rainfall.xls
 - PET data file (mm): C:\excel_ME\plastiras_basin_ETp.xls
 - Inflow (Optional):
 - Units: Mm3 m3 m3/s
 - Enabled:
 - Lag: months: 100%
 - Water Year:**
 - Sept - Aug
 - Oct - Sept
 - Starting from year: 2012 - 2013
 - Number of years: 5
 - Output file: Runoff / Actual ET: C:\excel_ME\plastiras_basin_calibration.xls
 - Output units - Runoff: Mm3 m3 m3/s mm
 - ETa: D.P.:
 - Save parameters: Calculate average:

Buttons at the bottom: Load Settings, Save Settings, Calibration, Calculate, Close window

Σχήμα 4.2: Το περιβάλλον του Medbasin-M κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης

Στον Πίνακα 4.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, όπως αυτές προέκυψαν από τη διαδικασία της βαθμονόμησης.

Πίνακας 4.5: Βέλτιστες παράμετροι του μοντέλου Medbasin-M

α/α	Παράμετρος	Τιμή
1	a	0,90
2	K	0,56
3	S _{max} (mm)	100

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον προηγούμενο πίνακα η τιμή της παραμέτρου S_{max} προέκυψε περίπου η ίδια με εκείνη από τη μέθοδο SCS με τη χρήση του CN (εξ.4.7).

4.4 Επαλήθευση

Στο Σχήμα 4.3 που παρατίθεται στη συνέχεια απεικονίζεται το περιβάλλον του Medbasin-M κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης.

The screenshot shows the Medbasin-M software interface. The 'Parameters' section includes:

- Smax (maximum total soil capacity - mm): 100
- CN (curve number): [empty]
- Sin (initial value of S): 0
- C (deep percolation coefficient): 0,56
- a (second approx. enabled): 0,9
- Total area: km2, m2, value: 141,2

The 'Medbasin-M output' section shows a table of monthly flow (mm) for the years 2017 and 2018:

	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
2017	95,4	178,0	181,5	162,4	167,7	144,8	111,3	102,0	82,0	81,2	79,6	81,8
2018												

The 'Annual Total (mm)' is 1467,7. The 'Year' is set to 2017 - 2018. The 'Stand-alone mode properties' section includes:

- Input files: Rainfall data file (mm) C:\excel_ME\plastiras_basin_rainfall.xls, PET data file (mm) C:\excel_ME\plastiras_basin_ETp.xls
- Units: Mm3, m3, m3/s
- Water Year: Sept - Aug, Oct - Sept
- Starting from year: 2017 - 2018
- Number of years: 2

Buttons at the bottom: Load Settings, Save Settings, Calibration, Calculate, Close window.

Σχήμα 4.3: Το περιβάλλον του Medbasin-M κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης

4.5 Αποτελέσματα-Ανάλυση Ευαισθησίας

Η ποιότητα της προσομοίωσης του μηνιαίου μοντέλου εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, η συνάρτηση σκοπού και η διαδικασία βελτιστοποίησης. Έτσι, προκειμένου να γίνει έλεγχος της απόδοσης του βαθμονομημένου μοντέλου χρησιμοποιείται τμήμα των δεδομένων, το οποίο δεν

χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, με την προσέγγιση αυτή να είναι γνωστή ως έλεγχος του βαθμονομημένου δείγματος (split-sample test).

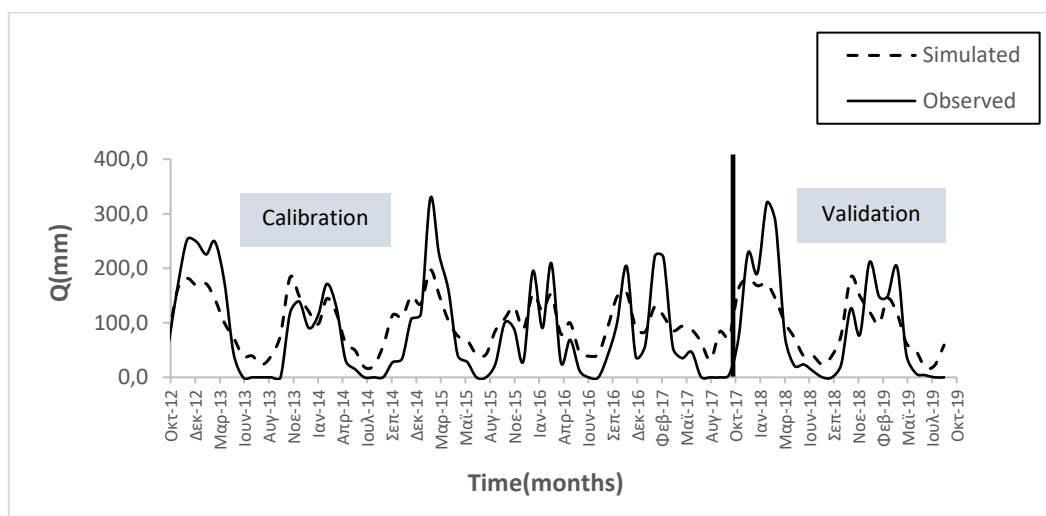
Η χρήση των κριτηρίων αξιολόγησης για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων γίνεται τόσο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, όσο και κατά την επαλήθευση. Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση του μοντέλου Medbasin-M είναι το διεθνώς αποδεκτό Nash-Sutcliffe Efficiency:

$$NSE = 1 - \frac{\sum(q_{sim} - q_{obs})^2}{\sum(q_{obs} - \bar{q}_{obs})^2} \quad (4.8)$$

όπου NSE ο λόγος του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών της παρατηρημένης από την υπολογιζόμενη απορροή προς το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών των αποκλίσεων των παρατηρημένων απορροών από τον μέσο όρο τους, αφαιρούμενος από τη μονάδα, q_{obs} είναι η παρατηρημένη απορροή και q_{sim} η υπολογιζόμενη απορροή.

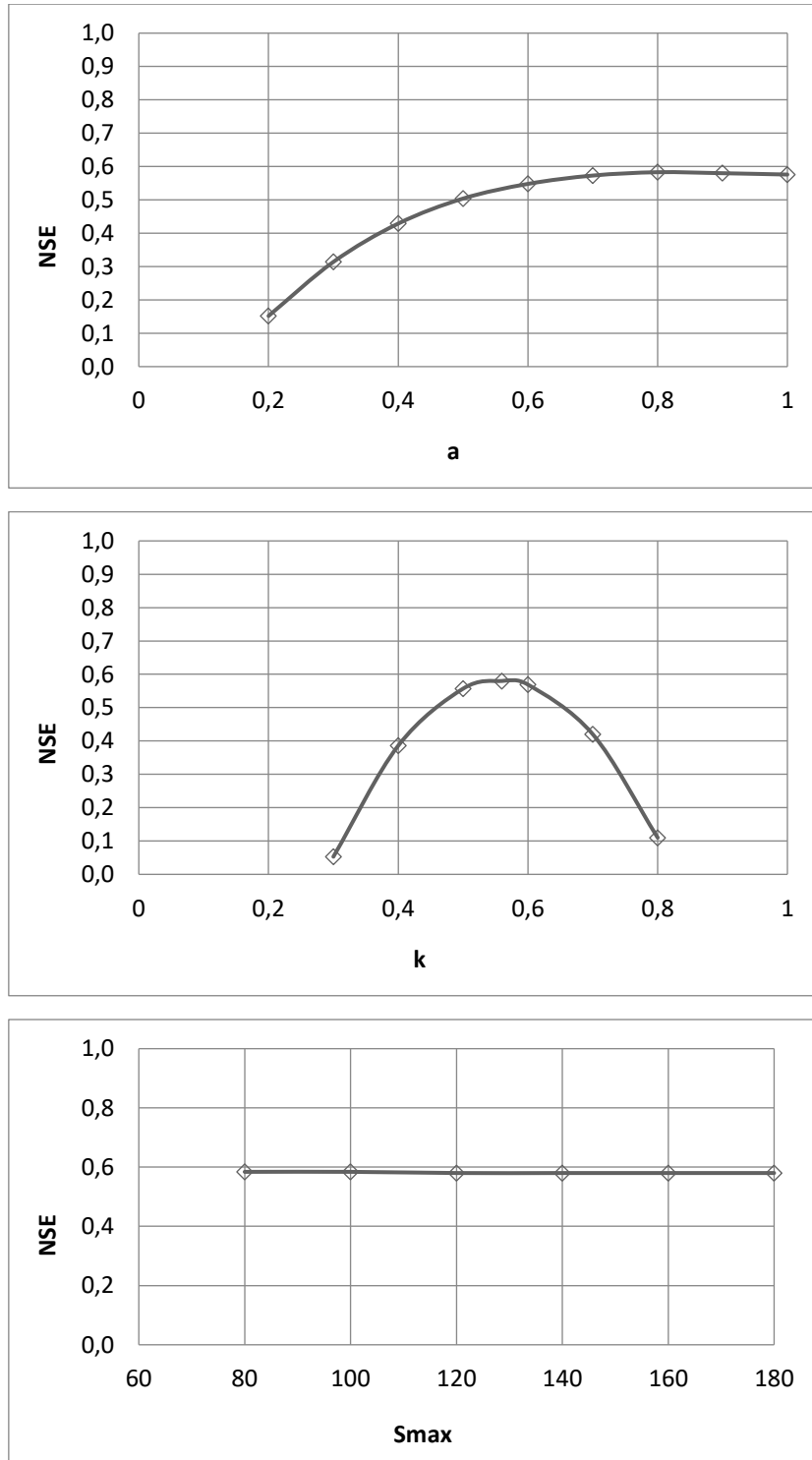
Όσο οι τιμές του κριτηρίου αξιολόγησης NSE πλησιάζουν τη μονάδα, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της προσομοίωσης και η επίδοση του μοντέλου. Στο προκείμενο, για την περίοδο βαθμονόμησης ο συντελεστής NSE προέκυψε ίσος με 0.58, τιμή η οποία υποδηλώνει πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα, συνεπώς γίνονται δεκτές και οι τιμές των τριών παραμέτρων του που προέκυψαν από το στάδιο της βαθμονόμησης. Για την περίπτωση της επαλήθευσης ο συντελεστής NSE υπολογίστηκε μικρότερος και ίσος με 0.52, γεγονός το οποίο δικαιολογείται λόγω της μικρότερης υδρολογικής περιόδου των δύο ετών που επιλέχθηκε για την επαλήθευση. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση, η τιμή θεωρείται αποδεκτή καθώς παρουσιάζεται αρκετά καλή προσαρμογή των προσομοιωμένων τιμών απορροής στις μετρημένες.

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι μετρημένες και οι προσομοιωμένες τιμές της μηνιαίας απορροής στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα για όλο το μήκος της υδρολογικής περιόδου που επιλέχθηκε, 2012-13 έως 2018-19.



Σχήμα 4.4: Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών απορροής

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας των τριών παραμέτρων βαθμονόμησης του μοντέλου. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμαστικών προσομοιώσεων, όπου σε κάθε δοκιμή διατηρήθηκαν σταθερές οι δύο εκ των τριών παραμέτρων με την τρίτη να μεταβάλλεται και ανάλογα να υπολογίζεται η τιμή του κριτηρίου αξιολόγησης NSE (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μηνιαίου μοντέλου

Από την παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων γίνεται σαφές πως στην παράμετρο K το μηνιαίο μοντέλο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ευαισθησία, ακολουθεί η παράμετρος a , ενώ στις μεταβολές της παραμέτρου S_{\max} τα αποτελέσματα του μοντέλου σχεδόν δεν μεταβάλλονται καθόλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Εφαρμογή του Medbasin-D

5.1 Γενικά

Στο μοντέλο Medbasin-D η βαθμονόμηση (calibration) αποτελεί μια διαδικασία προσδιορισμού των 14 παραμέτρων του μοντέλου, ώστε να προσομοιωθεί με το βέλτιστο δυνατό τρόπο η ημερήσια απορροή, μέσω του ημι-αυτόματου αλγορίθμου βελτιστοποίησης που βασίζεται σε επαναληπτική διαδικασία προσομοίωσης. Η προαναφερόμενη διαδικασία έχει το πλεονέκτημα της ενεργού συμμετοχής του χρήστη, γεγονός που εξασφαλίζει τον αμεσότερο έλεγχο της απόκρισης του μοντέλου.

Για την εφαρμογή του ημερήσιου μοντέλου στη λεκάνη απορροής της λίμνης Πλαστήρα επιλέχθηκε όμοια υδρολογική περίοδος με εκείνη του μηνιαίου, ώστε να είναι στην συνέχεια δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση, από το υδρολογικό έτος 2012-13 έως και το έτος 2018-19. Το χρονικό αυτό διάστημα διαχωρίστηκε και πάλι όμοια όπως και για το μηνιαίο μοντέλο, σε δύο περιόδους, με τα 5 πρώτα υδρολογικά έτη 2012-13 έως 2016-17 να αποτελούν την περίοδο βαθμονόμησης και τα 2 τελευταία έτη 2017-19 έως 2018-19 να αποτελούν την περίοδο επαλήθευσης του μοντέλου.

