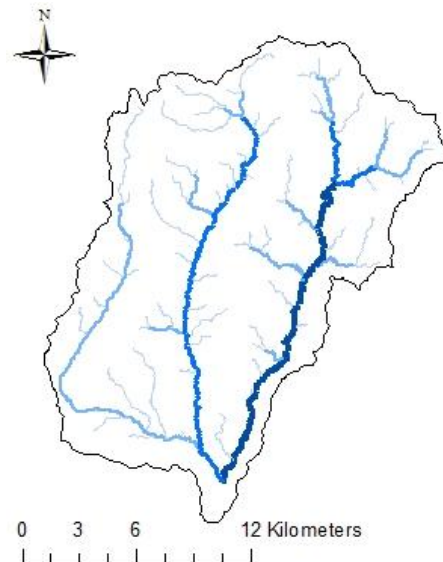




# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

## ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΚΟΥΡΗ



**ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**Επιβλέπων: Ε. Μπαλάς, Καθηγητής**

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ  
ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»

**Αθήνα, Ιούλιος 2018**

---

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
EXTENDED ABSTRACT .....	I
1. Introduction .....	I
2. Description of the study area .....	I
3. Data analysis .....	IV
3.1 Meteorological data .....	IV
3.2 Hydrological data .....	V
4. Methodology .....	V
4.1 ABCD and WBUDG models .....	V
4.2 Sensitivity analysis.....	VII
4.3 Monthly streamflow of Kouris basin for a 30-year period under stable and changing climate.....	VII
4.4 Simple Counting Failure Method .....	VII
4.5 Using the reservoir management model to estimate the months of failure for a 30 years period under stable and changing climate .....	VIII
5. Result and Discussion .....	VIII
5.1 ABCD and WBUDG models .....	VIII
5.2 Sensitivity analysis.....	IX
5.3 Monthly streamflow of Kouris basin for a 30-year period under stable and changing climate.....	X
5.4 Simple Counting Failure Method .....	X
5.5 Using the reservoir management model to estimate the months of failure for a 30 years period under stable and changing climate .....	XI
6. Conclusion .....	XII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Σκοπός Εργασίας .....	1
1.2 Δομή Εργασίας .....	1
1.3 Εφαρμογή Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ στην Κύπρο .....	4
1.3.1 Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ .....	4

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

1.3.2	Μέτρα που ελήφθησαν στην Κύπρο σύμφωνα με το 1ο Σχέδιο Διαχείριση Υδάτων Λεκάνης Απορροής Ποταμού Κύπρου (2009-2015) .....	6
1.4	Υδρολογία της Κύπρου .....	8
1.4.1	Επιφανειακοί υδατικοί πόροι .....	9
1.4.2	Υπόγειοι Υδατικοί πόροι .....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....</b>		<b>20</b>
2.1	Γενική περιγραφή λεκάνης απορροής και φράγματος Κούρη .....	20
2.1.1	Περιγραφή λεκάνης απορροής .....	20
2.1.2	Περιγραφή φράγματος Κούρη .....	23
2.2	Έργο Νότιου Αγωγού .....	25
2.3	Κλιματικές συνθήκες .....	28
2.4	Γεωλογικές συνθήκες .....	30
2.4.1	Γεωλογία-Γεωτεκτονική εξέλιξη Κύπρου .....	30
2.4.2	Γεωλογικές συνθήκες λεκάνης απορροής .....	32
2.5	Κάλυψη Γης .....	33
2.6	Ανθρωπογενείς δραστηριότητες .....	35
2.7	Προστατευόμενες Περιοχές .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....</b>		<b>37</b>
3.1	Βροχόπτωση .....	37
3.1.1	Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών βροχοπτώσεων και αναγωγή στο μέσο υψόμετρο λεκάνης .....	37
3.2	Θερμοκρασία .....	41
3.3	Σχετική υγρασία / Σχετική ηλιοφάνεια / Ταχύτητα ανέμου .....	43
3.4	Εξάτμιση και διαπνοή .....	45
3.4.1	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροής .....	45
3.4.2	Εξάτμιση λίμνης ταμιευτήρα .....	47
3.5	Απορροή λεκάνης .....	49
3.6	Απολήψεις (εκροές) από τον ταμιευτήρα .....	49
3.7	Συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας λαμβάνοντας υπ' όψιν σενάριο κλιματικής αλλαγής .....	50
3.7.1	Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με τη χρήση του μοντέλου AR (1) .....	50

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

3.7.2	Προσαρμογή χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας σε σενάριο κλιματικής αλλαγής.....	54	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....			56
4.1	Γενικά στοιχεία υδρολογικών μοντέλων.....	56	
4.2	Περιγραφή υδρολογικού μοντέλου “WBUDG” .....	58	
4.2.1	Κύριες μεταβλητές εισόδου του μοντέλου.....	58	
4.2.2	Ενδιάμεσες μεταβλητές του μοντέλου .....	59	
4.2.3	Παράμετροι του μοντέλου .....	60	
4.2.4	Περιγραφή της λειτουργίας του μοντέλου .....	61	
4.2.5	Ρύθμιση (βαθμονόμηση) του μοντέλου .....	68	
4.3	Περιγραφή υδρολογικού μοντέλου “ABCD” .....	70	
4.3.1	Κύριες μεταβλητές εισόδου του μοντέλου.....	70	
4.3.2	Ενδιάμεσες μεταβλητές του μοντέλου .....	70	
4.3.3	Μεταβλητή εξόδου .....	72	
4.3.4	Παράμετροι του μοντέλου και βαθμονόμησης του .....	72	
4.4	Αξιολόγηση ακρίβειας προσομοίωσης .....	74	
4.5	Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων καταλληλότερου μοντέλου.....	75	
4.6	Περιγραφή μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα .....	76	
4.7	Ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος .....	78	
4.7.1	Για την εφαρμογή του μοντέλου κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος πραγματοποιούνται τα πιο κάτω βήματα:.....	79	
4.7.2	Για την εφαρμογή του μοντέλου κάτω από συνθήκες σταθερού κλίματος πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα: .....	81	
4.7.3	Σύγκριση των δύο χρονοσειρών ωφέλιμων όγκων μήκους 30 ετών που προκύπτουν από το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα.....	81	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....			82
5.1	Αποτελέσματα της ρύθμισης και επαλήθευσης του υδρολογικού μοντέλου “WBUDG” στη λεκάνη απορροής Κούρη .....	82	
5.2	Αποτελέσματα της ρύθμισης και επαλήθευσης του υδρολογικού μοντέλου “ABCD” στη λεκάνη απορροής Κούρη .....	84	

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

---

5.3	Σύγκριση και επιλογή καταλληλότερου μοντέλου για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης Κούρη .....	86
5.4	Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD” .....	91
5.5	Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα .....	92
5.6	Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος .....	97
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ .....</b>		<b>105</b>
6.1	Σύνοψη και Συμπεράσματα .....	105
6.2	Προτεινόμενες δράσεις για την εν λόγω μελέτη περίπτωσης .....	108
6.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....	109
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>		<b>110</b>
<b>ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ .....</b>		<b>110</b>
<b>ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....</b>		<b>111</b>
<b>ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ .....</b>		<b>112</b>

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.2-1. Έργο Νοτίου Αγωγού (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων) .....	26
Σχήμα 2.2-2. Μεγάλα Υδατικά Έργα (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων).....	27
Σχήμα 2.2-3. Με σκούρο χρώμα είναι οι περιοχές που εξυπηρετούνται από το σχέδιο του Νοτίου αγωγού (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, 2010).....	27
Σχήμα 2.3-1. Βροχομετρικός χάρτης Κύπρου για την περίοδο 1990-2010 (Μετεωρολογική υπηρεσία) .....	29
Σχήμα 2.3-2. Βροχομετρικός χάρτης λεκάνης απορροής Κούρη για την περίοδο 1990-2010	29
Σχήμα 2.3-3. Ομβροθερμικό διάγραμμα λεκάνης απορροής Κούρη (1990-2010) .....	30
Σχήμα 2.4-1. Γεωλογικές ζώνες της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2008).....	31
Σχήμα 2.4-2. Γεωλογικός χάρτης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, 1986).....	32
Σχήμα 2.4-3 Χάρτης γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής Κούρη.....	33
Σχήμα 2.5-1 Χάρτης κάλυψης γης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2012.....	34
Σχήμα 2.5-2. Ποσοστά κάλυψης γης ανά κατηγορία για την λεκάνη απορροής Κούρη (Ηλιάδης, 2010) .....	34
Σχήμα 2.7-1. Χάρτης προστατευόμενων περιοχών λεκάνης απορροής Κούρη .....	36
Σχήμα 3.1-1. Πολύγωνα Thiessen λεκάνης απορροής Κούρη.....	38
Σχήμα 3.1-2. Μέση ετήσια βροχόπτωση – υψόμετρο σταθμών με σκοπό την εκτίμηση της βροχοβαθμίδας.....	40
Σχήμα 3.2-1. Μέση ετήσια θερμοκρασία – υψόμετρο σταθμών με σκοπό την εκτίμηση της θερμοβαθμίδας .....	41
Σχήμα 3.4-1. Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροής Κούρη.....	46
Σχήμα 3.4-2. Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Κούρη.....	47
Σχήμα 3.4-3. Καμπύλη στάθμης-όγκου ταμιευτήρα Κούρη.....	48
Σχήμα 3.7-1. Σενάριο κλιματικής αλλαγής (θερμοκρασία).....	54
Σχήμα 3.7-2. Σενάριο κλιματικής αλλαγής (βροχόπτωση) .....	55
Σχήμα 4.2-1. Το διάγραμμα ροής του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου Water Budget (Mimikou et al 1991).....	63
Σχήμα 4.3-1. Διάγραμμα ροής του μοντέλου “ABCD” (Bournas et al, 2017).....	74
Σχήμα 4.7-1. Μηνιαίες απολήψεις με τη μεγαλύτερη απόκλιση (1990-2010) .....	80
Σχήμα 4.7-2. Μηνιαίες απολήψεις με τη μεγαλύτερη απόκλιση (2003-2010) .....	80
Σχήμα 5.1-1. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου “WBUDG”.....	83
Σχήμα 5.1-2. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου “WBUDG” .....	83
Σχήμα 5.1-3. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης και επαλήθευσης του μοντέλου “WBUDG” .....	84
Σχήμα 5.2-1. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου “ABCD” .....	85

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

=====

Σχήμα 5.2-2. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου “ABCD” .....	85
Σχήμα 5.2-3. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης και επαλήθευσης του μοντέλου “ABCD” .....	86
Σχήμα 5.3-1. Παρατηρημένη και προσομοιωμένες χρονοσειρές μηνιαίων απορροών λεκάνης Κούρη .....	90
Σχήμα 5.4-1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD” .....	92
Σχήμα 5.5-1. Παρατηρημένη και προσομοιωμένη χρονοσειρά οφέλιμων όγκων ταμιευτήρα Κούρη (1990-2010).....	96
Σχήμα 5.6-1. Εκτιμώμενες απορροές 30 ετών με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου “ABCD” κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος .....	98
Σχήμα 5.6-2. Εκτιμώμενοι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα Κούρη για περίοδο 30 ετών κάτω συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος. ....	103
Σχήμα 5.6-3 Ιστορική χρονοσειρά αποθηκευμένων όγκων νερού και συνθετική χρονοσειρα (κλιματικής αλλαγής) ως συνέχεια. ....	104

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.6-1. Καλλιέργειες, αρδεύσιμη γη και ζήτηση νερού ανά καλλιέργεια (Υπουργείο Γεωργίας Κύπρου 2010).....	35
Πίνακας 2.6-2. Είδος ζώου, αριθμός ανά είδος και οι ανάγκες σε νερό (Υπουργείο Γεωργίας Κύπρου 2010).....	35
Πίνακας 3.1-1. Ποσοστά πολυγώνων Thiessen λεκάνης απορροής Κούρη.....	39
Πίνακας 3.1-2. Υπολογισμός συντελεστή αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης.....	40
Πίνακας 3.1-3. Συνολική μηνιαία βροχόπτωση λεκάνης απορροής Κούρη.....	40
Πίνακας 3.2-1. Υπολογισμός συντελεστή αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης.....	42
Πίνακας 3.2-2. Μέση μηνιαία θερμοκρασία λεκάνης απορροής Κούρη.....	42
Πίνακας 3.3-1. Μέση μηνιαία σχετική υγρασία λεκάνης απορροής Κούρη.....	43
Πίνακας 3.3-2. Μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια λεκάνης απορροής Κούρη.....	44
Πίνακας 3.3-3. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου λεκάνης απορροής Κούρη.....	44
Πίνακας 3.4-1. Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροής Κούρη.....	47
Πίνακας 3.4-2. Εξάτμιση λίμνης ταμιευτήρα Κούρη.....	48
Πίνακας 3.5-1. Συνολική μηνιαία παροχή λεκάνης απορροής Κούρη.....	49
Πίνακας 3.6-1. Συνολικές μηνιαίες εκροές από τον ταμιευτήρα Κούρη.....	50
Πίνακας 3.7-1. Χαρακτηριστικά μονιμοποιημένων χρονοσειρών.....	53
Πίνακας 3.7-2. Χαρακτηριστικά ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών.....	53
Πίνακας 5.1-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου “WBUDG” για τη λεκάνη απορροής Κούρη.....	82
Πίνακας 5.2-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου “ABCD” για τη λεκάνη απορροής Κούρη.....	84
Πίνακας 5.3-1. Έλεγχος ακρίβειας προσομοίωσης της λεκάνης απορροής Κούρη από τα υδρολογικά μοντέλα “ABCD” και “WBUDG”.....	86
Πίνακας 5.3-2. Παρατηρημένη και προσομοιωμένες χρονοσειρές απορροών λεκάνης Κούρη.....	87
Πίνακας 5.4-1. Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD”.....	91
Πίνακας 5.5-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα.....	92
Πίνακας 5.5-2. Παρατηρημένη και προσομοιωμένη χρονοσειρά ωφέλιμων όγκων (1990-2010).....	93
Πίνακας 5.6-1. Εκτιμώμενες αστοχίες του έργου για περίοδο 30 ετών.....	97
Πίνακας 5.6-2. Εκτιμώμενοι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα Κούρη για περίοδο 30 ετών κάτω συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος. Με κίτρινο χρώμα οι αστοχίες μόνο ως προς την κάλυψη των αναγκών της άρδευσης και με κόκκινο χρώμα οι αστοχίες που επηρεάζουν και την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης.....	99



---

---

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη» πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Διεπιστημονικού-Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων" του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Για την ανάληψη και επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή ΕΜΠ, για την επίβλεψη και την καθοδήγησή του, καθώς και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την επεξεργασία και ανάλυση πραγματικών υδρομετεωρολογικών δεδομένων, που αφορούν την λεκάνη απορροής του ποταμού Κούρη.

Ευχαριστώ, ιδιαίτερα, την κ. Ελισσάβητ Φελώνη, Γεωλόγο και υποψήφια διδάκτορα του ΕΜΠ, για την συνεχή καθοδήγησή της, τις εύστοχες επιστημονικές παρατηρήσεις, καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσε. Η βοήθεια της συνέβαλε καταλυτικά στην αντιμετώπιση όσων προβλημάτων παρουσιάστηκαν, καθώς και στην επιτυχή ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας. Επιπλέον, σημαντική ήταν και η βοήθεια του κ. Απόλλων Μπουρνά, Τοπογράφου και υποψήφιου διδάκτορα του ΕΜΠ και τον ευχαριστώ θερμά.

Παράλληλα, ευχαριστώ πολύ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής: κ. Α. Νάνου, Καθηγήτρια ΕΜΠ, και κ. Β. Τσιχριντζή, Καθηγητή ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Τέλος, ευχαριστίες οφείλω σε αρκετούς υπαλλήλους του υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Κύπρου (Τμήματα Αναπτύξεως Υδάτων, Περιβάλλοντος, Κτηματολόγιο και Μετεωρολογική Υπηρεσία), για την παροχή των πρωτογενών στοιχείων πεδίου, καθώς και για την πρόθυμη βοήθεια που μου παρείχαν, καθ'όλη την διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη» έχει ως κύριο αντικείμενο την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα Κούρη συνυπολογίζοντας την κλιματική αλλαγή και την υδρολογική συμπεριφορά της ανάντη λεκάνης απορροής μέσω της διερεύνησης και επιλογής του πλέον κατάλληλου υδρολογικού μοντέλου.

Αρχικά γίνεται η οριοθέτηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κούρη, που αποτελεί την περιοχή έρευνας, η οποία βρίσκεται δυτικά της πόλης της Λεμεσού (Κύπρος) και με έκταση που υπολογίστηκε στα 308 km<sup>2</sup>. Κατόπιν γίνεται αναφορά στα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία του φράγματος και έπειτα στο έργο του Νότιου Αγωγού. Αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης όπως τα κλιματικά στοιχεία, η γεωλογία, η γεωργία και η κτηνοτροφία στην περιοχή καθώς και προστατευόμενες περιοχές που υπάρχουν και ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000. Επίσης γίνεται και μία κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης, όπως προκύπτει από το Corine land cover 2012.

Έπειτα το ενδιαφέρον της εργασίας επικεντρώνεται στη συλλογή, αξιολόγηση και επεξεργασία όλων των διαθέσιμων στοιχείων που είναι απαραίτητα για την καλύτερη κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών της λεκάνης απορροής και τη διερεύνηση των υδρολογικών σχέσεων μεταξύ των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών (κυρίως βροχόπτωσης-απορροής).

Για τη επιλογή του καταλληλότερου υδρολογικού μοντέλου για τη λεκάνη απορροής του Κούρη αναπτύσσονται τα μοντέλα βροχής-απορροής “WBUDG” (Μιμίκου, 1991) και “ABCD” (Thomas, 1981) με μηνιαίο βήμα, τα οποία είναι ενιαία (lumped), συνεχή (continuous), προσδιοριστικά (deterministic) και φυσικής βάσης (physically based) μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά ρυθμίζονται στην λεκάνη απορροής για 12 χρόνια (Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2002) και επαληθεύονται για 8 χρόνια (Οκτώβριος 2002 - Σεπτέμβριος 2010). Τόσο τα αποτελέσματα της ρύθμισης ( $E_{wbudg}=0,56$ ,  $E_{abcd}=0,86$ ), όσο και της επαλήθευσης ( $E_{wbudg}=0,60$ ,  $E_{abcd}=0,81$ ) δείχνουν ότι το μοντέλο “ABCD” είναι ικανό να αποτυπώσει καλύτερα το υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης απορροής του Κούρη, λαμβάνοντας υπ’ όψιν του και τις διεργασίες του υπόγειου υδροφορέα, και να αποτιμήσει τους υδατικούς πόρους της περιοχής. Επίσης κρίθηκε εύχρηστο και αξιόπιστο λόγω του μικρού αριθμού παραμέτρων.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ευαισθησία των παραμέτρων του εν λόγω μοντέλου για την περιοχή μελέτης, γίνεται ανάλυση ευαισθησίας των τεσσάρων κύριων παραμέτρων (a,b,c,d) του μοντέλου. Εξετάζοντας την ποσοστιαία μεταβολή στη μέση παροχή, ο μοντέλο παρουσιάζει ανομοιόμορφη συμπεριφορά σε μεταβολές εύρους  $\pm 25\%$  των παραμέτρων. Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την ανάλυση ευαισθησίας ήταν η one-factor-at-a-time και τελικά προέκυψε ότι οι παράμετροι a και c είναι οι πιο ευαίσθητες.

Έπειτα με σκοπό τη διερεύνηση της λειτουργίας του ταμιευτήρα Κούρη αναπτύσσεται ένα απλό μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα με βασικές συνιστώσες την

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

=====

παρατηρημένη μηνιαία εισροή από την λεκάνη του Κούρη (παροχή λεκάνης) και από το ταμιευτήρα της Αρμίνου, τη βροχή στη λίμνη του ταμιευτήρα, τις απώλειες λόγω εξάτμισης και κατείσδυσης (υπόγειες) και τις απολήψεις από τον ταμιευτήρα για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς.

Με τελικό στόχο το υπολογισμό της επί τοις εκατό αδυναμίας κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής (διακινδύνευση) για τα επόμενα 30 χρόνια και λαμβάνοντας υπ' όψιν ένα κλιματικό σενάριο για την περιοχή ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Με την χρήση του αυτοπαλινδρομικού μοντέλου AR(1) για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχής και θερμοκρασίας και του βαθμονομημένου μοντέλου "ABCD" παράγονται οι αντίστοιχες συνθετικές χρονοσειρές μήκους 30 ετών, οι οποίες και χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου για την εκτέλεση, αντίστοιχα, 30 υδρολογικών προσομοιώσεων με το "ABCD". Έτσι τελικά προκύπτουν οι χρονοσειρές παροχών μήκους 30 ετών. Ακολουθώντας, με βάση ένα σενάριο κλιματικής αλλαγής που κρίνεται κατάλληλο για την περιοχή προσαρμόζονται οι εν λόγω συνθετικές χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης και με τη χρήση του μοντέλου "ABCD" όπως και προηγουμένως παράγονται χρονοσειρές παροχής οι οποίες και συγκρίνονται με τις αρχικές. Το αποτέλεσμα, όπως είναι λογικό, δείχνει πως η απορροή που προκύπτει είναι μικρότερη λόγω της κλιματικής αλλαγής (υψηλότερη θερμοκρασία – λιγότερη βροχόπτωση) και με την πάροδο του χρόνου η διαφορά (μείωση της παροχής) είναι εντονότερη.

Τέλος, υπολογίζονται οι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα για μια περίοδο 30 ετών καθώς και ο αριθμός μηνιαίως αστοχιών για την πλήρη κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας: α) Τις χρονοσειρές εισροών από τη λεκάνη Κούρη στο ταμιευτήρα μήκους 30 ετών που προκύπτουν κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος, β) τις μέσες μηνιαίες εισροές από το φράγμα της Αρμίνου από τα έτη 1998-2010, γ) τη βροχή στη λίμνη (προκύπτει από τη βροχόπτωση σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος), δ) τις μέσες μηνιαίες απολήψεις του φράγματος (ύδρευση και άρδευση από τα έτη 2003-2010), ε) την μέση μηνιαία εξάτμιση στη λίμνη από τα έτη 1990-2010 και στ) τις μηνιαίες υπόγειες διαφυγές που υπολογίζονται στο στάδιο ρύθμισης του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα.

---

---

## ***EXTENDED ABSTRACT***

### ***1. Introduction***

The necessity satisfaction of the increased demands for water in Cyprus, especially for irrigation of the agricultural spreads and the water supply of the urban centers leads to overpump big quantities of water which affects the fall of the level of superficial water ford and subterranean waters. The problem is particularly intense during the summer months, where water demand is particularly high.

In order to discover if absolute coverage of demand for the next 30 hydrological years will exist, there has been a simulation of the Kouris dam with the model Simple Counting Failure Method (Tsakiris, 1995) where the simulation is examined and estimates the months of failure.

At first, the model was calibrated for a 20 years period; a period which covers the years between 1990 and 2010. This period was chosen because meteorological and hydrological data of the study area were available.

Afterwards, in order to estimate the hydrological water balance of Kouris river basin, two models (“ABCD” and “WBUDG”) were implemented using monthly timeseries. The streamflow generated from the models, as well as, the fluctuation of the monthly streamflow to verification (Q/V) ratio are discussed. The “ABCD” model shows a greater simulation of the streamflow for a 20-year period of the years 1990-2010 than the “WBUDG”. Next, the sensitivity of the main hydrological parameters of “ABCD” model through the one-factor-at-a-time (OFAT) sensitivity analysis technique has been determined.

For the production of monthly streamflow for a 30-year period, synthetic time series of temperature and rainfall were produced, using the 1<sup>st</sup> – order autoregressive AR (1) model and were modified appropriately by implementing linearly a climate change scenario. Then, these ‘climatic-synthetic’ time series were used as input data for the calibrated “ABCD”.

Finally, the months of failure were estimated, using the results of the “ABCD” model as input data for the calibrated model which simulates the operation of Kouris dam.

### ***2. Description of the study area***

The study area is the Kouris river basin up to the Kouris dam and it is located 15 km northwest of the city of Limassol (Figure 1). The Kouris river basin covers an area of 308 km<sup>2</sup>. The basin has a Mediterranean climate with mild or cold winters and prolonged hot and dry summers with a mean annual rainfall of 653 mm (Figure 2) and temperature of 16,02°C. Monthly average temperature is typically 9,08°C in winter and 23,11°C in summer at this location. The mean slope of the region is 19,8° and the mean elevation is 808 m (Figure 1). Concerning the land use, 63% of the total basin surface is semi-urban, 31% is agricultural, 5% corresponds to artificial surfaces and the rest 1% to water bodies (Figure 3). From a

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

geological point of view, the largest part of study area consists of pakhna formation (chalk and marl), gabbro, serpentinite, hurzubite and dunite (Figure 4).

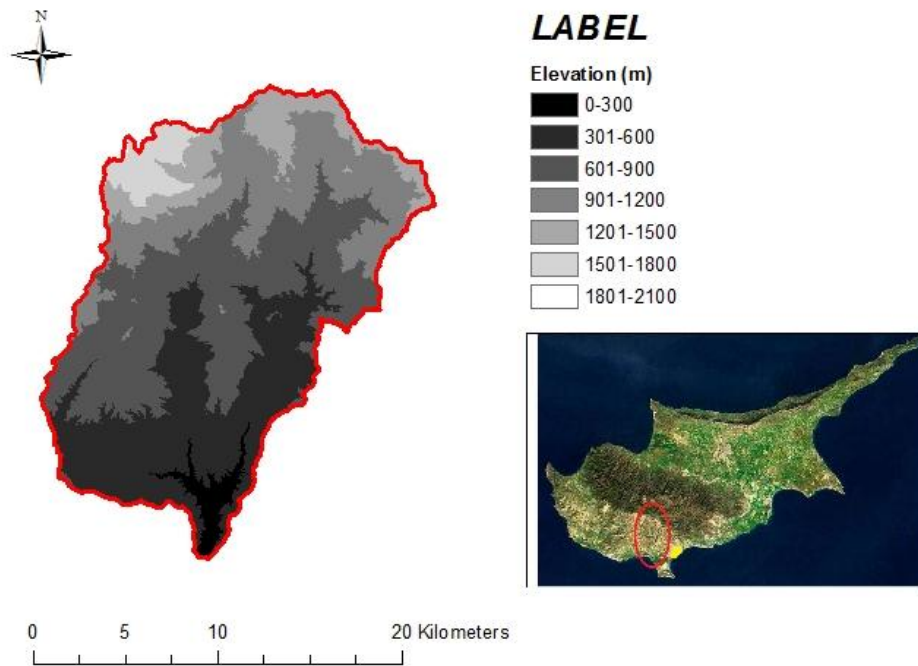


Figure 1. Location and elevation of Kouris river basin

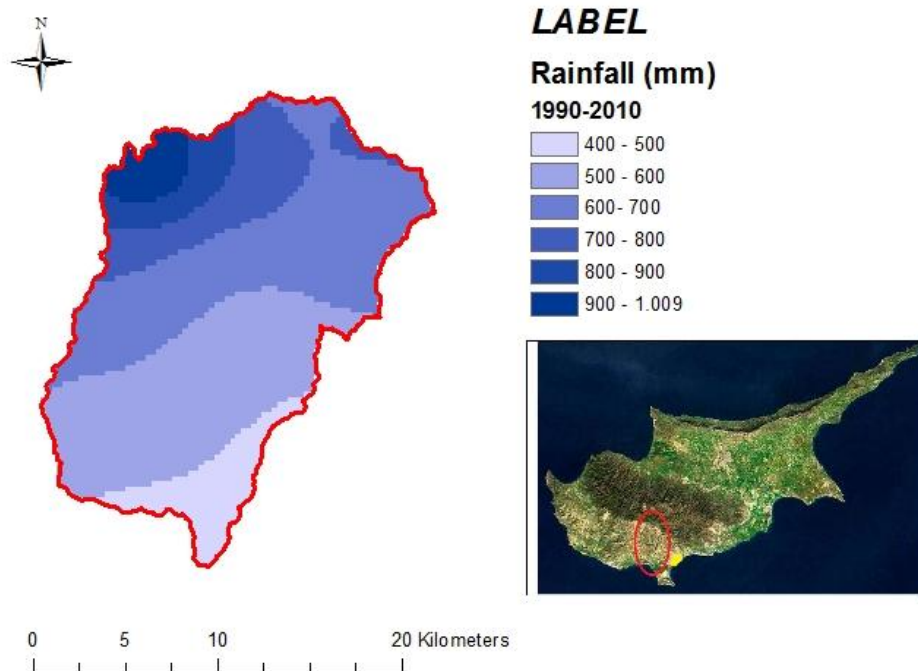


Figure 2. Rainfall of the Kouris river basin for the years 1990-2010

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

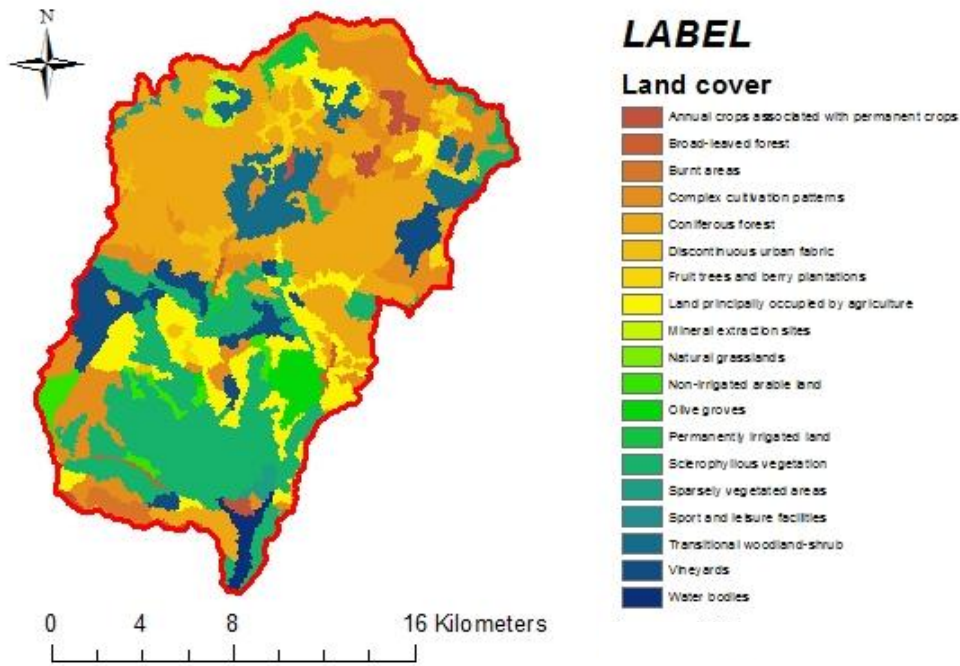


Figure 3. Land use of Kouris river basin derived from Corine land cover 2010

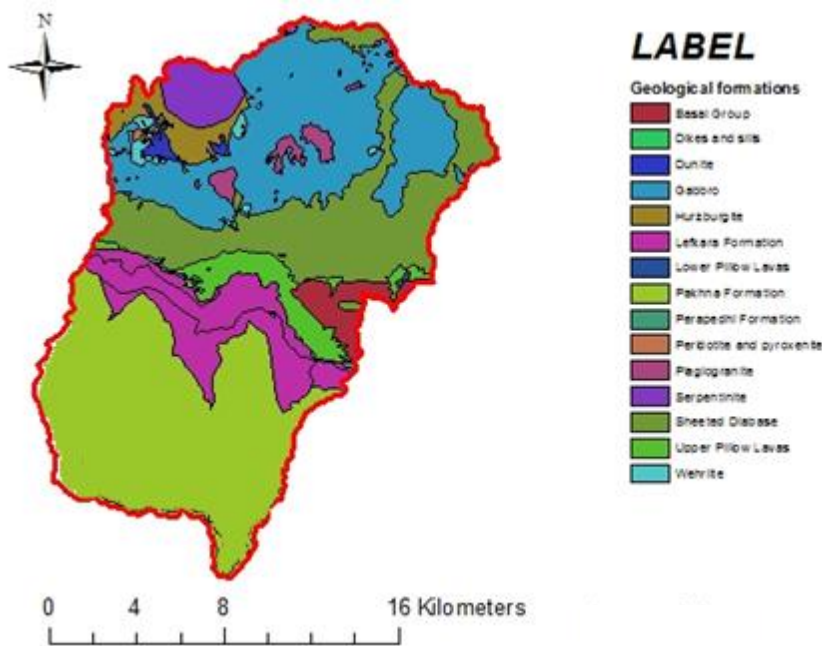


Figure 4. Geological formations of the Kouris river basin

Kouris is the largest dam of a network of 107 dams in Cyprus. It lies at an altitude of 250 m and collects the water delivered by the rivers Kouris, Limnatis and Kryos. Furthermore, water from Diarizos river is diverted to Kouris dam via a 14 km long connecting tunnel. The dam has a central clay core zoned earth fill embankment with a height of 110 m and a crest length of approximately 550 m providing a water storage volume of 115 million m<sup>3</sup>.

### 3. Data analysis

#### 3.1 Meteorological data

##### Rainfall data

Precipitation (P, mm) records were obtained for the period between 1990-2010, as point data of monthly areal rainfall in two stations (Figure 5), so it was necessary to convert point precipitation data to surface precipitation. It was converted by Thiessen method (Figure 6) and then by correcting the precipitation depth for the mean elevation of the basin according to the precipitation-elevation relationship.

##### Temperature data

Values for the mean monthly air temperature ( $T$ , °C) of the basin were collected from the same meteorological station, as the rainfall data. They were converted to surface data, according to the aforementioned procedure.

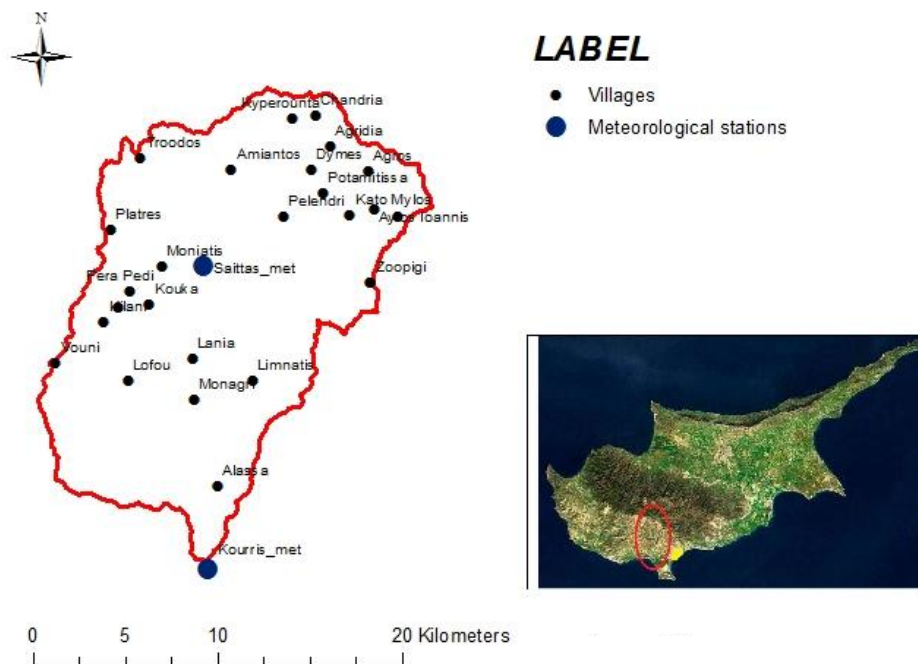


Figure 5. Meteorological station and villages in Kouris river basin

##### Mean monthly, relative humidity RH (%), relative sunshine duration SH (hr) and wind speed V (m/s)

These variables were used for the assessment of evapotranspiration and were recorded at the same meteorological stations as rainfall and temperature.

##### Evapotranspiration

Monthly evapotranspiration (EPT, mm) was inferred from the previous data ( $T$ , RH, SH, V) according Penmann-Monteith method (1965).

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

---

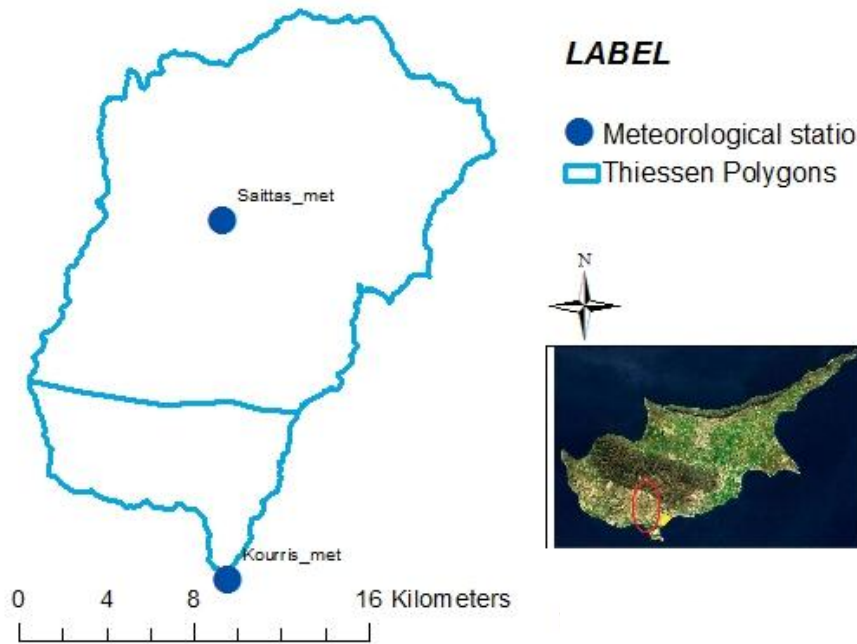


Figure 6. Thiessen polygons of the two stations in Kouris river basin

### 3.2 Hydrological data

Monthly **streamflow** of Kouris river basin ( $Q$ ,  $\text{hm}^3$ ) and monthly **releases** ( $R$ ,  $\text{hm}^3$ ) from Kouris dam, were measured by the Water Development Departure of Cyprus for the years 1990-2010.