5.2 Δεδομένα Εισόδου

5.2.1 Ημερήσια Βροχόπτωση

Ένα από τα βασικά δεδομένα εισόδου στο ημερήσιο μοντέλο είναι η ημερήσια βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη 2012-13 έως 2018-19, η οποία έχει προηγουμένως αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με τη σχέση 4.1 που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στην παρούσα εργασία τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από τη ΔΕΗ Καρδίτσας, η οποία διαθέτει για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο ημερήσιες τιμές από το σταθμό του φράγματος της λίμνης που βρίσκεται σε υψόμετρο 801 m.

5.2.2 Ημερήσια Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

Το δεύτερο σημαντικό στοιχείο εισόδου για την εκτέλεση του ημερήσιου μοντέλου είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Στο προκείμενο υπήρχαν διαθέσιμες για το σταθμό του φράγματος μόνο ημερήσιες τιμές εξατμισίμετρα λεκάνης (Class A Pan).

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εκτιμάται με τη χρήση των τιμών του εξατμισίμετρου σύμφωνα με τη ακόλουθη εξίσωση:

$$PET = k * E_p \quad (5.1)$$

όπου E_p είναι η μετρημένη τιμή από το εξατμισίμετρο λεκάνης και k διορθωτικός συντελεστής, που εξαρτάται από το υψόμετρο του σταθμού μετρήσεων, τις κλιματολογικές συνθήκες και την εδαφοκάλυψη. Για ορεινή μεσογειακή λεκάνη

απορροής όπως αυτή της εφαρμογής της παρούσας εργασίας, προτείνεται για τον συντελεστή αυτόν μια μέση αδρομερής τιμή ίση με 0.75 (Νικολάου 2010).

5.3 Βαθμονόμηση

Όπως και στο μηνιαίο μοντέλο, έτσι και στο ημερήσιο η βαθμονόμηση (calibration) αποτελεί τη διαδικασία προσδιορισμού των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη προσομοίωση της μετρημένης απορροής. Ο συνολικός αριθμός τους ανέρχεται σε 14 ως εξής:

- U_{max} , L_{fc} , L_{max} : καθορίζουν το μέγιστο μέγεθος των αποθηκευτικών χώρων παρεμπόδισης (interception) και εδαφικών ζωνών, αντίστοιχα.
- A_1 , A_2 , A_3 , A_4 : αντιπροσωπεύουν τις περιοχές πρόσληψης νερού για την κάθε αποθηκευτική δεξαμενή, καθορίζοντας τις αντίστοιχες εκροές τους.
- T_1 , T_2 , T_3 , T_4 : συντελεστές καθυστέρησης οι οποίοι καθορίζουν την εκροή από τις δεξαμενές αποθήκευσης.
- CT , Q_0 , CL_2 : παράμετροι συναρτήσεων εκροής (οι δύο πρώτες της επιφανειακής ροής και η τρίτη της υπόγειας).

Η υδρολογική περίοδος 2012-13 έως 2018-19, η οποία επιλέχθηκε για την εφαρμογή του ημερήσιου μοντέλου, διαχωρίστηκε σε δύο υποπεριόδους αυτές της βαθμονόμησης και επαλήθευσης, όμοια με το μηνιαίο μοντέλο, με χρονικό μήκος 5 και 2 έτη, αντίστοιχα.

Το Medbasin-D βασίζεται σε μια επαναληπτική διαδικασία προσομοίωσης, μέσω του ημι-αυτόματου αλγορίθμου βελτιστοποίησης που έχει αναπτυχθεί. Αρχικά εισάγονται τα όρια εντός των οποίων κυμαίνεται η κάθε παράμετρος του μοντέλου, και ορίζεται για κάθε μία από αυτές το επιθυμητό βήμα επανάληψης. Τα όρια που θα επιλεγούν κάθε φορά είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής που μελετάται. Κατά τη βαθμονόμηση δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα επιλογής των παραμέτρων που θα διατηρούν σταθερές τις τιμές τους. Συμπεραίνεται λοιπόν, πως η διαδικασία βαθμονόμησης του ημερήσιου μοντέλου έχει το πλεονέκτημα της ενεργής συμμετοχής του χρήστη, η εμπειρία του οποίου μέσω των υποκειμενικών αποφάσεων που καλείται να πάρει, αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη των καλύτερων δυνατών αποτελεσμάτων (Τίγκας 2015).

Στον Πίνακα 5.1 αναφέρονται οι τιμές των παραμέτρων του ημερήσιου μοντέλου, όπως προέκυψαν κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, ενώ στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το αντίστοιχο περιβάλλον του λογισμικού του μοντέλου Medbasin-D.

Πίνακας 5.1: Βέλτιστες παράμετροι του μοντέλου Medbasin-D

α/α	Παράμετρος	Τιμή
1	Umax (mm)	5
2	Lmax (mm)	160
3	LFC (mm)	115
4	T01 (days)	40
5	T02 (days)	24
6	T03 (days)	1.5
7	T04 (days)	0.2
8	A1 (km ²)	55
9	A2 (km ²)	85
10	A3 (km ²)	130
11	A4 (km ²)	141.2
12	CT	1
13	Q _o	0
14	CL ₂	0.01

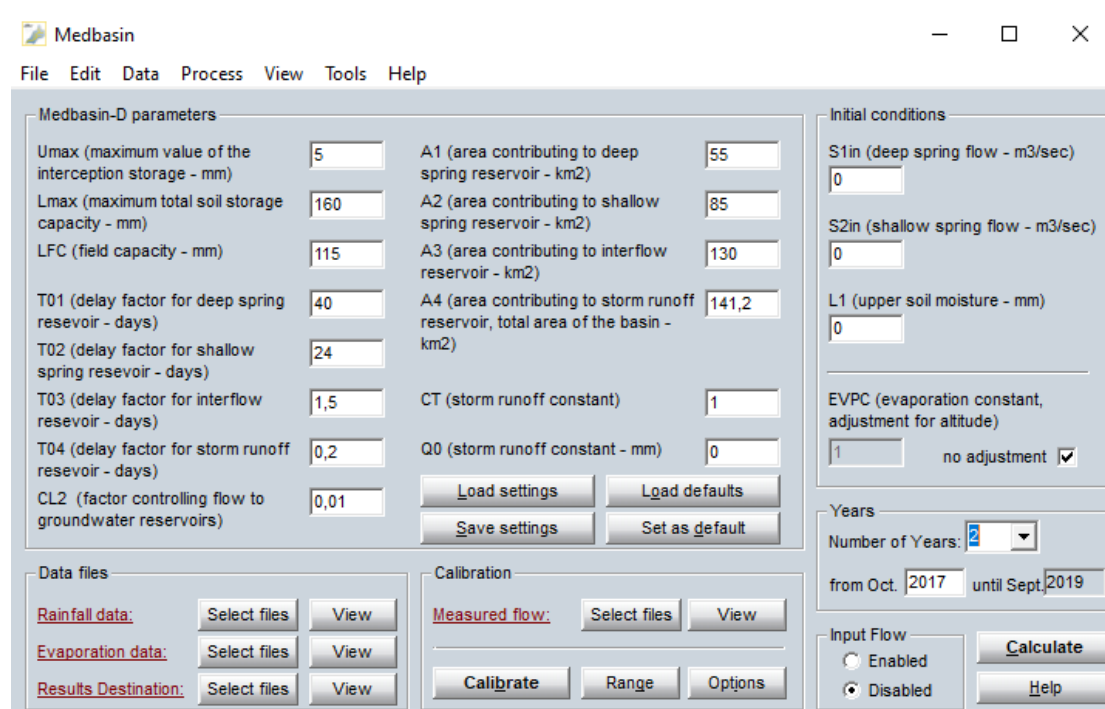
Parameter	From	Selected	To	Step	Fixed Value
Umax (maximum value of the interception storage - mm)	5	5	50	5	<input checked="" type="checkbox"/>
Lmax (maximum total soil storage capacity - mm)	150	160	500	10	<input type="checkbox"/>
LFC (field capacity - mm)	10	115	120	5	<input type="checkbox"/>
T01 (delay factor for deep spring reservoir - days)	40	40	250	10	<input checked="" type="checkbox"/>
T02 (delay factor for shallow spring reservoir - days)	24	24	50	2	<input checked="" type="checkbox"/>
T03 (delay factor for interflow reservoir - days)	1,5	1,5	8	0,5	<input type="checkbox"/>
T04 (delay factor for storm runoff reservoir - days)	0,2	0,2	1	0,2	<input checked="" type="checkbox"/>
CL2 (factor controlling flow to groundwater reservoirs)	0,01	0,01	0,1	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>
A1 (area contributing to deep spring reservoir - km2)	55	55	55	5	<input checked="" type="checkbox"/>
A2 (area contributing to shallow spring reservoir - km2)	85	85	85	5	<input checked="" type="checkbox"/>
A3 (area contributing to interflow reservoir - km2)	130	130	130	10	<input checked="" type="checkbox"/>
A4 (area contributing to storm runoff reservoir, total area of the basin - km2)	141,2	141,2	141,2	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>
CT (storm runoff constant)	1	1	1	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>
Q0 (storm runoff constant - mm)	0	0	1	0,2	<input type="checkbox"/>

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

Σχήμα 5.1: Το περιβάλλον του μοντέλου Medbasin-D κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης

5.4 Επαλήθευση

Ως περίοδος επαλήθευσης, ομοίως με το μηνιαίο μοντέλο, ορίστηκαν τα 2 τελευταία υδρολογικά έτη 2017-18 έως 2018-19. Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται το περιβάλλον του μοντέλου Medbasin-D όπως διαμορφώνεται κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης.



Σχήμα 5.2: Το περιβάλλον του μοντέλου Medbasin-D κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης

5.5 Αποτελέσματα-Ανάλυση ευαισθησίας

Για την περίοδο βαθμονόμησης των 5 υδρολογικών ετών 2012-13 έως 2016-17, ο συντελεστής NSE προέκυψε ίσος με 0.74, τιμή η οποία υποδηλώνει την αρκετά καλή προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα της μετρημένης ημερήσιας απορροής. Κατά συνέπεια γίνονται αποδεκτές και οι τιμές των 14 παραμέτρων όπως αυτές προσδιορίστηκαν κατά την ίδια διαδικασία. Ο υπολογισμός του NSE στην περίπτωση της επαλήθευσης έδωσε τιμή ίση με 0.69, η οποία δικαιολογείται λόγω της μικρότερης υδρολογικής περιόδου που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης. Βέβαια, και σε αυτή την περίπτωση η τιμή αυτή γίνεται αποδεκτή αφού οι προσομοιωμένες τιμές φαίνεται να προσεγγίζουν αρκετά ικανοποιητικά τις αντίστοιχες μετρημένες. Ωστόσο, το ημερήσιο μοντέλο έχει σαφώς καλύτερη επίδοση από το μηνιαίο στην εκτίμηση των μηνιαίων τιμών της απορροής. Το NSE προέκυψε ίσο με 0.90 και 0.77 για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης, αντίστοιχα. Η καλύτερη ποιότητα προσομοίωσης για τις μηνιαίες τιμές της απορροής από το Medbasin-D ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι ακραίες (μέγιστες) τιμές λόγω καταγίδων της ημερήσιας μετρημένης απορροής δεν προσεγγίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, ενώ αντίθετα στις μηνιαίες τιμές, λόγω της άθροισης των

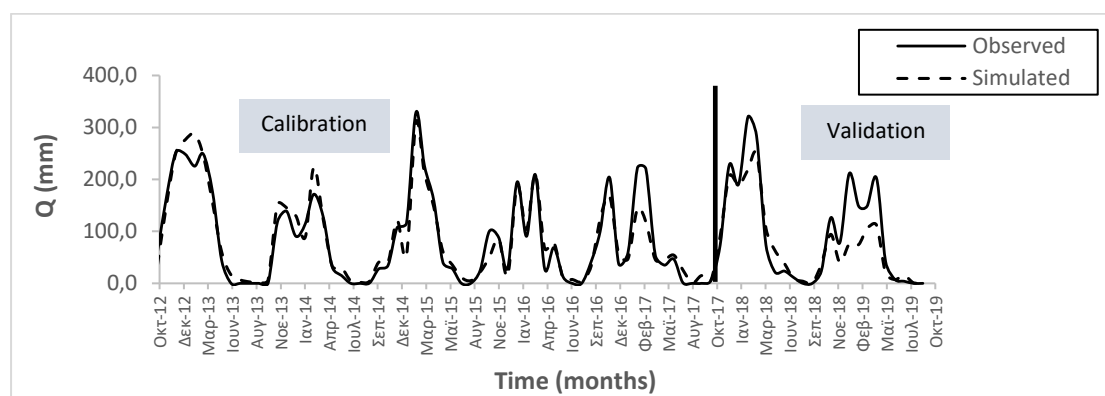
ημερησίων προσομοιωμένων τιμών, οι διαφορές μεταξύ μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής μειώνονται αισθητά.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι τιμές του κριτηρίου NSE για τις μηνιαίες τιμές της απορροής που υπολογίστηκαν με τη χρήση των δύο μοντέλων για τα στάδια της βαθμονόμησης (C) και της επαλήθευσης (V), αντίστοιχα.

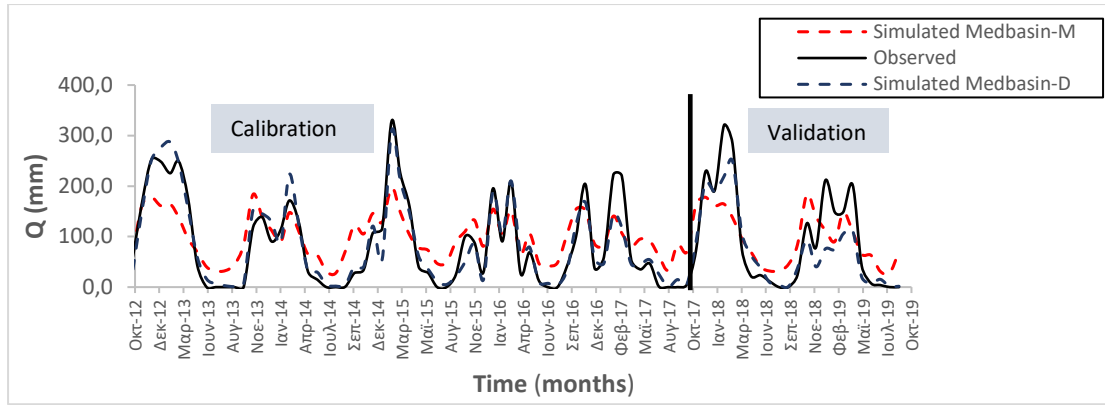
Πίνακας 5.2: Τιμές του NSE για τις μηνιαίες τιμές της απορροής

Model	NSE	
	C	V
Medbasin-M	0.58	0.52
Medbasin-D	0.90	0.77

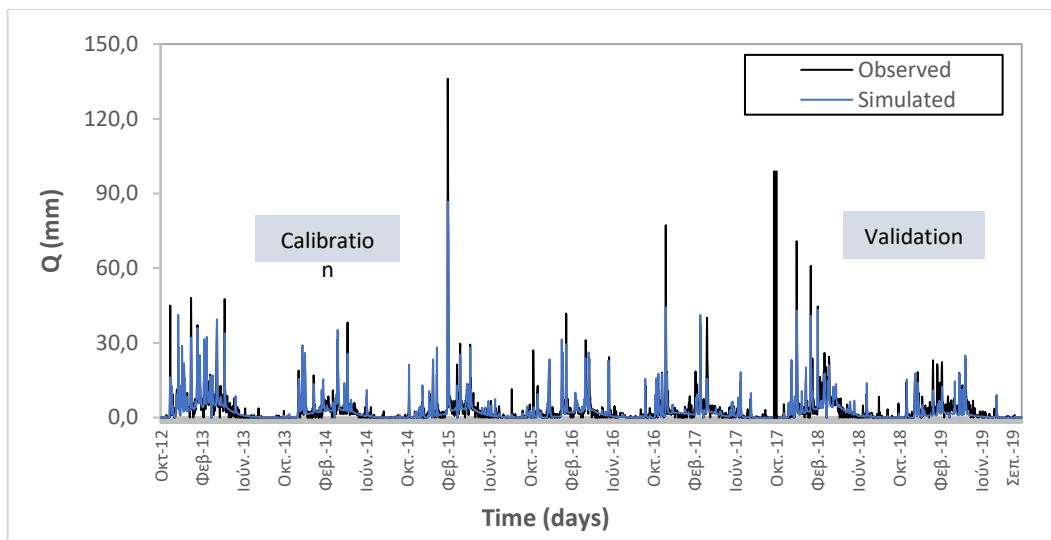
Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζονται οι μετρημένες μηνιαίες τιμές απορροής και οι αντίστοιχες προσομοιωμένες που προέκυψαν από το ημερήσιο μοντέλο Medbasin-D. Επιπλέον στο Σχήμα 5.2 απεικονίζονται συγκριτικά οι προσομοιωμένες μηνιαίες τιμές από τα Medbasin-M και Medbasin-D, καθώς και οι μετρημένες τιμές της μηνιαίας απορροής. Τέλος, στο Σχήμα 5.3 φαίνονται οι προσομοιωμένες και μετρημένες τιμές της ημερησίας απορροής από το μοντέλο Medbasin-D.



Σχήμα 5.3: Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής (Medbasin-D)

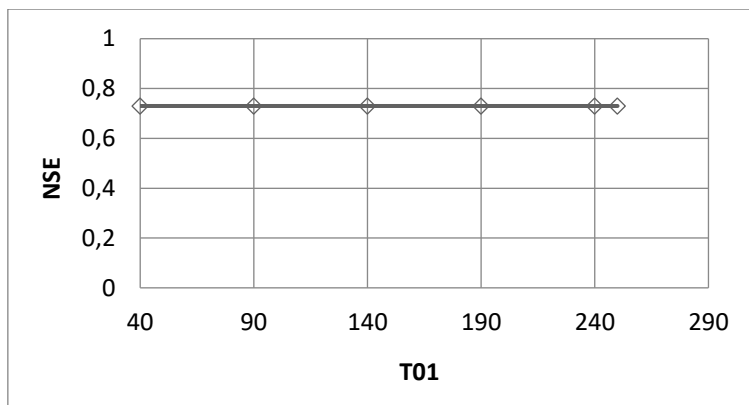
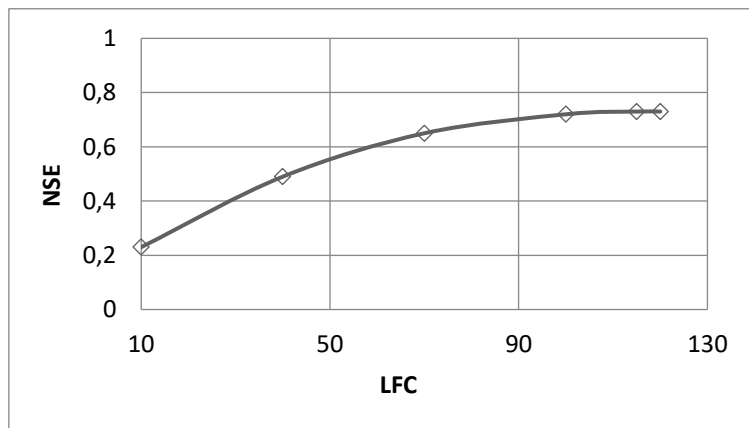
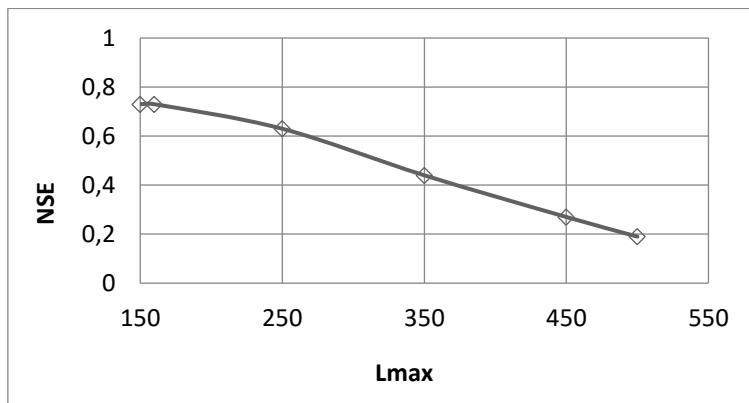
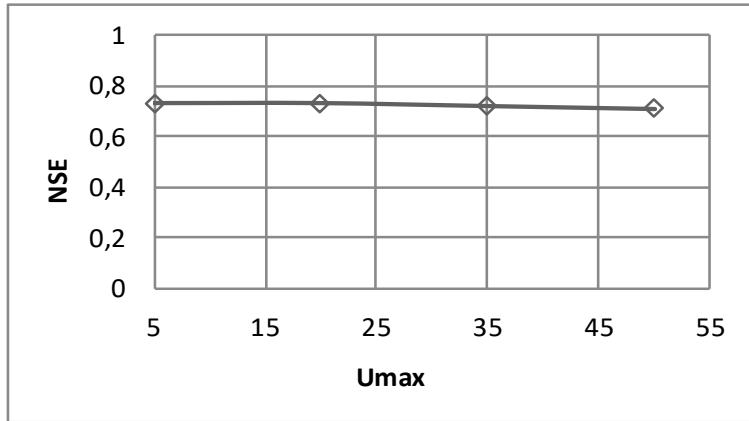


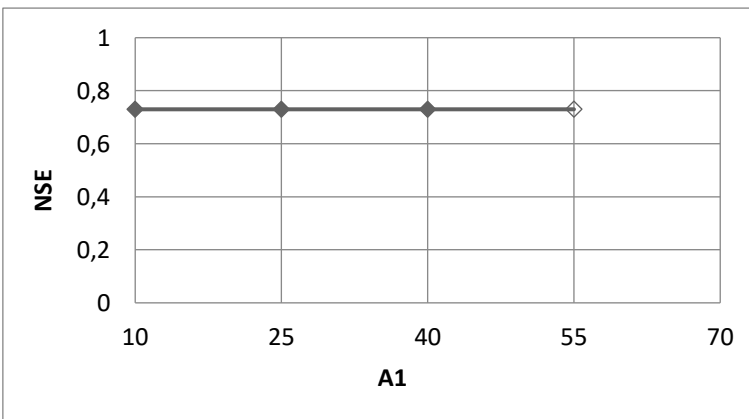
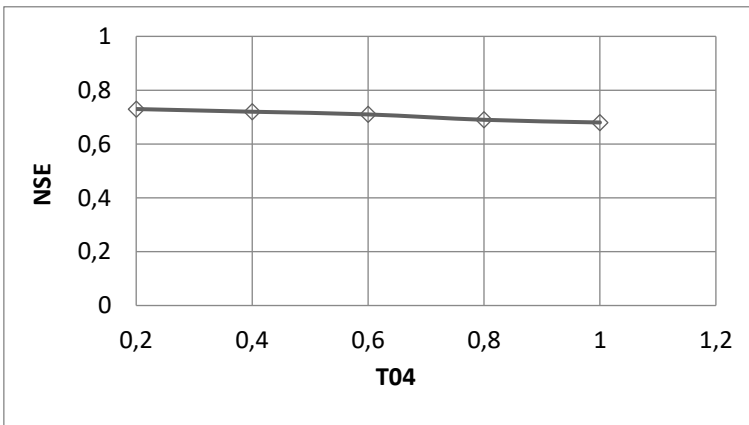
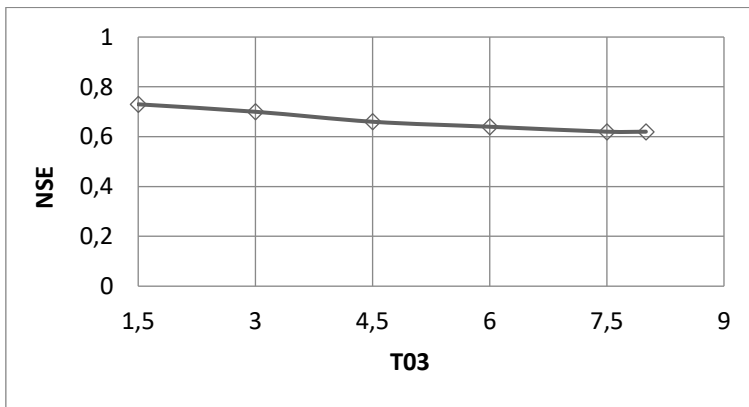
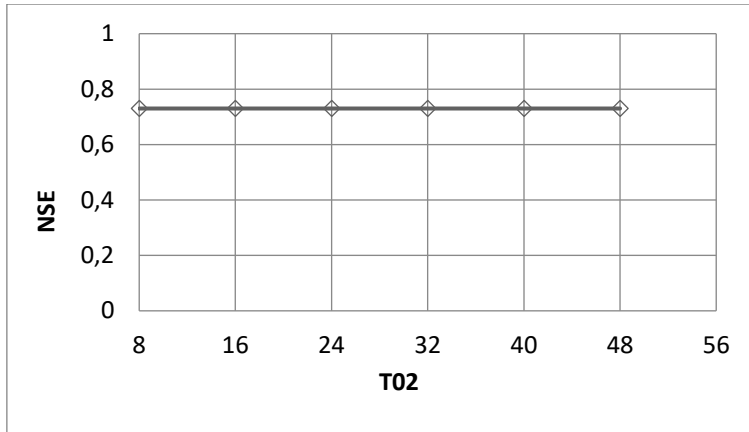
Σχήμα 5.4: Υδρογραφήματα μηνιαίων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής (Medbasin-M και Medbasin-D)