## 4. Methodology

### 4.1 ABCD and WBUDG models

The ABCD water balance model (Thomas et al, 1981) is a simple non-linear conceptual watershed model which accepts precipitation and potential evapotranspiration as input and produces streamflow and actual evapotranspiration as output. The model is comprised of two storage components; soil moisture and groundwater, which are shown in Figure 7 and it is governed by four parameters; a, b, c and d, which control various aspects of the basin's behavior, as it can be seen in Table 1.

The WBUDG water balance model (Mimikou et al, 1981) is a linear conceptual model developed specifically to provide data for performing sensitivity analyses of regional water resources under varying climatic conditions. The model inputs are precipitation, temperature and other climatic variables for the calculation of the potential evapotranspiration, such as relative humidity, wind speed and sunshine duration and the streamflow and soil moisture is produced as output. The model consists of subroutines to estimate the rain, snow, snow melt,



## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

=====  
 snow tank, evapotranspiration, groundwater storage, soil moisture and finally the stream runoff. The flow chart of the water balance model structure can be seen in Figure 8. The model is governed by 8 parameters, of which one is monthly based, leading to a total of nineteen parameters that need to be calculated as it can be seen in Table 1.

The WBUDG model is governed by eight parameters of which one is monthly based leading to a total of nineteen parameters to be calculated. As seen in Table 3, the parameters concept is similar to the ABCD model, however their values do not necessarily match. (Bournas et al, 2017)

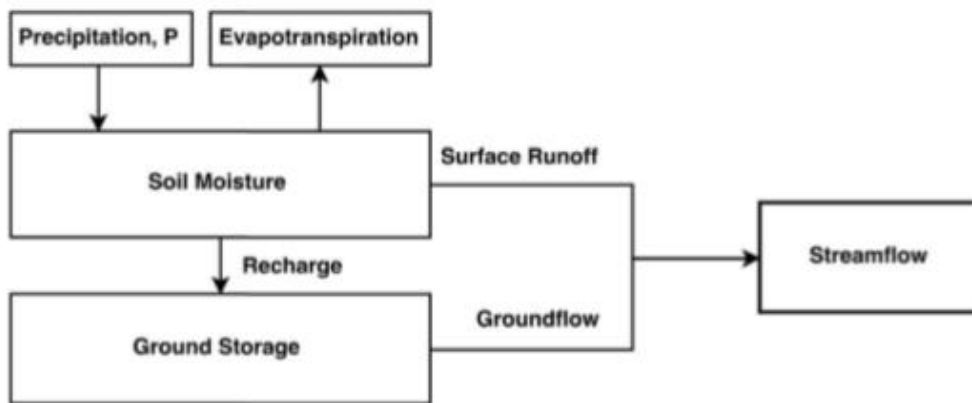


Figure 7. Streamflow simulation by ABCD model (Bournas et al, 2017)

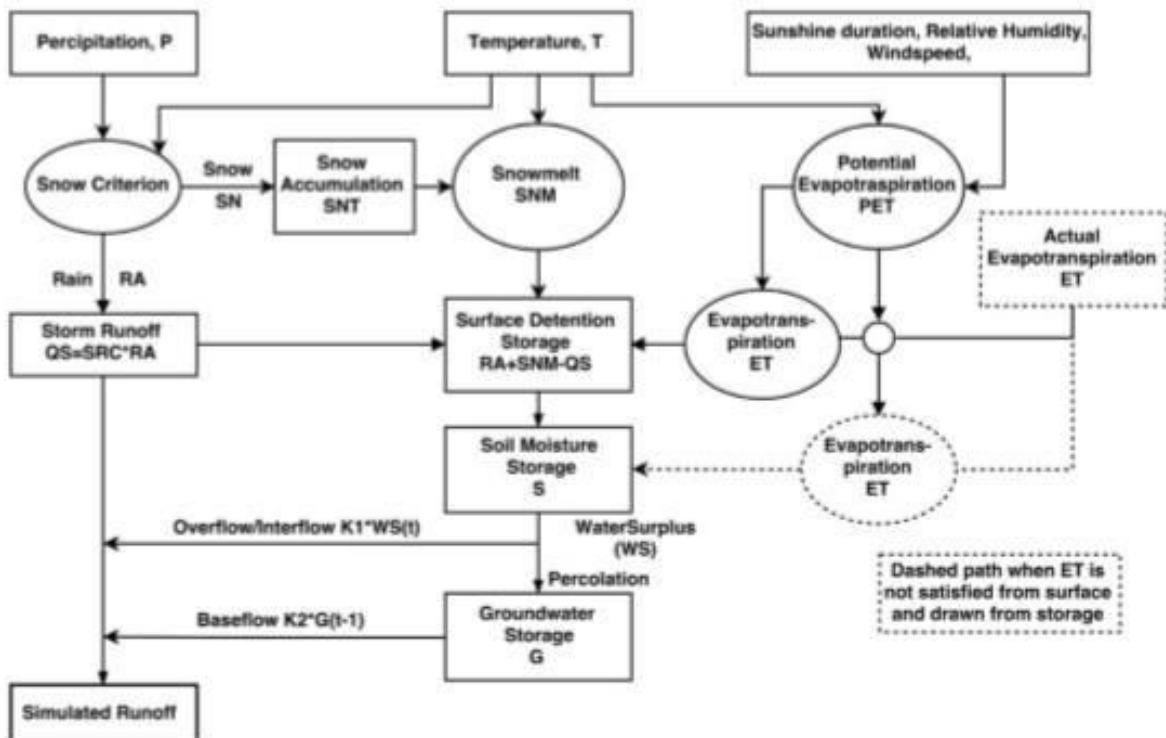


Figure 8. Streamflow simulation by WBUDG model (Bournas et al, 2017)

**Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus**

**Table 1. Water balance models parameters**

<b>PARAMETERS CONCEPT</b>	<b>ABCD</b>	<b>WBUDG</b>
Control the amount of runoff and recharge that occurs when the soils are under-saturated	a	SRC (monthly)
Control the saturation level of the soils	b	Smax
Defines the ratio of groundwater recharge to surface runoff	c	K1
Controls the rate of groundwater discharge	d	K2
Temperature, below which percent of rain is minimum	-	T0
Temperature, above which precipitation consists only of rain	-	T1
Minimum percent of rain of total precipitation	-	A
Daily snow melt factor (cm/C/day)	-	DF

For the calibration of the model's parameters the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (EC) values (Nash, Sutcliffe, 1970) were calculated for both calibration and verification periods.

**4.2 Sensitivity analysis**

The sensitivity analysis performed over the models parameter sheds light to the significance of each parameters and the estimation of generated uncertainty by changing their values or, in the case of parameter transfer, any error generated by not applying the optimum values in the transferred area. The sensitivity of parameters was estimated using the one at a time method (OAT/OFAT) by altering the optimal values of one parameter in equal percentage and calculating the percentage change in the output (mean discharge of calibration years).

**4.3 Monthly streamflow of Kouris basin for a 30-year period under stable and changing climate.**

From the estimation of the monthly streamflow for a 30 years period, synthetic time series of temperature and rainfall, has been constructed using the 1<sup>st</sup> - order autoregressive AR (1) model and have been modified appropriately by implementing linearly a climate change scenario. In particular, this scenario (Giorgi, Lionello, 2008) argues that over a period of 140 years (1960-2100) the temperature will rise (linearly) by 5°C and the rainfall will decrease (linearly) by 30%, using data from 1960-2000. The modified time series were used as input data for the calibrated "ABCD".

**4.4 Simple Counting Failure Method**

The Simple Counting Failure Method (Tsakiris, 1995) was followed for the process of simulating the operation of the Kouris dam. In this model, inputs of several hydrological years (20) are required as input data. Inputs include the Qobs runoff of the Kouris reservoir, measured in hm<sup>3</sup> (million cubic meters), and is the main cause of inputs, the inflow from the Arminou Dam and the rainfall on the surface of the reservoir pond.

## **Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus**

=====

Outflows include monthly evaporation from the surface of the reservoir, discharge for consumer use (domestic use and irrigation), possible overflows in some hydrological years and underground leaks.

Then the Nash-Sutcliffe index compares the observed useful time series with the calculated one, to see if this equation actually represents the reservoir operation, using the monthly underground leaks as optimization parameters.

### ***4.5 Using the reservoir management model to estimate the months of failure for a 30 years period under stable and changing climate***

For the implementation of the model of simulation of reservoir operation under conditions of stable and changing climate and estimation of the project faults, the stored water quantities in the dam are calculated for a period of 30 years using: a) the input time series from the Kouris basin in the reservoir of 30 y (b) the average monthly inflows from the Arminou dam from 1998 to 2010; (c) the rainfall in the lake (resulting from the aerial precipitation) and (d) the average monthly discharge of the dam (water and irrigation from 2003-2010); (e) the average monthly evaporation in the lake from 1990 to 2010; and (f) the monthly underground leaks calculated at the stage of calibration of the reservoir simulation model.

Finally, the probability of non-sufficiency of water and irrigation needs is calculated, i.e. in how many months of a total period of 30 years there is insufficient water available to meet the needs.

## **5. Result and Discussion**

### **5.1 ABCD and WBUDG models**

The calibration of the Kouris basin was performed for a subset (1990-2002) equal to the 60% of the total available timeseries (1990-2010) and the remaining 40% was used for the verification process. The results for both periods can be seen in Figure 9 and are deemed very well for ABCD models, with high values of EC at 0,857 and 0,813 and not satisfactory for WBUDG model, with values of EC 0,573 and 0,547 for calibration and verification period, respectively. The optimum values of the model ABCD and WBUDG are presented in Table 2 and 3.

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

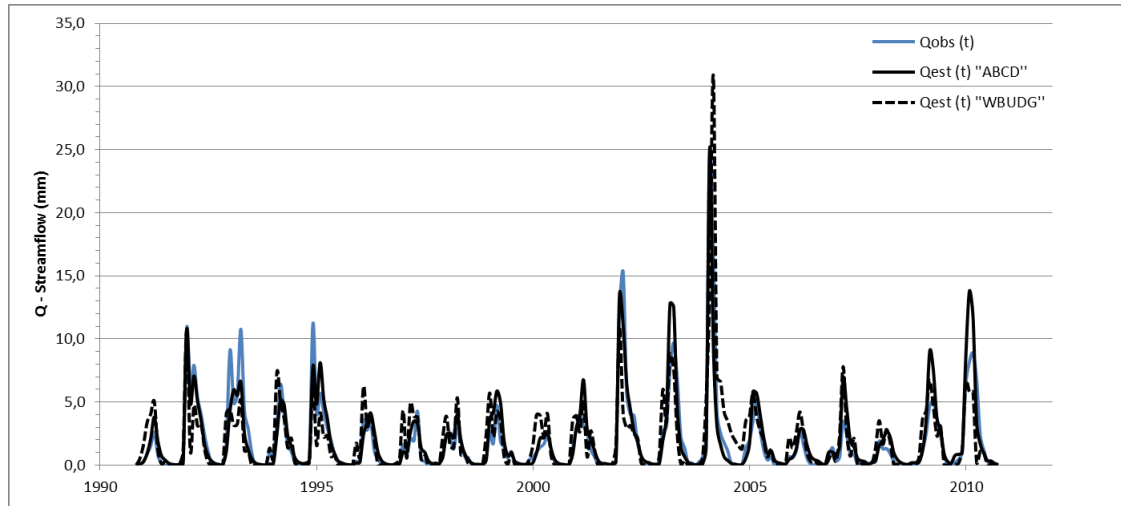


Figure 9. Comparison between observed and simulated discharges at the Kouris basin for the calibration and verification years

Table 2. Optimum values of parameters for Kouris basin (ABCD model)

PARAMETER	OPTIMUM VALUE
a	0,965
b	452,664
c	0,909
d	0,000
S <sub>o</sub>	100,00
G <sub>o</sub>	59,65
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,857
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,813

Table 3. Optimum values of parameters for Kouris basin (WBUDG model)

PARAMETER	OPTIMUM VALUE	PARAMETER	MONTHS	OPTIMUM VALUE
S <sub>max</sub>	576,118	SRC	OCTOBER	0,0023
K1	0,465		NOVEMBER	0,0020
K2	0,221		DECEMBER	0,0258
T <sub>o</sub>	1,722		JANUARY	0,0301
T1	5,086		FEBRUARY	0,0392
a	0,278		MARCH	0,0453
DF	0,695		APRIL	0,0473
			MAY	0,0377
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,573		JUNE	0,0109
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,547		JULY	0,0020
			AUGUST	0,0017
			SEPTEMBER	0,0003

### 5.2 Sensitivity analysis

The sensitivity analysis result for “ABCD” model, shown in Figure 10, shows that the parameter c is the most sensitive parameter. Just a 10% increase in the c parameter results in an almost 100% increase in the average of the simulated discharge values for the model calibration years. Here is the parameter a, the increase of which causes a significant change compared to a possible decrease in its value. There does not seem to be any significant variation of the model with the variation in the value of the parameter b.

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

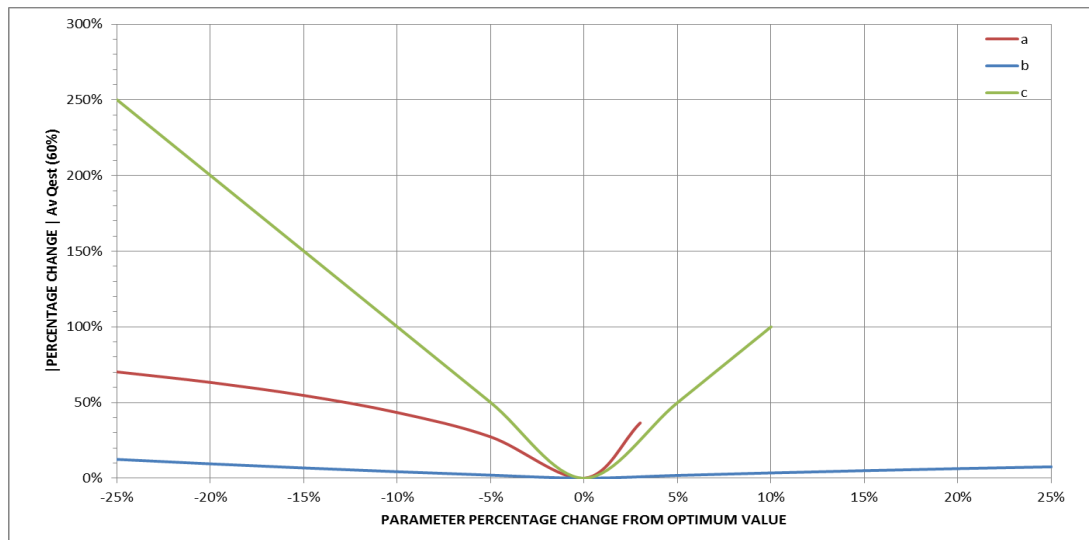


Figure 10. ABCD (OAT) sensitivity analysis

### 5.3 Monthly streamflow of Kouris basin for a 30-year period under stable and changing climate

As expected, runoff in the time series of climate change decreases incrementally over time compared to the stable climate time series due to temperature rise and rainfall reduction. Estimated runoffs are depicted in Figure 11.

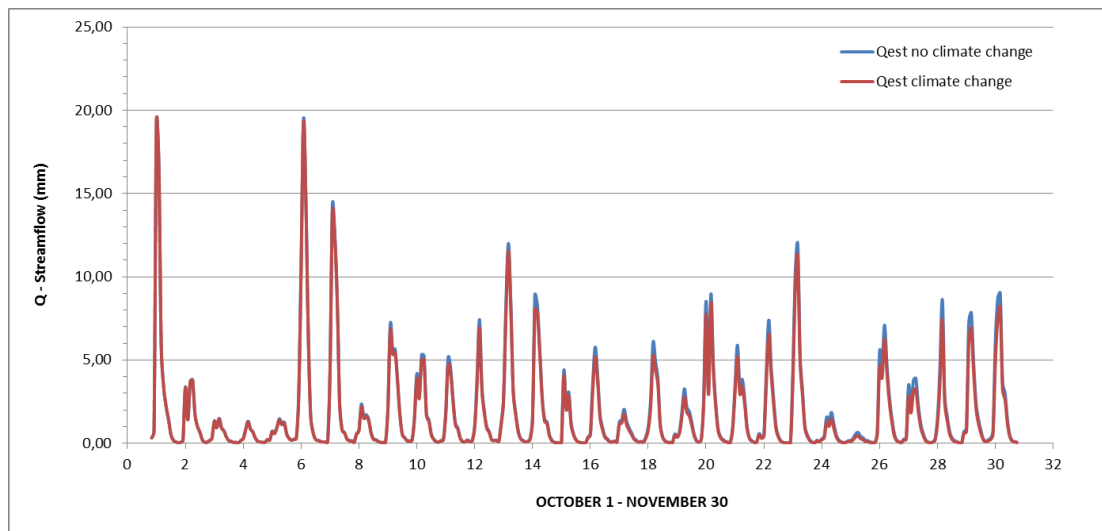


Figure 11. Comparison between simulated discharges under stable and changed climate (30 years period)

### 5.4 Simple Counting Failure Method

The value received by the objective function of Nash-Sutcliffe efficiency coefficient both for the adjustment years 1990 to 2002 (0,981) and for the verification years 2002 to 2010 (0,988) reveal completely satisfactory simulation model in a monthly step (Figure 12 ).

## Development and implementation of a monthly water balance model for the catchment and the reservoir of Kouris, Cyprus

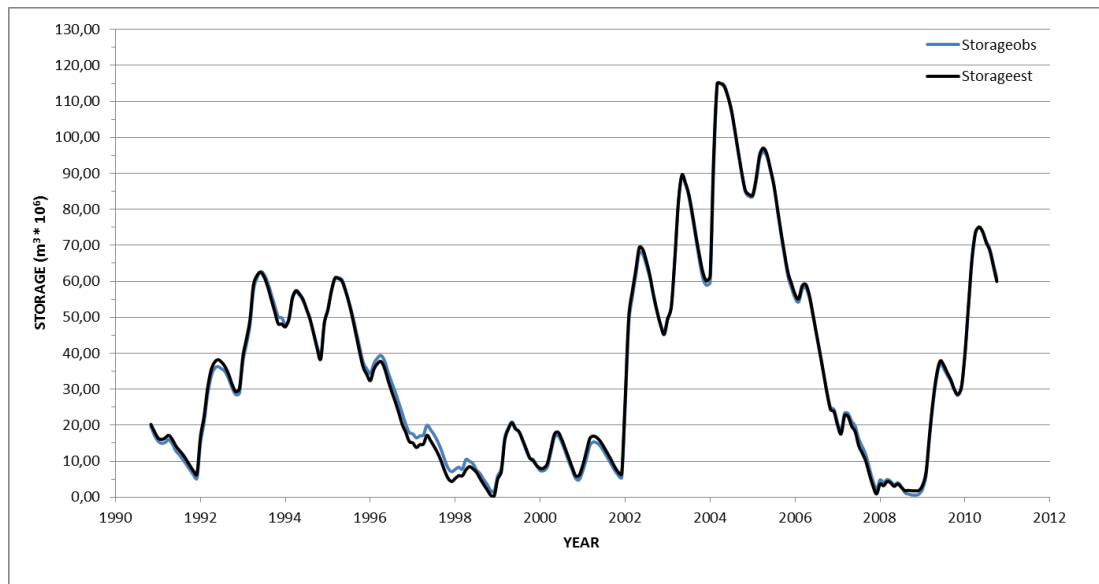


Figure 12. Comparison between observed and estimated storage of Kouris dam (1990-2010)

### 5.5 Using the reservoir management model to estimate the months of failure for a 30 years period under stable and changing climate

As it is expected in an environment of constantly changing climate, the situation is clearly worse (Figure 13) There are 17 failures (4,72%) in stable climatic conditions, 12 (3,33%) affect water supply in addition to irrigation, contrary to changing climatic conditions where the failures presented are 34 (9,44%) and most of them, 25 namely, affect irrigation (6,94%).

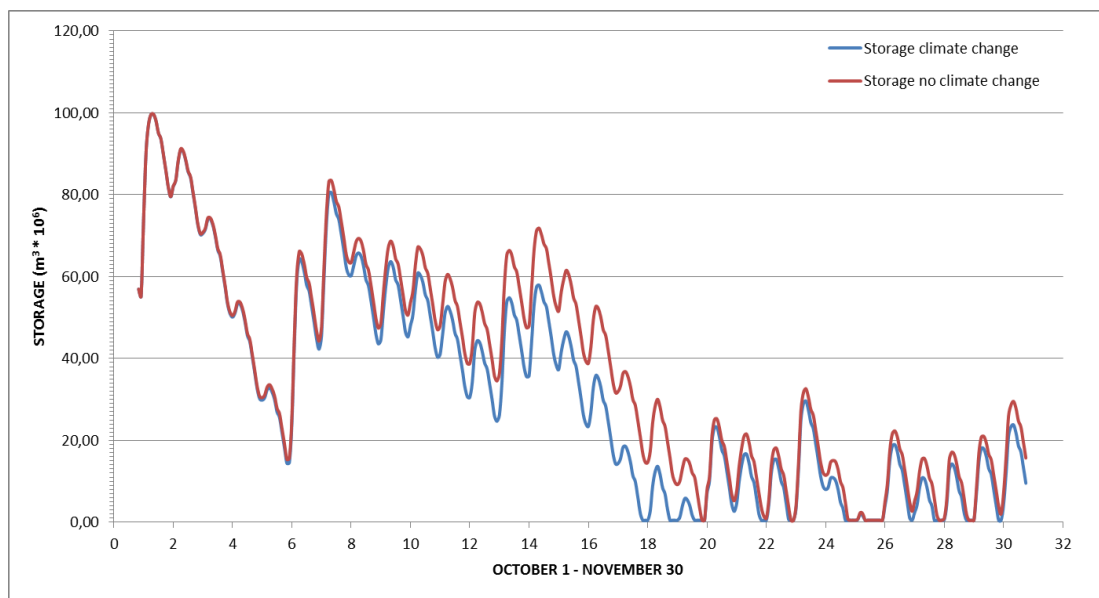


Figure 13. Comparison between simulated storage of Kouris dam under stable and changed climate (30 years period)

## **6. Conclusion**

The Kouris reservoir is a useful project for the life of the inhabitants themselves, as it guarantees the most important commodity in the life of water as well as for the development of the crops on the main agricultural areas of Cyprus (e.g., Kokkinochoria etc.).

The protection of aquatic resources and the normal conservation of the reservoir level is imperative, so that the reservoir remains in good operation condition and there should not be any problems in the future that will have to do with the reduction of the water reserves and hence the incomplete demand and the degradation of drinking water quality.

Indicatively, it is suggested: 1) Determination of the minimum operating level of the reservoir and maintenance of it. 2) Better operation of the existing desalination plants for water supply in the area, especially during the summer season. 3) Maintenance and upgrading of existing water and irrigation networks to reduce water losses and exclusive use of drip irrigation as it is the method with the least water loss. 4) Full integration of Directive 2000/60 / EK, which sets out the measures, uses and procedures for integrated water protection. 5) Communication strategies that include public awareness of the need to save water on individual and collective levels. 6) Finally, there is a need to take legislative and administrative measures such as the prohibition of inappropriate use and the imposition of fines on offenders.

### **Selected References:**

1. Bournas A., Feloni E., Baltas E., 2017, Hydrological and geomorphological analysis in the Municipality of Florina, Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics, 366-374.
2. Giorgi F., Lionello P., 2008, Climate change projections for the Mediterranean region, Global and Planetary Change, Vol 63, 90-104.
3. Mimikou, M., Kouvopoulos, Y., Cawadias, G. and Vayiannos, N., 1991, Regional Hydrological Effects of Climate Change, Journal of Hydrology 123.
4. Monteith J. L., 1965, Evaporation and environment. Symposia of the Society for Experimental Biology 19: 205-224. PMID 5321565. Obtained from Forest Hydrology and Watershed Management - Hydrologie Forestiere et Amenagement des Bassins Hydrologiques (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987, Actes du Co11oque de Vancouver, Aout 1987) : I AHS-AISH Publ. no. 167, 1987, 319-327.
5. Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I—a discussion of principles, Journal of Hydrology, 282-290.
6. Thomas H. A., 1981, Improved methods for national water assessment, Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council, Washington, DC, USA.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Σκοπός Εργασίας**

Διαχείριση Υδατικών Πόρων νοείται μια δυναμική διαδικασία που αποβλέπει στην πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών, για κάθε χρήση με βάση ένα συνετό προγραμματισμό που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες (Τσακίρης, 1995).

Η διαχείριση υδατικών πόρων έχει του εξής στόχους (Τσακίρης, 1995):

- Να προμηθεύσει νερό επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την, κατά το δυνατόν, ικανοποίηση των οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών, ενεργειακών και άλλων αναγκών.
- Να προστατεύσει τους υδατικούς πόρους από την ρύπανση.
- Να παρέχει ικανοποιητική προστασία από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (ξηρασίες-πλημμύρες).

Για την ικανοποίηση όμως των υδατικών αναγκών μιας περιοχής είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της ποσότητας νερού που είναι διαθέσιμη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει γενικά τη λειτουργία του ταμιευτήρα Κούρη με τη χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας και έπειτα να εκτιμήσει τη πιθανότητα μη επάρκειας κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής.

Ούτως ώστε όμως να επιτευχθεί η ακριβέστερη δυνατή εκτίμηση λαμβάνεται υπ' όψιν ένα σενάριο κλιματικής αλλαγής που κρίνεται κατάλληλο για την περιοχή καθώς και η υδρολογική συμπεριφορά της ανάντη λεκάνης με βάση τη διερεύνηση και επιλογή του καταλληλότερου υδρολογικού μοντέλου.

### **1.2 Δομή Εργασίας**

Η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται σε έξι κεφάλαια, των οποίων το περιεχόμενο παρουσιάζεται παρακάτω:

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή γενικά με τη εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου που αφορά την διαχείριση υδάτων στην Κύπρο και γίνεται πλήρης αναφορά στην υδρολογία της Κύπρου καθώς και στο αντικείμενο-σκοπό της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται οριοθέτηση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κούρη, που αποτελεί την περιοχή έρευνας. Κατόπιν γίνεται αναφορά στα βασικά κατασκευαστικά στοιχεία του φράγματος και έπειτα στο έργο του Νότιου Αγωγού. Αναφέρονται τα κύρια



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

χαρακτηριστικά της λεκάνης όπως τα κλιματικά στοιχεία, η γεωλογία, η γεωργία και η κτηνοτροφία στην περιοχή καθώς και προστατευόμενες περιοχές που υπάρχουν και ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000. Επίσης γίνεται και μία κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης, όπως προκύπτει από το Corine land cover 2012.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην περιγραφή των διαθέσιμων πρωτογενών υδρομετεωρολογικών δεδομένων και στην τυπική επεξεργασία τους. Αναλύεται επίσης η διαδικασία παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών βροχής και θερμοκρασίας με την χρήση του αυτοπαλινδρομικού μοντέλου AR(1) καθώς και η προσαρμογή τους σε σενάριο κλιματικής αλλαγής.

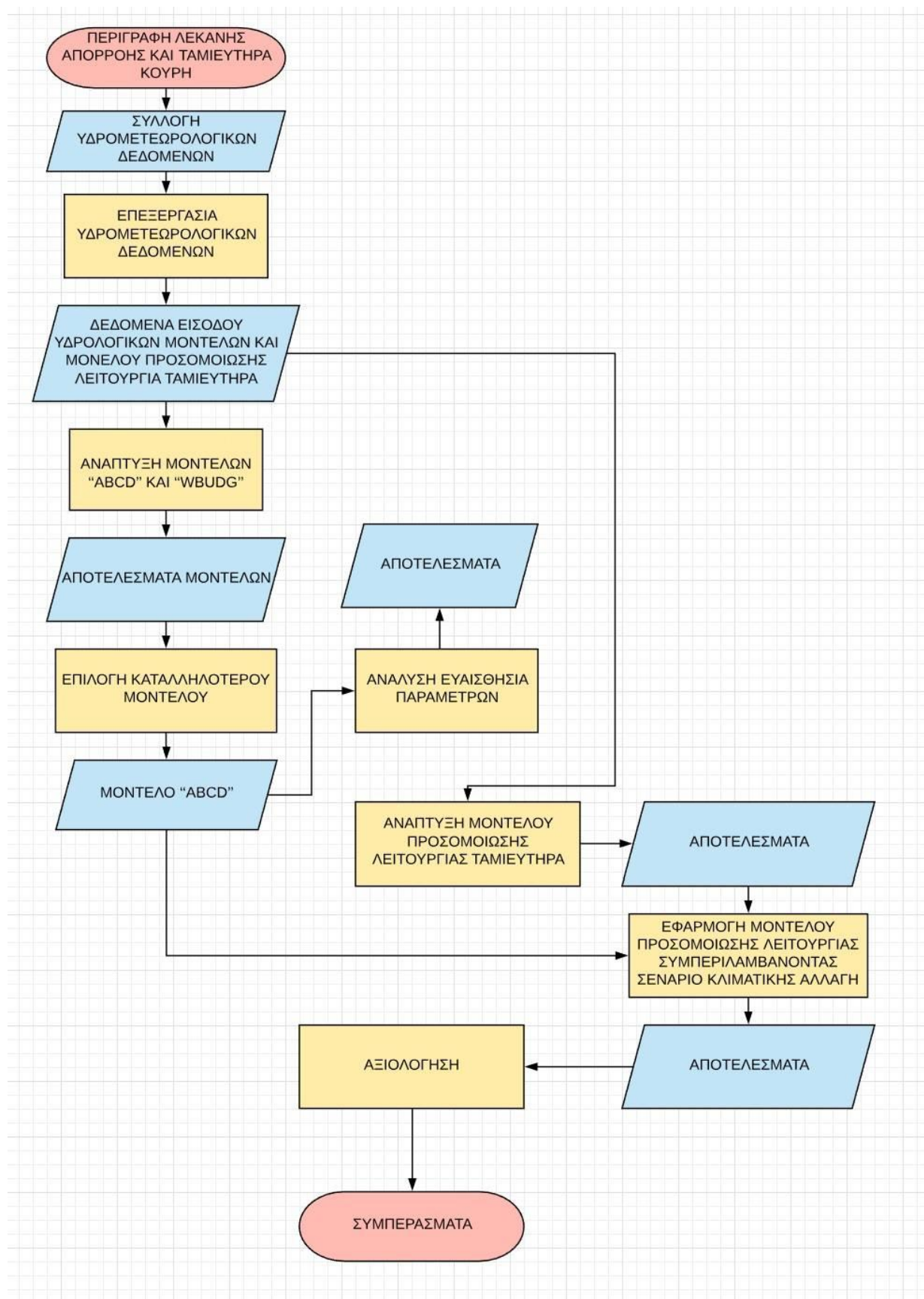
Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα μοντέλα βροχής-απορροής “WBUDG” και “ABCD” (περιγράφονται όλες οι παράμετροι που εισέρχονται σε αυτά) και η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ρύθμιση, επαλήθευσή και αξιολόγησή τους καθώς και για την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων. Έπειτα περιγράφεται η μεθοδολογία ανάπτυξης του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθείται για την εφαρμογή των αποτελεσμάτων του καταλληλότερο υδρολογικού μοντέλου στο μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα και τον υπολογισμό της επιτοίς εκατό μη επάρκειας κάλυψης των μηνιαίων υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών για 30 χρόνια κάτω από συνθήκες σταθερού αλλά και μεταβαλλόμενου κλίματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο υδρολογικών μοντέλων και γίνεται επιλογή εκείνου που αναπαριστά πιο ικανοποιητικά τις παρατηρημένες υδρολογικές διεργασίες. Για το επιλεγμένο μοντέλο, το οποίο είναι το “ABCD”, παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του. Στη συνέχεια αναπαριστάται το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα. Τέλος, με την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης ταμιευτήρα για τη χρονοσειρά εισροών από την λεκάνη που δημιουργείται με την χρήση του αυτοπαλινδρομικού μοντέλου AR(1) (για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχής και θερμοκρασίας) και του βαθμονομημένου μοντέλου “ABCD” επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της μη επάρκειας κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών της περιοχής (αστοχία) για περίοδο 30 χρόνων κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος.

Στο έκτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω αξιολόγηση και μελλοντική έρευνα.

Στο Σχήμα 1.2-1 απεικονίζεται η διαδικασία που ακολουθείται για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 1.2-1. Διάγραμμα ροής διαδικασίας ολοκλήρωσης παρούσας εργασίας.

## **1.3 Εφαρμογή Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ στην Κύπρο**

### **1.3.1 Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ**

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (WFD) (Οδηγία 2000/60), προβλέπει τη θέσπιση πλαισίου κοινής κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Οι καινοτομίες που θέτει η Οδηγία είναι:

1. η εφαρμογή της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής Ποταμού,
2. η χρήση βιολογικών μεθόδων και δεικτών για την εκτίμηση της οικολογικής ποιότητας,
3. η εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής στις διαφορετικές χρήσεις του νερού και
4. η συμμετοχή του κοινού στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Σκοπός της Οδηγίας, σύμφωνα με το Άρθρο 1, είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων, το οποίο:

- Αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, προστατεύει και βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων.
- Προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βασισμένη στη μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτινων πόρων.
- Ενισχύει την προστασία και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, με την λήψη ειδικών μέτρων για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και τη διακοπή ή τη σταδιακή κατάργηση απόρριψης και εκπομπής επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας.
- Διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων νερών και αποτρέπει την περαιτέρω ρύπανσή τους, και
- Συμβάλλει ώστε να μετριάσει τα αποτελέσματα των πλημμυρών και των ξηρασιών

Απώτερος περιβαλλοντικός στόχος της Οδηγίας σύμφωνα με το Άρθρο 4 είναι η επίτευξη «καλής» κατάστασης όλων των υδάτων μέχρι το 2015.

«Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων», νοείται η κατάσταση επιφανειακού υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη (Άρθρο 2).

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

«Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων», νοείται η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη (Άρθρο).

Ως μονάδα εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ θεωρείται η Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού που περιλαμβάνει μία ή και περισσότερες γειτονικές μεταξύ τους Λεκάνες Απορροής Ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα, η οποία προσδιορίζεται στο Άρθρο 3 (Άρθρο 2).

Τα κράτη-μέλη, από την ημερομηνία ισχύος της Οδηγίας (22/12/2000) έως το 2015, θα πρέπει να λάβουν δράσεις τηρώντας ένα χρονοδιάγραμμα:

1. Προσδιορισμός Περιοχών Λεκανών Απορροής Ποταμών και αρμόδιων αρχών για την εφαρμογή της Οδηγίας, μέχρι το 2003 (Άρθρο 3).
2. Ανάλυση των ανθρωπογενών πιέσεων και επιπτώσεων, οικονομική ανάλυση της χρήσης του ύδατος, καθώς και κατάρτιση μητρώου προστατευόμενων περιοχών, μέχρι το 2004 (Άρθρο 5, Άρθρο 6, Παράρτημα II και III).
3. Κατηγοριοποίηση των επιφανειακών υδάτων (σε ποτάμια, λίμνες, μεταβατικά ύδατα, παράκτια ύδατα, τεχνητά συστήματα επιφανειακών υδάτων και ιδιαίτεως τροποποιημένα υδατικά συστήματα) και διάκρισή τους σε τύπους (τυπολογία), καθώς και χαρακτηρισμός υπόγειων υδάτων προκειμένου να αξιολογηθούν οι χρήσεις τους και ο κίνδυνος να μην πληρούν τους στόχους της Οδηγίας, μέχρι το 2004 (Παράρτημα II).
4. Διαβαθμονόμηση, σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, των οικολογικών συστημάτων αξιολόγησης, μέχρι το 2006 (Παράρτημα V).
5. Κατάρτιση και έναρξη εφαρμογής προγραμμάτων παρακολούθησης επιφανειακών και υπόγειων νερών καθώς και προστατευόμενων περιοχών, μέχρι το 2006 (Άρθρο 8).
6. Θέσπιση προγράμματος μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας (Άρθρο 11) και κατάρτιση και δημοσίευση των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού (Άρθρο 13), μέχρι το 2009.
7. Εφαρμογή πολιτικών τιμολόγησης του ύδατος, παρέχοντας κατάλληλα κίνητρα για τους χρήστες του και εξασφάλιση της κατάλληλης συμβολής των διαφόρων χρήσεων (βιομηχανία, αστική χρήση, γεωργία) στην ανάκτηση του κόστους νερού, λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό κόστος και την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», μέχρι το 2010 (Άρθρο 9, Παράρτημα III).
8. Εφαρμογή των προγραμμάτων μέτρων και επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων μέχρι το 2015 (Άρθρο 4).

### **1.3.2 Μέτρα που ελήφθησαν στην Κύπρο σύμφωνα με το 1ο Σχέδιο Διαχείριση Υδάτων Λεκάνης Απορροής Ποταμού Κύπρου (2009-2015)**

Ακολουθεί μία συνοπτική αναφορά στα κύρια μέτρα (Διοικητικά, Μελέτες, Έργα) που ελήφθησαν στην Κύπρο σύμφωνα με το 1ο Σχέδιο Διαχείριση Υδάτων Λεκάνης Απορροής Ποταμού Κύπρου (2009-2015), το οποίο εντάσσεται στον 1ο Κύκλο Εφαρμογής της ΟΠΥ (2009-2015).