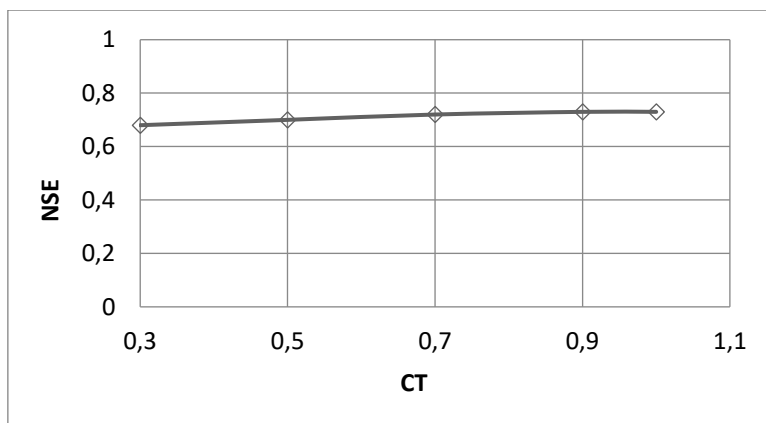
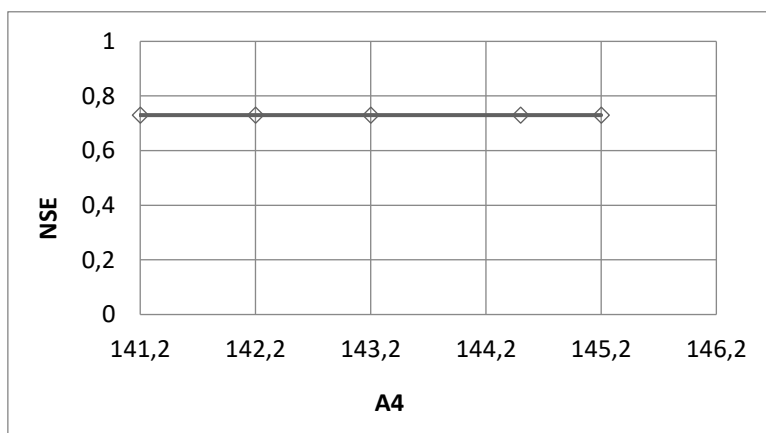
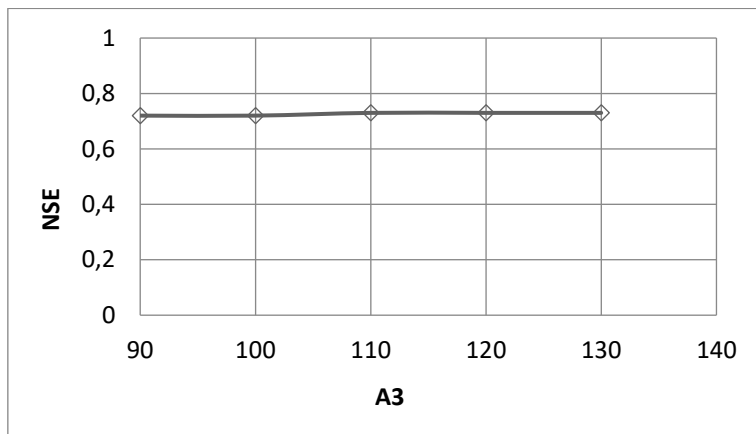
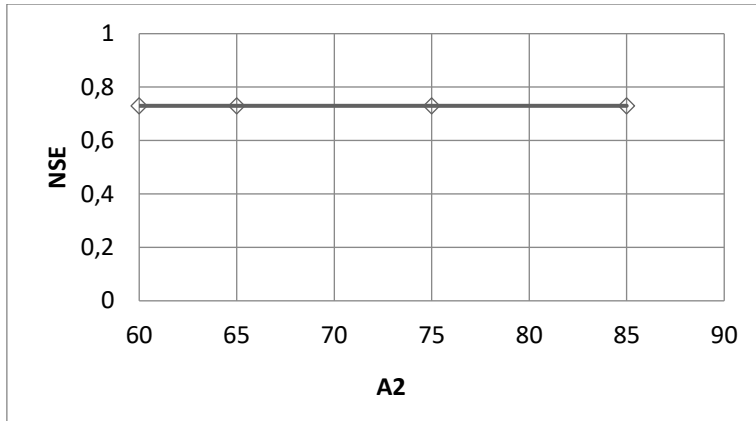


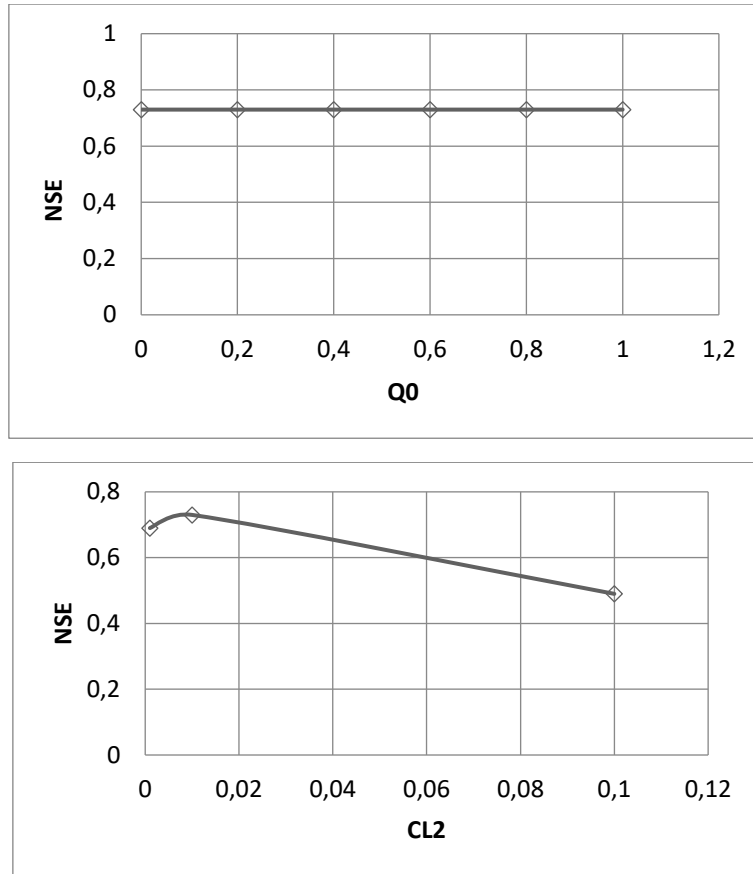
Σχήμα 5.5: Υδρογραφήματα ημερήσιων μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής (Medbasin-D)

Και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας των 14 παραμέτρων βαθμονόμησης του μοντέλου Medbasin-D. Σε κάθε δοκιμή μόνο η μία μεταβαλλόταν με τις υπόλοιπες δεκατρείς να διατηρούνται σταθερές. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα διαγράμματα του Σχήματος 5.6, όπου το κριτήριο NSE από κάθε προσομοίωση δίνεται στο κάθε γράφημα ανάλογα με τη μεταβολή των τιμών της κάθε παραμέτρου.









Σχήμα 5.6: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων ημερήσιου μοντέλου

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι οι 3 παράμετροι, L_{FC} - υδατοϊκανότητα εδάφους, L_{max} - μέγιστη χωρητικότητα εδαφικής υγρασίας και CL_2 - παράμετρος ρύθμισης της υπόγειας ροής, από τις συνολικά 14 παραμέτρους βαθμονόμησης του μοντέλου Medbasin-D είναι εκείνες των οποίων η μεταβολή των τιμών επηρεάζει περισσότερο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (τιμές της ημερήσιας απορροής).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή δύο διαφορετικών υδρολογικών μοντέλων, ενός μηνιαίου και ενός ημερήσιου χρονικού βήματος με διαφορετικό αριθμό παραμέτρων και περιοχή εφαρμογής τη λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης Πλαστήρα, συνολικού εμβαδού 166 km². Προς τούτο επελέγη το λογισμικό Medbasin. Η περίοδος βαθμονόμησης ήταν 5 συνεχόμενα υδρολογικά έτη (2012-2017) και η περίοδος επαλήθευσης 2 (2017-2019). Ως κριτήριο ελέγχου ποιότητας της κάθε προσομοίωσης επελέγη το διεθνώς αποδεκτό NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency). Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Το μοντέλο μηνιαίων τιμών Medbasin-M, 3 παραμέτρων, αποδεικνύεται ότι αποδίδει ικανοποιητικά, με το κριτήριο NSE να προκύπτει ίσον με 0.58 για την περίοδο βαθμονόμησης και 0.52 για την περίοδο επαλήθευσης.
2. Το ημερήσιο μοντέλο Medbasin-D, 14 παραμέτρων, φαίνεται ότι δίνει καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά τις προσομοιωμένες τιμές της μηνιαίας απορροής. Το NSE λαμβάνει τις τιμές 0.9 και 0.77 για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης, αντίστοιχα. Το μοντέλο αυτό εμφανίζει επίσης καλά αποτελέσματα στην προσομοίωση των ημερήσιων τιμών της απορροής με τις τιμές του NSE να προκύπτουν ίσες με 0.73 και 0.69 για τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης, αντίστοιχα. Η καλύτερη ποιότητα προσομοίωσης για τις μηνιαίες τιμές της απορροής από το Medbasin-D ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι ακραίες (μέγιστες) τιμές λόγω καταιγίδων της ημερήσιας μετρημένης απορροής δεν προσεγγίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό, ενώ αντίθετα στις μηνιαίες τιμές, λόγω της άθροισης των ημερησίων προσομοιωμένων τιμών, οι διαφορές μεταξύ μετρημένων και προσομοιωμένων τιμών της απορροής μειώνονται αισθητά.
3. Η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε και για τα δύο μοντέλα έδειξε ότι για το μεν μηνιαίο μοντέλο, μεταξύ των τριών παραμέτρων, η παράμετρος επιμερισμού της απορροής K είναι εκείνη η οποία επηρεάζει περισσότερο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενώ για το ημερήσιο μοντέλο, μεταξύ των 14 παραμέτρων, οι L_{max} μέγιστη συνολική εδαφική υγρασία, L_{FC} υδατοϊκανότητα εδάφους και CL_2 παράμετρος ρύθμισης υπόγειας ροής είναι εκείνες των οποίων οι μεταβολές επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ημερήσιου μοντέλου.

Παράρτημα

Πίνακας 1: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του σταθμού φράγματος

ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm) - ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (801m)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
2012-13	166,5	251,0	239	190,	208,	149,0	70,0	55,0	7,0	10,0	6,0	12,0	1363,5
2013-14	77,0	295,0	137	86,0	37,0	194,0	100,	23,0	64,0	4,0	2,0	77,0	1096,0
2014-15	163,0	84,0	180	116,	291,	167,0	85,0	76,0	86,0	44,0	45,0	129,0	1466,0
2015-16	123,0	159,0	5,0	199,	75,0	202,0	6,0	141,0	21,0	40,0	50,0	148,0	1169,0
2016-17	235,0	189,0	5,0	14,0	166,	85,0	39,0	121,0	139,	80,0	8,0	111,0	1192,0
2017-18	60,0	213,0	224	128,	159,	182,0	30,0	75,2	120,	37,0	47,0	14,0	1289,2
2018-19	141,0	182,0	34,	88,0	48,0	118,0	140,	13,0	19,0	93,0	0,0	32,0	908,0
Μ.Ο	137,9	196,1	117	117,	140,	156,7	67,1	72,0	65,1	44,0	22,6	74,7	1212,0

Πίνακας 2: Ανηγμένες τιμές βροχόπτωσης στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ (mm)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
2012-13	340,9	425,4	413,4	364,4	382,4	323,4	244,4	229,4	181,4	184,4	180,4	186,4	1537,9
2013-14	251,4	469,4	311,4	260,4	211,4	368,4	274,4	197,4	238,4	178,4	176,4	251,4	1270,4
2014-15	337,4	258,4	354,4	290,4	465,4	341,4	259,4	250,4	260,4	218,4	219,4	303,4	1640,4
2015-16	297,4	333,4	179,4	373,4	249,4	376,4	180,4	315,4	195,4	214,4	224,4	322,4	1343,4
2016-17	409,4	363,4	179,4	188,4	340,4	259,4	213,4	295,4	313,4	254,4	182,4	285,4	1366,4
2017-18	234,4	387,4	398,4	302,4	333,4	356,4	204,4	249,6	294,4	211,4	221,4	188,4	1463,6
2018-19	315,4	356,4	208,4	262,4	222,4	292,4	314,4	187,4	193,4	267,4	174,4	206,4	1082,4
Μ.Ο	312,3	370,5	292,1	291,7	315,0	331,1	241,5	246,4	239,5	218,4	197,0	249,1	1386,3

Πίνακας 3: Τιμές μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite

ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	
2012-13	65,2	28,1	5,5	2,7	7,9	17,1	37,0	77,5	98,0	113,9	106,4	81,6	
2013-14	51,6	27,4	4,5	11,4	12,5	18,4	33,4	60,4	96,2	115,1	113,9	80,1	
2014-15	46,5	23,1	12,7	3,1	0,0	13,8	35,8	79,1	95,9	118,3	107,3	88,5	
2015-16	42,6	25,8	8,4	4,1	23,2	19,1	53,4	64,3	104,8	120,9	112,9	72,7	
2016-17	46,2	18,9	1,5	0,0	6,6	24,8	35,4	75,5	106,0	121,7	113,6	79,6	
2017-18	43,8	18,9	7,4	6,0	4,9	20,2	54,9	72,3	102,5	118,2	107,1	79,6	
2018-19	45,5	26,3	1,4	0,0	4,6	24,1	34,6	65,0	108,9	117,7	123,3	84,8	

Πίνακας 4: Μετρημένες μηνιαίες τιμές απορροής

ΜΕΤΡΗΜΕΝΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (mm)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
2012-13	59,4	170,1	252,4	248,4	225,4	249,1	175,5	43,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1424,2
2013-14	0,0	118,1	139,0	90,4	114,7	171,4	128,2	31,0	14,8	0,0	0,0	0,7	808,6
2014-15	27,7	34,4	107,3	116,1	328,7	226,8	159,3	40,5	28,3	0,1	0,0	25,0	1094,3
2015-16	99,9	88,4	29,7	195,1	90,4	209,2	27,7	68,8	12,1	0,0	0,0	41,2	862,6
2016-17	99,9	203,8	37,8	59,4	222,1	220,0	54,0	35,1	46,6	1,3	0,0	0,0	980,1
2017-18	4,7	73,6	227,5	191,0	320,6	284,2	74,2	21,6	23,6	11,5	0,0	0,0	1232,5
2018-19	23,6	126,2	78,3	211,3	148,5	148,5	202,5	41,8	7,4	4,0	0,0	0,0	992,2
Μ.Ο	45,0	116,4	124,6	158,8	207,2	215,6	117,4	40,4	19,0	2,4	0,0	9,5	1056,4
Τ.Α	39,0	53,4	81,2	64,9	87,7	42,2	61,4	13,6	14,3	3,9	0,0	15,5	198,8

Πίνακας 5: Μετρημένες ημερήσιες τιμές απορροής

ΜΕΤΡΗΜΕΝΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (mm)												
Ημέρα	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.
2012-13												
1	0,0	9,9	4,3	5,7	4,3	4,3	9,2	4,7	0,0	0,4	0,0	0,0
2	0,0	1,0	7,1	4,5	3,0	2,7	5,9	2,7	0,9	0,0	0,0	0,0
3	0,0	2,8	9,9	5,9	3,0	9,7	5,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	5,7	8,4	3,0	3,0	10,7	2,5	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0
5	0,0	8,1	9,9	5,9	7,5	5,9	7,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	9,2	9,9	0,0	0,0	1,0	5,4	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	1,0	7,1	3,0	14,6	4,3	6,7	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	4,3	4,3	5,8	14,3	9,1	47,6	0,9	3,8	0,0	0,0	0,0
9	0,0	2,4	21,3	1,5	9,7	2,7	12,1	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	11,3	1,5	6,5	3,2	9,4	3,9	0,0	0,0	0,0	0,9
11	0,0	1,4	11,3	7,4	5,0	7,5	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	1,0	7,1	4,5	3,3	9,1	5,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	5,7	3,0	6,6	10,2	2,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	2,4	5,3	4,5	8,2	18,9	3,4	1,4	0,8	0,8	0,0	0,0
15	0,0	1,4	4,3	7,2	13,1	38,5	8,8	4,1	0,1	0,0	0,0	0,0
16	0,0	4,8	2,8	5,9	8,2	15,4	3,7	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0
17	1,0	9,9	4,3	16,3	8,1	11,8	3,7	2,4	0,0	3,7	0,0	0,7
18	0,0	11,3	9,8	37,1	9,8	7,6	2,0	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0
19	0,0	3,8	2,8	13,4	11,4	4,2	5,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	9,9	2,8	7,4	6,6	5,9	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	9,5	4,3	8,9	4,9	5,9	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	28,4	4,3	5,9	14,7	5,9	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	8,1	4,3	5,9	9,1	4,2	5,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	5,7	2,8	19,3	5,9	0,0	4,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	4,3	2,7	24,6	9,1	6,7	2,5	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
26	0,0	2,8	0,0	13,4	17,2	12,7	2,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	2,7	2,8	10,4	10,8	7,6	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
28	9,9	1,4	2,9	5,9	7,5	7,6	3,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
29	44,9	7,1	15,6	5,9	0,0	4,2	1,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
30	7,1	10,0	48,1	3,0	0,0	7,6	1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
2013-14												
1	2,7	0,0	7,1	5,3	2,8	5,7	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	22,3	1,4	7,1	1,4	2,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	21,3	2,4	6,7	8,1	4,5	1,5	0,8	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	15,2	0,0	2,8	1,4	2,5	1,5	8,9	0,1	0,0	1,0
5	0,0	0,0	4,3	2,2	4,5	8,1	1,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0
6	0,0	0,0	3,9	1,4	2,8	2,8	1,5	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	4,3	2,8	6,6	8,1	38,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	2,8	1,0	5,7	31,6	7,4	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	1,0	1,4	5,7	20,8	5,3	1,0	1,8	0,0	0,0	0,5
10	0,0	0,0	0,0	2,4	6,7	11,4	3,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,9
11	0,0	1,0	1,0	1,4	8,5	5,9	5,5	1,5	0,0	0,2	0,0	0,0
12	0,0	2,7	0,0	0,0	6,7	5,4	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	7,8	2,4	2,4	4,3	4,5	3,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
14	0,0	18,9	0,0	0,0	5,3	4,0	1,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	11,8	0,0	2,2	2,8	1,5	1,5	0,3	2,8	0,0	0,4	0,0
16	1,2	8,1	1,0	4,3	2,8	3,0	5,3	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0
17	0,0	2,8	1,4	2,4	2,4	4,0	1,5	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0
18	0,0	1,0	1,0	2,8	2,8	1,5	5,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	4,0	1,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0

20	0,0	8,1	2,4	2,4	2,8	3,0	1,5	0,7	0,0	1,2	0,0	0,0
21	0,0	4,3	0,0	2,8	3,8	3,7	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	3,9	0,0	5,2	0,0	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	1,4	1,0	0,0	1,4	3,0	2,3	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0
24	0,0	8,5	0,0	2,4	10,9	4,0	1,5	1,5	1,2	0,0	0,0	0,0
25	0,0	16,6	3,8	11,3	1,4	1,5	5,5	1,5	0,4	0,0	0,0	0,0
26	0,0	5,7	0,0	8,5	2,4	5,3	1,5	1,5	0,0	0,0	0,4	1,2
27	0,0	8,1	3,8	3,8	1,4	1,5	5,9	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
28	0,0	4,3	17,0	5,7	1,0	4,0	5,4	0,7	0,0	0,0	0,4	0,0
29	0,0	1,0	12,8	4,3	0,0	4,5	1,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	4,3	1,0	4,3	0,0	4,5	4,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0

2014-15

1	0,0	1,3	0,0	5,4	136,1	8,5	1,0	1,0	0,9	3,0	0,0	0,0
2	0,0	1,3	1,3	3,7	52,1	9,8	5,9	1,6	0,0	1,9	0,0	0,3
3	0,0	0,0	2,3	1,3	11,3	1,4	8,4	1,6	0,0	0,4	0,0	0,0
4	1,3	0,6	1,3	2,7	9,4	3,8	7,4	2,7	0,4	0,5	0,0	0,0
5	0,0	0,0	1,0	2,7	5,7	4,3	4,5	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
6	3,7	0,0	8,1	0,0	6,7	27,1	29,3	2,1	0,4	0,0	0,0	0,0
7	10,3	1,2	2,7	1,0	8,5	29,7	7,4	2,7	6,6	0,0	0,5	0,0
8	2,4	3,8	9,4	1,8	7,1	7,4	15,8	0,0	1,5	0,0	11,5	0,0
9	1,3	1,3	2,7	0,0	5,6	8,6	4,5	2,7	0,4	0,0	0,0	0,9
10	1,0	1,4	2,3	0,0	2,9	4,5	4,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,8
11	0,0	0,0	1,3	1,3	6,8	6,8	5,9	3,9	0,4	0,4	0,0	0,0
12	0,0	0,0	1,0	0,0	4,3	4,5	5,9	0,0	1,0	0,0	1,4	0,0
13	0,0	3,8	2,7	0,0	2,3	5,3	4,1	0,4	0,1	1,2	0,0	0,0
14	0,0	1,0	1,3	2,3	1,4	4,5	3,0	2,2	0,0	0,5	0,0	0,9
15	0,0	1,3	0,0	0,0	1,4	1,5	9,9	2,2	0,0	0,4	0,0	0,0
16	0,0	0,0	1,3	2,3	2,7	4,1	3,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
17	0,0	6,4	22,6	0,0	1,4	1,5	4,0	2,3	1,5	0,5	0,0	0,0
18	0,0	0,0	5,4	0,0	6,7	5,4	3,0	0,7	2,2	0,0	1,3	0,0
19	0,0	3,7	2,3	1,3	2,9	1,5	3,0	3,8	3,7	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	1,3	1,3	0,8	3,9	4,4	2,2	0,7	0,0	0,0	0,0
21	0,0	3,7	1,3	2,3	2,8	0,0	0,0	2,3	3,6	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,5	4,2	0,0	3,6	0,0	0,0	2,8
23	0,0	0,0	2,7	1,0	5,6	7,1	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	2,4	1,0	2,3	1,3	1,4	4,5	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	1,3	0,0	1,3	2,7	6,7	8,4	3,2	0,7	1,0	0,0	0,0	2,4
26	1,3	1,0	2,3	2,7	5,7	8,9	3,2	2,2	1,0	0,0	0,0	1,4
27	0,3	0,0	0,0	2,7	8,1	12,9	2,7	3,7	0,0	0,0	0,0	2,8
28	0,0	1,0	2,7	2,3	21,3	11,9	1,6	3,0	1,7	0,0	0,0	1,3
29	1,0	0,0	17,5	5,5	0,0	13,4	5,9	3,5	0,0	0,0	0,0	2,8
30	0,0	1,3	2,7	3,8	0,0	10,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	5,3

2015-16

1	1,4	1,4	0,0	1,0	2,8	1,5	2,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
2	1,0	2,8	3,9	1,4	1,5	2,5	0,0	4,2	0,0	1,9	0,0	1,2
3	0,0	1,4	1,4	2,8	1,0	1,5	3,2	3,2	1,1	0,4	0,0	0,0
4	0,0	2,4	2,4	11,3	1,5	4,0	3,0	3,8	0,5	0,4	0,0	0,0
5	1,3	1,4	0,0	19,8	1,0	1,5	3,2	2,2	0,5	0,4	0,0	0,0
6	0,0	0,0	1,4	13,7	1,5	0,0	1,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0
7	1,0	1,4	4,2	14,2	0,0	4,3	3,2	0,0	0,6	1,0	0,0	2,7
8	1,4	0,0	0,0	5,3	0,0	1,5	1,0	0,6	4,5	1,1	0,0	8,5
9	0,0	1,3	2,4	4,3	1,5	4,0	1,6	0,2	0,0	0,4	0,6	12,8
10	2,8	0,0	1,4	7,1	2,5	3,0	1,6	0,9	0,0	0,0	0,6	2,8
11	26,9	1,0	1,0	2,8	1,5	2,5	2,9	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
12	7,0	0,0	0,0	1,4	5,5	4,5	0,0	1,6	0,0	0,2	0,0	1,3
13	0,0	1,0	1,4	3,8	7,4	13,4	2,6	1,6	2,6	0,2	0,0	0,0

14	2,4	0,0	0,0	1,4	8,9	31,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0
15	1,4	0,0	0,0	2,3	5,5	14,8	1,0	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0
16	2,4	0,0	1,0	12,8	4,5	9,4	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,0
17	0,0	0,0	1,4	41,7	6,9	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	1,4	1,0	1,0	10,2	3,0	6,9	3,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
19	1,4	0,0	0,0	4,5	5,5	8,9	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	1,3
20	1,4	2,4	0,0	4,4	4,5	5,9	1,0	4,5	0,0	0,0	0,0	1,4
21	1,0	1,4	1,3	1,5	4,5	2,8	0,0	15,0	0,4	0,0	0,0	3,8
22	7,1	0,0	0,0	7,4	4,3	1,5	0,4	24,3	0,4	0,0	0,0	2,8
23	10,9	4,2	0,0	3,0	1,5	11,4	0,0	4,3	0,4	0,0	0,0	1,5
24	12,8	0,0	0,0	2,1	4,0	23,8	0,0	0,0	0,4	0,0	1,0	0,0
25	4,3	2,4	1,0	1,3	1,5	12,1	0,0	1,0	1,9	0,8	3,3	0,0
26	2,8	18,4	1,4	3,0	2,5	5,8	0,0	3,2	1,9	0,0	1,9	1,4
27	1,4	13,8	0,0	4,0	1,5	8,1	0,5	2,6	0,4	0,0	0,0	0,0
28	2,4	19,8	0,0	1,5	1,5	4,6	0,6	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
29	1,4	8,5	1,4	4,0	2,8	4,9	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
30	1,0	2,8	2,4	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0