#### **1.3.2.1 Διοικητικά μέτρα**

1. Αναμόρφωση του νομικού πλαισίου που διέπει τη διάνοιξη και λειτουργία των υδροληπτικών γεωτρήσεων. (Κατάργηση του διατάγματος που αφορά το νερό που προορίζεται για πόσιμο. Κατάργηση της δυνατότητας διάνοιξης μιας γεώτρησης για άλλο σκοπό και εν συνεχεία χρήσης της για υδροληψία πόσιμου νερού. Σαφέστερο νομικό πλαίσιο που θα διέπει τα βυτία και τους κερματοδέκτες).
2. Εξορθολογισμός του συστήματος επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος Αγίας Νάπας- Παραλιμνίου.
3. Έκδοση Αδειών Απόρριψης Αποβλήτων για όλες τις εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πλαίσιο της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ.
4. Κατάρτιση προγράμματος παρακολούθησης ποιότητας υδροφορέα περιοχών αρδευόμενων με ανακυκλωμένο νερό.
5. Κατάρτιση προγράμματος παρακολούθησης ποιότητας υδροφορέα περιοχών αρδευόμενων με ανακυκλωμένο νερό.
6. Ενίσχυση προγράμματος επιμόρφωσης/ ενημέρωσης/ ευαισθητοποίησης και χρήση οικονομικών κινήτρων σχετικά με το Πρόγραμμα Δράσης για τη μείωση και την πρόληψη της νιτρορύπανσης.
7. Εφαρμογή τιμολογιακής πολιτικής σύμφωνα με τις πρόνοιες της Σύμβασης 86/2007 και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της διαβούλευσης του Σχεδίου Διαχείρισης (πρόνοιες για τις πολύτεκνες οικογένειες, πρόνοια για ομοιόμορφη τιμολόγηση του νερού στις διάφορες Κοινότητες προκειμένου να αποφεύγονται στρεβλώσεις και ειδική πρόνοια για τους υδροβόρους κλάδους της μεταποιητικής βιομηχανίας που δεν μπορούν να αξιοποιήσουν ανακυκλωμένο νερό).
8. Πρόνοια για τη θέσπιση τέλους υπερκατανάλωσης (Quota) στις πολιτικές τιμολόγησης που θα εφαρμοστούν.
9. Σύσταση κεντρικού μηχανισμού για τη συλλογή και αξιοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους και του κόστους πόρου (Ταμείο Νερού). Το Ταμείο θα πρέπει να χρηματοδοτήσει και δράσεις προστασίας της βιοποικιλότητας.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

10. Ετοιμασία ομοιόμορφου πλαισίου όρων και προδιαγραφών για χρήση από τις αρμόδιες αρχές, με στόχο την εφαρμογή ενιαίας πολιτικής αειφόρου διαχείρισης των ομβρίων.
11. Καθορισμός ζωνών προστασίας σε όλους τους υδρευτικούς ταμιευτήρες. Τροποποίηση των Σχεδίων Ανάπτυξης, όπου κρίνεται αναγκαίο για τον καθορισμό Ζωνών Προστασίας σε όλους τους υδρευτικούς ταμιευτήρες.
12. Για τα έργα Νοτίου Αγωγού και Πάφου εξάρτηση των απολήψεων από την τιμή του ταμιευμένου όγκου στο σύνολο των φραγμάτων στο τέλος της περιόδου εισροών (Απρίλιος). Η συσχέτιση αυτή των απολήψεων που παρουσιάζεται στην Έκθεση Αναθεώρησης της Υδατικής Πολιτικής θα πρέπει να επικαιροποιείται τακτικά.
13. Διαμόρφωση νομικού πλαισίου ώστε να υπάρξει πρόνοια σχετικά με την προσκόμιση χημικής ανάλυσης νερού προκειμένου να εκδοθεί ή ανανεωθεί η άδεια υδροληψίας.
14. Εισαγωγή Οργανωμένων Δομών Διαχείρισης και έλεγχος λειτουργίας απολήψεων.
15. Επανεξέταση συγκεκριμένων αδειών απόρριψης κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων.
16. Επιδότηση δράσεων για αποκατάσταση των υδρομορφολογικών χαρακτηριστικών των ποτάμιων και λιμναίων υδάτινων σωμάτων.

### 1.3.2.2 **Μελέτες**

1. Μελέτη προσδιορισμού των απαραίτητων τεχνικών μέτρων για την ορθή χλωρίωση του νερού το οποίο οδηγείται στην ανθρώπινη κατανάλωση.
2. Εκπόνηση μελέτης για την εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ.
3. Εκπόνηση ειδικής μελέτης προσδιορισμού των επιτρεπτών οριακών τιμών στα επεξεργασμένα κτηνοτροφικά απόβλητα και κριτηρίων εφαρμογής τους στο έδαφος.
4. Ανάπτυξη μοναδικής μεθοδολογίας οριοθέτησης για τον καθορισμό ζωνών παραποτάμιων περιοχών και την οριοθέτηση των περιοχών με πιθανό κίνδυνο πλημμύρας στο πρωτεύον και δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο έως το 2015. Η μεθοδολογία θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την Ο.Π.Υ., την Οδηγία 2007/60/ΕΚ, υδραυλικά μοντέλα και γεωμορφολογικές πληροφορίες.
5. Διαμόρφωση λεπτομερούς υδατικού ισοζυγίου για όλες τις κατηγορίες υδάτων της Κύπρου μέσω μοντέλου προσφοράς – κατανάλωσης.
6. Μελέτη αναδιάρθρωσης καλλιεργειών.
7. Προώθηση τεχνολογιών αποδοτικής χρήσης του νερού στη βιομηχανία.

### 1.3.2.3 **Έργα**

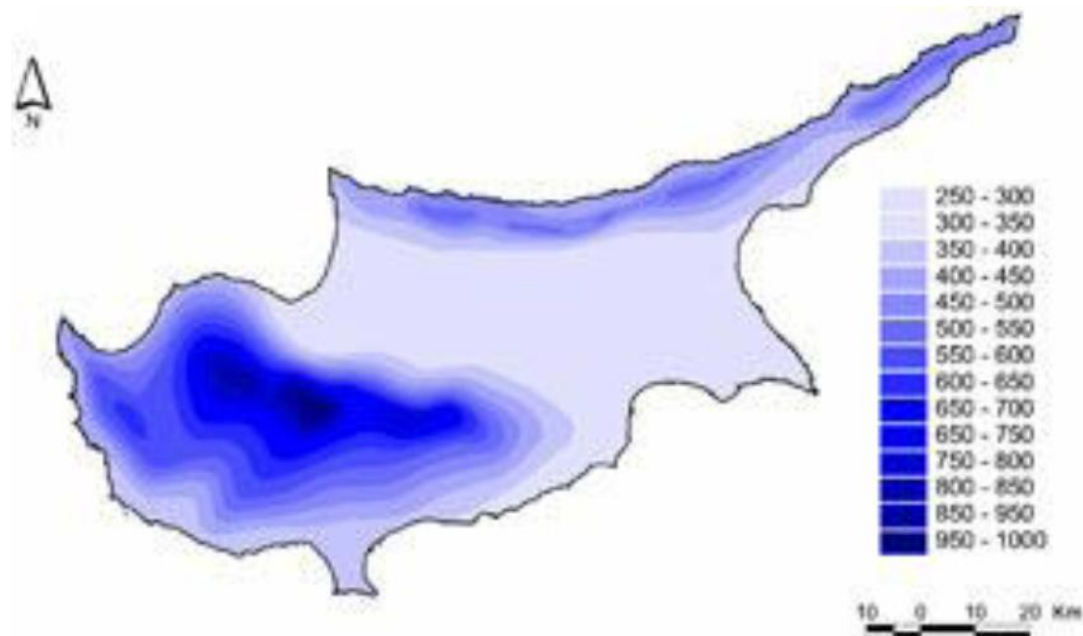
1. Περιορισμός διαρροών στο 18% ή 22% για αστικές περιοχές και Κοινότητες αντίστοιχα κατά το έτος 2015 - Σύνταξη σχετικών εκθέσεων.

2. Υλοποίηση έργων αξιοποίησης του ανακυκλωμένου νερού που προωθούνται από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων και βρίσκονται σε στάδια μελέτης ή κατασκευής με στόχο την ενίσχυση του υδατικού ισοζυγίου με ανακυκλωμένο νερό.
3. Επιλεγμένες δράσεις υδρομορφολογικής αποκατάστασης σε συγκεκριμένα ποτάμια.
4. Επιλεγμένες δράσεις αποκατάστασης παρόχθιων ζωνών σε συγκεκριμένα ποτάμια.

## 1.4 Υδρολογία της Κύπρου

Οι υδάτινοι πόροι της Κύπρου, επιφανειακοί και υπόγειοι είναι περιορισμένοι και αυτό οφείλεται στο ξηροθερμικό της κλίμα, το ανάγλυφο, τη γεωλογία, τη μικρή έκταση του νησιού και την ανομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης στις διάφορες περιοχές της.

Ο εμπλουτισμός των υδάτινων πόρων της Κύπρου γίνεται αποκλειστικά από τη βροχόπτωση. Γενικά η ποσότητα της βροχής που δέχεται η Κύπρος είναι χαμηλή (η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιόδου 1916-1980 ήταν 503 χιλιοστόμετρα) και η εξάτμιση μεγάλη, πράγμα που περιορίζει σοβαρά τους υδάτινους πόρους του νησιού. Επίσης η βροχόπτωση κατανέμεται ανομοιόμορφα στην έκταση του νησιού (Σχήμα 1.4-1) .



Σχήμα 1.4-1. Κατανομή βροχόπτωσης στην Κύπρου (mm) για τα έτη 1961-1990. (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων).

Στην πεδιάδα της Μεσαορίας κυμαίνεται μεταξύ 300 και 350 mm ενώ στις ορεινές περιοχές του Τροόδους μεταξύ 600 και 1.100 mm. Ο όγκος του νερού που δέχεται η Κύπρος από μια κανονική μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 4.600 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Από αυτά, ποσοστό 80% επιστρέφει στην ατμόσφαιρα σαν κατευθείαν εξάτμιση και σαν διαπνοή από τα φυτά, ποσοστό 7% εμπλουτίζει τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα και ποσοστό 13% μπορεί να

χαρακτηριστεί σαν επιφανειακή απορροή (δηλαδή νερό που καταλήγει στους ποταμούς και είτε χρησιμοποιείται για αρδευτικούς, βιομηχανικούς και υδρευτικούς σκοπούς, είτε καταλήγει στη θάλασσα).

#### **1.4.1 Επιφανειακοί υδατικοί πόροι**

Επιφανειακοί υδάτινοι πόροι είναι το σύνολο των νερών των ποταμών, των λιμνών, των ελών, των πηγών κλπ. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται και το σύνολο των νερών που αποθηκεύεται στα φράγματα.

Ένα μεγάλο μέρος των επιφανειακών υδάτινων πόρων χρησιμοποιείται για αρδεύσεις και ένα άλλο μέρος, με κατάλληλη επεξεργασία, χρησιμοποιείται για οικιακούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Επίσης ένα άλλο μέρος εισχωρεί στο έδαφος και εμπλουτίζει τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, πολύ μικρό μέρος διαπνέεται από τα φυτά που βρίσκονται κοντά στην κοίτη των ποταμών ή εξατμίζεται κατευθείαν από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού των ποταμών. Το υπόλοιπο αποτελεί τη ροή των ποταμών.

##### **1.4.1.1 Ποταμοί**

Οι ποταμοί στην Κύπρο γενικά ρέουν από το Δεκέμβρη μέχρι το τέλος του Μάη και είναι χείμαρροι. Ορισμένοι όμως από αυτούς σε υψόμετρο πάνω από 1.000 m έχουν ροή και το καλοκαίρι. Το νερό που καταλήγει στους ποταμούς (επιφανειακή απορροή) είναι κατά μέσο όρο 600 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Από αυτό χρησιμοποιείται μόνο το 25% δηλαδή 150 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το χρόνο, και τα υπόλοιπα 450 εκατομμύρια m<sup>3</sup> χάνονται στη θάλασσα. Το ποσοστό νερού που χάνεται κάθε χρόνο στη θάλασσα μειώνεται σταθερά, σαν αποτέλεσμα της πολιτικής για ανάπτυξη των υδάτινων πόρων του νησιού και την κατασκευή μεγάλων υδατοφρακτών, στα πλαίσια υδατικών σχεδίων, στους οποίους θα διοχετεύονται τα νερά μεγάλων ποταμών.

Η ποσότητα του νερού που ρέει κάθε χρόνο στους ποταμούς, ο τρόπος και η διάρκεια της ροής, η κατανομή της στο χρόνο, η μέγιστη παροχή και το ποσοστό σε κάθε μια από τις χρήσεις, υπολογίζονται με τις κατάλληλες υδρομετρήσεις και παρατηρήσεις που διενεργεί τακτικά το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων. Επίσης γίνονται τακτικές μετρήσεις των μεταφερομένων ιζημάτων και της ποιότητας του νερού των ποταμών. Οι μετρήσεις αυτές είναι πρωταρχικής σημασίας, γιατί πάνω σ' αυτές στηρίζονται οι διάφορες μελέτες για τον προγραμματισμό και την αξιοποίηση των επιφανειακών νερών με την κατασκευή των κατάλληλων υδατικών έργων.

Οι μεγαλύτεροι ποταμοί του νησιού πηγάζουν από το Τρόδος, που δέχεται και τη μεγαλύτερη βροχόπτωση απ' όλες τις περιοχές της Κύπρου. Οι περισσότεροι από αυτούς



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

αρχίζουν τη ροή τους βόρεια ή νότια της κορυφογραμμής, η οποία αρχίζει από τη βουνοκορφή του Μαχαιρά στα ανατολικά και συνεχίζεται δυτικότερα προς τις κορφές Σταυρόπευκος, Παπούτσα, Αδελφοί, Τρόδος, Κύκκος και Τρίπυλος.

Οι μεγαλύτεροι ποταμοί της Κύπρου είναι οι ακόλουθοι: 1.Πηδιάς 2.Γιαλιάς 3.Σερράχης 4.Διαρίζος 5.Ξερός Ποταμός 6.Έζουσα 7.Κούρης 8.Ακάκι 9.Χαποτάμι 10.Περιστερώννα 11.Οβγός 12.Τρέμιθος 13.Ελιά 14.Σταυρός της Ψώκας 15.Πεντάσχοινος 16.Καρκώτης 17.Βασιλικός 18.Μαρώνι 19.Γερμασόγεια 20.Ατσάς 21.Λιμνάτης 22.Κρυός 23.Αλυκός 24.Γαρύλλης 25.Σέτραχος 26.Λιμνίτης 27.Ξερός.

Από τους πιο πάνω ποταμούς, ο μεγαλύτερος σε μήκος είναι ο Πηδιάς (98 km) και ακολουθούν οι ποταμοί Γιαλιάς (88 km), Σερράχης (55 km), Διαρίζος (42 km), Ξερός Ποταμός (41,5 km) και Έζουσα (41 km).

Από την οροσειρά του Πενταδακτύλου πηγάζουν μικρά ρυάκια που είτε χύνονται στη θαλάσσια περιοχή της Κερύνειας (Αργάκι των Καραβιών, Καταρράκτης, Κηπιά, Μαυρολίμνη κ.α.), είτε διασχίζουν την κεντρική πεδιάδα και χύνονται στον κόλπο της Μόρφου (Αλουπός και Αργάκι του Παλαιοκάστρου) και στον κόλπο της Αμμοχώστου (Γεροκόλυμπος, Καλαμούλης, Άγιος Σάββας, Γεροπόταμος κ.ά.). Επίσης άλλα ρυάκια που πηγάζουν από τον Πενταδάκτυλο διασχίζουν την κεντρική πεδιάδα και ενώνονται με άλλους κύριους ποταμούς. Μεταξύ των ρυακίων αυτών είναι ο Αλμυρός, που ενώνεται με τον Πηδιά, το ρυάκι Στενώματα που ενώνεται με τον Οβγό κ.ά.

### 1.4.1.2 Πηγές

Είναι σημεία της επιφάνειας της γης από όπου αναβλύζει νερό. Οι πηγές μελετούνται με τους επιφανειακούς υδάτινους πόρους γιατί τροφοδοτούν τη ροή των ποταμών καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Οι πηγές είναι ζωτικής σημασίας γιατί σε αυτές στηρίζεται η υδατοπρομήθεια μεγάλου αριθμού χωριών, ακόμη και πόλεων, και η άρδευση σημαντικών εκτάσεων γης. Υπάρχουν εκατοντάδες πηγές στην Κύπρο, που είναι σκορπισμένες σε όλη της την έκταση. Οι μεγάλες πηγές της Κύπρου είναι κάπου 300. Μετρούνται τακτικά ογκομετρικώς εκτός από ορισμένες στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι αυτόματοι μετρητές. Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις παροχής των πηγών γίνεται και δειγματοληψία για να εξεταστεί ο χημικός και βιολογικός τους χαρακτήρας.

Οι μεγάλες πηγές ονομάζονται κεφαλόβρυσα και συχνά κοντά σ' αυτές βρίσκονται και άλλες μικρότερες. Τα κυριότερα κεφαλόβρυσα της Κύπρου είναι εκείνα της Κυθρέας, της Λαπήθου και του Καραβά, που βρίσκονται στην κατεχόμενη από τα τουρκικά στρατεύματα εισβολής περιοχή της Κύπρου. Τα τρία κεφαλόβρυσα δημιουργήθηκαν στην περιοχή του υδροφόρου

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

στρώματος των ασβεστόλιθων του Πενταδακτύλου. Οι ασβεστόλιθοι της οροσειράς περιβάλλονται από τους αδιαπέρατους σχηματισμούς του φλύσχη και των μαργαϊκών κρητίδων. Λόγω της τεκτονικής του δομής το υδροφόρο στρώμα των ασβεστόλιθων χωρίζεται σε διαμερίσματα όπου συσσωρεύονται τα νερά της βροχής. Οι υπόγειες αυτές δεξαμενές τροφοδοτούν τις μεγάλες πηγές της οροσειράς και ιδιαίτερα τα τρία μεγάλα κεφαλόβρυσια.

Κεφαλόβρυσος Κυθρέας: Είναι η μεγαλύτερη πηγή νερού της Κύπρου. Βρίσκεται περί τα 3 km βόρεια του χωριού Κυθρέα, στη διοικητική έκταση του οποίου περιλαμβάνεται. Η πηγή, που βρίσκεται σε υψόμετρο 264 m περίπου, διαδραμάτισε πριν από την τουρκική εισβολή σημαντικό ρόλο στην όλη οικονομική ανάπτυξη και ευημερία της περιοχής Κυθρέας. Η μέση ημερήσια παροχή του κεφαλόβρυσου κατά την περίοδο 1945-1971 ήταν 13.000 m<sup>3</sup> νερού. Από αυτά, 680 m<sup>3</sup> περίπου χρησιμοποιούνταν για την υδατοπρομήθεια της Κυθρέας και των γύρω χωριών και άλλα 650-1.000 m<sup>3</sup> νερού για την ύδρευση ορισμένων χωριών της Μεσαορίας. Η υπόλοιπη παροχή νερού χρησιμοποιούνταν για σκοπούς άρδευσης των κήπων των εσπεριδοειδών και άλλων αρδευομένων καλλιεργειών της Κυθρέας.

Κεφαλόβρυσος Λαπήθου: Βρίσκεται στη βόρεια πλευρά του Πενταδακτύλου, σε υψόμετρο 259 m. Το κεφαλόβρυσος, που βρίσκεται μέσα στη διοικητική έκταση του χωριού Λάπηθος, είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σε απόδοση πηγή της Κύπρου. Η μέση ημερήσια απόδοση του κεφαλόβρυσου κατά την περίοδο 1955-1971 ήταν 3.500 m<sup>3</sup> περίπου. Υπολογίζεται ότι το 5% της ημερήσιας παροχής νερού χρησιμοποιούνταν για την ύδρευση της Λαπήθου και το 95% για την άρδευση των κήπων των εσπεριδοειδών του χωριού.

Κεφαλόβρυσος Καραβά: Βρίσκεται στη βόρεια πλευρά του Πενταδάκτυλου, σε υψόμετρο 186 m. Το κεφαλόβρυσος, που βρίσκεται στη διοικητική έκταση του χωριού Καραβάς, είναι η τρίτη μεγαλύτερη σε απόδοση πηγή της Κύπρου. Η μέση ημερήσια απόδοσή του κατά την περίοδο 1955-1971 ήταν γύρω στα 2.850 m<sup>3</sup> νερού. Από αυτά ποσοστό 7% περίπου χρησιμοποιούνταν για την ύδρευση του Καραβά και το υπόλοιπο για σκοπούς άρδευσης του χωριού.

Μικρότερης απόδοσης πηγές που φέρουν την ονομασία κεφαλόβρυσος υπάρχουν και σε άλλες περιοχές της Κύπρου. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

Κεφαλόβρυσος Πάνω Κιβίδων: Το κεφαλόβρυσος βρίσκεται σε υψόμετρο 390 m, μέσα στην έκταση του χωριού Πάνω Κιβίδες. Η μέση ημερήσια απόδοσή του κατά την περίοδο 1969-1973 ήταν 1.380 m<sup>3</sup> νερού.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

Κεφαλόβρυσο της Κρήτου Τέρρα: Βρίσκεται στην περιοχή του χωριού Κρήτου Τέρρα, σε υψόμετρο 450 m. Κατά την περίοδο 1966-1973 η μέση ημερήσια παροχή του ήταν 1.120 m<sup>3</sup> περίπου.

Κεφαλόβρυσο Καλού Χωριού Μόρφου: Πρόκειται για πηγή νερού στην περιοχή του κατεχόμενου χωριού Καλό Χωριό (Καπούτι), σε υψόμετρο 140 m. Η μέση ημερήσια απόδοσή του κατά την περίοδο 1966-1970 ήταν γύρω στα 600 m<sup>3</sup> νερού.

Κεφαλόβρυσο Πέλλα Πάις: Βρίσκεται στην περιοχή του κατεχόμενου χωριού Πέλλα Πάις, σε υψόμετρο 262 m. Το κεφαλόβρυσο είχε κατά την περίοδο 1967-1971 μέση ημερήσια απόδοση 430 m<sup>3</sup> νερού.

Κεφαλόβρυσο Παλαιούμου: Είναι πηγή νερού στην περιοχή του κατεχόμενου χωριού Λάρνακας της Λαπήθου, σε υψόμετρο 192 m. Η μέση ημερήσια απόδοση της πηγής κατά την περίοδο 1964-1971 ήταν 180 m<sup>3</sup> νερού.

Κεφαλόβρυσο Πάνω Πλατρών: Βρίσκεται στην περιοχή του χωριού Πάνω Πλάτρες, σε υψόμετρο 1.280 m. Η μέση ημερήσια απόδοσή του κατά την περίοδο 1966-1979 ήταν 370 m<sup>3</sup> νερού.

Σε παλαιότερες εποχές, τα μεγάλα κεφαλόβρυσια, δηλαδή εκείνα της Κυθρέας, της Λαπήθου και του Καραβά, εκτός από την ύδρευση και την άρδευση των γύρω από αυτά περιοχών, είχαν διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στην οικονομία των χωριών στα οποία βρίσκονται και με άλλες χρήσεις. Τα κεφαλόβρυσια αυτά αποτελούσαν την κινητήρια δύναμη αρκετών νερόμυλων που βρίσκονταν κατά μήκος της κοίτης όπου έρεε το νερό τους. Φημισμένοι νερόμυλοι-αλευρόμυλοι ήταν τόσο εκείνοι της Κυθρέας, που εξυπηρέτουσαν ολόκληρη την γύρω περιοχή, όσο κι εκείνοι της Λαπήθου και του Καραβά.

Επίσης, οι πηγές αυτές ήταν πόλος έλξης επισκεπτών. Ιδίως στο κεφαλόβρυσια της Κυθρέας, που βρίσκεται πλησιέστερα προς τη Λευκωσία, πολλοί κάτοικοι της πρωτεύουσας πήγαιναν τακτικά χρησιμοποιώντας το ως εκδρομικό χώρο. Φυσικά εξαιτίας του άφθονου νερού που ρέει ολόχρονα, η βλάστηση κοντά στα κεφαλόβρυσια αυτά και κατά μήκος της κοίτης των νερών τους είναι πλούσια. Εξαιτίας της σημασίας (κυρίως οικονομικής) της ύπαρξης των κεφαλόβρυσων, δημιουργήθηκαν γύρω από αυτά σε παλαιότερες εποχές θρύλοι και παραδόσεις. Για τα μεγάλα κεφαλόβρυσια του Πενταδακτύλου, και ιδίως εκείνο της Κυθρέας, επικρατούσε η εντύπωση ότι το νερό ερχόταν από την Καραμανιά της Μικράς Ασίας, από τα βουνά του Ταύρου. Αρκετοί μάλιστα αφηγούνται ότι δήθεν αντικείμενα που είχαν χαθεί στη Μικρά Ασία, είχαν εκβραστεί από τα κεφαλόβρυσια στην Κύπρο. Βέβαια η θρυλική υπόγεια σύνδεση των κεφαλόβρυσων με τη Μικρά Ασία δεν ευσταθεί. Στην περιοχή της Κυθρέας βρισκόταν η πανάρχαια κυπριακή πόλη των Χύτρων, που φαίνεται ότι και γι' αυτήν είχε

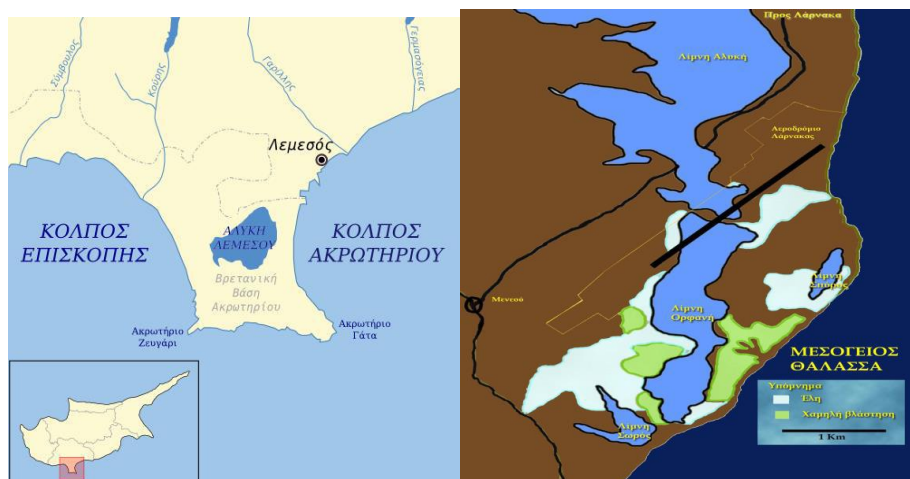
## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

σπουδαία σημασία το άφθονο και συνεχές νερό του κεφαλόβρυσου, όπως και για την αρχαία Λάπηθο.

Στην περιοχή των Χύτρων βρέθηκαν διάφορες επιγραφές. Μια απ' αυτές, των Ελληνιστικών χρόνων, χαραγμένη στη βάση αγάλματος της Βασίλισσας Αρσινόης Φιλαδέλφου, την αναφέρει ως Αρσινόην Φιλάδεφον Ναϊάδα. Το χαρακτηριστικό επίθετο Ναϊάς που χρησιμοποιήθηκε εδώ σημαίνει Νεράιδα του νερού, πράγμα που φανερώνει τη σημασία η οποία αποδιδόταν στην πηγή του κεφαλόβρυσου που βρίσκεται εκεί.

### 1.4.1.3 Λίμνες

Οι βασικές λίμνες της Κύπρου είναι η αλυκή της Λάρνακας και η αλυκή της Λεμεσού (Σχήμα 1.4-2). Η πρώτη βρίσκεται στα νότια της πόλης της Λάρνακας και η δεύτερη στη χερσόνησο του Ακρωτηρίου, στα νοτιοδυτικά της πόλης της Λεμεσού. Σε πρόσφατους τοπογραφικούς χάρτες ωστόσο εμφανίζεται και μια τρίτη λίμνη, εκείνη του Παραλιμνίου (Σχήμα 1.4-3), η οποία βρίσκεται στα δυτικά του ομώνυμου οικισμού. Πρόκειται για μια σχετικά αβαθή λεκάνη στην οποία συλλέγονται τα νερά της βροχής και των μικρών ρυακιών του χειμώνα. Η αλμυρότητα της λίμνης οφείλεται στα άλατα που βρίσκονται στις αργίλους της καθώς και στη μεγάλη εξάτμιση που επικρατεί. Το περισσότερο διάστημα του χρόνου η λίμνη είναι χωρίς νερό.



Σχήμα 1.4-2. Αλυκή Λεμεσού και Αλυκή Λάρνακας (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)



Σχήμα 1.4-3. Αλυκή Παραλιμνίου (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)

#### 1.4.1.4 Φράγματα

Οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι του νησιού και οι αυξανόμενες υδατικές ανάγκες για αρδευτικούς, οικιστικούς, βιομηχανικούς και τουριστικούς σκοπούς, οδήγησε στην κατασκευή υδατοφρακτών για αύξηση των υδατικών αποθεμάτων και προώθηση της ορθολογιστικής τους χρησιμοποίησης. Από το 1900 κατασκευάστηκε στο χωριό Κούκλια, της επαρχίας Αμμοχώστου, φράγμα χωρητικότητας  $4.545.000 \text{ m}^3$ . Μέχρι το 1980 η συνολική χωρητικότητα των φραγμάτων της Κύπρου ήταν 65 περίπου εκατομμύρια  $\text{m}^3$ , ενώ το 1985 έφτασε τα 151 εκατομμύρια  $\text{m}^3$ . Η συνολική χωρητικότητα των φραγμάτων της Κύπρου μέχρι το 1990 έφτασε τα 290 περίπου εκατομμύρια  $\text{m}^3$ .

Το μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου είναι εκείνο στον ποταμό Κούρη, χωρητικότητας 115 εκατομμυρίων  $\text{m}^3$ , η κατασκευή του οποίου συμπληρώθηκε το 1988. Το φράγμα κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πρώτης φάσης του αρδευτικού σχεδίου του Νότιου Αγωγού. Μερικά άλλα αξιόλογα φράγματα κατασκευάστηκαν επίσης, πρόσφατα, στα πλαίσια μεγάλων υδατικών και αναπτυξιακών έργων. Το φράγμα του Ασπρόκρεμμου, χωρητικότητας 51 εκ.  $\text{m}^3$  αποτελεί την κύρια πηγή νερού του αρδευτικού σχεδίου της Πάφου. Τα φράγματα της Καλαβασού, χωρητικότητας 17 εκ.  $\text{m}^3$  και του Διπόταμου, χωρητικότητας 15 εκ.  $\text{m}^3$ , κατασκευάστηκαν στα πλαίσια του αρδευτικού σχεδίου του Βασιλικού-Πεντάσχοινου. Ο υδατοφράκτης Ξυλιάτου, χωρητικότητας 1,3 εκ.  $\text{m}^3$  κατασκευάστηκε στα πλαίσια του σχεδίου Ενιαίας Αγροτικής Αναπτύξεως Πιτσιλιάς. Τέλος, στα πλαίσια του αρδευτικού σχεδίου Χρυσοχούς κατασκευάστηκε το φράγμα της Ευρέτου, χωρητικότητας 25 εκ.  $\text{m}^3$ . Τα φράγματα της Κύπρου παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.4-4.



Σχήμα 1.4-4. Φράγματα της Κύπρου (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)

### 1.4.2 Υπόγειοι Υδατικοί πόροι

Τα υπόγεια νερά είναι αποθηκευμένα μέσα σε κατάλληλα υδροφόρα στρώματα (υδροφορείς) του υπεδάφους. Τα υδροφόρα αυτά στρώματα έχουν συνήθως μικρό πάχος που σπάνια ξεπερνά τα 100 m. Αποτελούνται κυρίως από ποτάμιες αποθέσεις, ασβεστολιθικούς φαμμίτες, ασβεστόλιθους και καρστοποιημένους γύψους.

Οι υπόγειοι υδατινοί πόροι είναι μεγάλης σημασίας για την οικονομία του νησιού, ιδιαίτερα για τη γεωργική ανάπτυξη. Κατά τους θερινούς μήνες που δεν πέφτει βροχή και η ροή των ποταμών σταματά, μεγάλες γεωργικές εκτάσεις αρδεύονται με άντληση από τα υπόγεια νερά. Εξάλλου η ύδρευση των πόλεων και χωριών της Κύπρου στηρίζεται, σε μεγάλο βαθμό, στα υπόγεια νερά.

Ο ετήσιος εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων είναι περίπου 350 εκατομμύρια  $m^3$ . Δυστυχώς τα περισσότερα υδροφόρα στρώματα υπεραντλούνται με αποτέλεσμα τη διείσδυση θαλάσσιου νερού στις παράκτιες περιοχές. Στην Κύπρο υπάρχουν περί τις 20 χιλιάδες γεωτρήσεις από τις οποίες αντλούνται κάπου 430 εκατομμύρια  $m^3$  νερού το χρόνο, δηλαδή 3% περισσότερο του εμπλουτισμού. Η αρδευόμενη έκταση γης από διατρήσεις το 1985 ανερχόταν στα 20.000 εκτάρια περίπου.

Τα κυριότερα υδροφόρα στρώματα της Κύπρου είναι τα ακόλουθα:

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

### 1. Υδροφόρο στρώμα Δυτικής Μεσαορίας (Μόρφου)

Είναι το σημαντικότερο υδροφόρο στρώμα της Κύπρου, η άντληση από το οποίο συνέβαλε στην άρδευση των εκτεταμένων κήπων εσπεριδοειδών της πεδιάδας της Μόρφου. Αποτελείται από αμμοχάλικα και ασβεστολιθικούς ψαμμίτες με παρεμβολές από φακούς ιλύος και αργίλου. Ο εμπλουτισμός του υδροφόρου στρώματος γίνεται κυρίως από τους ποταμούς που το διασχίζουν.

Το πάχος του υδροφορέα κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 m και αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Το ανατολικό τμήμα αποτελείται από ασβεστολιθικούς ψαμμίτες και οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται μεταξύ 10 και 50 m<sup>3</sup> την ώρα. Το δυτικό τμήμα του υδροφορέα έχει καλύτερες υδραυλικές ιδιότητες και οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 50 μέχρι 250 m<sup>3</sup> την ώρα.

Ο μέσος ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφορέα είναι 60 περίπου εκατομμύρια m<sup>3</sup> και η άντληση 80 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Σαν αποτέλεσμα της υπεράντλησης παρατηρήθηκε εισροή θαλάσσιου νερού σε παράκτιες περιοχές. Χαρακτηριστικά στην περιοχή κοντά στη Μόρφου, η στάθμη του υπόγειου νερού είναι 1 -25 m<sup>3</sup> κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Από το 1974 το μεγαλύτερο τμήμα του υδροφόρου στρώματος βρίσκεται κάτω από τουρκική στρατιωτική κατοχή και δεν υπάρχουν πληροφορίες για τη σημερινή του κατάσταση.

### 2. Υδροφόρο στρώμα Νοτιοανατολικής Μεσαορίας (Κοκκινοχωριών)

Είναι το δεύτερο σημαντικότερο υδροφόρο στρώμα της Κύπρου. Καλύπτει έκταση 500 km<sup>2</sup> και αποτελείται από ασβεστολιθικούς ψαμμίτες, ασβεστόλιθους και προσχώσεις. Εμπλουτίζεται, σχεδόν αποκλειστικά, από την ετήσια βροχόπτωση αφού δεν υπάρχουν μεγάλοι χείμαρροι που να το εμπλουτίζουν το χειμώνα.

Το υδροφόρο στρώμα των Κοκκινοχωριών γνώρισε, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, εντατική εκμετάλλευση. Σ' αυτό έχουν ανορυχθεί πάνω από 16.000 διατρήσεις, από τις οποίες περισσότερες από τις μισές είναι παράνομες. Το 1985 αρδεύονταν στα Κοκκινοχώρια από διατρήσεις κάπου 7.000 εκτάρια γης. Ο μέσος ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφορέα είναι 25 εκατομμύρια m<sup>3</sup> και η άντληση 50 εκατομμύρια. Σαν αποτέλεσμα της υπεράντλησης έχει προκληθεί εισροή θαλάσσιου νερού στο υδροφόρο στρώμα και πολλές διατρήσεις εγκαταλείφθηκαν.

### 3. Υδροφόρο στρώμα Ακρωτηρίου-Κούρη

Είναι το τρίτο σημαντικότερο υδροφόρο στρώμα της Κύπρου. Καλύπτει έκταση 42 km<sup>2</sup> και το πάχος του είναι 30 περίπου μέτρα. Αποτελείται από αμμοχάλικα με φακοειδείς παρεμβολές ιλύος και αργίλων. Οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 50 μέχρι 300 m<sup>3</sup> την ώρα. Ο ετήσιος εμπλουτισμός του στρώματος είναι 22 εκατομμύρια m<sup>3</sup> και η άντληση 17 εκατομμύρια m<sup>3</sup>. Ωστόσο λόγω τοπικής υπεράντλησης παρατηρήθηκε εισροή θαλάσσιου νερού στο νοτιοανατολικό του τμήμα.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

4. Υδροφόρο στρώμα των ασβεστολίθων του Πενταδακτύλου  
Καλύπτει έκταση 69 περίπου  $\text{km}^2$  και τροφοδοτεί τις μεγάλες πηγές της οροσειράς του Πενταδακτύλου, ιδιαίτερα τα κεφαλόβρυστα της Κυθρέας, της Λαπήθου και του Καραβά. Ο μέσος ετήσιος εμπλουτισμός του υδροφόρου στρώματος είναι 11 εκατομμύρια  $\text{m}^3$ . Από αυτά, 8 περίπου εκατομμύρια αντιπροσωπεύουν τη ροή των μεγάλων πηγών της οροσειράς, 1,3 περίπου εκατομμύρια την άντληση νερού από τις γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν, και το υπόλοιπο αντιπροσωπεύει τη ροή πολύ μικρών πηγών και υγράνσεων.

Το υδροφόρο στρώμα των ασβεστολίθων του Πενταδακτύλου είναι μεγάλης σπουδαιότητας γιατί σ' αυτό στηρίζεται η υδατοπρομήθεια της πόλης της Κερύνειας, πολλών χωριών της επαρχίας και των τουριστικών της εγκαταστάσεων, καθώς και μέρος της πόλης της Λευκωσίας. Για την προστασία του υδροφόρου στρώματος, η κυπριακή κυβέρνηση είχε ετοιμάσει ειδικό πρόγραμμα για έλεγχο της ροής των πηγών. Εξάλλου, πριν από την τουρκική εισβολή του 1974 έγιναν από την κυβέρνηση στην περιοχή βαθιές γεωτρήσεις με πολύ καλά αποτελέσματα. Από το 1974 βρίσκεται υπό τουρκική στρατιωτική κατοχή.

### 5. Υδροφόρο στρώμα Κεντρικής Μεσαορίας

Αποτελείται από πλειοκαινικές και πλειστοκαινικές αποθέσεις και καλύπτει έκταση 200 περίπου  $\text{km}^2$ . Το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 20 και 100 m. Περιλαμβάνει σύστημα διαφόρων υδροφόρων οριζόντων, πολλοί από τους οποίους παρέχουν αλμυρό ή ακατάλληλο νερό για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς. Στους υδροφόρους ορίζοντες που η ποιότητα του νερού είναι καλή παρουσιάζεται μια σχετική υπεράντληση.