2016-17

1	0,0	1,4	1,4	1,4	1,4	7,4	1,6	1,6	0,6	0,1	0,0	0,0
2	0,0	2,2	3,8	0,0	0,1	6,0	3,2	0,8	0,0	0,1	0,0	0,9
3	1,4	1,4	1,4	0,0	2,8	3,0	4,8	0,8	1,8	0,1	0,5	0,0
4	0,0	0,0	1,4	1,4	4,3	4,5	1,6	0,8	0,1	0,1	0,5	0,0
5	0,0	1,4	4,0	4,4	15,6	1,5	1,6	1,9	1,7	0,1	0,3	0,0
6	0,0	2,8	0,0	0,0	18,6	3,0	3,2	0,0	0,5	0,0	0,3	0,3
7	0,9	2,6	2,2	0,4	17,0	1,5	1,6	0,0	3,7	1,5	0,3	0,0
8	2,9	12,8	1,4	3,3	7,1	8,9	3,2	0,0	2,8	0,0	0,3	0,0
9	0,0	77,3	2,4	1,8	7,2	29,8	1,6	0,5	2,7	3,4	0,3	0,0
10	2,8	28,3	1,4	2,8	12,8	40,1	1,5	0,5	0,8	0,0	0,3	0,0
11	4,3	6,6	1,4	0,0	13,4	23,8	1,6	1,0	2,5	0,1	0,0	0,0
12	5,1	1,4	2,9	0,3	5,9	17,8	3,2	1,0	3,2	0,0	0,0	0,0
13	1,4	18,4	1,4	3,2	6,0	10,5	3,2	0,0	1,6	0,0	0,2	0,0
14	2,3	2,6	2,4	2,8	1,5	5,9	1,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
15	1,4	1,4	0,0	2,8	1,5	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	10,7	1,1	3,2	3,0	4,5	1,6	4,1	2,4	0,0	0,0	0,0
17	1,2	2,8	1,4	5,7	3,0	3,0	4,3	0,0	4,9	7,4	0,0	0,0
18	11,3	3,8	0,0	4,3	3,0	1,5	3,2	4,1	14,6	1,5	0,0	0,0
19	5,0	1,4	0,1	8,6	13,4	0,0	1,0	0,0	3,2	1,3	0,0	0,0
20	1,4	1,4	0,2	2,8	37,2	4,8	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	1,0	2,6	1,4	0,0	10,4	3,2	1,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
22	7,1	2,8	2,0	0,0	4,5	3,2	1,6	4,9	0,8	0,0	0,0	0,0
23	4,3	2,2	0,0	1,7	7,5	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
24	2,6	1,4	0,0	5,0	4,5	4,9	2,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
25	1,4	1,0	0,0	0,0	3,0	4,9	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,8	2,8	1,6	1,6	5,9	1,6	1,0	2,9	0,9	0,0	1,0	0,0
27	4,3	1,4	0,0	0,0	6,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
28	18,0	2,6	0,0	0,0	5,9	3,2	0,0	3,2	0,6	0,0	0,0	0,0
29	11,3	1,4	1,5	1,4	0,0	3,2	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	7,0
30	5,7	5,0	0,0	1,5	0,0	3,2	0,0	1,6	0,1	0,0	3,1	1,4

2017-18

1	0,0	0,0	4,2	5,4	1,5	8,1	5,8	0,2	1,0	1,5	0,0	0,0
2	0,0	0,0	70,9	5,7	1,1	7,6	7,6	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0
3	0,0	0,0	31,2	6,6	4,5	13,0	2,5	3,0	0,0	0,2	8,3	0,0
4	0,0	0,0	19,6	1,4	44,5	16,2	2,5	1,3	1,0	0,8	0,0	0,0
5	0,6	0,0	5,7	2,8	16,0	15,7	2,5	0,0	0,0	0,7	2,2	0,0
6	0,0	0,0	6,6	0,0	8,9	15,0	1,9	2,0	0,0	0,0	0,8	0,0

7	0,0	0,0	4,3	1,4	3,8	24,4	7,6	3,7	0,0	1,3	0,1	0,0
8	0,0	5,4	1,3	4,0	5,9	22,0	0,0	1,9	0,0	1,8	0,0	0,0
9	0,0	0,0	4,3	0,0	7,1	11,4	0,0	0,2	0,0	1,8	0,0	0,0
10	0,0	0,1	5,7	2,4	13,4	6,7	7,7	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0
11	0,0	0,0	1,2	0,0	16,3	5,0	6,0	0,2	0,0	1,9	0,8	0,8
12	0,0	5,7	1,4	1,3	4,1	5,0	1,0	1,5	0,5	1,9	0,0	0,0
13	0,0	1,0	2,4	61,0	8,9	8,4	0,8	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	2,8	10,3	14,2	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	4,0	2,5	8,6	7,4	4,3	1,7	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0
16	0,0	2,8	1,4	3,0	8,6	4,3	4,1	1,5	4,9	0,0	0,0	0,0
17	0,0	19,4	5,7	5,3	5,9	8,5	2,5	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	5,7	4,0	23,8	4,5	7,4	2,5	0,5	1,5	0,4	0,0	0,0
19	0,0	7,1	2,8	9,8	7,1	5,0	0,0	0,5	1,4	0,0	0,0	0,0
20	0,0	4,0	2,4	1,5	7,4	11,8	2,8	2,1	1,2	0,0	0,0	0,0
21	0,0	1,4	1,4	7,4	15,7	5,1	3,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	2,4	4,2	5,6	18,4	8,5	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
23	1,2	0,0	2,8	1,5	9,2	10,2	1,2	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
24	0,0	1,3	1,4	2,4	25,9	10,2	1,3	0,2	2,1	0,0	0,3	0,0
25	5,4	2,8	1,1	4,5	14,6	4,9	0,4	0,8	0,0	0,0	0,3	0,0
26	2,8	0,0	0,0	2,8	17,3	10,2	0,0	1,2	9,4	0,0	0,3	0,0
27	0,1	5,4	3,8	1,5	8,1	6,4	1,2	0,0	8,9	1,4	0,0	0,0
28	0,0	2,8	12,8	3,0	20,3	5,1	1,6	0,0	3,0	0,0	3,3	0,0
29	0,0	2,4	15,5	4,1	0,0	6,7	2,0	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0
30	0,0	2,8	1,4	1,5	0,0	6,9	5,3	1,2	0,0	0,7	0,0	5,7

2018-19

1	1,3	1,4	2,8	2,8	8,5	2,6	2,6	2,4	0,7	0,4	0,0	0,0
2	0,0	0,0	2,8	6,3	4,5	5,9	3,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	1,4	4,3	3,0	3,0	5,6	2,8	0,7	0,2	0,0	0,0
4	0,0	0,0	3,2	4,0	5,3	6,9	3,2	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	1,0	0,0	2,9	7,4	3,0	2,8	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	4,0	18,5	3,7	4,9	2,6	2,5	0,0	0,0	0,6
7	0,0	0,9	2,8	0,9	22,3	4,5	13,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	1,6	7,1	4,1	10,7	6,9	0,8	0,3	0,0	0,0
9	0,0	2,3	8,5	1,0	5,9	3,0	1,6	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
10	0,0	0,0	5,2	14,2	5,9	4,5	7,3	0,8	0,0	0,3	0,0	1,0
11	0,0	0,0	2,1	23,0	3,9	2,5	4,9	2,1	0,0	3,6	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,7	7,1	4,5	7,4	12,5	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0
13	0,0	0,0	2,8	5,7	3,6	6,8	11,3	3,9	0,1	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,9	2,5	3,5	0,0	6,5	6,7	1,7	2,3	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	2,8	1,4	4,1	7,6	12,8	0,8	1,4	0,0	0,0	0,0
16	0,0	2,3	2,8	2,9	3,0	3,2	23,6	0,8	1,3	0,5	0,5	0,0
17	0,0	5,7	3,7	1,4	3,0	3,2	12,6	0,7	0,4	8,9	0,0	0,0
18	0,0	14,2	4,3	4,0	5,4	4,2	8,4	1,1	0,0	1,5	0,0	0,0
19	0,0	15,4	4,9	2,8	3,0	4,9	6,2	1,1	0,3	0,0	0,5	0,0
20	0,0	5,7	1,4	4,3	2,1	4,0	1,7	0,1	0,3	0,0	0,5	0,0
21	0,0	6,5	2,5	2,6	1,5	3,2	6,7	0,8	0,3	0,0	0,5	0,0
22	2,8	7,1	1,4	5,9	2,8	4,2	6,1	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0
23	14,2	3,7	2,8	21,5	1,5	1,6	3,4	0,1	0,0	0,3	0,5	0,0
24	6,6	2,8	3,7	19,3	7,4	4,9	4,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	1,4	2,8	10,0	8,5	2,6	5,1	0,7	1,4	0,0	0,0	0,0
26	0,0	18,2	3,5	8,9	1,5	3,7	6,2	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0
27	0,0	14,2	1,4	7,4	2,6	2,4	3,4	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0
28	1,4	5,1	4,0	2,4	1,5	17,8	5,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	9,9	0,0	13,4	0,0	10,9	1,0	2,4	0,4	0,0	0,0	0,0
30	0,0	8,0	1,4	14,0	0,0	3,2	5,1	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0

Πίνακας 6: Προσομοιωμένες μηνιαίες τιμές απορροής (Medbasin-M)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (mm)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
2012 - 13	69,6	164,3	178,0	161,0	164,4	137,7	95,9	69,7	40,0	31,9	32,5	44,7	1189,8
2013 - 14	83,6	183,4	139,9	112,6	90,0	147,6	110,2	65,3	62,8	31,4	27,9	70,6	1125,2
2014 - 15	122,2	105,4	145,9	128,4	197,1	149,5	103,5	78,2	72,9	46,9	49,1	90,0	1289,1
2015 - 16	109,9	132,8	81,0	154,4	105,0	152,0	65,5	106,0	46,5	41,7	48,3	103,7	1146,7
2016 - 17	154,2	151,8	85,6	83,2	140,5	107,0	81,2	95,2	91,6	61,7	33,4	84,8	1170,2
2017 - 18	69,6	164,3	178,0	161,0	164,4	137,7	95,9	69,7	40,0	31,9	32,5	44,7	1189,8
2018 - 19	83,6	183,4	139,9	112,6	90,0	147,6	110,2	65,3	62,8	31,4	27,9	70,6	1125,2
Μ.Ο	98,9	155,1	135,4	130,4	135,9	139,9	94,6	78,5	59,5	39,5	35,9	72,8	1176,5
Τ.Α	29,1	26,0	36,3	27,6	38,8	14,4	15,1	14,8	17,6	10,7	8,3	20,6	52,4

Πίνακας 7: Προσομοιωμένες μηνιαίες τιμές απορροής (MERO/Medbasin-D)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (mm)													
Υδρ.Έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	Έτος
2012 - 13	35,0	155,2	251,3	276,4	287,1	246,4	154,7	60,1	16,1	6,7	2,8	1,2	1493,
2013 - 14	6,3	152,6	145,5	129,7	89,1	223,7	123,5	32,9	29,5	4,8	2,0	4,3	943,9
2014 - 15	40,4	40,6	120,9	55,0	308,9	213,2	147,1	61,4	35,7	11,5	5,2	21,6	1061,
2015 - 16	49,5	85,8	15,0	187,9	103,8	210,1	66,9	79,1	9,6	7,5	3,5	32,8	851,6
2016 - 17	123,4	167,7	57,1	47,1	143,6	117,8	45,7	45,2	54,2	25,8	0,9	15,0	843,7
2017 - 18	5,0	90,4	206,4	189,0	219,2	249,5	106,2	63,2	38,5	9,4	4,1	1,1	1182,
2018 - 19	37,0	94,3	40,3	75,7	74,6	105,4	112,0	19,8	7,2	15,4	1,1	1,7	584,6
Μ.Ο	42,4	112,4	119,5	137,3	175,2	195,2	108,0	51,7	27,3	11,6	2,8	11,1	994,3
Τ.Α	36,7	43,4	81,7	78,7	89,4	54,7	36,9	18,7	15,9	6,6	1,5	11,5	267,8

Πίνακας 8: Προσομοιωμένες ημερήσιες τιμές απορροής (MERO/Medbasin-D)

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (mm)													
Ημέρα	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπ.	
2012-13													
1	0,0	4,9	7,6	7,5	4,5	6,0	4,7	2,2	0,8	0,3	0,1	0,1	
2	0,0	12,7	4,2	5,4	4,3	5,4	4,6	2,2	0,8	0,3	0,1	0,1	
3	0,0	4,7	28,8	4,3	4,3	16,9	4,5	2,1	0,8	0,3	0,1	0,1	
4	0,0	2,4	16,4	3,8	4,3	9,1	4,5	2,0	0,7	0,3	0,1	0,1	
5	0,0	1,2	8,1	3,5	4,2	7,0	4,4	2,0	0,7	0,3	0,1	0,1	
6	0,0	4,7	4,8	3,4	4,2	5,9	4,3	2,3	0,7	0,3	0,1	0,0	
7	0,0	2,0	3,1	3,4	12,7	5,3	4,2	2,1	0,7	0,3	0,1	0,0	
8	0,0	1,5	2,3	3,4	31,5	5,3	34,0	1,9	0,7	0,3	0,1	0,0	
9	0,0	0,8	21,8	3,4	13,2	5,0	12,6	4,2	0,6	0,3	0,1	0,0	
10	0,0	0,4	15,0	3,4	8,9	4,9	8,4	8,5	0,6	0,2	0,1	0,0	
11	0,0	0,2	15,8	5,3	6,7	4,8	6,2	4,4	0,6	0,2	0,1	0,0	
12	0,0	0,1	12,3	6,2	5,6	4,7	5,1	3,0	0,6	0,2	0,1	0,0	
13	0,0	0,1	7,0	4,8	7,8	4,7	4,5	2,2	0,6	0,2	0,1	0,0	
14	0,0	0,0	4,6	4,2	18,5	9,8	4,1	1,8	0,5	0,2	0,1	0,0	
15	0,0	0,5	3,4	4,1	32,4	39,4	3,9	1,6	0,5	0,2	0,1	0,0	