### 6. Υδροφόρο στρώμα παράκτιας ζώνης Κερύνειας

Καλύπτει έκταση 160 περίπου  $\text{km}^2$  και αποτελείται από πλειοκαινικές και πλειστοκαινικές αποθέσεις. Από το υδροφόρο αυτό στρώμα, που το πάχος του δεν ξεπερνά τα 30 m, χάνονται υπογείως περίπου 16 εκατομμύρια  $\text{m}^3$  νερού στη θάλασσα.

### 7. Υδροφόρο στρώμα πόλης Χρυσοχούς

Αποτελείται από ποτάμιες αποθέσεις, μειοκαινικούς γύψους και ψαμμίτες και καλύπτει έκταση 75 περίπου  $\text{km}^2$ . Η υδρογεωλογία του υδροφόρου αυτού στρώματος δεν είναι ακριβώς γνωστή. Υπολογίζεται ότι από αυτό χάνονται υπογείως περίπου 20 εκατομμύρια  $\text{m}^3$  νερού το χρόνο.

### 8. Υδροφόρο στρώμα Κιτίου- Περβολιών- Μενεού

Το στρώμα αυτό καλύπτει έκταση 12 περίπου  $\text{km}^2$  και το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 m. Το δυτικό του σύνορο αρχίζει περί το μισό μέχρι ένα χιλιόμετρο δυτικά του ποταμού Τρέμιθου, ενώ το ανατολικό του σύνορο φτάνει μέχρι την αλυκή της Λάρνακας. Αποτελείται από αλλουβιακές και πλειστοκαινικές αποθέσεις ενώ λόγω υπεράντλησης παρατηρήθηκε εισροή θαλάσσιου νερού σ' αυτό.



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

### 9. Υδροφόρο στρώμα παράκτιας ζώνης Πάφου

Αποτελείται από αποθέσεις θαλάσσιων αναβαθμιδών καθώς και αποθέσεις των σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσας. Το πάχος του υδροφόρου στρώματος δεν ξεπερνά τα 8 m ενώ η έκταση που καλύπτει είναι 49 περίπου  $\text{km}^2$ . Η γεωλογική κατασκευή του υδροφόρου στρώματος, η θέση του και οι μεγάλες κλίσεις του υδροφόρου ορίζοντα συνέβαλαν ώστε από τον ετήσιο εμπλουτισμό, πέντε περίπου εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού να χάνονται στη θάλασσα.

### 10. Υδροφόρα στρώματα ποτάμιων αποθέσεων Έζουσας, Ξερού Ποταμού και Διαρίζου στην Πάφο

Πρόκειται για τρία μικρά υδροφόρα στρώματα που σχηματίστηκαν από τις ολοκαινικές ποτάμιες αποθέσεις της Έζουσας ( $9 \text{ km}^2$ ), του Ξερού Ποταμού ( $10,2 \text{ km}^2$ ) και του Διαρίζου ( $7,5 \text{ km}^2$ ). Το πάχος των αποθέσεων των τριών ποταμών ποικίλλει αλλά δεν ξεπερνά τα 35 m. Ο εμπλουτισμός των υδροφόρων στρωμάτων εξαρτάται από τη ροή των τριών ποταμών κατά τον προηγούμενο χρόνο. Μπορεί όμως να λεχθεί ότι σχεδόν κάθε χρόνο και τα τρία στρώματα εμπλουτίζονται πλήρως.

### 11. Υδροφόρο στρώμα Πισσουρίου - Παραμαλίου

Αποτελείται από 4 ζώνες: την παράκτια ζώνη, τη ζώνη των γύψων, τη ζώνη των ψαμμιτών και κρητίδων και τη ζώνη των κρητίδων. Η αντλούμενη ποσότητα νερού από τη ζώνη των γύψων και την παράκτια ζώνη είναι μικρή και εξαρτάται από τη ροή του ποταμού Χαποτάμι ο οποίος τις εμπλουτίζει. Η υδρογεωλογία των υπόλοιπων ζωνών δεν είναι ακριβώς γνωστή.

### 12. Υδροφόρο στρώμα του ποταμού της Γερμασόγειας

Το μικρό αυτό υδροφόρο στρώμα, έκτασης  $5 \text{ km}^2$ , αποτελείται από ολοκαινικές ποτάμιες αποθέσεις του ποταμού της Γερμασόγειας. Το πάχος του στρώματος είναι 25 m και ο εμπλουτισμός του εξαρτάται από τις ποσότητες που αφήνονται από το φράγμα της Γερμασόγειας.

### 13. Υδροφόρο στρώμα Μαρωνιού-Αλαμινού

Αρτεσιανό υδροφόρο στρώμα με καλές προοπτικές, το οποίο δεν έχει ακόμη υποστεί εντατική εκμετάλλευση. Αποτελείται από αποθέσεις του σχηματισμού Πάχνας (εναλλασσόμενες στρώσεις κιμωλιών, μαργών και ψαμμιτών).

### 14. Υδροφόρο στρώμα Λάπαθου

Πρόκειται για μικρό υδροφόρο στρώμα στην περιοχή του χωριού Λάπηθος Αμμοχώστου, που αποτελείται από πλειοκαινικές και πλειστοκαινικές αποθέσεις. Εξαιτίας της υπεράντλησης το υδροφόρο στρώμα έχει σχεδόν αποξηρανθεί.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμειυτήρα Κούρη

---

### 15. Υδροφόρο στρώμα Αγίου Ανδρονίκου

Μικρό υδροφόρο στρώμα στην περιοχή του Αγίου Ανδρονίκου της Καρπασίας. Λόγω της υπεράντλησης έχει πέσει η στάθμη ολόκληρου του υδροφόρου στρώματος.

### 16. Υδροφόρο στρώμα Ριζοκαρπάσου

Μικρό υδροφόρο στρώμα στην περιοχή του Ριζοκαρπάσου, που αποτελείται από πλειοκαινικές και πλειστοκαινικές αποθέσεις. Μέρος του υδροφόρου στρώματος ήταν, μέχρι την τουρκική εισβολή του 1974, ανεκμετάλλευτο.

### 17. Υδροφόρο στρώμα Τροόδους

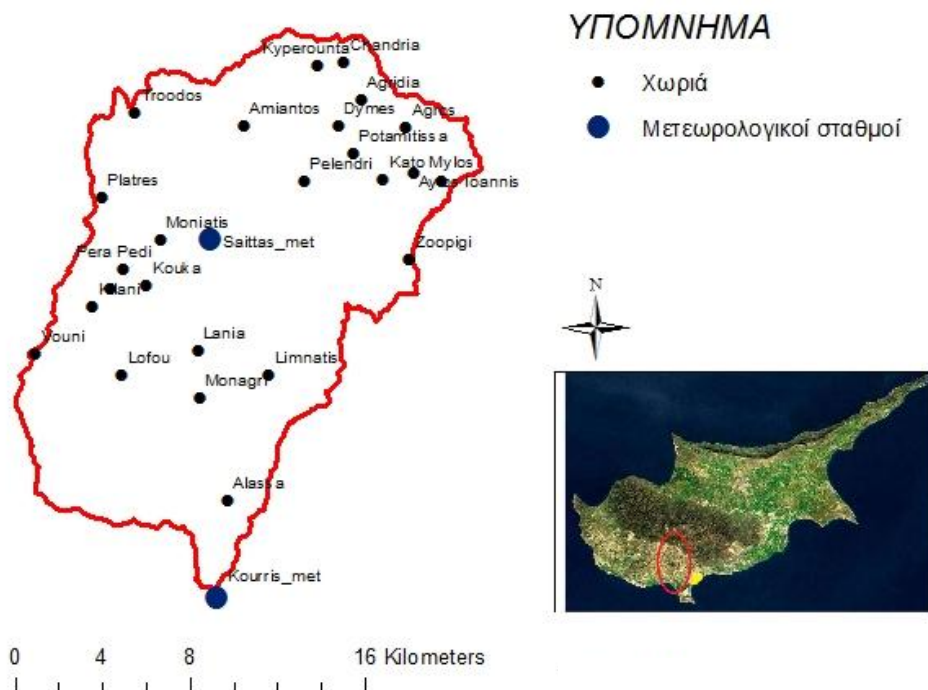
Μέχρι το 1968 πιστευόταν ότι τα εκρηξιγενή πετρώματα του Τροόδους δεν είχαν καμιά υδρογεωλογική σημασία και το Ινστιτούτο Γεωλογικών Επιστημών της Μεγάλης Βρετανίας είχε αποφανθεί ότι ήταν αδύνατο να ανορυχθούν γεωτρήσεις με παροχή μεγαλύτερη από 4 m<sup>3</sup> την ώρα. Ωστόσο το Τμήμα Γεωλογικής Επισκοπήσεως της Κύπρου είχε αντίθετη άποψη και από το 1976 άρχισε μια συστηματική υδρογεωλογική έρευνα των εκρηξιγενών πετρωμάτων του Τροόδους. Μέχρι σήμερα έχουν ανορυχθεί πάνω από 150 γεωτρήσεις σε βάθος 150-200 m με πολύ καλά αποτελέσματα. Οι περισσότερες γεωτρήσεις έγιναν μέσα στους γάββρους και αρκετές από αυτές είχαν απόδοση 20-250 m<sup>3</sup> την ώρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 Γενική περιγραφή λεκάνης απορροής και φράγματος Κούρη

#### 2.1.1 Περιγραφή λεκάνης απορροής

Η περιοχή έρευνας είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Κούρη (Σχήμα 2.1-1). Ο ποταμός πήρε το όνομα του από τον ομώνυμο αρχαιολογικό χώρο του Κουρίου. Πρόκειται για έναν από τους σημαντικότερους αρχαιολογικούς χώρους της Κύπρου όπου σύμφωνα με τον Ηρόδοτο, ιδρύθηκε από Αχαιούς που ήρθαν από το Άργος της Πελοποννήσου. Τα αρχαιολογικά ευρήματα από το γειτονικό λόφο της Παμπούλας τοποθετούν την έλευση των Αχαιών στο χώρο μέσα στο 13ο και κατά το 12ο αι. π.Χ. Τα αρχαιότερα κατάλοιπα κατοίκησης στην ευρύτερη περιοχή του Κουρίου χρονολογούνται από τη νεολιθική περίοδο (4500-3900 π.Χ.). Πάνω στον ίδιο το λόφο του Κουρίου υπάρχουν κατάλοιπα που χρονολογούνται από το τέλος της κλασικής περιόδου, της ελληνιστικής (325-50 π.Χ.) και κυρίως της ρωμαϊκής (50-330 μ.Χ.) και παλαιοχριστιανικής εποχής (330-τέλη 7ου μ.Χ.). (Τμήμα Αρχαιοτήτων, Κυπριακή δημοκρατία).

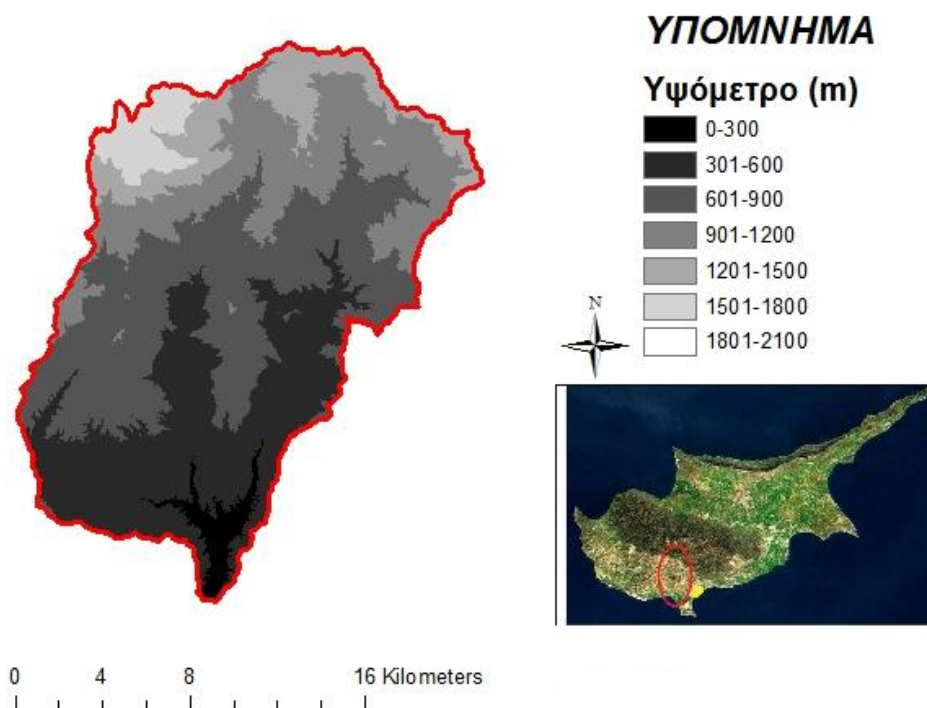


Σχήμα 2.1-1. Λεκάνη απορροής ποταμού Κούρη

Η Λεκάνη απορροής του ποταμού Κούρη έχει έκταση ίση με 308 km<sup>2</sup>. Εντοπίζεται στα νότια της Κύπρου, πιο συγκεκριμένα 15 km δυτικά της πόλης της Λεμεσού. Υψηλότερη κορυφή

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

στην λεκάνη απορροής είναι αυτή του Ολύμπου με υψόμετρο τα 1956 μέτρα (Σχήματα 2.1-2 και 2.1-4)) και οι τρεις κύριοι ποταμοί που την αποτελούν είναι ο Λιμνάτης, ο Κούρης και ο Κρυός (Σχήμα 2.1-5). Στην περιοχή έρευνας έχει πραγματοποιηθεί ένα μεγάλο υδατικό έργο, το έργο του Νοτίου αγωγού, όπου εντοπίζεται το φράγμα του Κούρη, το μεγαλύτερο φράγμα της Κύπρου. Φυσική διέξοδος των υδάτων πριν την κατασκευή του φράγματος ήταν η εκβολή τους στον κόλπο της Επισκοπής (Σχήμα 2.1-3).

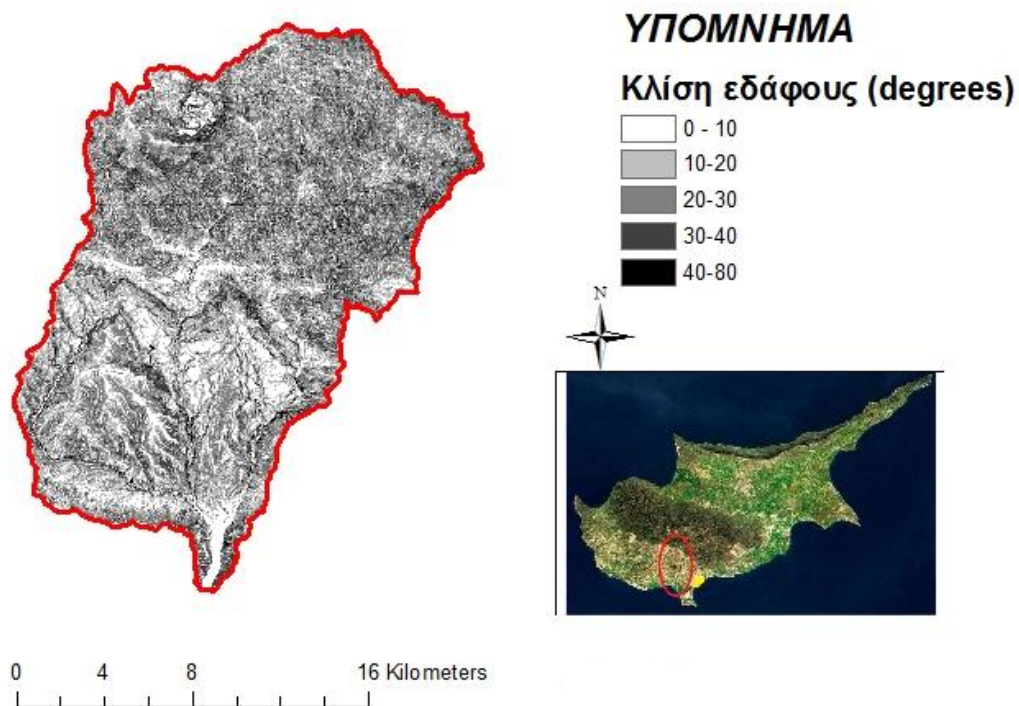


Σχήμα 2.1-2. Υψομετρική κατανομή λεκάνης απορροής Κούρη

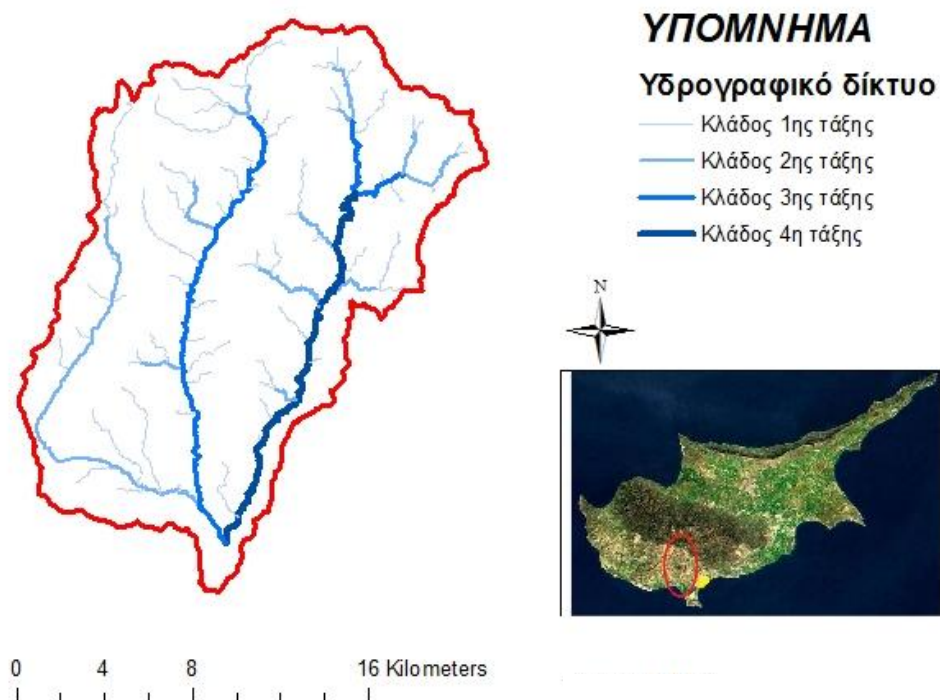


Σχήμα 2.1-3. Χάρτης της Κύπρου όπου στον κόκκινο κύκλο εντοπίζεται η περιοχή έρευνας και με κίτρινο η πόλη της Λεμεσού (πρωτόκολλο πληροφοριών, τελική έκθεση 1, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, 2006).

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 2.1-4. Κατανομή κλίσεων γης λεκάνης απορροής Κούρη



Σχήμα 2.1-5. Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Κούρη

Η λεκάνη απορροής του Κούρη ποταμού υπάγεται τόσο γεωγραφικά όσο και διοικητικά στην επαρχία της Λεμεσού (υδρολογική περιοχή 9), της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης της Κύπρου με πληθυσμό 176.800 κάτοικους (πρωτόκολλο πληροφοριών, τελική έκθεση 1, τμήμα αναπτύξεως υδάτων 2006). Ο πληθυσμός στην λεκάνη απορροής υπολογίζεται στις 10.587 άτομα.

### **2.1.2 Περιγραφή φράγματος Κούρη**

Το φράγμα του Κούρη (Σχήμα 2.1-6) βρίσκεται γύρω στα 10 km ΒΔ της παράλιας πόλης της Λεμεσού. Είναι το μεγαλύτερο φράγμα από πάσης απόψεως που κατασκευάστηκε στην Κύπρο μέχρι σήμερα και αποτελεί τον πυρήνα του μεγαλύτερου έργου υδατικής ανάπτυξης που ανέλαβε ποτέ η Κυπριακή Κυβέρνηση, του Έργου του Νοτίου Αγωγού, το οποίο προμηθεύει με νερό το 70% της ελεγχόμενης από την κυβέρνηση περιοχή της Κύπρου.

Η κατασκευή του φράγματος ξεκίνησε το 1984 και ολοκληρώθηκε το 1989 με συνολικό κόστος 29 εκ. λίρες. Σχηματίζει μια δεξαμενή με χωρητικότητα 115 εκατομμυρίων  $m^3$ , είναι χωμάτινης κατασκευής με κεντρικό αργιλικό πυρήνα και έχει ύψος 110 m. Το μήκος του αναχώματος είναι 550 m και ο όγκος κατασκευής του 9,4 εκ.  $m^3$ . Η λίμνη του φράγματος έχει επιφάνεια 3,6  $km^2$  ενώ η λεκάνη απορροής έχει έκταση 308  $km^2$ . Ο υπερχειλιστής του φράγματος έχει μέγιστη παροχή 1925  $m^3/s$ .

Το φράγμα του Κούρη αποτελεί την κύρια υδαταποθήκη του έργου του Νοτίου Αγωγού και ο βασικός σκοπός του είναι η συσσώρευση και αποθήκευση νερού και η μεταφορά του με διαπεριφερειακό αγωγό στις περιοχές όπου υπάρχει ανάγκη νερού. Από τον Φεβρουάριο του 1988, άρχισε η παροχή νερού από το φράγμα Κούρη για αρδευτικούς σκοπούς στο φράγμα Άχνας, περιοχή Κοκκινοχωρίων, στο φράγμα Κιπίου, την περιοχή Ακρωτηρίου και για σκοπούς εμπλουτισμού του υδροφόρου στρώματος στο δέλτα του Κούρη.

Η αποθήκευση νερού στο φράγμα του Κούρη γίνεται από τους ποταμούς Λιμνάτη, Κρυό, τον ομόνυμο ποταμό Κούρη και έχει ενισχυθεί με την εκτροπή νερού από τον ποταμό Διάριζο στη λίμνη του φράγματος με σήραγγα 14 km και σωλήνα μήκους 1,6 km. Η εκτροπή του Διάριζου αποτελεί μέρος της δεύτερης φάσης του Σχεδίου Νοτίου Αγωγού και η κατασκευή του άρχισε μέσο στο 1990 και τέθηκε σε λειτουργία τις αρχές του 1995.

Τα επίπεδα του νερού στη δεξαμενή παρέμειναν χαμηλά για περισσότερο από μια δεκαετία και το καλοκαίρι του 2001 η δεξαμενή ήταν στην πράξη άδεια. Το φράγμα υπερεκχειλίστηκε για πρώτη φορά το 2004 ως αποτέλεσμα τριών διαδοχικών υγρών χειμώνων, δηλαδή του 2001-02, 2002-03 και 2003-04. Στο πλήρες επίπεδο τροφοδότησης, οι διαρροές στο αριστερό αντέρεισμα και την κοίτη του ποταμού ήταν αποδεκτές, αλλά εκείνες στο δεξιό αντέρεισμα

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

θεωρήθηκαν υπερβολικές. Για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους αποφασίστηκε να ξεκινήσει μια νέα εκστρατεία ενίσχυσης με τσιμέντο από το εσωτερικό της τσιμεντένιας στοάς προκειμένου να μειωθούν οι διαρροές και οι πιέσεις των υδάτινων πόρων στο δεξιό αντέρεισμα. Η εργασία διεξήχθη κάτω από δύσκολες συνθήκες με ειδικά εφόδια που μπορούν να λειτουργήσουν σε περιορισμένους χώρους. Η εκστρατεία αποδείχθηκε επιτυχής και κατέληξε σε μια δραματική μείωση των διαρροών.



Σχήμα 2.1-6. Φράγμα Κουρη (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)

### 2.1.2.1 Κατασκευαστικά στοιχεία του φράγματος

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως το μέγιστο ύψος του φράγματος του Κούρη είναι 110 m και ο συνολικός όγκος γεμίσματος 9,4 εκατομμύρια  $m^3$ . Το επίπεδο συνολικού αποθέματος (FSL) είναι 247 m πάνω από το μέσο επίπεδο θαλάσσης (amsl) και η κορυφή βρίσκεται στα 253,5 m πάνω από το μέσο επίπεδο θαλάσσης. Ταξινομείται ως χωμάτινο φράγμα χωρισμένο σε ζώνες και πρακτικά όλα τα χωμάτινα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του όπως λάσπη, χαλίκια του ποταμού, φίλτρα από χαλίκια των πεζουλιών κλπ, δανείστηκαν από και /ή έτυχαν επεξεργασίας στα πέριξ του φράγματος.

Οι πλάγιες κλίσεις του κεντρικού πυρήνα είναι 1: 7 που καταλήγουν σε έναν πυρήνα πλάτους περίπου 30% της δεξαμενής ο οποίος διαπλάτυνεται στα κατώτατα 20 m από την επαφή με το θεμέλιο του βράχου, για να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο της διάβρωσης κατά μήκος της επιφάνειας επαφής.

Το αντίθετο προς το ρεύμα κέλυφος χωρίζεται σε δυο μέρη, το εξωτερικό μέρος που περιέχει χαλίκια του ποταμού και το εσωτερικό μέρος που περιέχει χαλίκια του δρόμου. Το κέλυφος προς την κατεύθυνση του ρεύματος αποτελείται από μικτά χαλίκια, δηλαδή ένα μείγμα από

χαλίκια του δρόμου με αποθέματα σπασμένων βράχων ή υλικά που έχουν εκσκαφτεί από την περιοχή του αγωγού υπερεκχείλισης. Η κλίση η αντίθετη προς το ρεύμα είναι  $1 \text{ V} : 2,5 \text{ H}$  και η κλίση η αντίθετη προς το ρεύμα  $1 \text{ V} : 2,0 \text{ H}$ . Τα επιπρόσθετα βάρη στα κατώτατα τμήματα προς την κατεύθυνση του ρεύματος και προς την αντίθετη κατεύθυνση έχουν ενσωματωθεί στο κύριο ανάχωμα κατά τη διάρκεια του κατασκευαστικού σταδίου, όταν η πραγματική έκθεση του θεμελίου στη ζώνη επαφής της λάσπης αποκαλύπτει την παρουσία των σχετικά συνεχών αδύνατων λωρίδων λάσπης στο λεπτό πέτρινο θεμέλιο.

Το τούνελ εκτροπής και οι εργασίες υποχώρησης βρίσκονται στο αριστερό αντέρεισμα και η ογκώδης δομή του αγωγού υπερχείλισης στο αριστερό αντέρεισμα. Το ευθυγραμμισμένο κανάλι του τελευταίου από σκυρόδεμα μήκους 400 m θεμελιώθηκε σε ένα πυργίσκο που σχηματίζει το αριστερό αντέρεισμα με ένα χείμαρρο της πλευράς που είναι προς την κατεύθυνση του ρεύματος.

Ενόψει της ευμετάβλητης διαπερατότητας του βράχου που παρατηρήθηκε, κατασκευάστηκε μια περιμετρική στοά ενισχυμένη με τσιμέντο παράλληλα με το συνολικό μήκος του άξονα του στην επαφή του πυρήνα της λάσπης με το θεμέλιο του βράχου. Αυτή η στοά εκτεινόταν στο επίπεδο της κορυφής μέσα στο αριστερό αντέρεισμα για περίπου 100 m και επίσης εκτείνεται διαμέσου του τοίχου του αριστερού αγωγού υπερεκχείλισης και του ρυθμιστικού φράγματος για 100 m μέσα στο δεξιό αντέρεισμα. Αυτό το μέτρο θεωρήθηκε ως μια βέλτιστη σχεδιασμένη λύση, καθώς θα μπορούσε να επιτρέψει την επιθεώρηση και τις διορθωτικές ενισχύσεις με τσιμέντο σ' ένα μεταγενέστερο στάδιο, όταν χρειάζεται, μειώνοντας έτσι το ποσό και το κόστος των εργασιών ενίσχυσης με τσιμέντο και το κόστος των εργασιών ενίσχυσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής (Collings and Yzique, 1991).

## **2.2 Έργο Νότιου Αγωγού**

Το Σχέδιο του Νότιου Αγωγού (Σχήμα 2.2-1) είναι το μεγαλύτερο έργο υδατικής ανάπτυξης που ανέλαβε ποτέ η Κυπριακή Κυβέρνηση. Το έργο αποσκοπεί στην συλλογή και αποθήκευση πλεονασμάτων νερού (που προηγουμένως κατέληγαν στη θάλασσα) και στην μεταφορά τους, μέσω του Νοτίου αγωγού, στις περιοχές όπου υπάρχει έλλειμμα νερού. Το Σχέδιο καλύπτει μεγάλο ποσοστό των νότιων περιοχών της Κύπρου, (από τον ποταμό Διάριζο της Πάφου, στα δυτικά, μέχρι και τα Κοκκινοχώρια, στα ανατολικά). Το σχέδιο λόγω του μεγέθους και του ψηλού κόστους, αποφασίστηκε να εκτελεστεί σε δύο φάσεις (πρωτόκολλο πληροφοριών, τελική έκθεση 1, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2006).

Η πρώτη φάση άρχισε το 1984 και περιλάμβανε την κατασκευή του φράγματος του Κούρη, στον ποταμό Κούρη. Ακολούθησε η κατασκευή του κεντρικού αγωγού μήκους 110 χιλιομέτρων, του φράγματος της Άχνας, χωρητικότητας  $6,8 \text{ m}^3$ , των αρδευτικών δικτύων στα



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Κοκκινοχώρια, στην Αθηνού, στους Τρούλλους και στο Αβδελлерό, που καλύπτουν συνολική έκταση 9.767 εκτάρια και του συστήματος τηλεμετρίας. Η πρώτη φάση ολοκληρώθηκε το 1994 με ολική δαπάνη 97 εκ. λίρες (πρωτόκολλο πληροφοριών, τελική έκθεση 1, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2006).



Σχήμα 2.2-1. Έργο Νοτίου Αγωγού (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)

Η δεύτερη φάση, περιλαμβάνει τα έργα εκτροπής του ποταμού Διάριζου με σήραγγα μήκους 14,5 km, τα έργα εκτροπής του ποταμού Χα-Ποτάμι, τα διυλιστήρια νερού στη Λεμεσό και Τερσεφάνου, τον αγωγό Τερσεφάνου - Λευκωσίας, μήκους 36,5 km, το περιφερειακό σχέδιο υδροδότησης 9 κοινοτήτων δυτικά της Λεμεσού, καθώς και τα αρδευτικά δίκτυα στις περιοχές Ακρωτηρίου, Παρεκκλησιάς, Μαζωτού, Κιτίου και Αραδίππου που καλύπτουν συνολική έκταση 4.159 εκτάρια. Από τα έργα αυτά έχουν συμπληρωθεί η ανέγερση του διυλιστηρίου Λεμεσού και Τερσεφάνου, το περιφερειακό σχέδιο υδροδότησης των χωριών δυτικά της Λεμεσού, η εγκατάσταση των αρδευτικών δικτύων στο Ακρωτήρι, Παρεκκλησιά και Κίτι, η κατασκευή του έργου εκτροπής των νερών του ποταμού Διάριζου προς τον Κούρη, τα έργα εκτροπής του ποταμού Χα-Ποτάμι και ο αγωγός Τερσεφάνου - Λευκωσίας (Σχήμα 2.2-2). Η συνολική δαπάνη για τη δεύτερη φάση υπολογίζεται γύρω στα περίπου 66 εκ. λίρες (πρωτόκολλο πληροφοριών, τελική έκθεση 1, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2006).

Το έργο του Νοτίου αγωγού παρέχει πόσιμο νερό για τις αστικές περιοχές της Λευκωσίας, της Λάρνακας και της Λεμεσού, καθώς επίσης και για 90 αγροτικές κοινότητες και χωριά. (Σχήμα 2.2-3). Καλύπτει πάνω από 80% της συνολικής ζήτησης νερού για οικιακές χρήσεις της Κύπρου (περιοχές που βρίσκονται υπό Κυβερνητικό Έλεγχο). (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2010).

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**



Σχήμα 2.2-2. Μεγάλα Υδατικά Έργα (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)



Σχήμα 2.2-3. Με σκούρο χρώμα είναι οι περιοχές που εξυπηρετούνται από το σχέδιο του Νοτίου αγωγού (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, 2010)

## 2.3 Κλιματικές συνθήκες

Η Κύπρος έχει μεσογειακό κλίμα με έντονες εποχιακές μεταβολές σε σχέση με τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση. Το φθινόπωρο και η άνοιξη είναι σύντομα και χωρίζουν τα ζεστά, ξηρά καλοκαίρια, που διαρκούν από τα μέσα Μαΐου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου και τους βροχερούς, ιδιαίτερα άστατους χειμώνες που διαρκούν από το Νοέμβριο έως τα μέσα Μαρτίου (Μετεωρολογική υπηρεσία Κύπρου 2010).

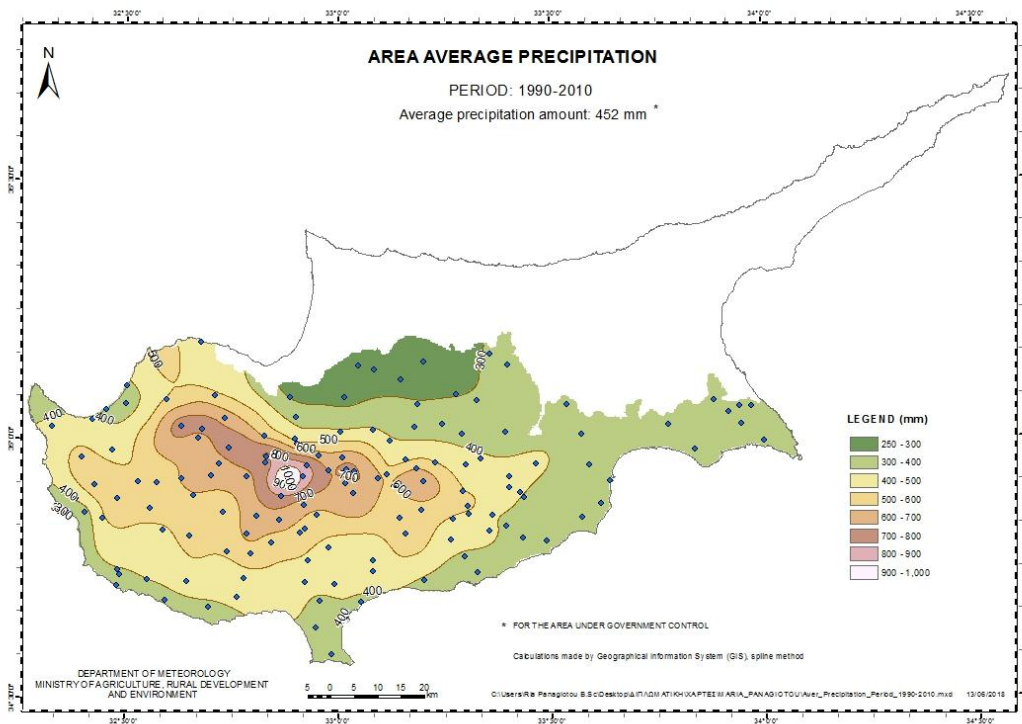
Η μέση ετησία βροχόπτωση είναι 463 mm με βάση τα στοιχεία περιόδου 1971 -2009 και παρουσιάζει μείωση από την περίοδο 1901-1970 όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση ήταν 541 mm. Το ξηρότερο υδρολογικό έτος ήταν το 1972-1973 με τιμή ετήσιας βροχόπτωσης 182mm ενώ το υδρολογικό έτος 1968-1969 ήταν το υγρότερο με τιμή ετήσιας βροχόπτωσης 759 mm (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2010).

Η μέση ετησία βροχόπτωση αυξάνει από 450 mm στις νότιες προσήνεμες πλαγιές σε περίπου 1100 mm τους χειμερινούς μήνες στην περιοχή του Τρόοδου, στην κορυφή του κεντρικού ορεινού όγκου (Σχήμα 2.3-1). Η περισσότερη βροχή πέφτει τους χειμερινούς μήνες, από το Δεκέμβριο έως το Φεβρουάριο, με συχνές χιονοπτώσεις στο όρος Τρόοδος. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κούρη έχει μέση ετήσια κατακρήμνιση 653mm (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων 2010)(Σχήμα 2.3-2).

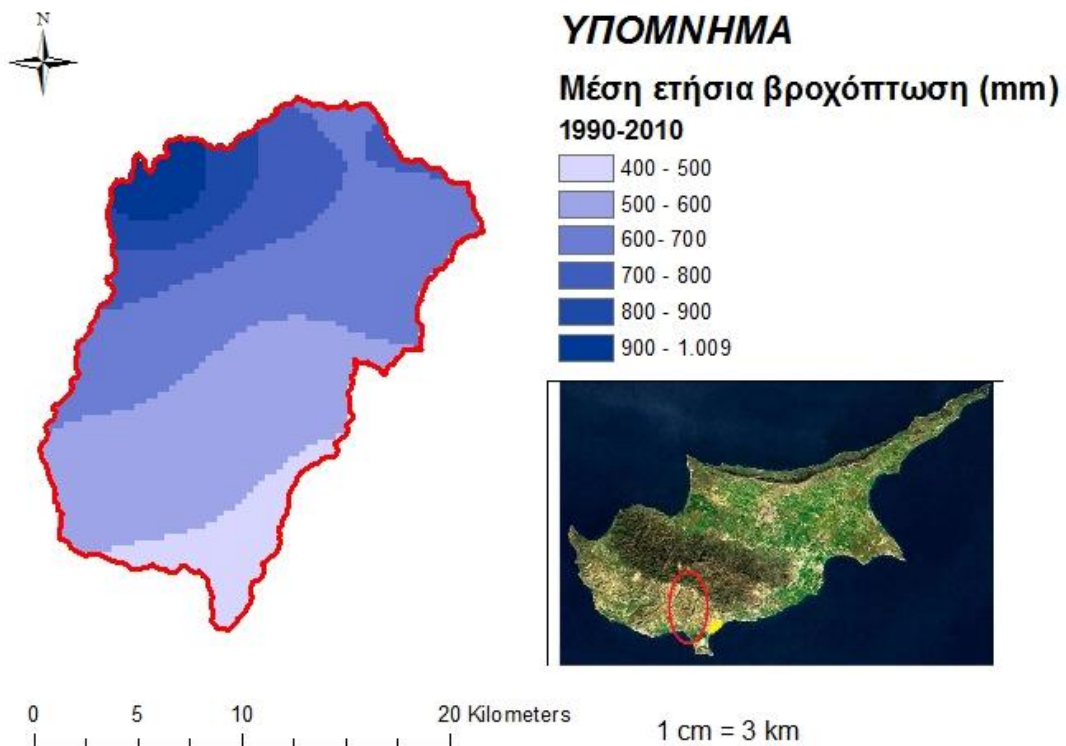
Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της μέρας το καλοκαίρι κυμαίνεται μεταξύ 22 και 36 βαθμών Κελσίου, ενώ το χειμώνα κυμαίνεται μεταξύ 1 και 18 βαθμών Κελσίου ανάλογα με το υψόμετρο της περιοχής (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου 2010).