16	0,3	4,8	2,8	13,3	14,3	16,6	3,7	1,5	0,5	0,2	0,1	0,0
17	0,2	9,3	3,8	16,2	11,1	10,8	3,6	1,4	0,5	0,2	0,1	0,0
18	0,1	6,9	8,5	36,0	10,7	7,8	3,5	1,3	0,5	0,2	0,1	0,0
19	0,1	4,6	5,1	18,7	7,6	6,3	3,4	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0
20	0,0	9,2	3,8	11,1	7,2	5,5	3,3	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0
21	0,0	3,9	3,2	7,5	5,9	5,1	3,2	1,2	0,4	0,2	0,1	0,0
22	0,0	41,2	2,9	6,4	9,6	6,6	3,1	1,1	0,4	0,2	0,1	0,0
23	0,0	11,7	2,8	5,8	8,3	5,7	3,0	1,1	0,4	0,2	0,1	0,0
24	0,0	6,1	2,8	8,3	6,5	5,2	2,9	1,1	0,4	0,2	0,1	0,0
25	0,0	3,4	2,8	24,8	9,5	5,0	2,8	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0
26	0,0	2,0	2,8	25,0	16,6	7,2	2,7	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0
27	0,0	1,3	2,8	12,5	9,5	8,4	2,6	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0
28	3,8	0,9	2,8	8,4	7,2	6,5	2,5	0,9	0,4	0,1	0,1	0,0
29	16,2	0,8	5,3	6,3	0,0	5,6	2,4	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0
30	9,9	12,8	32,2	5,3	0,0	5,1	2,3	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0

2013-14

1	0,6	0,0	8,6	3,9	3,2	2,8	3,6	1,7	0,6	0,2	0,1	0,0
2	0,1	0,0	20,8	4,0	2,9	6,0	3,1	1,6	0,6	0,2	0,1	0,0
3	0,4	0,0	25,9	3,0	2,8	6,4	2,9	1,6	0,6	0,2	0,1	0,2
4	0,2	0,0	10,2	2,6	2,7	6,7	2,7	1,5	11,0	0,2	0,1	0,1
5	0,1	0,0	5,6	2,4	2,7	9,2	2,6	1,5	3,7	0,2	0,1	0,1
6	0,1	0,4	3,4	2,2	2,7	5,6	2,5	1,4	2,1	0,2	0,1	0,0
7	0,1	0,2	2,3	2,3	4,9	12,2	25,7	1,4	1,3	0,2	0,1	0,0
8	0,0	0,1	1,7	2,3	3,7	35,2	10,9	1,3	0,9	0,2	0,1	0,0
9	0,0	0,1	1,5	2,2	3,2	22,1	6,7	1,3	0,7	0,2	0,1	0,7
10	0,1	0,0	1,4	2,2	3,0	16,3	4,6	1,2	0,6	0,2	0,1	0,9
11	0,9	0,0	1,4	2,2	2,8	10,5	3,6	1,2	0,5	0,2	0,1	0,6
12	0,4	0,7	1,4	2,2	2,8	6,8	3,0	1,2	0,5	0,2	0,1	0,3
13	0,2	5,1	1,4	2,2	3,3	5,0	2,7	1,1	0,4	0,2	0,1	0,2
14	0,1	11,7	1,5	2,2	3,0	4,0	2,5	1,1	0,4	0,2	0,1	0,1
15	0,1	15,5	1,5	2,2	2,9	3,6	2,4	1,0	0,4	0,2	0,1	0,1
16	0,0	14,9	1,6	3,9	2,8	3,3	2,3	1,0	0,8	0,2	0,1	0,0
17	1,4	9,7	1,6	3,1	2,8	3,2	5,4	1,0	0,6	0,1	0,1	0,0
18	0,6	4,7	1,7	2,7	2,7	3,2	7,2	0,9	0,5	0,1	0,1	0,2
19	0,3	2,4	1,7	2,5	2,7	3,1	4,5	0,9	0,4	0,1	0,1	0,1
20	0,2	5,2	1,7	2,4	2,7	3,1	3,4	0,9	0,4	0,1	0,1	0,1
21	0,1	3,2	1,7	2,3	2,7	3,1	2,8	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0
22	0,1	7,2	1,8	11,0	2,7	3,0	2,4	0,8	0,3	0,1	0,1	0,0
23	0,0	3,1	1,8	5,5	2,7	3,0	2,3	0,8	0,3	0,1	0,1	0,0
24	0,0	8,6	1,8	3,9	4,3	2,9	2,1	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
25	0,0	29,1	1,8	13,9	6,0	2,9	2,0	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
26	0,0	12,8	1,8	15,4	4,2	2,8	2,0	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
27	0,0	9,2	1,8	8,8	3,4	3,9	1,9	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
28	0,0	4,7	11,4	5,7	3,0	13,8	1,8	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
29	0,0	2,6	13,5	4,2	0,0	9,5	1,8	0,7	0,2	0,1	0,0	0,0
30	0,0	1,5	6,8	3,4	0,0	6,1	1,7	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0
1	0,0	0,3	0,0	2,8	86,7	6,7	4,5	2,2	1,3	1,6	0,1	0,0

2014-15

2	0,0	0,2	0,0	1,8	73,1	4,9	3,9	2,1	1,0	1,6	0,1	0,0
3	0,0	0,1	0,9	1,4	33,8	4,0	3,6	2,0	0,9	0,9	0,1	0,0
4	0,0	0,0	0,6	1,1	17,5	3,5	3,4	1,9	0,8	0,6	0,1	0,0
5	0,0	0,0	0,3	1,0	10,1	3,2	3,3	1,9	0,7	0,4	0,1	0,0
6	0,7	0,0	10,6	1,0	6,3	12,4	28,2	1,8	0,7	0,3	0,1	0,0
7	21,2	0,0	3,7	1,0	5,0	25,4	11,1	1,7	0,6	0,3	0,1	0,0
8	4,3	4,2	3,6	1,0	3,8	13,2	9,3	1,7	4,8	0,3	1,3	0,0
9	2,2	1,9	6,0	1,1	3,2	9,7	11,2	1,6	2,2	0,2	0,6	0,0
10	1,1	1,0	2,7	1,1	2,9	7,2	7,0	1,6	1,4	0,2	0,3	1,6
11	0,6	0,5	1,4	1,1	2,8	5,2	5,2	1,5	1,0	0,2	0,2	0,6
12	0,3	0,3	0,7	1,1	2,8	4,2	4,3	3,8	0,7	0,2	0,4	0,3
13	0,2	4,7	0,4	1,2	2,8	3,7	3,8	2,4	0,6	0,2	0,3	0,2
14	0,1	3,0	0,2	1,2	2,8	3,8	3,5	1,9	0,6	0,2	0,2	0,1
15	0,1	1,5	0,2	1,2	2,9	3,5	3,4	1,6	0,5	0,2	0,1	0,1
16	0,0	0,8	0,1	1,2	2,9	3,4	3,3	1,4	0,5	0,2	0,1	0,1
17	0,0	13,0	23,3	1,2	2,9	3,3	3,2	1,3	0,5	0,2	0,1	0,0
18	0,0	4,3	10,7	1,3	3,0	3,3	3,1	1,2	0,4	0,2	0,1	0,0
19	0,0	2,2	5,3	1,3	3,0	3,3	3,1	1,2	7,5	0,2	0,1	0,0
20	0,0	1,1	2,9	1,3	3,0	3,2	3,0	4,0	2,7	0,2	0,1	0,0
21	0,0	0,6	1,6	1,3	3,0	3,2	2,9	2,3	1,6	0,2	0,1	0,0
22	0,0	0,3	1,0	1,3	3,0	3,2	2,9	1,7	1,0	0,2	0,1	3,9
23	0,0	0,2	0,7	1,3	3,9	5,5	2,8	1,3	0,7	0,2	0,1	4,4
24	1,6	0,1	0,5	1,3	3,4	7,1	2,7	1,2	0,5	0,1	0,1	1,9
25	1,9	0,1	0,5	2,2	3,2	6,9	2,6	1,0	0,4	0,1	0,1	1,0
26	1,0	0,0	0,5	1,8	3,9	8,7	2,5	1,0	0,4	0,9	0,1	1,9
27	0,5	0,0	0,5	1,5	4,4	13,6	2,5	0,9	0,6	0,5	0,1	1,9
28	0,3	0,0	0,5	1,4	12,8	11,3	2,4	1,6	0,4	0,3	0,1	1,0
29	2,5	0,0	28,1	9,4	0,0	12,9	2,3	6,6	0,4	0,2	0,1	0,5
30	1,1	0,0	8,6	4,9	0,0	7,9	2,2	3,0	0,3	0,2	0,1	1,8

2015-16

1	2,8	2,1	2,4	0,4	2,1	2,1	3,1	1,3	0,5	0,2	0,1	0,0
2	1,5	1,8	1,3	0,4	2,1	2,1	3,1	1,2	0,5	1,3	0,1	0,6
3	0,8	0,9	0,8	0,4	2,1	2,1	3,1	3,0	0,4	0,7	0,1	0,3
4	0,4	0,5	0,5	31,4	2,1	4,3	3,0	2,0	0,4	0,4	0,1	0,2
5	0,2	0,3	0,4	12,9	2,1	4,2	3,0	1,5	0,4	0,3	0,1	0,1
6	0,1	0,1	0,3	12,0	2,1	3,2	2,9	1,3	0,4	1,0	0,1	0,1
7	0,1	0,1	0,3	26,3	2,1	2,6	2,9	1,2	0,4	0,6	0,1	0,5
8	2,1	0,0	0,3	9,7	2,0	3,5	2,8	1,1	0,4	0,4	0,1	1,0
9	1,0	0,0	0,3	5,4	2,0	2,8	2,7	1,0	0,4	0,3	0,2	15,6
10	0,5	0,0	0,3	3,2	2,0	7,3	2,6	1,0	0,4	0,2	0,1	6,2
11	2,2	0,0	0,3	2,1	2,0	4,4	2,6	0,9	0,3	0,2	0,1	3,0
12	4,2	0,0	0,3	1,6	3,1	3,3	2,5	0,9	0,3	0,1	0,1	1,5
13	1,9	0,0	0,3	1,4	10,0	20,7	2,4	2,5	0,3	0,1	0,1	0,8
14	1,0	0,0	0,4	1,3	9,7	23,7	2,3	1,6	0,5	0,1	0,1	0,4
15	0,5	0,0	0,4	1,2	9,3	14,7	2,2	1,2	0,4	0,1	0,1	0,2
16	0,3	0,0	0,4	5,8	5,5	9,5	2,2	1,0	0,3	0,1	0,1	0,1
17	0,1	0,0	0,4	29,4	3,8	7,6	2,1	0,9	0,3	0,1	0,0	0,1
18	0,1	0,0	0,4	10,1	2,9	5,8	2,0	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,4	5,9	6,9	9,0	1,9	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0

20	0,0	0,0	0,4	3,8	4,2	5,5	1,9	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,4	2,8	5,7	4,1	1,8	11,1	0,3	0,1	0,0	0,0
22	5,2	0,0	0,4	2,3	3,8	3,4	1,8	22,8	0,2	0,1	0,0	0,0
23	7,0	5,9	0,4	2,1	2,9	3,1	1,7	7,8	0,2	0,1	0,0	0,9
24	9,4	3,2	0,4	2,0	2,5	26,2	1,6	4,2	0,2	0,1	0,5	0,5
25	3,9	1,6	0,4	1,9	2,3	10,0	1,6	2,4	0,2	0,1	0,2	0,2
26	2,0	17,3	0,4	1,9	2,2	6,5	1,5	1,5	0,2	0,1	0,7	0,1
27	1,0	14,9	0,4	2,0	2,1	4,8	1,5	1,0	0,2	0,1	0,3	0,1
28	0,5	23,4	0,4	2,0	2,1	3,9	1,4	0,8	0,2	0,1	0,2	0,0
29	0,3	8,9	0,4	2,0	2,1	3,5	1,4	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0
30	0,2	4,6	0,4	2,1	0,0	3,3	1,3	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0

2016-17

1	0,0	2,0	2,6	1,6	1,2	2,0	1,8	0,7	0,6	0,1	0,0	0,0
2	0,0	1,2	2,2	1,6	1,2	3,1	1,7	0,6	0,4	0,1	0,0	0,0
3	0,0	0,8	2,0	1,6	1,1	2,4	1,7	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0
4	0,0	0,6	1,9	1,6	1,1	2,1	2,6	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0
5	0,0	0,5	1,9	1,5	1,1	2,0	2,1	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0
6	0,0	0,4	1,9	3,2	1,1	1,9	3,8	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0
7	0,0	0,4	1,8	2,3	8,0	1,9	2,6	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
8	9,1	0,4	1,8	1,9	3,7	1,9	2,0	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0
9	2,9	44,2	1,8	1,7	2,8	12,8	1,7	0,5	1,5	0,1	0,0	0,0
10	1,5	33,5	1,8	1,6	7,7	15,6	1,5	0,5	0,8	0,1	0,0	0,0
11	2,5	14,7	1,8	1,5	9,2	15,3	1,4	0,5	0,5	0,1	0,0	0,0
12	15,8	7,9	1,8	1,5	4,6	9,3	1,3	0,5	8,0	0,1	0,0	0,0
13	5,1	17,4	1,8	1,4	2,9	5,8	1,3	0,5	2,9	0,1	0,0	0,0
14	2,6	7,3	1,8	1,7	2,0	4,0	1,2	0,4	1,6	0,1	0,0	0,0
15	1,3	4,3	1,8	1,5	1,5	3,1	1,2	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0
16	0,7	2,8	1,8	1,5	1,3	2,7	1,1	0,4	0,5	0,1	0,0	0,0
17	0,4	2,1	1,8	1,4	1,2	2,5	1,1	3,0	3,4	6,6	0,0	0,0
18	17,6	1,8	1,8	1,4	1,1	2,4	2,5	2,8	18,3	9,9	0,0	0,0
19	5,4	1,7	1,8	1,4	13,0	2,3	1,7	1,6	5,9	3,7	0,0	0,0
20	2,8	1,6	1,8	1,3	41,3	2,3	2,2	1,0	3,0	1,9	0,0	0,0
21	2,7	1,6	1,8	1,3	13,2	2,2	1,6	0,7	1,6	1,0	0,0	0,0
22	4,4	1,6	1,8	1,3	7,4	2,2	1,2	6,0	0,9	0,5	0,0	0,0
23	2,1	1,7	1,8	1,3	4,5	2,2	1,0	2,4	0,5	0,3	0,0	0,0
24	1,2	1,7	1,8	1,3	3,0	2,1	0,9	1,7	0,3	0,2	0,0	0,0
25	0,6	1,7	1,7	1,3	2,3	2,1	0,9	6,4	0,2	0,1	0,0	0,0
26	0,4	1,7	1,7	1,3	1,9	2,1	0,8	2,7	0,2	0,1	0,0	0,0
27	0,2	1,7	1,7	1,3	2,1	2,0	0,8	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0
28	15,7	1,7	1,7	1,2	2,3	2,0	0,7	0,9	0,1	0,1	0,0	0,3
29	17,6	5,3	1,7	1,2	0,0	1,9	0,7	3,5	0,1	0,0	0,0	11,0
30	7,0	3,4	1,6	1,2	0,0	1,9	0,7	1,7	0,1	0,0	0,0	3,4

2017-18

1	0,0	0,0	5,0	3,7	3,3	4,2	5,6	3,5	0,8	0,8	0,1	0,1
2	0,0	0,0	36,6	3,0	3,3	4,1	4,9	2,7	0,7	0,6	0,1	0,1
3	0,0	0,0	42,9	2,9	4,3	14,7	4,6	2,3	0,7	0,4	0,1	0,1
4	0,0	0,0	14,7	2,6	43,3	10,2	4,4	2,1	0,7	0,3	0,4	0,1
5	0,0	0,0	7,8	2,4	14,4	7,0	4,3	1,9	0,7	0,3	0,2	0,0

6	0,0	0,0	4,3	2,4	9,0	8,7	4,2	2,3	0,6	0,3	0,2	0,0
7	0,0	0,0	2,5	2,4	6,4	21,1	5,2	2,0	0,6	0,3	0,1	0,0
8	0,0	5,7	1,7	2,4	5,0	13,1	4,6	1,8	0,6	0,2	0,1	0,0
9	0,0	4,2	1,3	2,4	4,3	8,5	4,3	6,4	0,6	1,3	0,1	0,0
10	0,0	1,9	2,0	2,4	4,3	6,3	4,1	3,4	0,6	0,7	0,1	0,0
11	0,0	1,0	1,5	2,4	4,5	5,2	3,9	2,5	0,5	0,5	0,1	0,0
12	0,0	6,3	1,3	2,4	4,1	4,7	3,8	1,9	0,5	0,3	0,1	0,0
13	0,0	2,3	1,2	40,9	3,9	4,4	3,7	1,6	0,5	0,3	0,1	0,0
14	0,0	1,2	4,8	21,6	6,8	4,3	3,6	1,5	0,5	0,2	0,1	0,0
15	0,0	1,6	2,8	19,3	5,1	4,2	3,5	1,4	0,5	0,2	0,1	0,0
16	0,0	3,1	2,1	10,2	4,4	4,2	3,4	1,3	0,5	0,2	0,1	0,0
17	0,0	23,2	10,6	6,6	4,1	4,1	3,3	1,2	1,0	0,2	0,1	0,0
18	0,0	8,7	4,9	10,7	3,9	5,1	3,2	1,2	0,7	0,2	0,1	0,0
19	0,0	5,9	4,1	6,4	3,8	4,9	3,1	1,1	0,6	0,2	0,1	0,0
20	0,0	3,0	2,9	4,7	4,9	12,5	3,0	1,1	0,5	0,2	0,1	0,0
21	0,0	2,1	2,3	3,9	11,0	7,4	2,9	6,8	0,4	0,2	0,1	0,0
22	0,0	1,1	2,0	3,6	12,9	11,4	2,8	3,1	0,4	0,2	0,1	0,0
23	0,0	0,6	1,9	3,4	9,1	11,2	2,7	2,1	0,4	0,2	0,1	0,0
24	0,1	0,3	1,8	3,3	17,7	11,8	2,6	1,5	0,4	0,2	0,1	0,0
25	1,8	0,1	1,8	3,3	9,2	7,8	2,5	1,2	0,4	0,1	0,1	0,0
26	1,7	0,1	1,8	3,3	6,6	10,2	2,5	1,1	2,2	0,1	0,1	0,0
27	0,7	8,6	1,8	3,3	5,2	13,5	2,4	1,0	13,9	0,1	0,1	0,0
28	0,4	4,4	4,6	3,3	4,6	8,3	2,3	0,9	4,4	0,1	0,6	0,0
29	0,2	2,3	20,2	3,3	0,0	6,3	2,2	0,8	2,4	0,1	0,3	0,0
30	0,1	2,8	8,1	3,3	0,0	5,3	2,3	0,8	1,4	0,2	0,2	0,0

2018-19

1	1,6	0,1	2,3	0,8	2,8	1,7	2,5	1,0	0,4	0,1	0,1	0,0
2	0,5	0,0	1,3	0,8	2,0	1,7	1,7	1,0	0,3	0,1	0,1	0,0
3	0,3	0,0	0,8	0,8	1,6	1,6	1,3	1,0	0,3	0,1	0,1	0,0
4	0,2	0,0	0,5	0,8	1,4	1,6	1,1	0,9	0,3	0,1	0,0	0,0
5	0,1	0,0	0,4	0,8	1,8	1,6	0,9	0,9	0,3	0,1	0,0	0,0
6	0,1	0,0	0,3	0,8	6,3	1,5	0,9	0,9	0,4	0,1	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,3	0,8	12,4	1,5	11,3	0,8	0,4	0,1	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,3	0,8	6,6	1,5	6,7	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
9	0,0	0,0	4,5	0,8	4,1	1,4	3,7	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0
10	0,0	0,0	5,1	2,4	2,8	1,4	2,3	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
11	0,0	0,0	2,6	11,0	2,2	1,3	1,6	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0
12	0,0	0,0	1,5	4,6	2,3	1,3	1,2	0,7	0,3	0,2	0,0	0,0
13	0,0	0,0	1,0	2,7	2,4	3,5	12,9	0,7	0,2	0,2	0,0	0,5
14	0,0	0,0	0,7	1,8	2,0	2,3	5,0	0,7	0,2	0,1	0,0	0,2
15	0,0	0,0	3,0	1,3	1,8	14,6	3,0	0,6	0,2	0,1	0,0	0,1
16	0,0	0,0	3,0	1,1	1,7	5,7	24,9	0,6	0,2	0,1	0,0	0,1
17	0,0	5,8	1,8	1,0	1,7	3,5	8,4	0,6	0,2	8,9	0,0	0,0
18	0,0	11,2	1,2	0,9	1,7	2,3	5,1	0,6	0,2	1,7	0,0	0,0
19	0,0	17,7	0,9	0,9	1,7	1,7	3,1	0,5	0,2	0,9	0,0	0,0
20	0,0	6,4	0,8	0,9	1,7	1,4	2,1	0,5	0,2	0,5	0,0	0,0
21	0,0	4,4	0,7	0,9	1,7	1,2	1,6	0,5	0,2	0,3	0,0	0,0
22	0,0	2,2	0,7	0,9	1,7	1,1	1,4	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0
23	8,6	1,2	0,7	2,3	1,7	1,0	1,3	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0

24	15,3	0,6	0,7	4,6	1,7	1,0	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
25	5,0	0,3	0,7	5,6	1,7	1,0	1,2	0,4	0,2	0,1	0,0	0,2
26	2,5	14,0	0,7	4,9	1,7	0,9	1,1	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1
27	1,3	12,7	0,7	3,0	1,7	1,1	1,1	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1
28	0,7	7,0	0,7	2,0	1,7	17,5	1,1	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
29	0,4	6,1	0,8	5,1	0,0	16,3	1,1	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0
30	0,2	4,4	0,8	6,8	0,0	7,1	1,0	0,4	0,1	0,1	0,0	0,0

Βιβλιογραφία

Ελληνική

Αργυράκης Χ., 2015. Εκτίμηση της Διακύμανσης της Παροχής Αιχμής σε Λεκάνες της Πελοποννήσου με συγκριτική αξιολόγηση δύο διαδεδομένων μεθόδων της υδρολογίας πλημμυρών, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Βαλάκος Π., 2019. Κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις στη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2021.

Βασιλάκος Σ., 2010. Το Υδατικό Καθεστώς και η Βιωτή του Λιμναίου Υγροτόπου Ταυρωπού, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών "Οικολογία και Αειφορική Διαχείριση Οικοσυστημάτων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Γουργουλιός Β., 2019. Μη μετρούμενες λεκάνες απορροής: Εφαρμογή στις όμοιες λεκάνες του Αγραφιώτη και του Κρικελιώτη, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2019.

Ευστρατιάδης Α. & Μαμάσης Ν., 2017. Εισαγωγή στα υδρολογικά μοντέλα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ευστρατιάδης Α., Ρόζος Ε. & Κουκουβίνος Α., 2009. Υδρογείος-Μοντέλο Υδρολογικής και Υδρογεωλογικής Προσομοίωσης, Θεωρητική Τεκμηρίωση, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος ΕΜΠ, Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., 1999. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μπότσης Δ., 2016. Προσομοίωση της σχέσης βροχόπτωσης-απορροής με μεθόδους μηχανικής μάθησης, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), 2016.

Νικολάου Γ., 2010. Οι υδατικές ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Λευκωσία, Κύπρος.

Πετροπούλου Χ., 2020. Υδρολογική Διερεύνηση Λεκάνης Απορροής της Λίμνης Πλαστήρα με σκοπό τη Μείωση της Απόληψης για Άρδευση, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τερελίδης Α., 2013. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου Ροής με τη Χρήση του Προγράμματος MIKESHE. Εφαρμογή στον Υδροφορέα Μουδανίων Χαλκιδικής, Διπλωματική Εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Ειδίκευσης «Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τίγκας Δ., 2015. Μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης επιπτώσεων ξηρασίας στους υδατικούς πόρους και στη γεωργική παραγωγή για τον προληπτικό και επιχειρησιακό σχεδιασμό, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Τσακίρης Γ. και Βαγγέλης Χ., 2009. ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ: ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Ξενόγλωσση

Giakoumakis S., Tsakiris G., Efremides D., 1991. On the rainfall-runoff modelling in a Mediterranean island environment. *Advances in Water Resources Technology*, Tsakiris (ed.) Balkema Pub., Rotterdam, pp. 137-148.

Giakoumakis S., Stamouli P. and Tigkas D., 2015. Evaluating a modified simple rainfall-runoff model in Mediterranean river basins, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens, *European Water* 50: 35-42, 2015.

Giakoumakis S. and Petropoulou C., 2020. Simulating the operation of the Plastiras reservoir for different demand scenarios, School of Rural and Surveying Eng., National Technical University of Athens, Greece, *Water Utility Journal* 25: xx-xx, 2020.

Phanartzis C.A., 1972. Morphou-Tylliria feasibility studies. Simulation of watershed runoff in the Morphou-Tylliria area. AGL:SF/CYP.513 Technical Report.

Sitterson J., Knightes C., Parmar R., Wolfe K., Muche M., Avant B., 2017. An Overview of Rainfall-Runoff Model Types, United States, Environmental Protection Agency.

Tigkas D. and Tsakiris G., 2004. Medbasin: a Mediterranean rainfall-runoff software package, Lab of Reclamation Works & Water Resources Management, National Technical University of Athens, Greece, *European Water* 5/6: 3-11, 2004.

Διαδικτυακές Πηγές

- <http://www.hydroscope.gr>
- <http://www.itia.ntua.gr>
- <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- <http://mapsportal.ypen.gr/>
- <https://www.thessaly.gov.gr/>
- <https://www.usgs.gov/>
- <http://wfdver.ypeka.gr>