Παρακάτω παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης για την περίοδο 1990-2010 (Σχήμα 2.3-3) όπως προέκυψε από δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών φράγματος Κούρη και περιοχής Σαϊττά προσαρμοσμένα στο μέσο υψόμετρο λεκάνης.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

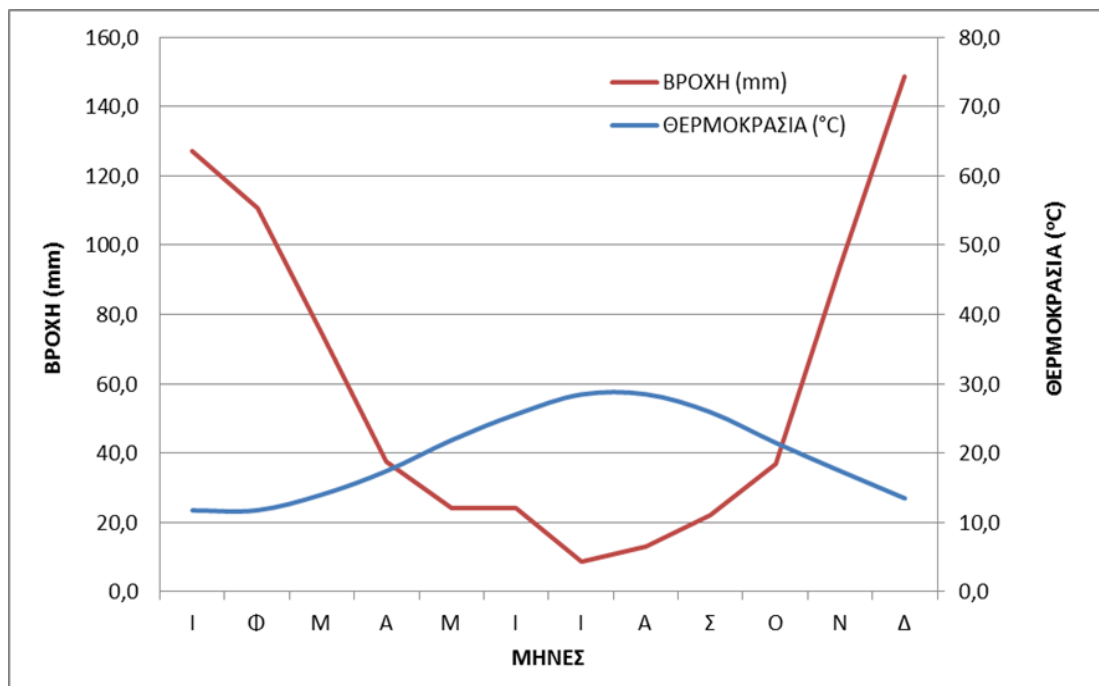


Σχήμα 2.3-1. Βροχομετρικός χάρτης Κύπρου για την περίοδο 1990-2010 (Μετεωρολογική υπηρεσία)



Σχήμα 2.3-2. Βροχομετρικός χάρτης λεκάνης απορροής Κούρη για την περίοδο 1990-2010

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 2.3-3. Ομβροθερμικό διάγραμμα λεκάνης απορροής Κούρη (1990-2010)

## 2.4 Γεωλογικές συνθήκες

### 2.4.1 Γεωλογία-Γεωτεκτονική εξέλιξη Κύπρου

Η Κύπρος γεωλογικά χωρίζεται στις ενότητες (Σχήμα 2.4-1):

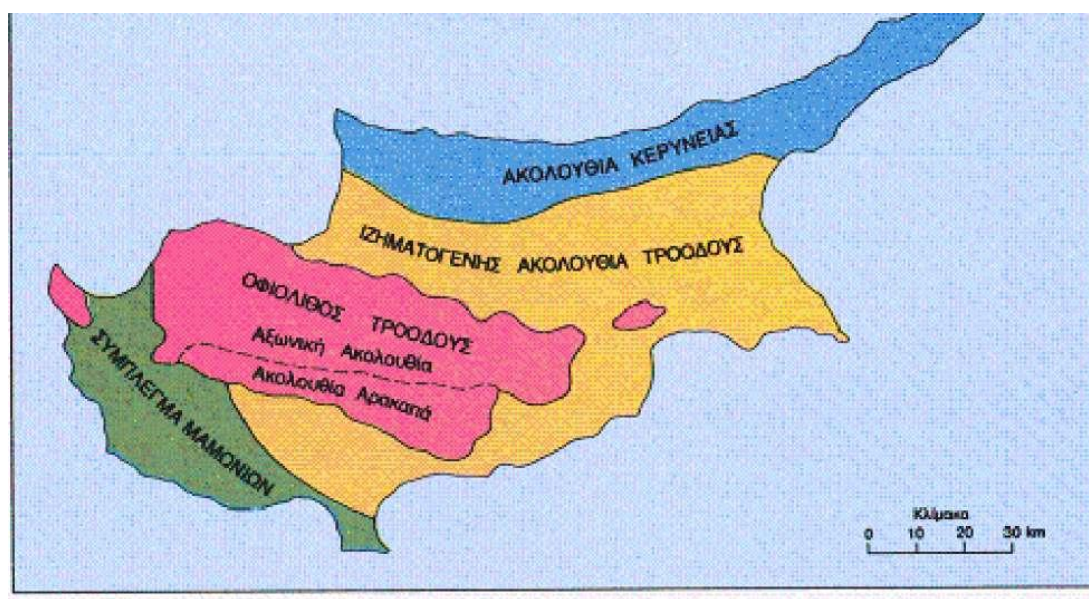
- Οφειόλιθος Τροόδους
- Ακολουθία Κερύνειας
- Ιζηματογενής ακολουθία Τροόδους
- Σύμπλεγμα Μαμωνιών

Η γεωτεκτονική εξέλιξη της Κύπρου συντελέστηκε μέσα από μια σειρά τεκτονικών επεισοδίων. Η καταβύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα της Ευρασίας είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του Οφειόλιθου του Τροόδους (Ανώτερο Κρητιδικό, 90 εκ. χρόνια). Ακολουθεί η αποκόλληση και αριστερόστροφη περιστροφή του κατά 90° και την επώθηση σ' αυτό παλαιότερων πετρωμάτων ηλικίας 230 μέχρι 75 εκ. χρόνων στη νότια και δυτική περιφέρεια του (Ζώνη Μαμωνιών) (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2010).

Ακολούθησε σχετική τεκτονική ηρεμία, που επικράτησε στην περίοδο από 75 μέχρι 10 εκατομμύρια χρόνια πριν και χαρακτηρίστηκε από την απόθεση θαλάσσιων ασβεστολιθικών ιζημάτων και τη βαθμιαία μείωση του βάθους των θαλασσών (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας). Η επώθηση της οροσειράς του Πενταδακτύλου στη βόρεια πλευρά της Ζώνης του Τροόδους και η ανύψωση της Κύπρου στη σημερινή της σχεδόν μορφή ξεκίνησε το

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Μειόκαινο (10-15 εκ. χρόνια) και αποτέλεσε το προτελευταίο τεκτονικό επεισόδιο (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2010).



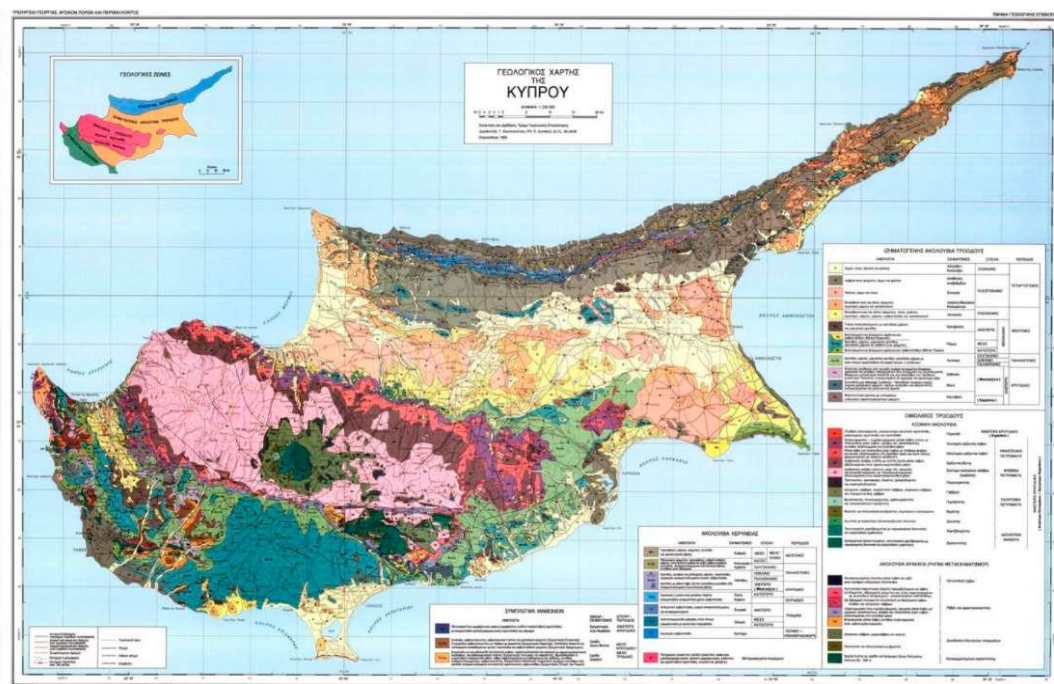
Σχήμα 2.4-1. Γεωλογικές ζώνες της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2008)

Κατά το τέλος του Μειόκαινου (6 εκ. χρόνια), στο βορειότερο τμήμα της περιοχής που θα αποτελούσε την Κύπρο, μια σειρά από αλλόχθονους ασβεστόλιθους (Ζώνη Πενταδακτύλου) επωθήθηκε νότια πάνω στις παρυφές της Ζώνης του Τροόδους, πτυχώνοντας και εκτοπίζοντας όλα τα νεότερα ιζήματα που συνάντησε στην πορεία της. Ανατολικά της Κύπρου, η Τηθύς θάλασσα έκλεισε και η Μεσόγειος απέκτησε σχεδόν το σημερινό της σχήμα (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2010).

Η επανένωση της Μεσογείου με τον Ατλαντικό (μέσω του Γιβραλτάρ), ο κατακλυσμός της από τα νερά του Ατλαντικού και η ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την εκ νέου απόθεση ιζημάτων, που αντιπροσωπεύονται σήμερα από τις μάργες και τους ασβεστολιθικούς ψαμμίτες (πρωόλιθους) των Σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσης (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2010).

Η απότομη ανύψωση του χώρου της Κύπρου έγινε κατά το Πλειστόκαινο, πριν από 2 περίπου εκατομμύρια χρόνια (τελευταίο τεκτονικό επεισόδιο), οπότε αναδύθηκαν το σημερινό Τρόδος και ο Πενταδάκτυλος (υψόμετρα πιο ψηλά από τα σημερινά). Η ανύψωση αυτή, συνδυασμένη με έντονη βροχόπτωση, είχε ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη διάβρωση των οροσειρών, κυρίως εκείνης του Τροόδους, και τη μεταφορά τεράστιων ποσοτήτων προϊόντων διάβρωσης (κλαστικές αποθέσεις) που αποτέθηκαν στις κοιλάδες των μεγάλων ποταμών και στο χώρο της Μεσαορίας, σχηματίζοντας τα κλασικά πλειστοκαινικά ιζήματα (Σύναγμα) (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης 2010).

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



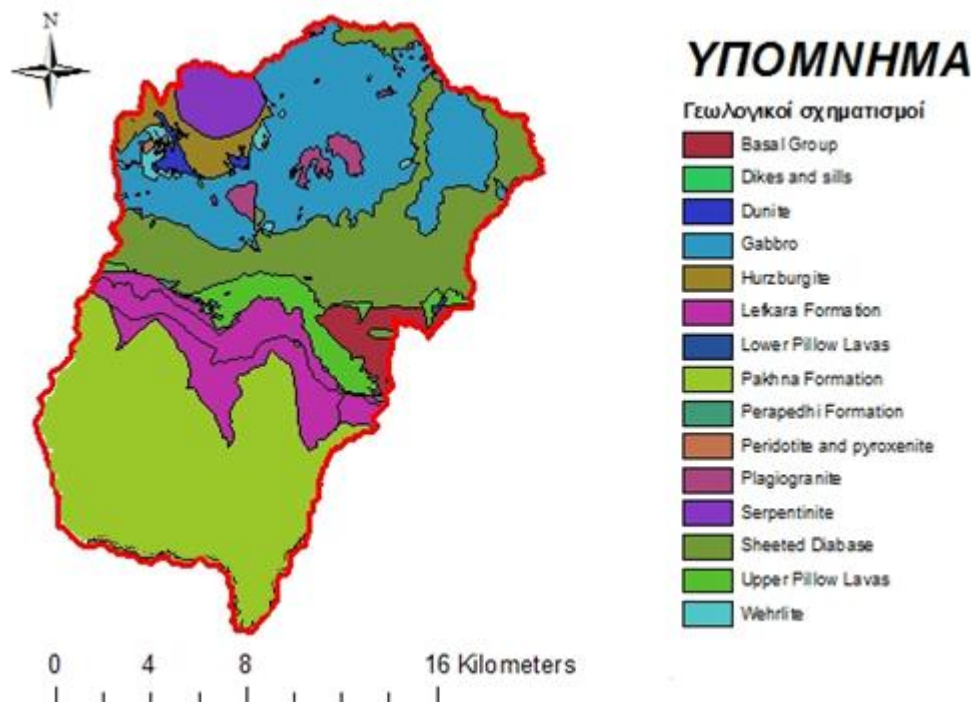
Σχήμα 2.4-2. Γεωλογικός χάρτης της Κύπρου (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, 1986)

### 2.4.2 Γεωλογικές συνθήκες λεκάνης απορροής

Στην λεκάνη απορροής του Κούρη εντοπίζονται στα ορεινά η οφειολιθική ακολουθία του Τροόδου και πιο συγκεκριμένα από τα χαμηλότερα υψόμετρα μέχρι την κορυφή του Τροόδου εντοπίζονται μαξιλαροειδής αποθέσεις (pillow lavas), διαβασικές φλέβες, γάββροι, διορίτες, γρανοδιορίτες, βερλίτες, χαρτζβουργίτες και σερπεντινίτες (Σχήμα 2.4-3).

Όλα τα παραπάνω πετρώματα έχουν ηλικία Άνω Κρητιδικού. Σε μικρότερα υψόμετρα εντοπίζονται οι Κρητίδες και Μάργες του σχηματισμού των Λευκάρων (Παλαιογενές), οι Κρητίδες και Μάργες του σχηματισμού της Πάχνας (Μ.Μειόκαινο) και τέλος στα πιο μικρά υψόμετρα εντοπίζονται άμμοι και χαλίκια ηλικίας Ολοκαίνου.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 2.4-3 Χάρτης γεωλογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής Κούρη

### 2.5 Κάλυψη Γης

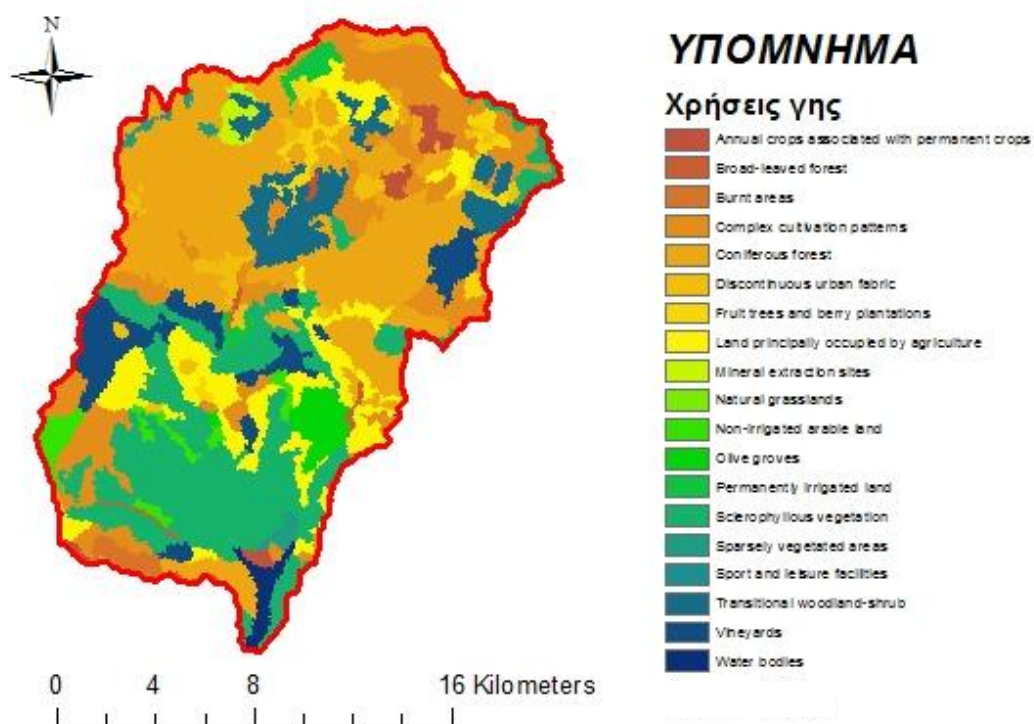
Η κατανομή της κάλυψης γης έγινε σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover 2012. Το πρόγραμμα Corine Land Cover 2012, είναι μία κοινή πρωτοβουλία της Επιτροπής της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της αντιπροσωπείας της για το περιβάλλον. Ήταν μια προσπάθεια καταγραφής και χαρτογράφησης της κάλυψης της γης στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης Περιλαμβάνει περιβαλλοντικές παραμέτρους και πληροφορίες. Το Corine Land Cover είναι μια πλήρης διαθέσιμη βάση δεδομένων που χωρίζει τις συμμετέχουσες στο πρόγραμμα χώρες σε 43 κατηγορίες κάλυψης γης.

Η ταξινόμηση της κάλυψης γης έγινε σύμφωνα με τις 43 κατηγορίες (Σχήμα 2.5-1) και στη συνέχεια χωρίστηκε σε 4 βασικές κατηγορίες (Σχήμα 2.5-1) (Ηλιάδης, 2010). Οι κατηγορίες είναι οι εξής: Αγροτικές περιοχές, Δάση και ημιφυσικές περιοχές, τεχνητές επιφάνειες και επιφανειακά ύδατα.

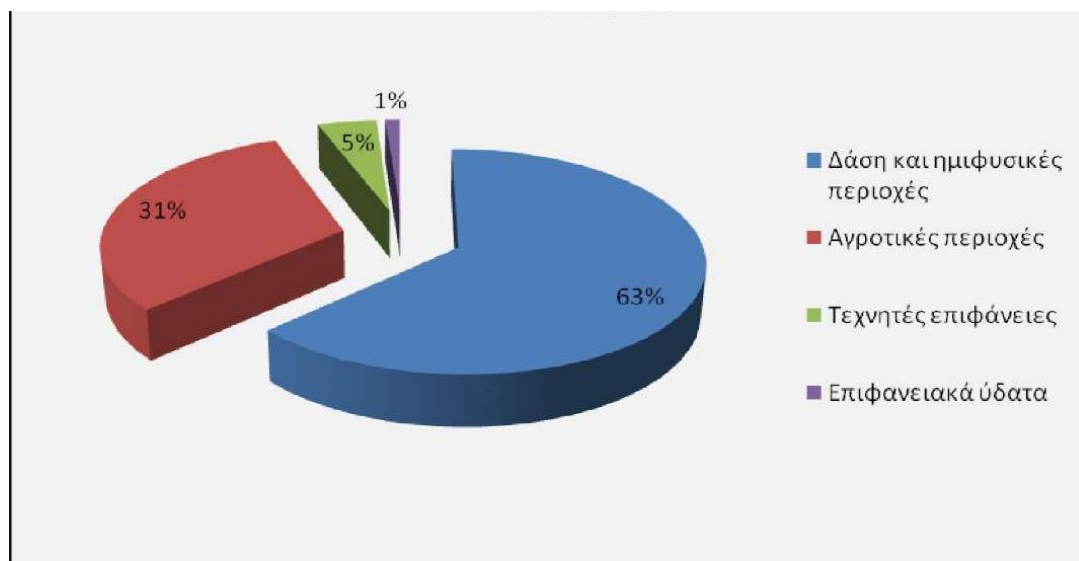
Τα δάση και οι ημιφυσικές περιοχές καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση στην λεκάνη απορροής με ποσοστό 63% ή αντίστοιχα 194 km<sup>2</sup>. Ακολουθούν οι αγροτικές περιοχές με ποσοστό 31% ή αντίστοιχα 95 km<sup>2</sup>. Ακολουθούν οι τεχνητές επιφάνειες με εμβαδόν 15 km<sup>2</sup> (5%) και τέλος τα επιφανειακά ύδατα με έκταση 4 km<sup>2</sup> (1%) (Ηλιάδης, 2010).



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 2.5-1 Χάρτης κάλυψης γης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2012



Σχήμα 2.5-2. Ποσοστά κάλυψης γης ανά κατηγορία για την λεκάνη απορροής Κούρη (Ηλιάδης, 2010)

## 2.6 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες

Από επεξεργασμένα δεδομένα από το υπουργείο γεωργίας της Κύπρου προκύπτει το είδος της καλλιέργειας, η αρδεύσιμη γη όπως και η ζήτηση σε νερό για το κάθε είδος, για τη λεκάνη απορροής Κούρη (Πίνακας 2.6-1).

Πίνακας 2.6-1. Καλλιέργειες, αρδεύσιμη γη και ζήτηση νερού ανά καλλιέργεια (Υπουργείο Γεωργίας Κύπρου 2010)

Κούρης ποταμός	Εσπεριδοειδή	Φυλλοβόλα	Ελιές	Αμπελώνες	Πατάτες	Λαχανικά	Σύνολο
Ζήτηση νερού (10000m <sup>3</sup> )	201	4341	164	315	10	55	5086
Αρδεύσιμη γη (1000m <sup>2</sup> )	364	6309	486	1175	66	123	8522

Επίσης όσο αφορά την κτηνοτροφία, το είδος του ζώου, ο αριθμός ανά είδος και οι ανάγκες σε νερό δίνονται από τον Πίνακα 2.6-2.

Πίνακας 2.6-2. Είδος ζώου, αριθμός ανά είδος και οι ανάγκες σε νερό (Υπουργείο Γεωργίας Κύπρου 2010).

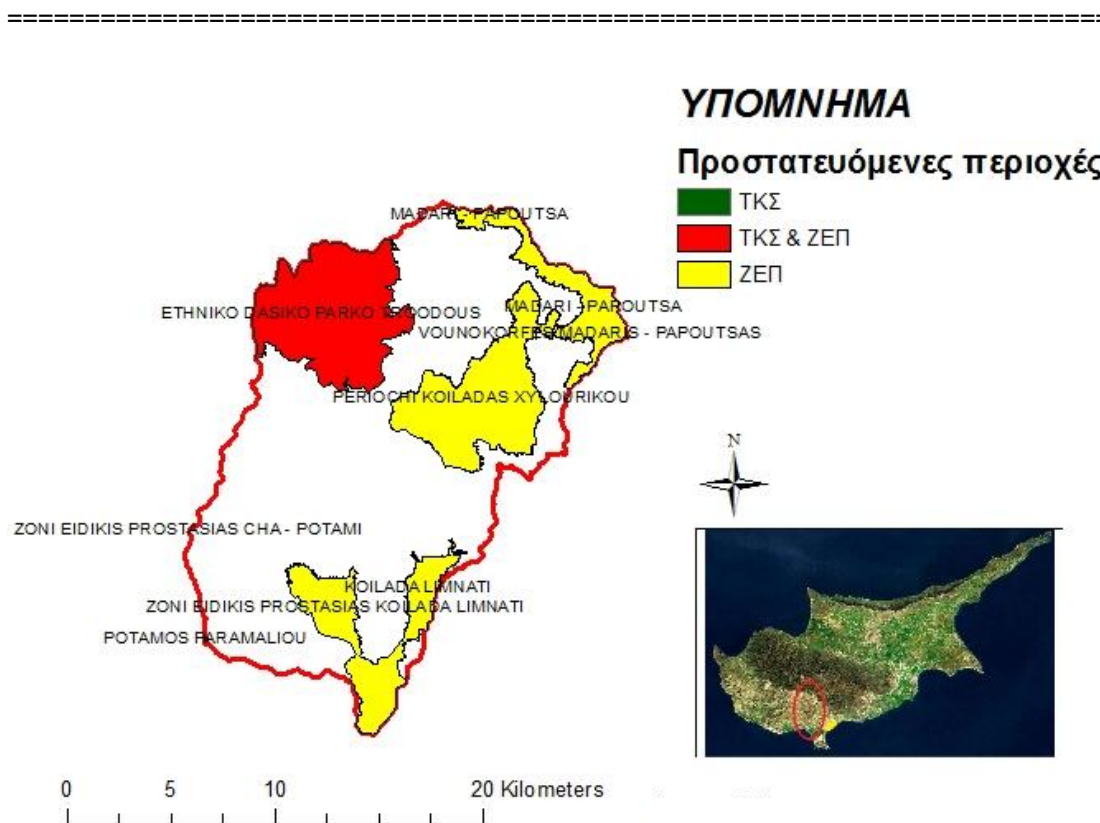
Κούρης ποταμός	Βοοειδή	Χοίροι	Πρόβατα	Κατσίκες	Πουλερικά	Σύνολο
Αριθμός ζώων	0	218	4572	27824	0	32614
Ζήτηση νερού (1000m <sup>3</sup> )	0	1194	13350	81249	0	95793

Στοιχεία για μεγάλες βιομηχανικές μονάδες στην περιοχή δεν υπάρχουν παρά μόνο μικρές βιοτεχνίες και εργαστήρια.

## 2.7 Προστατευόμενες Περιοχές

Σύμφωνα με δεδομένα του Τμήματος Περιβάλλοντος, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.7-1 οι προστατευόμενες περιοχές της λεκάνης απορροής που εμπίπτουν στο δίκτυο Natura 2000. Στις Ζώνες Ειδικής Προστασίας και στους Τόπους Κοινοτικής Σημασίας υπάγεται το Εθνικό Πάρκο Τροόδου που καλύπτει μία έκταση 37,9 km<sup>2</sup> (12,3%). Ενώ στις Ζώνες Ειδικής Προστασίας υπάγονται η κοιλάδα Λιμνάτη, η κοιλάδα Ξυλούρικου και η κοιλάδα και βουνοκορφή Μάδαρη-Παπουτσά που καλύπτουν συνολικά μία έκταση 78,5 km<sup>2</sup> (24,6%).

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 2.7-1. Χάρτης προστατευόμενων περιοχών λεκάνης απορροής Κούρη

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ**

### **ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **3.1 Βροχόπτωση**

Τα βροχομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, τα οποία είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων έχουν καταγραφεί από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στην λεκάνη απορροής.

Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχωρηθεί από την Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου ως συνολικές μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεων για το διάστημα Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2010.

Ο πρώτος μετεωρολογικός σταθμός συναντάται στην έξοδο της λεκάνης απορροής, στο φράγμα Κούρη, σε υψόμετρο 218 m και ο δεύτερος κοντά στο κέντρο βάρους της λεκάνης σε υψόμετρο 640 m (Σχήμα 2.1-1).

##### **3.1.1 Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών βροχοπτώσεων και αναγωγή στο μέσο υψόμετρο λεκάνης**

Οι μετρήσεις βροχόπτωσης που λαμβάνονται από τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους είναι σημειακές και ως εκ τούτου αντιπροσωπεύουν το σημείο στο οποίο μετρήθηκε η βροχόπτωση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, όμως, ιδιαίτερη σημασία έχει η επιφανειακή βροχόπτωση, η βροχόπτωση, δηλαδή, που αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη λεκάνη απορροής. Για το λόγο αυτό, σε μια λεκάνη απορροής εγκαθίσταται δίκτυο βροχογράφων, οι θέσεις των οποίων θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να περιγράψουν όσο το δυνατόν καλύτερα τη χωρική διαφοροποίηση της βροχής. Κατόπιν, οι σημειακές μετρήσεις των βροχογράφων ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας κάποια από τις μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης.

Υπάρχει πληθώρα μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης. Αυτές μπορούν να διαχωριστούν στις μεθόδους άμεσης ολοκλήρωσης και στις μεθόδους προσαρμογής επιφάνειας (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Οι μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση απευθείας, από τις τιμές της σημειακής βροχόπτωσης. Οι πιο γνωστές μέθοδοι που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία είναι η μέθοδος του μέσου όρου, η μέθοδος Thiessen, η μέθοδος δύο αξόνων του Bethlahmy και η μέθοδος βέλτιστης ολοκλήρωσης (kriging). Αντίθετα οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας εκτιμούν πρώτα τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στην υπό εξέταση περιοχή και με βάση αυτή, υπολογίζουν την επιφανειακή

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

βροχόπτωση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η μέθοδος των ισουΐτιων, η μέθοδος υπολογιστικής γραμμικής παρεμβολής, η μέθοδος της αντίστροφης απόστασης κ.ά. (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2003).

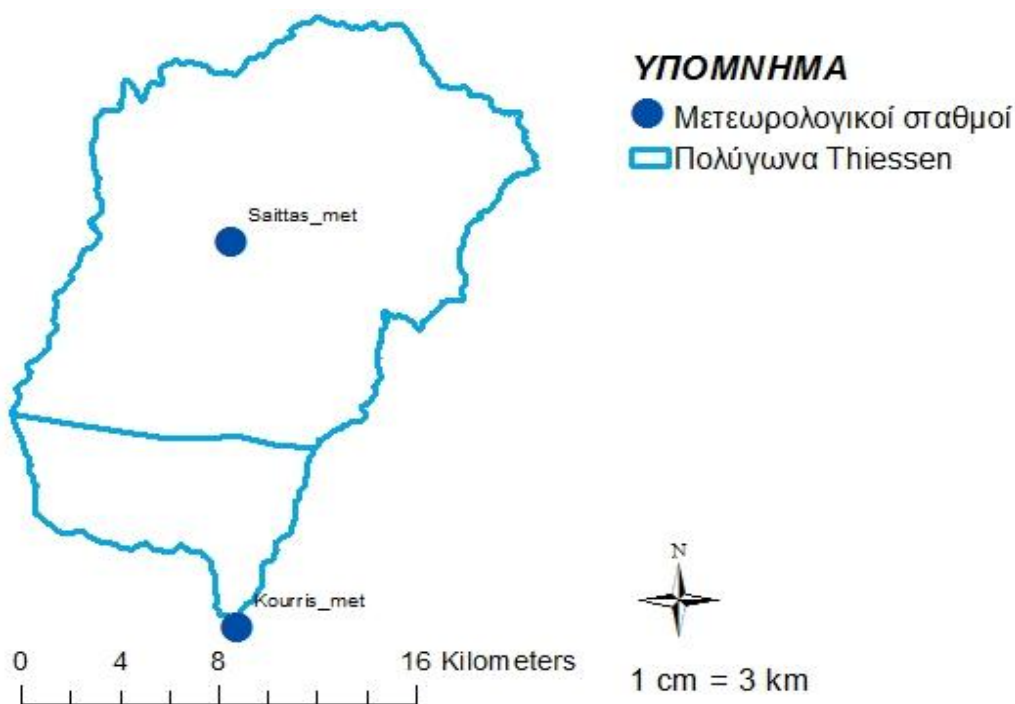
Στην εργασία αυτή η επιφανειακή βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης υπολογίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου Thiessen. Σύμφωνα με αυτή την κλασική μέθοδο, η συνολική επιφάνεια  $A$  χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής  $A_j$ , μία για κάθε σταθμό, έτσι ώστε:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A$$

Ο συντελεστής βάρους θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή:

$$w_i = \frac{A_i}{A}$$

Οι ζώνες επιρροής (Πίνακας 3.1-1) προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού  $i$  να απέχει από τη θέση του σταθμού  $i$  λιγότερο απ' όσο απέχει από οποιοδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Η αρχή αυτή οδηγεί άμεσα σε μια απλή γεωμετρική κατασκευή των ζωνών επιρροής βασισμένη στις μεσοκαθέτους των ευθυγράμμων τμημάτων που συνδέουν τους σταθμούς ανά ζεύγη. Προκύπτουν έτσι τα γνωστά πολύγωνα Thiessen (Σχήμα 3.1-1).



Σχήμα 3.1-1. Πολύγωνα Thiessen λεκάνης απορροής Κούρη

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Πίνακας 3.1-1. Ποσοστά πολυγώνων Thiessen λεκάνης απορροής Κούρη

Σταθμός	Υψόμετρο (mm)	Ζώνη επιρροής (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό (%)
Κούρης	218	57,14	18,52
Σαϊπάς	640	250,96	81,48

Το επιφανειακό ύψος βροχής που υπολογίζεται με τη μέθοδο Thiessen δεν λαμβάνει υπόψη το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης, αλλά το υψόμετρο των σταθμών. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η διόρθωση της επιφανειακής βροχόπτωσης που προκύπτει από τη μέθοδο, με βάση το πραγματικό μέσο υψόμετρο της πειραματικής λεκάνης, το οποίο εδώ είναι 808 m. Η διόρθωση προϋποθέτει την εκτίμηση της βροχοβαθμίδας και της διαφοράς του μέσου υψόμετρου των σταθμών (που χρησιμοποιεί η μέθοδος Thiessen) από το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2003).

Παρά τη μεγάλη ηλικία της, η μέθοδος παραμένει και σήμερα ευρέως διαδεδομένη, λόγω της απλότητας στην εφαρμογή της και των αξιόπιστων εκτιμήσεών της. Οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι τόσο καλύτερες όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών και όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική κλίμακα μελέτης.

Η επιφανειακή βροχόπτωση για την περιοχή μελέτης υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων των ποσοστών επιρροής του κάθε σταθμού επί την αντίστοιχη τιμή της σημειακής βροχόπτωσης για κάθε μήνα (το χρονικό βήμα των υπολογισμών είναι μηνιαίο), δηλαδή:

$$P = \sum_{i=1} w_i P_i$$

Όπου  $W_i$ , είναι το ποσοστό επιρροής του κάθε σταθμού  $i$  και  $P_i$  η ημερήσια βροχόπτωση που αντιστοιχεί στο σταθμό που επηρεάζει το αντίστοιχο πολύγωνο.

Έπειτα για να πραγματοποιηθεί η αναγωγή της βροχόπτωσης στο μέσο υψόμετρο λεκάνης, αναγκαίο βήμα αποτελεί η εκτίμηση της βροχοβαθμίδας της λεκάνης. Αυτή εκτιμάται προβάλλοντας σε κοινό διάγραμμα τη μέση ετήσια βροχόπτωση κάθε σταθμού με το αντίστοιχο υψόμετρο του σταθμού (όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3-2) και θεωρώντας τη σχέση των δύο ως γραμμική, προκύπτει η βροχοβαθμίδα ως η κλίση της ευθείας τάσης.

Έτσι, το ανηγμένο επιφανειακό ύψος βροχής  $P_t'$  για κάθε μήνα της υπό μελέτη περιόδου δίδεται από την εξίσωση:

$$P_t' = P_t + \lambda * \Delta h$$

Όπου:

$P_t$ : Συνολική επιφανειακή βροχόπτωση κατά Thiessen

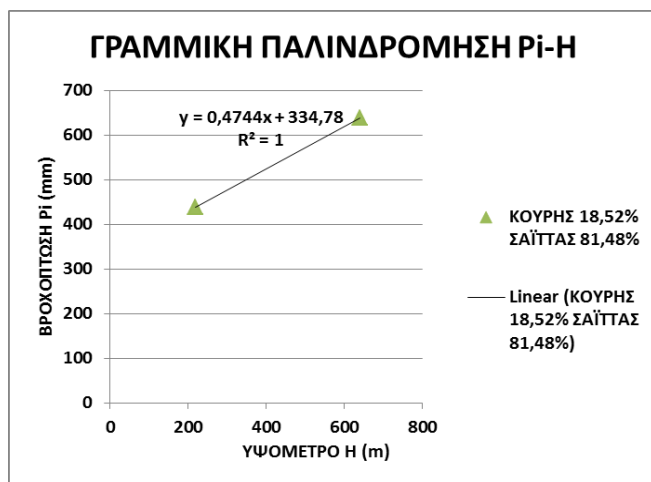
$\lambda$ : Βροχοβαθμίδα (mm/100m)

$\Delta h$ : Διαφορά του μέσου σταθμισμένου υψόμετρου από τη μέθοδο Thiessen από το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Στον Πίνακα 3.1-2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την υπό μελέτη λεκάνη, ύστερα από την εφαρμογή της μεθόδου.

Στον Πίνακα 3.1-3 παρουσιάζεται η συνολική επιφανειακή βροχόπτωση σε μηνιαία βάση της λεκάνης απορροής Κούρη για την περίοδο 1990-2010.



Σχήμα 3.1-2. Μέση ετήσια βροχόπτωση – υψόμετρο σταθμών με σκοπό την εκτίμηση της βροχοβαθμίδα

Πίνακας 3.1-2. Υπολογισμός συντελεστή αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης

<b>Δh (m)</b>	245,9
<b>Βροχοβαθμίδα (mm/100 m)</b>	47,44
<b>Pt' (mm)</b>	717,96
<b>Συντελεστής αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης</b>	1,19

Πίνακας 3.1-3. Συνολική μηνιαία βροχόπτωση λεκάνης απορροής Κούρη

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	4,92	26,95	62,56	110,48	102,75	111,04	25,62	2,73	26,75	0,58	1,17	0,00
1991-92	32,45	57,33	416,04	36,12	120,71	68,57	68,77	31,57	18,29	12,05	0,68	10,70
1992-93	10,06	211,98	171,01	104,27	82,64	114,27	24,07	31,16	1,49	0,00	3,60	0,00
1993-94	0,78	69,94	18,16	241,41	127,65	81,99	29,23	56,67	14,11	12,06	20,92	50,36
1994-95	92,83	325,27	61,04	135,89	57,12	51,92	14,81	20,16	0,07	23,59	1,26	2,60
1995-96	11,04	89,82	25,70	204,70	79,40	87,46	44,50	0,45	3,79	0,00	0,00	1,84
1996-97	62,75	26,16	167,77	18,31	124,43	85,17	79,81	12,48	68,20	5,78	5,35	44,49
1997-98	30,11	116,36	150,32	51,17	35,16	117,97	17,73	22,69	15,42	0,00	0,00	32,12
1998-99	15,39	120,41	221,50	74,41	108,24	78,81	13,92	1,44	94,15	0,00	11,87	9,63
1999-2000	11,50	23,82	63,42	130,83	100,37	51,32	86,54	21,04	0,19	0,68	10,12	6,29
2000-01	29,60	182,45	152,38	86,54	127,74	14,77	57,48	35,65	0,00	0,97	38,62	1,22
2001-02	34,58	78,31	417,86	134,32	75,06	69,34	52,60	57,44	16,25	18,10	35,32	6,32
2002-03	5,99	34,74	231,93	109,76	222,85	168,34	50,96	2,79	34,25	3,99	0,00	2,43
2003-04	30,12	28,50	201,78	452,17	101,11	3,18	27,50	1,77	23,24	0,00	1,17	2,43
2004-05	51,65	132,07	121,21	169,89	86,95	52,66	35,46	12,06	98,25	3,11	19,65	22,06
2005-06	16,84	108,96	51,55	83,91	107,07	57,73	20,21	7,35	30,55	47,49	3,31	4,68
2006-07	201,53	50,25	12,77	76,38	199,06	54,11	14,91	56,30	3,31	39,30	41,35	0,00
2007-08	55,79	71,58	136,73	54,28	72,26	40,79	1,91	1,97	3,70	0,68	22,38	79,82
2008-09	32,55	29,72	141,16	141,21	171,58	102,56	49,07	81,35	4,48	0,00	33,76	142,23
2009-10	68,87	63,05	256,77	190,15	148,02	5,22	5,22	23,36	23,36	26,08	0,00	53,61
<b>AVERAGE</b>	<b>38,45</b>	<b>93,93</b>	<b>148,68</b>	<b>127,16</b>	<b>110,64</b>	<b>74,32</b>	<b>37,64</b>	<b>24,06</b>	<b>24,02</b>	<b>8,86</b>	<b>13,18</b>	<b>22,06</b>
<b>MIN</b>	<b>0,78</b>	<b>23,82</b>	<b>12,77</b>	<b>18,31</b>	<b>35,16</b>	<b>3,18</b>	<b>1,91</b>	<b>0,45</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>MAX</b>	<b>201,53</b>	<b>325,27</b>	<b>417,86</b>	<b>452,17</b>	<b>222,85</b>	<b>168,34</b>	<b>86,54</b>	<b>81,35</b>	<b>98,25</b>	<b>47,49</b>	<b>41,35</b>	<b>142,23</b>

### 3.2 Θερμοκρασία

Τα θερμοκρασιακά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της δυναμικής εξαμισοδιαπνοής και την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων, έχουν καταγραφεί από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στην λεκάνη απορροής όπως αναφέρεται και πιο πάνω. Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχωρηθεί από την Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου ως μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για το διάστημα Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2010.

Όπως η βροχόπτωση έτσι και η θερμοκρασία για την περιοχή μελέτης υπολογίζεται από το άθροισμα των γινομένων των ποσοστών επιρροής του κάθε σταθμού επί την αντίστοιχη τιμή της σημειακής θερμοκρασίας για κάθε μήνα.

Έπειτα για να πραγματοποιηθεί η αναγωγή της θερμοκρασίας στο μέσο υψόμετρο λεκάνης, αναγκαίο βήμα αποτελεί η εκτίμηση της θερμοβαθμίδας της λεκάνης. Αυτή εκτιμάται προβάλλοντας σε κοινό διάγραμμα τη μέση ετήσια θερμοκρασία κάθε σταθμού με το αντίστοιχο υψόμετρο του σταθμού (όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2-1) και θεωρώντας τη σχέση των δύο ως γραμμική, προκύπτει η θερμοβαθμίδα ως η κλίση της ευθείας τάσης.



Σχήμα 3.2-1. Μέση ετήσια θερμοκρασία – υψόμετρο σταθμών με σκοπό την εκτίμηση της θερμοβαθμίδας

Έτσι η ανηγμένη επιφανειακή θερμοκρασία για κάθε μήνα της υπό μελέτη περιόδου δίδεται από την εξίσωση:

$$T_s = T_\sigma - \alpha (z_s - z_\sigma)$$

Όπου:

$T_\sigma$ : Επιφανειακή βροχόπτωση κατά Thiessen

$\alpha$ : Βροχοβαθμίδα (°C/1000m)

$z_s - z_\sigma$ : Διαφορά του μέσου σταθμισμένου υψόμετρου από τη μέθοδο Thiessen από το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης.



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Στον Πίνακα 3.2-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την υπό μελέτη λεκάνη, ύστερα από την εφαρμογή της μεθόδου.

Στον Πίνακα 3.2-2 παρουσιάζεται η μέση επιφανειακή θερμοκρασία σε μηνιαία βάση της λεκάνης απορροής Κούρη για την περίοδο 1990-2010.

**Πίνακας 3.2-1. Υπολογισμός συντελεστή αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης**

$z_s - z_\sigma$ (m)	245,9
Θερμοβαθμίδα ( $^{\circ}\text{C}/1000$ m)	6,9
$T_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	15,9
Συντελεστής αναγωγής στο μέσο υψόμετρο λεκάνης	0,90

**Πίνακας 3.2-2. Μέση μηνιαία θερμοκρασία λεκάνης απορροής Κούρη**

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ( $^{\circ}\text{C}$ )												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	18,9	15,4	10,6	8,1	8,3	12,0	14,7	17,2	21,5	23,0	23,2	21,3
1991-92	18,2	13,2	7,6	6,1	5,1	8,4	13,0	16,5	20,5	22,6	24,2	21,0
1992-93	19,0	12,7	7,1	7,1	6,3	9,4	13,7	15,9	21,5	24,1	24,8	21,8
1993-94	20,4	12,8	11,1	9,7	8,6	10,2	15,8	18,5	21,7	24,0	24,8	23,5
1994-95	19,7	11,8	8,0	8,2	9,3	10,3	12,8	18,2	23,1	23,9	24,5	21,5
1995-96	17,4	10,6	9,0	7,6	9,1	9,5	12,0	19,8	22,8	25,1	24,6	21,3
1996-97	16,2	14,7	10,8	9,0	6,9	8,5	11,2	18,5	21,5	24,0	22,2	20,2
1997-98	17,7	13,7	9,8	8,1	9,4	9,0	15,3	17,7	22,0	25,2	25,8	21,7
1998-99	18,7	14,7	10,2	9,3	8,9	11,0	14,3	19,7	21,6	24,3	24,3	21,7
1999-2000	18,6	13,9	11,5	6,6	7,8	9,1	14,2	17,6	22,7	26,0	24,2	21,4
2000-01	17,5	14,3	10,3	9,3	9,0	13,9	14,5	18,2	22,3	24,7	23,7	21,2
2001-02	17,5	12,6	8,9	7,0	10,8	11,9	13,1	16,8	21,7	24,9	23,8	21,3
2002-03	18,5	14,5	8,9	10,1	7,0	8,6	13,2	20,6	22,0	24,8	24,9	21,2
2003-04	18,3	14,0	10,0	7,3	8,3	11,9	13,8	17,5	21,5	24,7	23,5	21,6
2004-05	19,3	13,3	9,1	8,5	8,0	11,2	14,5	17,8	20,5	24,4	23,8	21,4
2005-06	16,5	12,0	10,8	7,9	8,4	10,1	14,3	17,9	22,2	23,5	24,9	21,7
2006-07	17,0	11,3	8,8	7,8	8,2	10,2	12,7	18,8	22,4	25,1	24,3	21,4
2007-08	18,8	13,8	9,5	6,8	8,0	13,6	16,3	17,8	21,2	24,8	25,4	21,0
2008-09	17,3	14,6	10,4	9,1	8,5	9,3	13,9	16,8	23,0	24,7	24,0	20,8
2009-10	19,5	13,1	10,8	9,8	10,3	12,9	12,9	15,0	15,0	18,9	21,6	24,1
AVERAGE	18,18	13,36	9,61	8,08	8,21	10,41	13,86	17,98	21,88	24,41	24,25	21,42
MIN	16,25	10,57	7,07	6,07	5,10	8,36	11,21	14,99	14,99	18,94	21,56	20,22
MAX	20,43	15,43	11,51	10,06	10,78	13,85	16,31	20,58	23,08	25,99	25,84	24,11

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

### **3.3 Σχετική υγρασία / Σχετική ηλιοφάνεια / Ταχύτητα ανέμου**

Η σχετική υγρασία, η σχετική ηλιοφάνεια και η ταχύτητα ανέμου είναι απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων και έχουν καταγραφεί από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στην λεκάνη απορροής όπως αναφέρεται και πιο πάνω.

Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχωρηθεί από την Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου ως μέσες μηνιαίες τιμές για το διάστημα Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2010.

Έπειτα από προσαρμογή στην επιφάνεια της λεκάνης (μέθοδος Thiessen), τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.3-1–3.3-3.

**Πίνακας 3.3-1. Μέση μηνιαία σχετική υγρασία λεκάνης απορροής Κούρη**

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	55,1	56,1	63,5	69,3	72,6	67,5	55,3	49,9	46,2	47,9	50,7	43,1
1991-92	56,8	70,3	80,6	70,8	70,1	62,8	55,8	61,6	58,9	54,3	46,7	47,1
1992-93	48,6	64,7	73,6	69,5	66,5	61,0	55,4	63,8	47,6	44,4	42,2	43,7
1993-94	44,9	59,7	70,1	72,0	68,5	69,8	54,1	54,8	44,0	47,7	44,6	48,7
1994-95	62,6	70,8	73,4	78,2	68,7	68,1	59,9	50,2	45,9	46,8	48,6	49,9
1995-96	52,9	67,5	71,4	73,8	74,6	76,2	66,1	52,6	41,0	48,7	48,3	50,4
1996-97	60,2	59,6	77,2	62,9	69,7	63,9	61,1	52,8	54,2	43,7	58,3	49,3
1997-98	65,2	67,0	76,9	72,0	62,2	71,7	56,4	58,6	49,0	45,2	43,8	54,4
1998-99	54,0	72,1	79,3	75,8	69,2	59,1	57,2	47,0	56,4	51,7	59,3	52,6
1999-2000	58,8	55,7	62,7	70,1	69,9	69,9	67,2	60,3	42,0	36,7	42,8	51,3
2000-01	55,1	55,3	71,6	73,4	68,1	59,2	57,6	53,1	39,2	44,9	57,4	55,6
2001-02	60,7	74,2	82,3	69,3	60,4	64,1	67,0	58,5	49,4	47,1	53,5	60,7
2002-03	54,7	55,9	75,2	77,8	76,0	73,6	66,5	59,2	55,3	42,7	46,4	51,1
2003-04	56,5	64,0	70,3	77,8	72,8	54,1	52,1	50,6	49,8	40,7	53,6	50,0
2004-05	55,2	67,6	70,8	71,0	68,0	64,0	56,9	53,2	54,5	49,0	53,1	50,1
2005-06	54,6	63,7	63,1	74,2	70,4	69,5	61,2	55,5	46,3	49,8	50,8	55,1
2006-07	69,6	72,5	58,2	67,3	74,5	63,9	56,8	60,2	47,2	41,9	53,2	50,1
2007-08	54,4	65,5	78,7	65,4	67,5	56,9	52,0	52,4	40,0	43,4	48,9	62,0
2008-09	64,9	66,2	64,5	73,0	78,8	67,2	57,0	56,5	39,3	43,5	47,7	58,8
2009-10	56,1	68,0	80,6	78,5	69,0	58,0	58,0	55,7	55,7	51,6	55,6	53,9
<b>AVERAGE</b>	<b>57,09</b>	<b>64,65</b>	<b>71,76</b>	<b>71,77</b>	<b>69,92</b>	<b>65,40</b>	<b>58,72</b>	<b>55,32</b>	<b>47,69</b>	<b>45,79</b>	<b>49,99</b>	<b>51,79</b>
<b>MIN</b>	<b>44,86</b>	<b>55,25</b>	<b>58,18</b>	<b>62,87</b>	<b>60,36</b>	<b>54,11</b>	<b>52,02</b>	<b>47,01</b>	<b>39,23</b>	<b>36,72</b>	<b>42,19</b>	<b>43,13</b>
<b>MAX</b>	<b>69,59</b>	<b>74,22</b>	<b>82,34</b>	<b>78,51</b>	<b>78,82</b>	<b>76,15</b>	<b>67,19</b>	<b>63,81</b>	<b>58,90</b>	<b>54,32</b>	<b>59,31</b>	<b>62,03</b>

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

**Πίνακας 3.3-2. Μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια λεκάνης απορροής Κούρη**

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ (h)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	8,6	7,5	5,6	5,3	5,6	6,2	8,9	9,4	11,5	11,9	11,1	10,0
1991-92	7,5	6,4	3,1	5,6	5,1	6,0	9,1	9,1	11,3	11,2	11,3	10,1
1992-93	9,2	5,9	4,9	5,4	6,0	7,5	8,9	8,2	11,7	12,3	11,5	10,6
1993-94	8,6	6,7	5,8	5,5	7,0	7,2	8,9	10,9	12,1	11,9	11,1	9,5
1994-95	7,6	6,0	5,4	4,6	7,4	7,8	8,6	10,8	12,1	11,5	11,5	10,3
1995-96	8,9	6,5	5,8	4,2	5,4	5,4	8,1	10,8	12,3	12,2	11,1	10,1
1996-97	8,1	7,0	5,4	6,7	6,5	6,7	7,1	10,9	11,4	12,2	10,6	9,6
1997-98	7,4	6,2	4,1	5,3	6,3	5,8	8,8	8,4	11,7	12,3	11,4	9,5
1998-99	8,7	5,9	4,1	5,1	6,8	7,9	8,9	11,4	11,0	11,7	10,9	9,2
1999-2000	8,4	6,9	6,1	5,2	6,0	7,6	7,0	10,0	12,3	12,2	11,2	9,2
2000-01	7,8	6,9	5,9	6,1	6,6	8,3	8,4	10,4	12,5	11,9	10,4	10,1
2001-02	8,4	6,2	4,0	5,7	7,3	6,5	8,2	10,8	11,5	11,7	10,6	9,5
2002-03	7,6	7,4	3,9	4,9	4,7	6,0	7,8	10,7	11,4	12,0	11,5	10,4
2003-04	8,3	6,7	4,9	4,0	5,4	7,3	9,2	10,7	11,6	12,1	11,4	9,5
2004-05	8,6	5,9	5,2	4,6	5,2	8,1	8,3	10,8	11,8	11,8	11,3	10,1
2005-06	8,5	6,6	5,4	5,0	5,1	6,7	8,9	10,6	11,8	11,3	11,4	10,0
2006-07	7,1	7,3	6,4	6,2	4,8	7,4	8,4	8,9	11,3	11,6	10,7	10,2
2007-08	8,9	6,8	4,9	5,9	6,8	8,2	9,5	10,8	12,3	12,3	10,7	8,7
2008-09	8,2	6,9	5,9	5,0	5,4	6,3	9,1	10,1	12,3	11,9	11,0	8,9
2009-10	8,0	6,7	4,6	3,7	5,4	7,7	7,7	9,6	9,6	10,6	11,1	11,8
AVERAGE	8,24	6,62	5,10	5,27	5,96	7,01	8,53	10,20	11,79	11,89	11,09	9,76
MIN	7,08	5,89	3,06	3,75	4,72	5,37	7,04	8,21	9,63	10,64	10,43	8,72
MAX	9,16	7,54	6,41	6,66	7,39	8,35	9,47	11,43	12,50	12,29	11,49	11,80

**Πίνακας 3.3-3. Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου λεκάνης απορροής Κούρη**

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΣΧΕΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 2 m (m/s)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	1,83	1,60	1,61	1,77	1,85	1,82	1,90	1,78	1,58	1,61	1,63	1,67
1991-92	1,65	1,44	1,61	1,69	2,07	2,06	1,70	1,46	1,46	1,47	1,39	1,34
1992-93	1,38	1,70	1,65	1,83	1,99	1,79	1,58	1,32	1,51	1,30	1,51	1,36
1993-94	1,82	1,51	1,31	1,44	1,60	1,38	1,71	1,47	1,54	1,46	1,45	1,34
1994-95	1,39	1,61	1,27	1,30	1,44	1,61	1,52	1,40	1,44	1,38	1,33	1,40
1995-96	1,49	1,29	1,39	1,29	1,38	1,51	1,52	1,35	1,48	1,05	1,21	1,51
1996-97	1,42	1,82	1,22	1,82	1,40	1,76	1,71	1,37	1,35	1,29	1,37	1,41
1997-98	1,36	1,55	1,37	1,74	1,97	1,59	1,62	1,35	1,34	1,32	1,39	1,41
1998-99	1,54	1,37	1,39	1,52	1,61	1,60	1,50	1,38	1,35	1,30	1,22	1,45
1999-2000	1,45	1,52	1,57	1,73	1,86	1,51	1,40	1,37	1,57	1,41	1,37	1,52
2000-01	1,57	1,69	1,54	1,41	1,62	1,47	1,49	1,41	1,44	1,23	1,28	1,39
2001-02	1,39	1,51	1,29	1,99	1,79	1,75	1,45	1,40	1,50	1,39	1,45	1,47
2002-03	1,36	1,64	1,33	1,44	1,64	1,60	1,54	1,69	1,38	1,33	1,26	1,46
2003-04	1,19	1,57	1,69	1,31	1,57	1,70	1,59	1,47	1,38	1,33	1,13	1,20
2004-05	1,10	1,50	1,62	1,36	1,09	1,38	1,47	1,33	1,06	1,20	1,25	1,30
2005-06	1,34	1,50	1,30	1,54	1,45	1,59	1,24	1,34	1,34	1,29	1,26	1,36
2006-07	1,26	1,18	1,87	1,47	1,33	1,51	1,57	1,20	1,27	0,84	0,75	0,90
2007-08	0,91	0,97	0,82	1,47	1,30	1,18	1,06	1,02	1,12	0,86	0,65	0,72
2008-09	0,87	1,06	1,07	0,91	0,88	0,85	0,91	0,83	0,94	0,86	0,81	0,87
2009-10	0,94	0,80	0,72	0,74	0,85	1,04	1,04	0,90	0,90	0,85	0,90	0,57
AVERAGE	1,39	1,47	1,42	1,53	1,57	1,56	1,50	1,36	1,37	1,26	1,25	1,32
MIN	0,87	0,80	0,72	0,74	0,85	0,85	0,91	0,83	0,90	0,84	0,65	0,57
MAX	1,83	1,82	1,87	1,99	2,07	2,06	1,90	1,78	1,58	1,61	1,63	1,67

### 3.4 Εξάτμιση και διαπνοή

#### 3.4.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροής

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής είναι απαραίτητο δεδομένο για την εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων, η οποία υπολογίζεται σε μηνιαία βάση με την μέθοδο Penmann-Monteith (Penmann, Monteith 1965) χρησιμοποιώντας τα πιο πάνω δεδομένα που αναφέρθηκαν (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, σχετική ηλιοφάνεια και ταχύτητα ανέμου).

##### 3.4.1.1 Μέθοδος Penmann-Monteith

Η μέθοδος Penmann-Monteith ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$E' = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma'} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma'}{\Delta + \gamma'} F(u)D$$

**E'**: η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (kg/(m<sup>2</sup>d))

**γ'**:  $\gamma' = (1 + 0,33u)\gamma$

η τροποποιημένη έκφραση του ψυχομετρικού συντελεστή (hPa/°C), ώστε να λαμβάνει υπόψη την αντίσταση των στομάτων. Η ταχύτητα του ανέμου δίνεται σε (m/s).

**F(u)**:  $F(u) = \frac{90}{T+275}u$   
η τροποποιημένη μορφή της συνάρτησης του ανέμου (kg/( hPa m<sup>2</sup>d)), με T σε (°C) και u πάλι σε (m/s).

**Δ**: η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών (hPa/°C).

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T+237,3)^2}, \text{ όπου } e_s = 6,11e^{\frac{17,27T}{T+237,3}}$$

**R<sub>n</sub>**: η ολική καθαρή ενέργεια ακτινοβολίας (kJ/(m<sup>2</sup>d))

$R_n = S_n - L_n$ , όπου:

**S<sub>n</sub>**: αλγεβρικό άθροισμα εισερχόμενης μείον ανακλώμενης μικροκυματικής ακτινοβολίας

$$S_n = (1 - r) * S_0 * \left(0,29 * \cos\varphi + 0,55 * \frac{n}{N}\right) \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ day}$$

**L<sub>n</sub>**: καθαρή μικροκυματική ακτινοβολία

$$L_n = \sigma * T_k^4 * (0,34 - 0,044 * e^{0,5}) * \left(0,1 + 0,9 * \frac{n}{N}\right) \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ day}$$

**S<sub>0</sub>**: εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία (kJ/(m<sup>2</sup>d))

**n**: πραγματική ηλιοφάνεια (hr)

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

N: σχετική ηλιοφάνεια (hr)

λ: η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (kJ/kg)

$$\lambda = 2501 - 2,361 * T$$

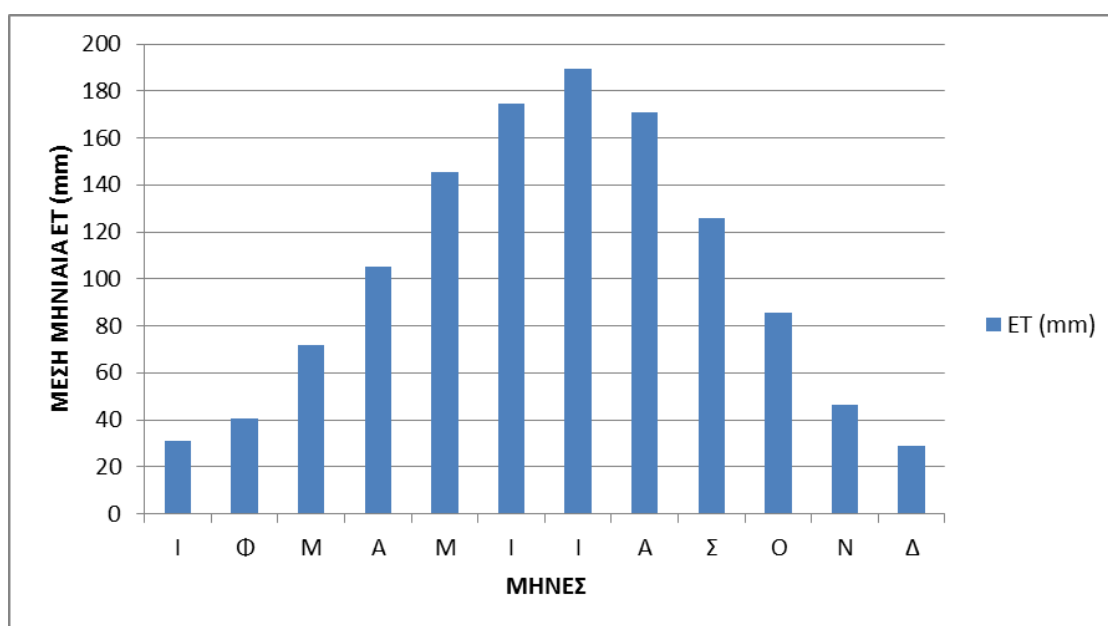
D: το έλλειμμα κορεσμού των υδρατμών (hPa)

$$D = es - e = es - U * es$$

Όπου:

U: σχετική υγρασία

Στο Σχήμα 3.4-1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο 1990-2010.



Σχήμα 3.4-1. Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροής Κούρη

Στον Πίνακα 3.4-1 παρουσιάζεται η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε μηνιαία βάση της λεκάνης απορροής Κούρη για την περίοδο 1990-2010.

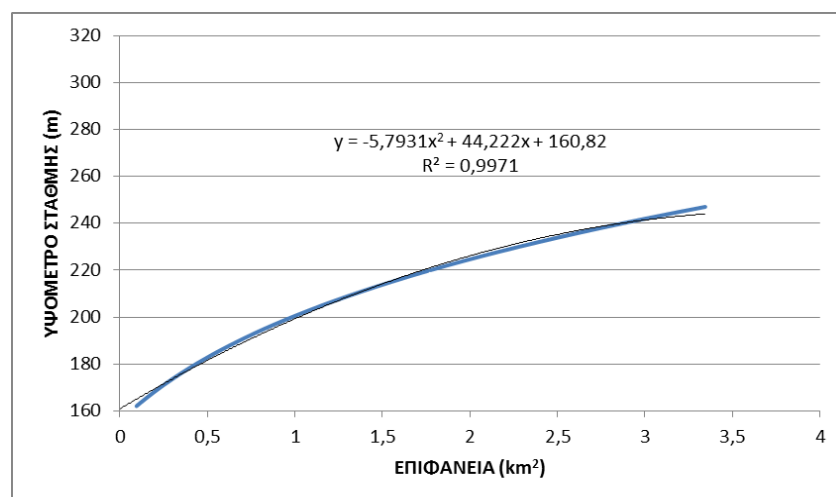
## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Πίνακας 3.4-1. Μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή λεκάνης απορροή Κούρη

ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΙΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm/month)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	95,7	56,1	36,2	34,0	40,8	75,5	115,7	146,7	175,2	188,3	172,2	133,7
1991-92	87,8	42,5	24,2	29,2	37,9	70,1	107,6	132,2	163,8	178,2	174,8	126,7
1992-93	92,6	46,9	26,1	32,7	41,6	74,4	108,1	122,4	174,9	190,9	180,9	132,0
1993-94	105,6	47,5	30,7	32,7	42,6	67,8	118,2	152,8	178,9	191,2	177,9	134,8
1994-95	87,3	40,7	24,5	26,9	42,9	72,0	101,4	151,7	183,9	186,7	175,8	129,8
1995-96	86,9	37,5	27,3	28,6	38,6	59,4	93,5	157,9	184,4	191,3	172,2	129,8
1996-97	78,2	55,0	26,5	38,4	37,6	68,4	92,1	152,4	169,1	189,9	158,1	122,4
1997-98	78,5	46,2	27,2	32,2	50,0	62,2	113,8	133,7	173,9	197,2	183,9	126,5
1998-99	91,4	44,3	26,5	30,8	42,9	78,9	108,7	162,1	166,5	188,5	168,2	126,7
1999-2000	87,5	52,1	37,1	31,0	41,7	66,5	95,6	140,8	185,8	202,0	173,7	126,8
2000-01	86,0	55,0	30,3	30,8	43,7	87,2	107,2	148,8	182,5	190,4	163,5	126,6
2001-02	82,4	39,7	22,7	33,3	52,6	77,2	96,5	142,6	174,3	193,7	168,4	123,7
2002-03	86,1	54,4	27,1	30,4	35,4	60,5	96,4	163,5	171,9	193,3	176,6	129,3
2003-04	84,0	48,6	32,7	26,4	39,1	84,3	111,3	149,1	171,4	193,3	166,8	124,0
2004-05	86,7	44,7	30,1	31,6	37,9	75,3	107,2	147,9	162,0	187,4	169,5	126,6
2005-06	80,7	43,9	34,3	29,7	39,8	68,1	103,9	146,5	175,8	181,4	176,2	127,6
2006-07	72,7	35,7	37,2	31,6	36,5	72,5	102,4	138,2	173,1	183,1	160,2	120,7
2007-08	83,0	42,0	22,2	31,4	39,8	83,7	114,5	143,5	170,3	186,0	163,6	109,5
2008-09	74,1	44,3	30,2	28,2	33,3	60,9	101,2	132,6	175,1	183,1	160,7	111,9
2009-10	83,9	38,3	22,9	26,6	39,9	78,4	78,4	107,2	107,2	145,6	160,7	175,7
AVERAGE	85,65	46,17	29,11	31,05	40,77	71,84	105,02	145,54	174,37	189,26	170,70	125,74
MIN	72,75	35,66	22,24	26,38	33,28	59,41	78,45	107,21	107,21	145,61	158,09	109,46
MAX	105,61	56,08	37,18	38,42	52,61	87,18	118,21	163,48	185,85	202,03	183,94	175,74

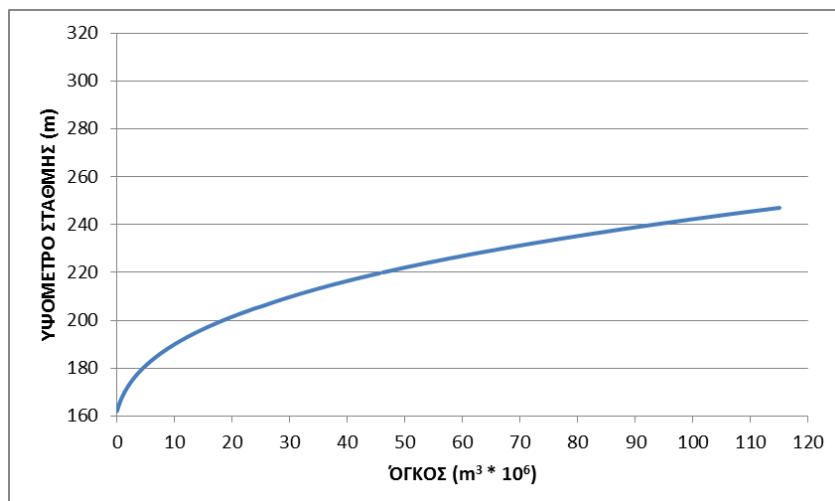
### 3.4.2 Εξάτμιση λίμνης ταμιευτήρα

Η εξάτμιση από τη λίμνη του ταμιευτήρα είναι απαραίτητο δεδομένο για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα. Υπολογίζεται σε μηνιαία βάση, σε εκατομμύρια m<sup>3</sup> νερού, με την μέθοδο Penmann, (1948) (για υδάτινα σώματα) χρησιμοποιώντας τα πιο πάνω δεδομένα που αναφέρθηκαν (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, σχετική ηλιοφάνεια και ταχύτητα ανέμου μόνο από τον μετεωρολογικό σταθμό Κούρη) καθώς και την καμπύλη στάθμης-επιφάνειας (και στάθμης-όγκου) του ταμιευτήρα (Σχήματα 3.4-2 και 3.4-3).



Σχήμα 3.4-2. Καμπύλη στάθμης-επιφάνειας ταμιευτήρα Κούρη

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 3.4-3. Καμπύλη στάθμης-όγκου ταμιευτήρα Κούρη

Στον Πίνακα 3.4-2 παρουσιάζεται η εξάτμιση σε μηνιαία βάση από τη λίμνη του ταμιευτήρα Κούρη για την περίοδο 1990-2010.

Πίνακας 3.4-2. Εξάτμιση λίμνης ταμιευτήρα Κούρη

ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΙΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm/month)												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	95,7	56,1	36,2	34,0	40,8	75,5	115,7	146,7	175,2	188,3	172,2	133,7
1991-92	87,8	42,5	24,2	29,2	37,9	70,1	107,6	132,2	163,8	178,2	174,8	126,7
1992-93	92,6	46,9	26,1	32,7	41,6	74,4	108,1	122,4	174,9	190,9	180,9	132,0
1993-94	105,6	47,5	30,7	32,7	42,6	67,8	118,2	152,8	178,9	191,2	177,9	134,8
1994-95	87,3	40,7	24,5	26,9	42,9	72,0	101,4	151,7	183,9	186,7	175,8	129,8
1995-96	86,9	37,5	27,3	28,6	38,6	59,4	93,5	157,9	184,4	191,3	172,2	129,8
1996-97	78,2	55,0	26,5	38,4	37,6	68,4	92,1	152,4	169,1	189,9	158,1	122,4
1997-98	78,5	46,2	27,2	32,2	50,0	62,2	113,8	133,7	173,9	197,2	183,9	126,5
1998-99	91,4	44,3	26,5	30,8	42,9	78,9	108,7	162,1	166,5	188,5	168,2	126,7
1999-2000	87,5	52,1	37,1	31,0	41,7	66,5	95,6	140,8	185,8	202,0	173,7	126,8
2000-01	86,0	55,0	30,3	30,8	43,7	87,2	107,2	148,8	182,5	190,4	163,5	126,6
2001-02	82,4	39,7	22,7	33,3	52,6	77,2	96,5	142,6	174,3	193,7	168,4	123,7
2002-03	86,1	54,4	27,1	30,4	35,4	60,5	96,4	163,5	171,9	193,3	176,6	129,3
2003-04	84,0	48,6	32,7	26,4	39,1	84,3	111,3	149,1	171,4	193,3	166,8	124,0
2004-05	86,7	44,7	30,1	31,6	37,9	75,3	107,2	147,9	162,0	187,4	169,5	126,6
2005-06	80,7	43,9	34,3	29,7	39,8	68,1	103,9	146,5	175,8	181,4	176,2	127,6
2006-07	72,7	35,7	37,2	31,6	36,5	72,5	102,4	138,2	173,1	183,1	160,2	120,7
2007-08	83,0	42,0	22,2	31,4	39,8	83,7	114,5	143,5	170,3	186,0	163,6	109,5
2008-09	74,1	44,3	30,2	28,2	33,3	60,9	101,2	132,6	175,1	183,1	160,7	111,9
2009-10	83,9	38,3	22,9	26,6	39,9	78,4	107,2	107,2	107,2	145,6	160,7	175,7
<b>AVERAGE</b>	<b>85,65</b>	<b>46,17</b>	<b>29,11</b>	<b>31,05</b>	<b>40,77</b>	<b>71,84</b>	<b>105,02</b>	<b>145,54</b>	<b>174,37</b>	<b>189,26</b>	<b>170,70</b>	<b>125,74</b>
<b>MIN</b>	<b>72,75</b>	<b>35,66</b>	<b>22,24</b>	<b>26,38</b>	<b>33,28</b>	<b>59,41</b>	<b>78,45</b>	<b>107,21</b>	<b>107,21</b>	<b>145,61</b>	<b>158,09</b>	<b>109,46</b>
<b>MAX</b>	<b>105,61</b>	<b>56,08</b>	<b>37,18</b>	<b>38,42</b>	<b>52,61</b>	<b>87,18</b>	<b>118,21</b>	<b>163,48</b>	<b>185,85</b>	<b>202,03</b>	<b>183,94</b>	<b>175,74</b>

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

### 3.5 Απορροή λεκάνης

Η μηνιαία απορροή της λεκάνης απορροής είναι απαραίτητο δεδομένο για την ρύθμιση και εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων καθώς και του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχωρηθεί από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου ως συνολικές μηνιαίες εισροές στον ταμιευτήρα που προέρχονται από τη λεκάνη απορροής Κούρη για το διάστημα Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2010 (Πίνακας 3.5-1).

**Πίνακας 3.5-1. Συνολική μηνιαία παροχή λεκάνης απορροής Κούρη**

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	0,000	0,000	0,300	0,887	1,511	2,588	0,786	0,150	0,000	0,000	0,000	0,000
1991-92	0,000	0,386	10,891	6,038	7,917	5,346	4,016	2,289	0,986	0,000	0,000	0,000
1992-93	0,000	1,826	9,114	4,917	5,547	10,771	4,298	2,941	1,005	0,000	0,000	0,000
1993-94	0,000	1,004	0,846	3,265	6,424	4,008	1,672	1,069	0,185	0,000	0,000	0,000
1994-95	0,344	11,229	4,152	5,700	4,161	2,922	1,985	0,837	0,231	0,000	0,000	0,000
1995-96	0,000	0,313	0,281	3,542	2,770	3,407	1,119	0,497	0,071	0,000	0,000	0,000
1996-97	0,089	0,098	1,655	0,758	2,141	1,932	4,274	0,476	0,301	0,000	0,000	0,000
1997-98	0,032	0,861	2,328	2,246	1,279	2,922	2,016	0,737	0,600	0,000	0,000	0,000
1998-99	0,000	0,368	2,659	1,720	4,740	1,866	1,436	0,568	1,079	0,101	0,101	0,000
1999-2000	0,000	0,440	0,607	1,050	1,424	1,667	2,207	1,417	0,253	0,000	0,000	0,000
2000-01	0,000	1,371	2,866	4,051	3,052	2,519	1,233	0,699	0,052	0,000	0,000	0,000
2001-02	0,039	0,289	12,322	15,287	5,626	4,019	3,921	1,757	0,748	0,133	0,133	0,000
2002-03	0,000	0,409	2,710	3,013	7,592	9,665	6,794	2,244	1,397	0,185	0,185	0,000
2003-04	0,245	0,618	2,292	24,634	16,974	4,240	2,524	1,771	1,126	0,112	0,112	0,000
2004-05	0,060	1,360	1,951	3,500	5,136	2,798	1,186	0,415	0,615	0,000	0,000	0,000
2005-06	0,000	0,660	0,589	1,126	2,809	1,617	0,527	0,102	0,000	0,151	0,151	0,000
2006-07	0,472	1,399	0,331	0,604	3,438	2,392	0,876	0,838	0,094	0,302	0,302	0,000
2007-08	0,276	0,292	1,906	1,295	1,314	0,940	0,335	0,000	0,000	0,020	0,020	0,000
2008-09	0,015	0,315	1,217	2,504	4,709	5,102	3,641	2,413	0,789	0,022	0,058	0,199
2009-10	0,470	1,010	6,388	8,168	8,867	6,820	6,820	2,405	2,405	1,184	0,315	0,162
AVERAGE	0,083	1,223	3,106	4,534	4,661	3,722	2,360	1,117	0,502	0,054	0,056	0,010
MIN	0,000	0,000	0,281	0,604	1,279	0,940	0,335	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MAX	0,472	11,229	12,322	24,634	16,974	10,771	6,820	2,941	2,405	1,184	0,315	0,199

### 3.6 Απολήψεις (εκροές) από τον ταμιευτήρα

Οι απολήψεις από τον ταμιευτήρα είναι απαραίτητα δεδομένα για την ρύθμιση και εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Τα δεδομένα αυτά έχουν παραχωρηθεί από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου ως συνολικές μηνιαίες εκροές από τον ταμιευτήρα Κούρη για το διάστημα Οκτώβριος 1990 - Σεπτέμβριος 2010 (Πίνακας 3.6-1).



**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

**Πίνακας 3.6-1. Συνολικές μηνιαίες εκροές από τον ταμιευτήρα Κούρη**

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΚΡΟΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )												
ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
1990-91	3,154	1,924	1,898	1,467	1,238	1,790	1,745	1,743	1,029	0,935	1,236	1,246
1991-92	1,516	1,343	1,067	0,406	0,148	0,104	1,493	1,255	1,271	0,974	1,712	2,327
1992-93	1,685	1,253	0,170	0,128	0,187	0,925	1,441	1,583	1,729	2,013	2,890	2,861
1993-94	2,915	0,985	1,380	1,389	0,569	1,936	2,245	2,171	2,308	2,309	3,363	3,579
1994-95	2,789	1,872	0,338	0,335	0,512	2,847	2,370	3,064	3,058	3,531	4,103	4,155
1995-96	3,866	2,330	1,794	0,687	1,274	2,692	2,789	3,449	2,678	2,365	2,678	2,865
1996-97	2,359	2,462	2,210	1,894	1,526	1,791	1,717	1,654	1,655	1,522	2,002	2,493
1997-98	2,116	1,750	1,650	1,475	1,285	1,350	1,000	1,192	1,366	1,574	1,381	1,158
1998-99	1,441	0,567	0,595	0,610	0,470	0,608	1,039	1,945	1,617	2,328	2,525	2,430
1999-2000	2,136	1,729	1,423	1,068	0,916	1,031	1,144	1,068	1,808	2,297	2,329	2,367
2000-01	2,294	1,583	1,488	1,602	1,392	2,211	1,542	1,536	1,364	1,489	1,519	1,598
2001-02	1,454	0,916	0,764	0,771	1,347	1,670	1,444	1,779	3,280	3,542	4,736	3,869
2002-03	3,540	2,806	1,078	0,982	0,648	1,208	1,214	4,183	3,946	4,723	5,477	4,800
2003-04	4,815	2,544	1,085	0,823	0,918	3,378	4,414	3,752	4,216	4,809	5,383	5,012
2004-05	4,655	3,321	2,986	0,748	0,778	1,075	2,954	3,863	4,440	5,554	5,757	5,414
2005-06	5,086	3,757	3,418	2,318	0,991	1,341	3,541	4,749	4,924	5,003	5,166	5,235
2006-07	5,218	3,498	3,859	3,021	2,128	3,203	3,755	2,850	3,737	2,059	2,301	3,232
2007-08	3,382	2,495	1,956	1,795	1,572	2,225	1,202	0,829	1,340	1,229	0,305	0,358
2008-09	0,124	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116	0,607	1,518	1,680	1,560	2,354
2009-10	2,096	1,220	0,474	0,221	1,656	2,621	2,621	2,338	2,338	2,068	2,604	1,646
AVERAGE	2,871	1,959	1,535	1,133	0,942	1,652	1,956	2,277	2,489	2,628	2,970	3,019
MIN	0,124	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116	0,607	1,029	0,935	0,305	0,358
MAX	5,218	3,757	3,859	3,021	2,128	3,378	4,414	4,749	4,924	5,554	5,757	5,414

### **3.7 Συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας λαμβάνοντας υπ' όψιν σενάριο κλιματικής αλλαγής**

Η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα για τα επόμενα 30 χρόνια προϋποθέτει αρχικά μία εκτίμηση της θερμοκρασίας (για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής) και της βροχόπτωσης (για τον υπολογισμό της απορροής) και έπειτα την προσαρμογή τους σε ένα σενάριο κλιματικής αλλαγής.

#### **3.7.1 Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών με τη χρήση του μοντέλου AR (1)**

Με βάση τις πραγματικές τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας της περιόδου 1990-2010, παράγονται 10 συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας μήκους 30 χρόνων με τη χρήση του μοντέλου AR(1) (Krone et al, 2017).

Για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας με χρήση του μοντέλου AR (1), αναπτύχθηκε η μέθοδος που παρουσιάζεται στη συνέχεια σε διαδοχικά απλά βήματα.

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

---

1. Εισαγωγή μηνιαίων τιμών ιστορικής χρονοσειράς (βροχόπτωση mm, θερμοκρασία °C).
2. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών δηλαδή της μέσης τιμής  $\mu$  και της τυπικής απόκλισης  $\sigma$ . Αν  $N$  είναι το πλήθος των μηνιαίων τιμών της χρονοσειράς τότε τα μεγέθη αυτά θα υπολογιστούν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum_{i=1}^N X_i / N \\ \text{Μέση τιμή:} & \\ \sigma_z^2 &= 1/N \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \\ \text{Διασπορά:} & \\ \sigma_z &= \sqrt{\sigma_z^2} \\ \text{Τυπική απόκλιση:} & \end{aligned}$$

3. Εύρεση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης της ιστορικής χρονοσειράς. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης της σειράς μετατοπισμένης κατά  $k$  χρονικά βήματα είναι:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_t) \cdot (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_t)^2 \cdot \sum_{t=1}^{N-k} (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2}}$$

Όπου:

$k$  το χρονικό βήμα της τάξης

$\bar{X}_t$  η μέση τιμή της σειράς στη θέση  $t$

$\bar{X}_{t+k}$  η μέση τιμή της σειράς στη θέση  $t+k$

4. Μονιμοποίηση της ιστορικής πραγματικής χρονοσειράς (μηνιαίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών). Η μονιμοποίηση γίνεται με αφαίρεση από την κάθε τιμή του μέσου όρου και διαίρεση του υπολοίπου με την τυπική απόκλιση. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται οι συστηματικές αλλαγές στη μέση τιμή και στη διασπορά και παραμένουν μόνο η κυκλικότητα που αντιπροσωπεύει τον κλιματικό παράγοντα και το στοχαστικό μέρος της χρονοσειράς. Η διαδικασία αυτή γίνεται ανάλογα με τον μήνα στον οποίο ανήκει η παρατήρηση. Χρησιμοποιείται δηλαδή η μέση μηνιαία τιμή και η αντίστοιχη τυπική απόκλιση για κάθε μήνα του έτους ώστε να εξαλειφτεί η ισχυρότατη εποχικότητα της αρχικής ιστορικής χρονοσειράς.

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

---

Παρακάτω δίνεται η σχέση με την οποία έγινε η μονιμοποίηση:

$$\chi^1(i,j) = [X(i,j) - \bar{X}(j)] / \sigma_z(j)$$

Όπου:

$\chi^1(i,j)$  η μονιμοποιημένη τιμή της θερμοκρασία, βροχής

$X(i,j)$  η πραγματική μηνιαία θερμοκρασία, βροχή

$j$  η τάξη του μήνα

$i$  η τάξη του έτους

–

$\bar{X}(j)$  η πραγματική μέση τιμή για το μήνα  $j$

$\sigma_z(j)$  η πραγματική τυπική απόκλιση για το μήνα  $j$

5. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών της μονιμοποιημένης χρονοσειράς ( $\mu=0$ ,  $\sigma=1$ ).
6. Εύρεση των συντελεστών αυτοσυσχέτισης 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> τάξης  $\rho_1$  και  $\rho_2$  της μονιμοποιημένης χρονοσειράς.
7. Εύρεση του συντελεστή  $a$  καθώς και της μέσης τιμής  $\mu_n$  και της τυπικής απόκλισης  $\sigma_n$  του τυχαίου μέρους για το μοντέλο AR (1) σύμφωνα τις εξισώσεις:  
 $a = \rho_1$   
 $\sigma_n = \text{SQRT}(1-a^2) * \sigma_{\text{μον}}$   
 $\mu_n = (1-a) * \mu_{\text{μον}}$
8. Παραγωγή 360 τυχαίων κανονικών αριθμών (30 έτη αντιστοιχούν σε 360 μήνες) για την βροχόπτωση και τη θερμοκρασία σύμφωνα με την εξίσωση του μοντέλου:

$$\text{AR}(1) = a * X_{t-1} + V_t$$

9. Απομονιμοποίηση των συνθετικών χρονοσειρών. Πρόκειται ουσιαστικά για την αντίστροφη διαδικασία από την μονιμοποίηση. Η συνθετική χρονοσειρά χωρίζεται σε 12 ομάδες που αποτελούνται από 30 τιμές η καθεμία. Η κάθε ομάδα αντιπροσωπεύει ένα μήνα. Η σειρά ή ο τρόπος ομαδοποίησης δεν έχει σημασία καθώς πρόκειται για μόνιμες χρονοσειρές. Στη συνέχεια η τιμή της κάθε ομάδας  $j$  απομονιμοποιείται σύμφωνα με τη σχέση:

$$X(i,j) = \chi(i,j) * \sigma_z(j) + \bar{X}(j)$$

Όπου:

$\chi^1(i,j)$  η συνθετική μονιμοποιημένη τιμή της θερμοκρασίας, βροχής

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

- X (i,j) η συνθετική μηνιαία θερμοκρασία, βροχή  
 j η τάξη του μήνα  
 i η τάξη του έτους  
 —  
 X (j) η πραγματική μέση τιμή για το μήνα j της ιστορικής χρονοσειράς  
 sz (j) η πραγματική τυπική απόκλιση για το μήνα j της ιστορικής χρονοσειράς

10. Εύρεση των στατιστικών χαρακτηριστικών των δύο απομονοποιημένων συνθετικών χρονοσειρών (βροχής και θερμοκρασίας) τα οποία πρέπει να συμφωνούν όσον αφορά το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση με τα αντίστοιχα των πραγματικών χρονοσειρών (βροχής και θερμοκρασίας), (Πίνακες 3.7-1 και 3.7-2).

**Πίνακας 3.7-1. Χαρακτηριστικά μονιμοποιημένων χρονοσειρών**

	ΜΟΝ. ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ 30 ΕΤΩΝ	ΜΟΝ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 30 ΕΤΩΝ
μ μον.	0,000	0,000
σ μον.	0,975	0,975
ρ1	0,033	0,295
α	0,033	0,295
μ ν	0,000	0,000
σ ν	0,975	0,932

**Πίνακας 3.7-2. Χαρακτηριστικά ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών**

ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ AR (1) ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ 30 ΕΤΩΝ ρ1=0,398												
AVERAGE	52,028	101,273	155,599	152,350	108,099	66,643	37,355	21,271	25,256	12,754	15,896	37,705
STDEV	37,634	73,337	115,628	96,256	44,356	36,476	20,370	19,821	24,986	11,173	11,280	32,516
VAR	1388,023	5270,689	13102,544	9079,929	1928,090	1303,893	406,653	385,014	611,827	122,335	124,697	1036,165
SK	0,650	0,200	0,354	0,287	-0,228	0,216	0,466	0,659	1,043	0,464	0,446	0,457
KURT	0,103	-0,990	-0,742	-0,873	-0,689	-0,663	0,161	-0,400	0,695	-0,588	-0,805	-0,697
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ 1990-2010 ρ1=0,311												
AVERAGE	38,445	93,927	148,679	127,161	110,639	74,316	37,638	24,056	24,025	8,863	13,185	22,064
STDEV	45,826	77,696	116,252	96,629	46,486	38,606	23,798	23,903	30,423	14,031	14,739	36,299
VAR	1989,474	5718,904	12803,162	8845,794	2047,204	1412,003	536,540	541,284	876,867	186,512	205,793	1248,267
SK	2,779	1,713	1,197	2,275	0,983	0,430	0,626	1,009	1,661	1,871	0,844	2,433
KURT	9,155	3,331	1,339	6,806	1,081	0,873	-0,457	0,191	1,889	2,828	-0,813	6,366
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ AR (1) ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΗΚΟΥΣ 30 ΕΤΩΝ ρ1=0,843												
AVERAGE	18,412	12,936	9,623	7,869	8,498	10,477	13,968	18,034	22,008	24,585	24,310	21,456
STDEV	1,045	1,116	1,168	1,017	1,317	1,630	1,128	1,005	0,772	0,829	0,795	0,757
VAR	1,071	1,220	1,337	1,015	1,700	2,604	1,246	0,991	0,585	0,673	0,619	0,561
SK	0,212	-0,099	0,344	-0,108	0,044	0,561	-0,106	-0,244	0,612	0,349	-0,282	0,163
KURT	-0,059	0,367	-0,746	-0,876	-0,323	0,044	-0,094	-0,784	1,046	-0,469	-0,367	-0,685
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ 1990-2010 ρ1=0,846												
AVERAGE	18,180	13,363	9,611	8,081	8,210	10,413	13,856	17,980	21,879	24,411	24,250	21,424
STDEV	1,085	1,295	1,220	1,122	1,253	1,639	1,256	1,169	0,732	0,809	0,827	0,627
VAR	1,115	1,588	1,411	1,192	1,488	2,546	1,495	1,294	0,507	0,621	0,648	0,372
SK	0,081	-0,553	-0,506	0,058	-0,611	0,736	-0,092	0,492	-0,106	-0,551	-0,475	1,714
KURT	-0,274	-0,298	-0,391	-0,864	1,476	-0,241	0,143	0,302	-0,278	0,704	1,296	6,932

11. Παραγωγή 10 συνθετικών χρονοσειρών (βροχόπτωσης και θερμοκρασίας) μήκους 30 ετών από την πραγματική χρονοσειρά των 20 ετών (1990-2010).

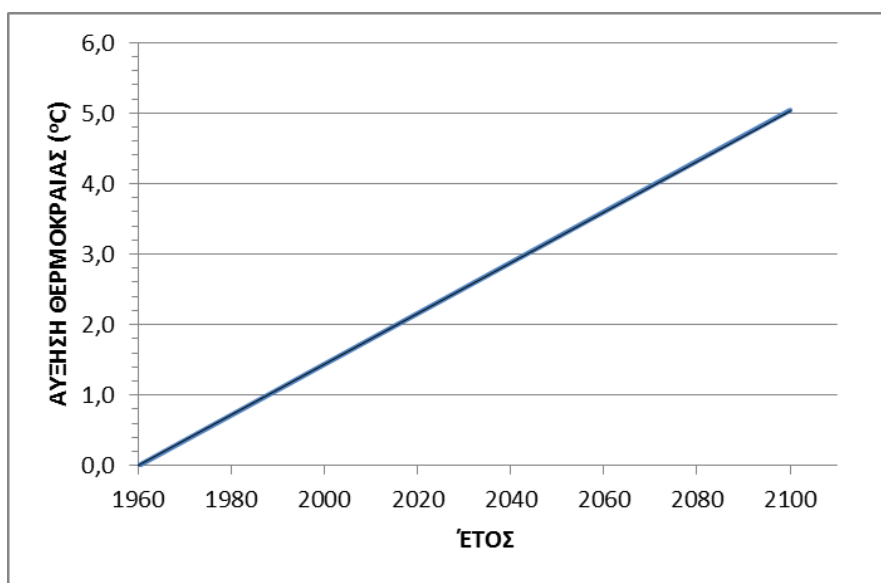
### 3.7.2 Προσαρμογή χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας σε σενάριο κλιματικής αλλαγής.

Η προσαρμογή των χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας γίνεται σύμφωνα με το σενάριο κλιματικής αλλαγής των Giorgi και Lionello (2008), το οποίο αφορά την Ανατολική Μεσόγειο και κρίνεται καταλληλότερο για την περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με την μελέτη αυτή, η Μεσόγειος είναι ιδιαίτερα ευάλωτη περιοχή όσον αφορά την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Παρατηρείται έντονη μείωση της βροχόπτωσης το χειμώνα εκτός από τις περιοχές της βόρειας Μεσογείου (π.χ. Άλπεις) και έντονη αύξηση της θερμοκρασίας ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες στην ανατολική Μεσόγειο.

Συγκεκριμένα το σενάριο αυτό, χρησιμοποιώντας δεδομένα από το 1960-2000, υποστηρίζει ότι για μία περίοδο 140 ετών (1960-2100) η θερμοκρασία θα αυξηθεί (γραμμικά) κατά 5 °C και η βροχόπτωση θα μειωθεί (γραμμικά) κατά 30% (Σχήματα 3.7-1 και 3.7-2).

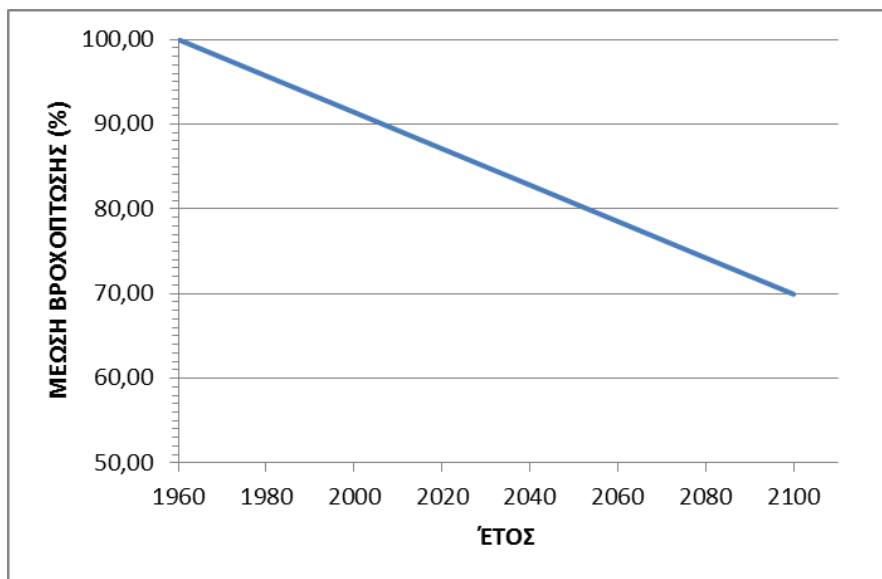
Τέλος χρησιμοποιώντας τις προσαρμοσμένες συνθετικές χρονοσειρές θερμοκρασίας (μήκους 30 ετών) και σταθερές στα έτη μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας, σχετικής ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου που προκύπτουν από τις ιστορικές χρονοσειρές των ετών 1990-2010, υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή.



Σχήμα 3.7-1. Σενάριο κλιματικής αλλαγής (θερμοκρασία)

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---



Σχήμα 3.7-2. Σενάριο κλιματικής αλλαγής (βροχόπτωση)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ**

### **4.1 Γενικά στοιχεία υδρολογικών μοντέλων**

Το υδρολογικό μοντέλο ορίζεται σαν ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες απεικονίζουν κατά προσέγγιση το σύνολο των αλληλοσυσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή.

Τα μοντέλα βροχής - απορροής ταξινομούνται, σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο κλπ. Ο πλέον συνήθης διαχωρισμός των μοντέλων είναι (Τσακίρης, 1995):

- Σε μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα.
  - Το μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός βροχής και ως έξοδο ένα υδρογράφημα πλημμύρας.
  - Το συνεχές μοντέλο περιλαμβάνει ως είσοδο μία ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.
  
- Σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (distributed) μοντέλα.
  - Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή κλπ) και εξόδου (απορροή).
  - Τα κατανεμημένα μοντέλα, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν το διαχωρισμό της λεκάνης σε τμήματα με ανομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά και συνήθως η μονάδα αναφοράς είναι το HRU (Hydrologic Response Unit). Κατηγορία των κατανεμημένων μοντέλων είναι και τα ημι-κατανεμημένα (semi- distributed).

Τα συνεχή μοντέλα βροχής - απορροής μπορούν να ταξινομηθούν με βάση δύο κριτήρια:

- Το κριτήριο είδους εξισώσεων. Με βάση το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε φυσικά ή φυσικής βάσης (physically-based), παραμετρικά ή εννοιολογικά (conceptual) και μοντέλα μαύρου κουτιού (black box).

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

- Φυσικής βάσης: Χρησιμοποιούν απευθείας τις εξισώσεις που διέπουν το φυσικό φαινόμενο.
  - Εννοιολογικά: Ο υδρολογικός κύκλος αναπαρίσταται με τη βοήθεια ιδεατών στοιχείων το κάθε ένα από τα οποία προσομοιώνει μια στοιχειώδη διαδικασία του φυσικού φαινομένου.
  - Μαύρου κουτιού: Χρησιμοποιούν παραμέτρους που δεν έχουν φυσική σημασία.
- Το κριτήριο που βασίζεται στο αν λαμβάνεται υπ' όψιν η τυχαιότητα των φαινομένων. Με βάση το κριτήριο αυτό τα μοντέλα ταξινομούνται σε προσδιοριστικά (determinative) και στοχαστικά (stochastic).
- Προσδιοριστικά: Χρησιμοποιούν πολλά δεδομένα εισόδου και δίνουν σαφή και μονοσήμαντα αποτελέσματα.
  - Στοχαστικά: Λαμβάνουν υπ' όψιν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μεγεθών.

Τα μοντέλα βροχής - απορροής “ABCD” και “WBUDG”, που αναπτύσσονται στην εργασία αυτή, είναι ενιαία (lumped) και συνεχή (continuous) μοντέλα, που ταξινομούνται ως προσδιοριστικά (determinative) και φυσικής βάσης (physically-based). Τρέχουν σε μηνιαίο χρονικό βήμα, είναι συγκρίσιμα με άλλα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου και κάθε μία από τις βασικές παραμέτρους τους έχει μια φυσική ερμηνεία.

Οι Alley (1984), Vandewiele et al (1992) και Xu & Singh (1998) σύγκριναν την απόδοση πολυάριθμων εναλλακτικών μηνιαίων μοντέλων υδατικού ισοζυγίου και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ένα μοντέλο με τρεις έως πέντε παραμέτρους είναι ικανοποιητικό στο να αναπαράγει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας του υδρολογικού κύκλου σε μηνιαία κλίμακα. Σε αυτές τις συγκρίσεις, όλα τα μηνιαία μοντέλα εκτελέστηκαν αξιόπιστα, αλλά κανένα όμως δεν ξεχώρισε ως βέλτιστο (W. Fernandez et al, 2000).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα μηνιαία μοντέλα μπορεί να είναι χρήσιμα σε μικρότερες χρονικές κλίμακες (π.χ. ημερήσια χρονική βάση), εάν η υδρολογική λεκάνη απορροής είναι απλή, δηλαδή έχει σχετικά μικρή έκταση και παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία τόσο ως προς την τοπογραφία όσο και προς τις υδροκλιματικές συνθήκες (Vogel, 2003).

Το μοντέλο “WBUDG” αναπτύχθηκε από τους Mimikou et al (1991) στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε και ρυθμίστηκε σε λεκάνες απορροής του Ελλαδικού χώρου με μεγάλη επιτυχία π.χ. λεκάνη Αχελώου (Mimikou et al, 1991), λεκάνη Αλή Εφέντη (Νίκα, 2004) και λεκάνη π. Λύνγκου στη Φλώρινα (Bournas et al, 2017).

Το μοντέλο “ABCD” αναπτύχθηκε από τους Thomas (1981) και Thomas et al (1983) στο Πανεπιστήμιο του Harvard. Αρχικά, παρουσιάστηκε ως ένα μοντέλο ικανό για την αποτίμηση



των υδατικών πόρων χρησιμοποιώντας ετήσιο βήμα. Αργότερα, αφού συγκρίθηκε με διάφορα μηνιαία μοντέλα υδρολογικού ισοζυγίου, συστήθηκε από τον Alley (1984,1985) για χρήση σε μηνιαίο βήμα. Οι Vandewiele et al (1992) βρήκαν ότι το μοντέλο “ABCD” συγκρίνεται ευνοϊκά με πάρα πολλά άλλα σύγχρονα μοντέλα υδρολογικού ισοζυγίου. Οι Fernandez et al (2000), ρυθμίσανε το μοντέλο “ABCD” σε 33 λεκάνες στη Νοτιοδυτική Αμερική με σκοπό τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου ώστε να επιτύχουν τη βέλτιστη περιφερειοποίηση (regionalization) αυτού, και συστήσανε το “ABCD” μοντέλο ως ικανό να ανταποκριθεί και σε προβλήματα υδρολογικής περιφερειοποίησης. Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε και ρυθμίστηκε σε λεκάνες απορροής του Ελλαδικού χώρου με μεγάλη επιτυχία π.χ. λεκάνη Πικερμίου (Παίβανά, 2007), λεκάνη Ευρώτα (Marinou et al, 2017) και λεκάνη π. Λύνγκου στη Φλώρινα (Bournas et al, 2017).

Συμπερασματικά, και με δεδομένο ότι τα μοντέλα “ABCD” και “WBUDG” και δεν έχουν εφαρμοστεί σε κάποια λεκάνη απορροής της Κύπρου, κρίθηκε επιστημονικά ενδιαφέρουσα η ανάπτυξη τους στη λεκάνη απορροής του Κούρη με σκοπό την αποτίμηση της ικανότητας τους να αναπαραστήσουν τις διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου σε μηνιαίο χρονικό βήμα.

## **4.2 Περιγραφή υδρολογικού μοντέλου “WBUDG”**

Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε και διαμορφώθηκε για τις ανάγκες προσομοίωσης της υδρολογικής λεκάνης της περιοχής μελέτης, περιγράφεται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

### **4.2.1 Κύριες μεταβλητές εισόδου του μοντέλου**

Οι μεταβλητές εισόδου του μοντέλου είναι υδρολογικές μεταβλητές, χρονικά διακυμαινόμενες, που με την αλληλεπίδρασή τους, όπως αυτή προσομοιώνεται από το μοντέλο, προσδιορίζουν τις μεταβλητές εξόδου. Καθώς η ελάχιστη χρονική μονάδα που χρησιμοποιείται στην ανάλυση της χρονικής διακύμανσης των υδρολογικών μεγεθών είναι ο μήνας, οι μεταβλητές εισόδου δίδονται με τη μορφή μέσων μηνιαίων τιμών, αντιπροσωπευτικών του συνόλου της λεκάνης. Έτσι, οι μεταβλητές εισόδου είναι οι ακόλουθες:

- Κατακρήμνιση, P (mm) (Παράγραφος 3.1)
- Θερμοκρασία, TA (°C) (Παράγραφος 3.2)
- Σχετική υγρασία, RAH (%) (Παράγραφος 3.3)
- Ταχύτητα ανέμου, (m/s) (Παράγραφος 3.3)
- Σχετική ηλιοφάνεια, SHA (hr) (Παράγραφος 3.3)
- Παρατηρημένες απορροές, Qobs ( $m^3 * 10^6$ ) (Παράγραφος 3.5)

Οι παρατηρημένες απορροές δεν υπεισέρχονται άμεσα στο μοντέλο αλλά βοηθούν στη ρύθμιση του αφού το κατά πόσο θα είναι πετυχημένη μια ρύθμιση του μοντέλου,

εξαρτάται από το δείκτη Nash που είναι μια σύγκριση των διαφορών που έχουν οι εκτιμημένες από το μοντέλο από τις παρατηρημένες απορροές.

#### 4.2.2 Ενδιάμεσες μεταβλητές του μοντέλου

Οι ενδιάμεσες μεταβλητές του μοντέλου υπολογίζονται από τις μεταβλητές εισόδου που περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.2.1. Αυτές οι μεταβλητές είναι οι παρακάτω :

- Δυνητική εξατμισοδιαπνοή, EPT (mm) (Παράγραφος 3.4)  
Είναι η μηνιαία ποσότητα νερού που θα μπορούσε να διαφύγει από τη λεκάνη μέσω εξάτμισης και διαπνοής υπό δεδομένες συνθήκες.
- Κατακρήμνιση σε μορφή βροχής, RA (mm) και κατακρήμνιση σε μορφή χιονιού, SN (mm)  
Η κατακρήμνιση P μοιράζεται παραμετρικά και αναλογικά με τη μέση θερμοκρασία του μήνα TA και τις παραμέτρους  $T_0$ ,  $T_1$  και a σε βροχή RA και χιόνι SN.
- Άμεση απορροή, QS (snm)  
Είναι η ανοιγμένη μηνιαία ποσότητα της βροχής RA που απορρέει αμέσως, πριν προλάβει να συμβεί εξάτμιση ή διήθηση.
- Συσσωρευμένο χιόνι, SNT (mm)  
Είναι η ποσότητα χιονιού που είναι συσσωρευμένο επί του εδάφους κάθε μήνα , ανοιγμένη στην επιφάνεια της λεκάνης.
- Χιόνι που λιώνει, SNM (mm)  
Είναι η ποσότητα του χιονιού που λιώνει κάθε μήνα , εφόσον το επιτρέπουν οι θερμοκρασιακές συνθήκες, ανοιγμένη στην επιφάνεια της λεκάνης .
- Αθροιστική βροχή, RN (mm)  
Είναι η μηνιαία ποσότητα του νερού που προέρχεται από κατακρήμνιση ή από λιώσιμο χιονιού :  $RN = RA + SNM$
- Απομένουσα βροχή στο έδαφος, ABE (mm)  
Είναι η ποσότητα του νερού που κάθε μήνα απομένει στο έδαφος αφού πραγματοποιηθεί η άμεση απορροή και διατίθεται για εξάτμιση ή διήθηση στο έδαφος.
- Πραγματοποιούμενη εξάτμιση, E (mm)  
Είναι η εξάτμιση που πραγματοποιείται κάθε μήνα στη λεκάνη. Αν η απομένουσα βροχή στο έδαφος και η εδαφική υγρασία το επιτρέπουν, η E λαμβάνει τη μέγιστη τιμή που είναι η EPT.
- Εδαφική υγρασία, S (mm)  
Είναι η ποσότητα του νερού που κάθε μήνα περιέχεται στην ανώτερη ζώνη του εδάφους υπό τη μορφή εδαφικής υγρασίας και που αφαιρείται από εκεί μέσω της εδαφικής εξατμισοδιαπνοής.
- Περίσσειμα νερού, WS (mm)

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

Είναι το υπόλοιπο της απομένουσας βροχής στο έδαφος κάθε μήνα , μετά την αφαίρεση της ποσότητας που εξατμίστηκε  $E$  και της ποσότητας που απορρόφησε το έδαφος σε μορφή εδαφικής υγρασίας.

➤ Υπόγειο νερό,  $G$  (mm)

Είναι η συνολική ποσότητα νερού που υπάρχει στους υπόγειους υδροφορείς κάθε μήνα.

➤ Εκτιμημένη απορροή,  $Q_{est}$  (mm)

Πρόκειται για τη μεταβλητή εξόδου του μοντέλου, εκφρασμένη σαν μηνιαία απορροή ανοιγμένη σε χιλιοστά ύψους.

### 4.2.3 Παράμετροι του μοντέλου

Οι παράμετροι του μοντέλου είναι όλες οι χαρακτηριστικές παράμετροι της λεκάνης απορροής στην οποία εφαρμόζεται το μοντέλο και που πρέπει να λάβουν ορισμένες τιμές προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του μοντέλου. Οι τιμές που πρέπει να αποδοθούν στις παραμέτρους αυτές δεν είναι από πριν γνωστές, ωστόσο θα πρέπει να κινούνται σε λογικά όρια ανάλογα με τη φυσική σημασία της κάθε παραμέτρου. Οι παράμετροι του μοντέλου είναι οι παρακάτω :

➤ Μέγιστη εδαφική υγρασία,  $S_{max}$  (mm)

Είναι η παράμετρος που εκφράζει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και που μπορεί να αφαιρεθεί μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Η ποσότητα αυτή, ανοιγμένη στην επιφάνεια της λεκάνης, δίδεται σε χιλιοστά ύψους και εξαρτάται από το πάχος του εδαφικού στρώματος, την υφή και την κλίση του. Η παράμετρος  $S_{MAX}$  αποτελεί άνω όριο της μεταβλητής της εδαφικής υγρασίας  $S$ .

➤ Ποσοστό περισεύματος νερού που απορρέει άμεσα,  $K_1$

Πρόκειται για συντελεστή που εφαρμόζεται στην ενδιάμεση μεταβλητή  $WS$  - περίσσειμα νερού- για να προκύψει η ποσότητα του νερού που απορρέει επιφανειακά κατά τον εκάστοτε μήνα, μετά την ικανοποίηση των αναγκών της εξατμισοδιαπνοής και κορεσμού της εδαφικής υγρασίας . Το υπόλοιπο μέρος του  $WS$  παραμένει στη λεκάνη ως υπόγειο νερό που θα απορρεύσει μελλοντικά . Με τον τρόπο αυτό εισάγεται ένας μηχανισμός υστέρησης της λεκάνης.

➤ Ποσοστό υπογείου νερού από τον προηγούμενο μήνα που απορρέει,  $K_2$

Στη λεκάνη παραμένει κάθε μήνα αποθηκευμένο ως υπόγειο νερό  $G$ , ένα ποσό  $(1 - K_1) * WS$ . Ο ρυθμός αποφόρτισης αυτού του υπογείου νερού στην επιφανειακή απορροή του επόμενου μήνα , εκφράζεται με το συντελεστή  $K_2$ . Δηλαδή ο  $K_2$  δηλώνει το ποσοστό του υπόγειου νερού που απορρέει τον επόμενο μήνα.

➤ Θερμοκρασία κάτω της οποίας το ποσοστό βροχής είναι ελάχιστο,  $T_o$  (°C)

Για την προσομοίωση της χιονόπτωσης η μεταβλητή εισόδου  $P$  (κατακρήμνιση), κατανέμεται σε βροχή και χιόνι ανάλογα με την επικρατούσα μέση μηνιαία

θερμοκρασία  $T_A$ . Ο μερισμός αυτός γίνεται παραμετρικά με τη βοήθεια δυο χαρακτηριστικών θερμοκρασιών για τη λεκάνη,  $T_0$  και  $T_1$ . Ορίζονται συνεπώς τρεις περιοχές:

$T_A \leq T_0$  στην οποία το ποσοστό της βροχής έχει μια ελάχιστη τιμή

$T_A \geq T_1$  στην οποία η συνολική κατακρήμνιση έχει τη μορφή βροχής

$T_0 < T_A < T_1$  στην οποία γίνεται γραμμική παρεμβολή

Η παραπάνω αντιμετώπιση της κατακρήμνισης προσδίδει στο μοντέλο την απαραίτητη προσαρμοστικότητα για να λαμβάνεται έμμεσα υπόψη η επίδραση της θερμοβαθμίδας στον προσδιορισμό του υψομέτρου ζώνης του χιονιού και επομένως το ποσοστό της έκτασης της λεκάνης με χιονοκάλυψη.

- Θερμοκρασία πάνω από την οποία όλη η κατακρήμνιση έχει τη μορφή βροχής,  $T_1$  (°C)

Η σημασία της παραμέτρου  $T_1$  αναφέρθηκε παραπάνω. Επιπλέον όμως το όριο  $T_1$  σηματοδοτεί την έναρξη της διαδικασίας λιωσίματος του χιονιού.

- Ελάχιστο ποσοστό βροχής ως προς τη συνολική κατακρήμνιση,  $a$   
Είναι το ποσοστό της συνολικής κατακρήμνισης που πέφτει με τη μορφή βροχής, όταν η θερμοκρασία είναι  $T_A \leq T_0$ .

- Ημερήσιος συντελεστής λιωσίματος χιονιού,  $DF$  (mm \* degrees/day)

Η παράμετρος αυτή εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο λιώνει το συσσωρευμένο από τον προηγούμενο μήνα χιόνι. Συγκεκριμένα προσδιορίζει πόσα εκατοστά χιονιού (ή χιλιοστά ισοδύναμου ύψους νερού) λιώνουν ανά βαθμομέρα. Επομένως η συνολική ποσότητα του χιονιού που λιώνει σε ένα μήνα είναι το γινόμενο του  $DF$  επί τον αριθμό των ημερών του μήνα επί τη μέση θερμοκρασία της λεκάνης (βαθμοήμερες με βάση τους 0°C).

- Συντελεστής άμεσης απορροής,  $SRC$

Είναι η παράμετρος που εκφράζει πόσο από το νερό της βροχής  $RA$  θα απορρευσει αμέσως, πριν προλάβει να λειτουργήσει ο μηχανισμός της εξατμισοδιαπνοής και της διήθησης. Η παράμετρος  $SRC$  διαφέρει σε κάθε μήνα, αλλά είναι σταθερή για κάθε έτος.

#### 4.2.4 Περιγραφή της λειτουργίας του μοντέλου

Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου λειτουργεί σε μηνιαία βάση και για τον υπολογισμό της απορροής  $Q_{est}$  χρησιμοποιεί σαν μεταβλητές εισόδου την κατακρήμνιση  $P$  (βροχόπτωση και ισοδύναμο ύψος χιονιού), τη θερμοκρασία  $T_A$ , την ηλιοφάνεια  $HA$ , τη σχετική υγρασία  $RAH$ , την ταχύτητα του ανέμου  $V_2$  (υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής) καθώς επίσης και τις παραμέτρους  $S_{max}$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $a$ ,  $DF$  και  $SRC$ .

Το μοντέλο για κάθε μήνα, υπολογίζει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή  $EPT$  με τη μέθοδο Penmann ή Thornthwaite ή Blaney-Criddle, μοιράζει παραμετρικά την κατακρήμνιση σε

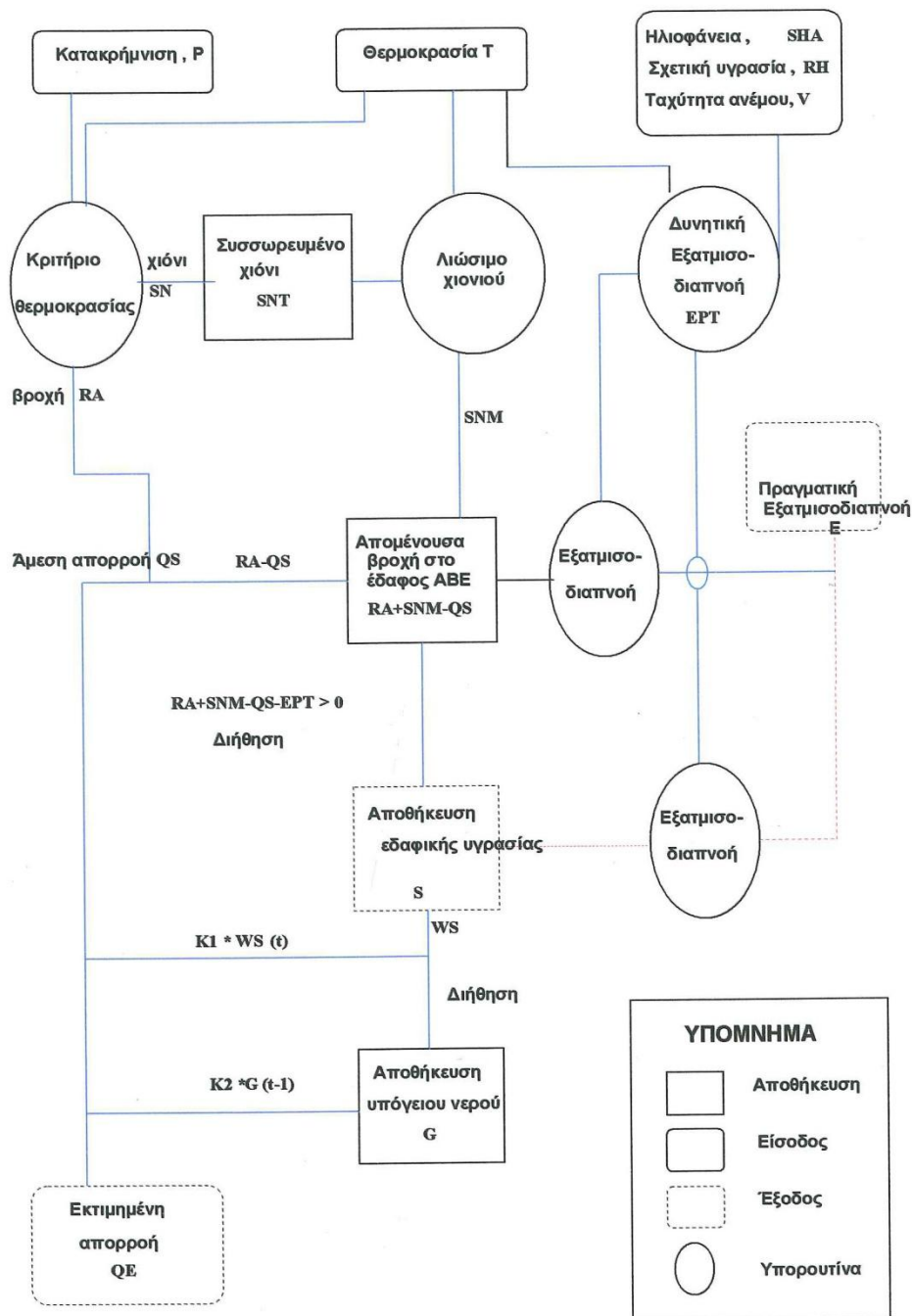
## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

βροχή RA και χιόνι SN και υπολογίζει το ποσό του νερού της βροχής που απορρέει αμέσως. Το υπόλοιπο νερό της βροχής προστιθέμενου και του νερού που προέρχεται από ενδεχόμενο λιώσιμο χιονιού, αποτελεί την τελική ποσότητα ABE του νερού από την οποία θα ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του μοντέλου πρώτα σε εξατμισοδιαπνοή E και μετά σε κορεσμό της εδαφικής υγρασίας S.

Αν η ποσότητα ABE δεν είναι επαρκής για την ικανοποίηση της ανάγκης δυναμικής εξατμισοδιαπνοής EPT, έχουμε προσφορά νερού από την εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα. Στην αντίθετη περίπτωση (της επάρκειας) και μετά τον κορεσμό του εδάφους ( $S=S_{max}$ ), το νερό που θα περισσέψει WS θα μοιραστεί σε ποσότητα απορροής και σε εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας θα συνεισφέρει και αυτός σε απορροή με ορισμένη υστέρηση, έτσι ώστε το τελικό ποσό της απορροής να είναι το άθροισμα της άμεσης απορροής, μέρους της ποσότητας WS, καθώς και της συνεισφοράς του υπογείου νερού.

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**



**Σχήμα 4.2-1. Το διάγραμμα ροής του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου Water Budget (Mimikou et al 1991)**

Στο Σχήμα 4.2-1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου, WBUDG. Οι διαδρομές που είναι με διακεκομμένη γραμμή είναι ενεργές μόνο όταν η απομένουσα βροχή στο έδαφος δεν είναι αρκετή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής EPT. Σε αυτή την περίπτωση, η εξατμισοδιαπνοή ικανοποιείται με την προσφορά της εδαφικής υγρασίας του προηγούμενου μήνα.

#### 4.2.4.1 Παραμετρικός μερισμός της κατακρήμνισης σε βροχή και χιόνι

Η προσομοίωση του υδρολογικού φαινομένου της κατακρήμνισης σε μια σύμμεικτη μορφή νερού (βροχής) και πάγου (χιονιού) επιτυγχάνεται με τον μερισμό της μεταβλητής εισόδου της κατακρήμνισης P σε δυο ποσότητες : βροχή RA και χιόνι SN ως εξής:

$$P = RA + SN$$

Πιο συγκεκριμένα, είναι βέβαιο ότι για υψηλές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (καλοκαιρινούς, θερμούς ανοιξιότικους και φθινοπωρινούς μήνες) όλη η κατακρήμνιση σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης θα έχει τη μορφή νερού (βροχή), ενώ για τις πολύ χαμηλές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (χειμωνιάτικους και ψυχρούς ανοιξιότικους και φθινοπωρινούς μήνες) το μεγαλύτερο ποσοστό της κατακρήμνισης θα έχει τη μορφή πάγου (χιονιού). Στην ουσία, με τον τρόπο αυτό επιχειρείται η προσομοίωση ενός μάλλον πολύπλοκου φαινομένου, παράγοντες του οποίου είναι το ύψος της ισόθερμου του μηδενός ως προς το μέσο υψόμετρο της λεκάνης, η σχέση υψόμετρου - επιφάνειας της λεκάνης, ο ρυθμός αύξησης της κατακρήμνισης με το υψόμετρο, η χωρική και κυρίως η χρονική ανομοιομορφία της κατακρήμνισης και της μέσης θερμοκρασίας μέσα στο μήνα.

Για τον σκοπό, λοιπόν, του μερισμού της κατακρήμνισης εισάγεται ένας αλγόριθμος ο οποίος με τις παραμέτρους του να αποτυπώνει με ακρίβεια τους παραπάνω παράγοντες. Έτσι γίνεται χρήση χαρακτηριστικών παραμέτρων του μοντέλου που έχουν οριστεί στις παραπάνω παραγράφους. Αυτές είναι οι εξής : οι χαρακτηριστικές θερμοκρασίες της λεκάνης  $T_0$  και  $T_1$ , καθώς και η χαρακτηριστική παράμετρος  $a$ .

Έτσι, η θερμοκρασία  $T_1$  είναι αυτή πάνω από την οποία γίνεται η παραδοχή ότι όλη η κατακρήμνιση έχει τη μορφή νερού (δηλαδή:  $P = RA$  και  $SN = 0$ ). Αντίθετα, η θερμοκρασία  $T_0$  είναι αυτή κάτω από την οποία γίνεται η παραδοχή ότι το ποσοστό της κατακρήμνισης που έχει τη μορφή νερού είναι ελάχιστο και ίσο με  $RA = a * P$  και άρα  $SN = (1 - a) * P$ . Τέλος, για ενδιάμεσες μηνιαίες θερμοκρασίες μεταξύ  $T_0$  και  $T_1$  ισχύει μια μέση κατάσταση, δηλαδή η κατακρήμνιση μοιράζεται μεταξύ των δυο διαφορετικών μορφών της με όρια αυτά που αναφέρθηκαν, όταν η θερμοκρασία τείνει είτε στο  $T_0$  είτε στο  $T_1$ .

#### 4.2.4.2 Άμεση απορροή

Είναι φυσικό ότι όταν η ένταση της βροχής ξεπερνά την ταχύτητα διείσδυσης στο έδαφος, ένα μέρος της βροχής που πέφτει στη λεκάνη απορρέει άμεσα επιφανειακά. Το μέγεθος αυτού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι οι κλίσεις της λεκάνης, ο βαθμός κορεσμού του εδάφους, η έκταση και το είδος της φυτοκάλυψης.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

Βέβαια, το φαινόμενο της άμεσης απορροής εμφανίζεται όταν η κατακρήμνιση έχει τη μορφή βροχής RA και όχι τη μορφή χιονιού που συσσωρεύεται στο έδαφος. Αλλά και το νερό που προέρχεται από το λιώσιμο του χιονιού υπάγεται σε μια διαφορετική διαδικασία απορροής, λόγω της βραδύτητας του φαινομένου.

Η ποσότητα της άμεσης απορροής παρίσταται στο μοντέλο με τη μεταβλητή QS και η προσομοίωση του φαινομένου οφείλεται στο ότι η ποσότητα QS αφαιρείται από το διαθέσιμο νερό με προτεραιότητα έναντι των υπολοίπων υδρολογικών διαδικασιών (εξατμισοδιαπνοή, εμπλουτισμός της υγρασίας του εδάφους, αποθήκευση στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα).

Η άμεση απορροή υπολογίζεται από τον τύπο :

$$QS = SRC * RA$$

Όπου: SRC είναι ο μηνιαίος συντελεστής άμεσης απορροής και μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή του εξαρτάται από τα μορφολογικά και εδαφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Συνήθως έχει τιμές μικρότερες του 0,50 αλλά μπορεί να λάβει και μεγαλύτερες τιμές για μικρές λεκάνες απορροής. Γενικά, ο συντελεστής SRC μειώνεται αυξανόμενης της έκτασης της λεκάνης απορροής.

### **4.2.4.3 Συσσωρευμένο χιόνι - Διαδικασία τήξης**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα μέρος της κατακρήμνισης P έχει τη μορφή χιονιού, όταν υπάρχει η κατάλληλη γι' αυτό μέση μηνιαία θερμοκρασία (δηλαδή μικρότερη της  $T_1$ ). Το χιόνι αυτό συσσωρεύεται στο έδαφος και ουσιαστικά συμμετέχει στην υδρολογική διαδικασία της λεκάνης με το λιώσιμο του. Αυτή δε η συμμετοχή είναι καθοριστική για τις ορεινές λεκάνες, στις οποίες το λιώσιμο του χιονιού που έχει αποθηκευτεί από τους χειμερινούς μήνες στην ορεινή ζώνη προκαλεί μια υστέρηση στην απόκριση της λεκάνης και ερμηνεύει την εαρινή αιχμή στο ετήσιο υδρογράφημα.

Η φυσική διαδικασία της τήξης του χιονιού είναι αρκετά πολύπλοκη και υπάρχουν πολλές μεταβλητές που υπεισέρχονται στη διαδικασία αυτή. Όμως έχει διαπιστωθεί ότι για τις ανάγκες των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου η τήξη του χιονιού μπορεί με ακρίβεια να προσομοιωθεί, θεωρούμενη σα συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Ειδικότερα, γίνεται η παραδοχή ότι το ύψος του χιονιού που λιώνει σε ένα χρονικό διάστημα είναι ανάλογο των βαθμοημερών αυτού του διαστήματος :

- ο όταν η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι μικρότερη του ορίου  $T_1$ , δηλαδή  $T_A < T_1$ , τότε το μοντέλο καταμερισμού της κατακρήμνισης σε βροχή και χιόνι επαρκεί για να αναπαραστήσει και τη διαδικασία της τήξης.



- ο όταν η μέση μηνιαία θερμοκρασία υπερβεί το όριο  $T_1$ ,  $T_A > T_1$ , τότε το μοντέλο υπολογίζει το ύψος χιονιού που μπορεί να λιώσει, ανάλογα με τις βαθμομέρες του μήνα και το αφαιρεί από το συσσωρευμένο χιόνι  $SNT$ .

#### **4.2.4.4 Απομένουσα βροχή στο έδαφος, ABE**

Με τον όρο απομένουσα βροχή στο έδαφος εννοούμε την ποσότητα του νερού που απομένει στη λεκάνη για να τροφοδοτήσει τις επόμενες υδρολογικές διεργασίες. Η απομένουσα βροχή ABE δίνεται από τη σχέση :

$$ABE = RN - QS$$

Όπου: RN η μηνιαία ποσότητα του νερού που προέρχεται από κατακρήμνιση ή από λιώσιμο χιονιού και QS η άμεση απορροή, όπως ορίστηκαν παραπάνω.

#### **4.2.4.5 Εξατμισοδιαπνοή και εδαφική υγρασία**

Από την ποσότητα της απομένουσας βροχής στο έδαφος που ορίστηκε στην παραπάνω παράγραφο, πρέπει να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του μοντέλου σε εξατμισοδιαπνοή πρώτα και στη συνέχεια σε κορεσμό του εδαφικού στρώματος.

Με τον όρο εξατμισοδιαπνοή καλείται η εξάτμιση των επιφανειακών λιμναζόντων νερών, των επιφανειακών υδροφορέων και η διαπνοή μέσω των φυλλωμάτων της χλωρίδας της λεκάνης. Στα επιφανειακά λιμναζόντα νερά περιλαμβάνεται και το νερό με μορφή υγρασίας του ανώτερου εδαφικού στρώματος. Η ποσότητα του νερού που διαφεύγει από τη λεκάνη με τον πιο πάνω τρόπο ονομάζεται E. Το μοντέλο έχοντας υπολογίσει για κάθε μήνα τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή EPT, θεωρεί ότι η εξατμισοδιαπνοή E που πρέπει να ικανοποιηθεί είναι ίση με την EPT.

Το νερό της ABE που θα περισσέψει μετά την ικανοποίηση των αναγκών του μοντέλου σε εξατμισοδιαπνοή, θα αναπληρώσει το ενδεχόμενο έλλειμμα εδαφικής υγρασίας, δηλαδή θα φέρει το έδαφος σε κατάσταση κορεσμού. Στην κατάσταση αυτή, το βάρος του νερού υπό μορφή εδαφικής υγρασίας εξισορροπείται από τις τριχοειδείς δυνάμεις του εδαφικού υλικού. Αν περισσεύει κάποια ποσότητα νερού μετά την ικανοποίηση και της εδαφικής υγρασίας δεν συγκρατείται από το έδαφος, αλλά διαφεύγει προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή κινείται για ένα διάστημα με υποδερμική ροή και μετά απορρέει επιφανειακά.

Το μέγιστο ποσό υγρασίας (εκφρασμένο σε ύψος νερού) που μπορεί να συγκρατηθεί από το εδαφικό στρώμα  $S_{max}$  και που καλείται υγρασία κορεσμού εδάφους εξαρτάται από τη μορφή του εδάφους και από το μέσο πάχος του εδαφικού στρώματος. Το μέγεθος  $S_{max}$ , όπως έχει

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

προαναφερθεί, αποτελεί παράμετρο του μοντέλου με τιμή που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 100-1000 mm νερού. Για το μοντέλο, ικανοποίηση των απαιτήσεων σε εδαφική υγρασία σημαίνει εξίσωση της εδαφικής υγρασίας  $S$  με την υγρασία κορεσμού του εδάφους  $S_{max}$ .

Το μοντέλο δίνει προτεραιότητα στην ικανοποίηση της εξαμισοδιαπνοής και στη συνέχεια στον κορεσμό του εδάφους. Αν η απομένουσα βροχή στο έδαφος ABE δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του μοντέλου σε εξαμισοδιαπνοή τότε αυτές καλύπτονται όσο γίνεται με χρήση νερού από την εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα. Στην περίπτωση που η ABE είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες σε εξαμισοδιαπνοή, τότε η περίσσεια του νερού διατίθεται για να καλύψει πιθανά ελλείμματα εδαφικής υγρασίας, αλλιώς διηθείται προς τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ή απορρέει.

### **4.2.4.6 Περίσσεια νερού - Απορροή - Υπόγειο νερό**

Το νερό που απομένει στη λεκάνη μετά την ικανοποίηση της εξαμισοδιαπνοής και της (ενδεχόμενης) αναπλήρωσης της εδαφικής υγρασίας του εδάφους μέχρι τον κορεσμό του, δεν απορρέει στο σύνολο του μέσα στον ίδιο μήνα. Ένα μέρος του παρουσιάζει υστέρηση στην απορροή (υστέρηση λεκάνης) και το υπόλοιπο απορρέει μέσα στο μήνα. Το ποσοστό του νερού που απορρέει άμεσα καλείται συντελεστής υστέρησης και εξαρτάται κυρίως από την έκταση της λεκάνης και τις κλίσεις της.

Η προσομοίωση της διαδικασίας αυτής γίνεται με την εισαγωγή της ενδιάμεσης μεταβλητής υπόγειο νερό  $G$ , που παριστάνει μια δεξαμενή η οποία έχει ως εισροή το περίσσειμα νερού και αποφορτίζεται με ορισμένο ρυθμό στην επιφάνεια της λεκάνης. Ο συντελεστής που εκφράζει το μέρος του περισσεύματος του νερού που θα απορρευσει είναι η παράμετρος  $K_1$  του μοντέλου, ενώ προφανώς ο συντελεστής που εκφράζει το ποσοστό του περισσεύματος που θα συγκρατηθεί για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα στη λεκάνη είναι ο  $1 - K_1$ .

Η υπόγεια δεξαμενή που αποθηκεύει την ποσότητα  $G$  αποφορτίζεται στην επιφάνεια της λεκάνης με ένα συγκεκριμένο ρυθμό. Γίνεται δε η παραδοχή ότι η επιφανειακή απορροή για κάθε μήνα που οφείλεται στην αποφόρτιση της δεξαμενής αυτής είναι ένα σταθερό ποσοστό του εκάστοτε αποθηκευμένου όγκου όπως αυτός υπολογίστηκε με βάση τον προηγούμενο μήνα. Το ποσοστό αυτό που αποτελεί παράμετρο του μοντέλου είναι χαρακτηριστικό της λεκάνης και συμβολίζεται με  $K_2$ .

### **4.2.4.7 Εκτιμημένη απορροή**

Η μηνιαία εκτιμημένη απορροή που λαμβάνεται ως έξοδος από το μοντέλο είναι τελικά το άθροισμα των τριών διαφορετικών τρόπων συνεισφοράς ποσότητας νερού που προβλέπει το

μοντέλο, δηλαδή η άμεση απορροή QS, το ποσοστό του υδατικού περισεύματος που απορρέει άμεσα  $K_1 * WS$  και η αποφόρτιση από την υπόγεια δεξαμενή  $K_2 * G$ , δηλαδή :

$$Q_{est} = QS + K_1WS + K_2G$$

#### **4.2.5 Ρύθμιση (βαθμονόμηση) του μοντέλου**

##### **4.2.5.1 Ορισμός βαθμονόμησης**

Βαθμονόμηση (calibration) είναι η συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, κατά τρόπο τέτοιο ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του μοντέλου να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις αντίστοιχες τιμές πεδίου (τιμές παρατήρησης). Προσομοιωμένες αποκρίσεις μπορεί να αναφέρονται σε παροχές νερού, εξατμισοδιαπνοή, στερεοπαροχές και φορτία N και P. Η βαθμονόμηση ενός μοντέλου προϋποθέτει ένα επαρκές χρονικό διάστημα για το οποίο διατίθενται συστηματικές μετρήσεις (χρονοσειρές) απόκρισης του φυσικού συστήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιστορικών δεδομένων με τα προσομοιωμένα.

Στο θέμα της βαθμονόμησης οι παράμετροι που περιγράφουν τις εσωτερικές διεργασίες δεν είναι πάντοτε γνωστές, οπότε ζητείται βελτιστοποίηση της ίδιας της μαθηματικής δομής του μοντέλου με τρόπο ώστε η προσομοιωμένη απόκριση να προσεγγίζει καλύτερα την παρατηρημένη συμπεριφορά του υδρολογικού συστήματος. Γνωρίζοντας ότι σε ένα μοντέλο φυσικής βάσης όλες οι παράμετροι είναι θεωρητικά μετρήσιμες ιδιότητες του φυσικού συστήματος, μια τέτοια στρατηγική αναιρεί το χαρακτηρισμό του μοντέλου ως φυσικής βάσης, αφού η προσαρμογή έστω και μιας παραμέτρου κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης καθιστά την όλη προσέγγιση εννοιολογική (Ευστρατιάδης, 2008).

Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα μοντέλο, τόσο πιο δύσκολο είναι να γίνει προσομοίωση των διαφόρων φυσικών διεργασιών με υψηλό βαθμό βεβαιότητας. Αυτό γίνεται περισσότερο εφικτό όταν διατίθενται πολλά δεδομένα πεδίου, που όμως η συλλογή τους απαιτεί χρόνο, εξειδικευμένες γνώσεις και έχει σημαντικό κόστος. Επιπροσθέτως, η δυσκολία στη βαθμονόμηση μπορεί να οφείλεται σε εσωτερικές παραμέτρους του μοντέλου που στερούνται πλήρους φυσικής σημασίας και προσαρμόζονται εμπειρικά.

##### **4.2.2.1 Βαθμονόμηση μοντέλου**

Αφότου γίνεται η επιλογή και η επεξεργασία όλων των δεδομένων, όπως περιγράφεται παραπάνω, διατυπώνεται το πρόβλημα ολικής βελτιστοποίησης. Αναλυτικότερα, προσδιορίζεται η στοχαστική συνάρτηση και οι μεταβλητές ελέγχου και καθορίζονται τα εφικτά

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

όρια των παραμέτρων με βάση τη φυσική σημασία τους, με σκοπό τη βελτιστοποίηση του μοντέλου.

Η ρύθμιση του μοντέλου γίνεται για τη σειρά των υδρολογικών ετών 1990-2002, και κατόπιν χρησιμοποιούνται τα υδρολογικά έτη 2002 έως και 2010 για την επαλήθευση της ρύθμισης. Οι προς ρύθμιση παράμετροι του ομοιώματος με τη σειρά που αυτές εισήλθαν στη διαδικασία της ρύθμισης είναι οι εξής:

- Ο συντελεστής άμεσης απορροής SRC: Έχει προσδιοριστικό ρόλο για το ποιο ποσοστό του νερού θα εισέλθει στον προσομοιωμένο υδρολογικό κύκλο και για τον οποίο το ομοίωμα παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία. Ο συντελεστής αυτός θεωρήθηκε μεταβλητός για κάθε μήνα του χρόνου, αλλά σταθερός από χρόνο σε χρόνο. Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq SRC \leq 1$ .
- Το ισοδύναμο ύψος της εδαφικής υγρασίας κορεσμού  $S_{max}$ : Εκφράζει την αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο κυρίως κατά τη μετάβαση από την ξηρά περίοδο στην υγρή αλλά και αντιστρόφως μέσα στο υδρολογικό έτος. Κατά τη διάρκεια των υγρών χειμερινών μηνών το έδαφος είναι συνήθως κορεσμένο οπότε το μοντέλο δεν ανταποκρίνεται σε μεταβολές της τιμής της παραμέτρου  $S_{max}$ . Τους υπόλοιπους όμως μήνες που οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι σημαντικές, το ύψος  $S_{max}$  παρουσιάζεται ως δεξαμενή συγκράτησης νερού με προορισμό την εξάτμιση, που ανάλογα με το μέγεθος της επιτρέπει στην εξατμισοδιαπνοή να λάβει τη μέγιστη τιμή της ή όχι. Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq S_{max} \leq 1500$ .
- Οι οριακές θερμοκρασίες  $T_0$ ,  $T_1$  και το ποσοστό  $a$ : Ο ρόλος τους είναι σημαντικός κατά τη χειμερινή και εαρινή απορροή. Τους χειμερινούς μήνες κατανέμουν τη συνολική κατακρήμνιση σε βροχή και χιόνι που αποθηκεύεται, καθορίζοντας έτσι τη διακύμανση της απορροής τους χειμερινούς μήνες σε συνάρτηση και της μέσης θερμοκρασίας της λεκάνης. Η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών βελτιώνει την προσαρμογή στους χειμερινούς μήνες και δημιουργεί ένα απαραίτητο απόθεμα χιονιού για το ανοιξιάτικο λιώσιμο. Λαμβάνουν τιμές:  $0 \leq a \leq 1$ ,  $-15 \leq T_0 \leq 10$ ,  $0 \leq T_1 \leq 15$ ,  $T_1 > T_0$ .
- Η οριακή θερμοκρασία  $T_1$  σε συνδυασμό με το συντελεστή λιώσιματος χιονιού DF: Καθορίζουν την έναρξη και το ρυθμό λιώσιματος του συσσωρευμένου χιονιού, μετατοπίζοντας έτσι τον όγκο της απορροής που προκύπτει από το λιώσιμο του χιονιού. Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq DF \leq 1$ .
- Οι συντελεστές  $K_1$  και  $K_2$ : προσδιορίζουν ποιο ποσοστό του νερού μετά την ικανοποίηση της εξατμισοδιαπνοής και τον κορεσμό του εδάφους θα οδηγηθεί στον υπόγειο υδροφόρα και ποιο ποσοστό του εκεί αποθηκευμένου νερού θα απορρευτεί επιφανειακά τον επόμενο μήνα. Μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς την ακρίβεια εκτίμησης υπάρχει στον συντελεστή  $K_1$ . Λαμβάνουν τιμές:  $0 \leq K_1, K_2 \leq 1$ .

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου κριτήριο αποτέλεσε η αποτελεσματικότητα μεταξύ υπολογισμένης και μετρημένης χρονοσειράς απορροής. Προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ως αντικειμενική συνάρτηση ο δείκτης Nash - Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στις υδρολογικές προσομοιώσεις (βλ. Παράγραφο 4.4).

### **4.3 Περιγραφή υδρολογικού μοντέλου “ABCD”**

Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου που χρησιμοποιήθηκε και διαμορφώθηκε για τις ανάγκες προσομοίωσης της υδρολογικής λεκάνης της περιοχής μελέτης, περιγράφεται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους.

#### **4.3.1 Κύριες μεταβλητές εισόδου του μοντέλου**

Ομοίως με μοντέλο “WBUDG” (Παράγραφος 4.2.1).

#### **4.3.2 Ενδιάμεσες μεταβλητές του μοντέλου**

Οι ενδιάμεσες μεταβλητές παρουσιάζονται ακολούθως:

- Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Actual Evapotranspiration),  $E_t$  (mm)  
Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά τη διάρκεια της περιόδου  $t$  δίνεται από τη σχέση:

$$E_t = Y_t - S_t$$

όπου το  $S_t$  αντιπροσωπεύει την αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στο τέλος της περιόδου  $t$  και  $Y_t$  είναι η δυνατότητα εξατμισοδιαπνοής (περιγράφεται ακολούθως).

- Διαθέσιμο νερό (Available Water),  $W_t$  (mm)  
Το «διαθέσιμο νερό» την χρονική στιγμή  $t$  ορίζεται ως:

$$W_t = P_t + S_{t-1}$$

όπου  $S_{t-1}$  είναι η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία τη χρονική στιγμή  $t-1$ , καθώς στο μοντέλο  $t$  είναι ο μήνας, η  $t-1$  αναφέρεται στον προηγούμενο μήνα.

- Δυνατότητα εξατμισοδιαπνοής (Evapotranspiration Opportunity),  $Y_t$  (mm)  
Η «δυνατότητα εξατμισοδιαπνοής» ( $Y_t = E_t + S_t$ ) καθορίζει το νερό που τελικά φεύγει από τη λεκάνη υπό μορφή εξατμισοδιαπνοής και μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με το «διαθέσιμο νερό» από μία μη γραμμική συνάρτηση σύμφωνα με την εξίσωση:

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

$$Y_t(W)_t = \frac{W_t + b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{W_t + b}{2a}\right)^2 - \frac{W_t b}{a}}$$

Αυτή η εξίσωση βεβαιώνει απλά ότι  $Y_t \leq W_t$ ,  $dW(0) / dY = 1$  και  $dW(\infty) / dY = 0$ .

Στην πραγματικότητα, το ανώτερο όριο στο  $W_t$ , είναι η παράμετρος  $b$ . Οι Thomas et al (1983) σημειώνουν ότι "εκτός από αυτές τις ιδιότητες, η εξίσωση  $Y(W)$  δεν έχει καμία ιδιαίτερη σημασία".

- Αποθηκευμένη εδαφική υγρασία (Soil Moisture Storage),  $S_t$  (mm)

Η κατανομή του διαθέσιμου νερού,  $Y_t$  μεταξύ των  $E_t$  και του  $S_t$  επιτυγχάνεται υποθέτοντας ότι ο ρυθμός απώλειας εδαφικής υγρασίας σε εξαμισοδιαπνοή είναι ανάλογος προς την αποθηκευμένη εδαφική υγρασία, έτσι ώστε  $dS/dt = -PE * S/b$ . Λύνοντας αυτήν τη διαφορική εξίσωση και υποθέτοντας ότι  $S_{t-1} = Y_t$  καταλήγουμε στη σχέση:

$$S_t = Y_t \exp(-PE_t / b)$$

- Επαναφόρτιση υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Groundwater Recharge), (mm)

Η επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα υπολογίζεται με τη βοήθεια της παραμέτρου  $c$  και δίνεται από τη σχέση:

$$GW_{\text{recharge}} = c (W_t - Y_t)$$

- Άμεση απορροή (Direct Runoff), (mm)

Η άμεση απορροή υπολογίζεται με τη βοήθεια της παραμέτρου  $c$  και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{DirectRunoff} = (1 - c) * (W_t - Y_t)$$

Παρατηρούμε ότι, η παράμετρος  $c$ , σύμφωνα με τις δύο παραπάνω σχέσεις, προσδιορίζει την ποσότητα του νερού που θα καταμεληθεί μεταξύ της υπόγειας επαναφόρτισης  $c (W_t - Y_t)$  και της άμεσης απορροής  $(1 - c) * (W_t - Y_t)$ . Ή αλλιώς, η διαφορά ανάμεσα στο διαθέσιμο νερό και τη δυνατότητα εξαμισοδιαπνοής  $(W_t - Y_t)$  εκφράζει ουσιαστικά το άθροισμα της υπόγειας επαναφόρτισης και της άμεσης απορροής.

- Αποθηκευμένο υπόγειο νερό (Groundwater Storage),  $G_t$  (mm)

Το αποθηκευμένο υπόγειο νερό στο τέλος της περιόδου  $t$  είναι ίσο με την αποθήκευση την προηγούμενη χρονική στιγμή  $(t-1)$  και την επαναφόρτιση των υπόγειων νερών μείον την εκροή υπόγειου νερού με τη μορφή βασικής ροής, έτσι ώστε:

$$G_t = G_{t-1} + c(W_t - Y_t) - dG_t$$

- Διαφυγή υπόγειου νερού (Groundwater Discharge),  $dG_t$  (mm)  
Η διαφυγή του υπόγειου νερού στο υδατόρευμα με τη μορφή βασικής ροής διαμορφώνεται ως  $dG_t$ , όπου το  $d$  είναι η τέταρτη παράμετρος.

### 4.3.3 Μεταβλητή εξόδου

Η μεταβλητή εξόδου του μοντέλου είναι υδρολογική μεταβλητή (απορροή), χρονικά διακυμαινόμενη, που προσδιορίζεται με τη βοήθεια των ενδιάμεσων διεργασιών του μοντέλου. Καθώς η ελάχιστη χρονική μονάδα που χρησιμοποιείται στην ανάλυση της χρονικής διακύμανσης των υδρολογικών μεγεθών είναι ο μήνας, η μεταβλητή εξόδου δίνεται με τη μορφή μέσης μηνιαίας τιμής. Ακολουθώς, δίνεται αναλυτικά η μεταβλητή αυτή:

- Προσομοιωμένη απορροή,  $Q_{est}$  (mm).  
Εκφράζεται ως μηνιαία απορροή ανοιγμένη σε ισοδύναμο ύψος απορροής της λεκάνης (mm) και είναι το άθροισμα της άμεσης απορροής και της διαφυγής του υπογείου νερού:

$$Q_{est} = (1 - c) * (W_t - Y_t) + (d * G_t)$$

### 4.3.4 Παράμετροι του μοντέλου και βαθμονόμησή του

Η ρύθμιση του μοντέλου γίνεται για τη σειρά των υδρολογικών ετών 1990-2002, και κατόπιν χρησιμοποιούνται τα υδρολογικά έτη 2002 έως και 2010 για την επαλήθευση της ρύθμισης. Οι προς ρύθμιση παράμετροι του ομοιώματος με τη σειρά που αυτές εισήλθαν στη διαδικασία της ρύθμισης είναι οι  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $S_0$  και  $G_0$ . Η κάθε μία από τις παραμέτρους έχει καθορισμένα όρια με βάση τη φυσική σημασία της παραμέτρου.

- Παράμετρος  $a$   
Η παράμετρος  $a$  εκφράζει την "τάση του νερού προς απορροή προτού το έδαφος να είναι πλήρως κορεσμένο" (Thomas et al, 1983). Όπως παρουσιάζεται, σύμφωνα με ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών από τον Alley (1984), η παράμετρος  $a$  βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ (0,95, 0,99) για αρκετές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, ενώ η τιμή της παραμέτρου  $a$  τείνει κοντά στη μονάδα σε περιοχές με επίπεδη και ομοιόμορφη τοπογραφία, που χαρακτηρίζονται από μικρή ικανότητα απορροής. Σε περιοχές με εντονότερο ανάγλυφο και μεγαλύτερη ικανότητα απορροής, η τιμή της παραμέτρου  $a$  μειώνεται. Η αστικοποίηση και η αποψίλωση των δασών τείνουν στην περαιτέρω μείωση της παραμέτρου. Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq a \leq 1$ .

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

### ➤ Παράμετρος b

Η παράμετρος b είναι το ανώτερο όριο του αθροίσματος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας σε μια δεδομένη περίοδο t. Η παράμετρος αυτή εκφράζει τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα στην ακόρεστη εδαφική ζώνη πάνω από τη ζώνη του υπόγειου νερού. Δηλαδή, ουσιαστικά ποσοτικοποιεί την ικανότητα της υδρολογικής λεκάνης να συγκρατήσει νερό στο ανώτερο εδαφικό στρώμα. Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq b \leq 1500$ .

### ➤ Παράμετρος c

Η παράμετρος c ελέγχει την κατανομή του νερού ανάμεσα στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη (δηλαδή το νερό το οποίο διαφεύγει από την ακόρεστη ζώνη και κατεισδύει βαθύτερα στην κορεσμένη). Πρακτικά, διαχωρίζει την ποσότητα του νερού που απορρέει με τη μορφή της άμεσης απορροής και αυτής που επαναφορτίζει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η παράμετρος c αναφέρεται και ως ο Δείκτης της βασικής απορροής (Baseflow Index, BFI) και είναι ο λόγος της υπόγειας ροής προς την απορροή του υδατορεύματος:

$$c = E(dG_t) / E(Q_t) = BFI$$

Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq c \leq 1$ .

### ➤ Παράμετρος d

Το αντίστροφο κλάσμα της παραμέτρου d είναι ίσο με το μέσο χρόνο παραμονής του νερού στον υπόγειο υδροφόρο. Οι Vogel and Kroll (1992) απέδειξαν ότι, κατά τη διάρκεια μιας περιόδου όπου υπάρχει μόνο βασική απορροή (όταν δηλαδή η άμεση απορροή είναι αμελητέα και η υπόγεια ροή είναι γραμμικώς ανάλογη με την αποθήκευση του υπόγειου νερού  $Q_t = d * G_t$ , όπως υποτέθηκε στο μοντέλο "ABCD"), τότε η απορροή ακολουθεί την εξίσωση:

$$Q_t = K_b^t * Q_0$$

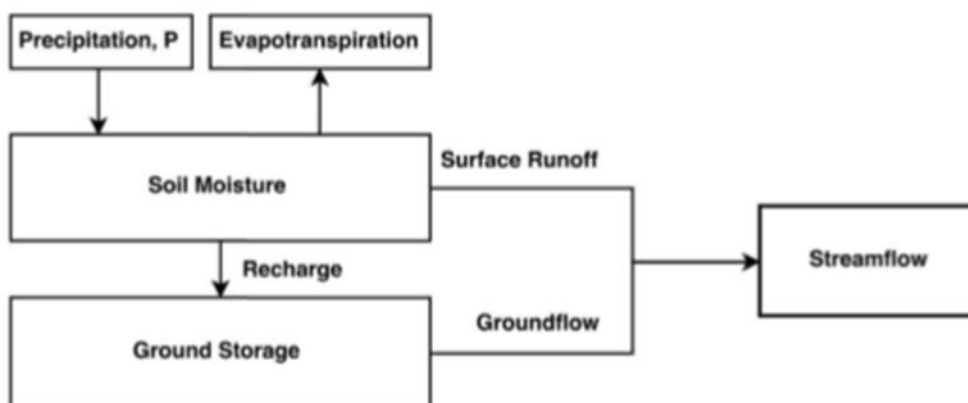
Όπου  $K_b = e^{-1/k}$  εκφράζεται ως η σταθερά επαναφόρτισης της βασικής απορροής και  $Q_0$  είναι η απορροή στην αρχή της περιόδου που μελετάται. Εφόσον,  $d = 1 / k$  καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι  $d = -\ln(K_b)$ . Λαμβάνει τιμές:  $0 \leq d \leq 1$ .

### ➤ Παράμετροι $S_0$ και $G_0$

Δύο επιπλέον παράμετροι που υπεισέρχονται στο μοντέλο είναι το αρχικό απόθεμα εδαφικής υγρασίας  $S_0$ , με διαστάσεις ισοδύναμου ύψους νερού, που εξαρτάται από την αρχική εδαφική υγρασία (λαμβάνει τιμές:  $100 \leq S_0 \leq 350$ ) και το αρχικό απόθεμα υπόγειου νερού  $G_0$ , με διαστάσεις ισοδύναμου ύψους νερού, που εξαρτάται από την αρχική κατάσταση των υπογείων νερών (λαμβάνει τιμές:  $40 \leq G_0 \leq 80$ ).

Για τη βαθμονόμηση του μοντέλου κριτήριο αποτέλεσε η αποτελεσματικότητα μεταξύ υπολογισμένης και μετρημένης χρονοσειράς απορροής. Προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η ίδια αντικειμενική συνάρτηση.





Σχήμα 4.3-1. Διάγραμμα ροής του μοντέλου “ABCD” (Bournas et al, 2017)

#### 4.4 Αξιολόγηση ακρίβειας προσομοίωσης

Για τον έλεγχο της ακρίβειας προσομοίωσης, ως μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ρύθμισης των μοντέλων και επιλογής του καταλληλότερου καθορίζεται το κριτήριο Nash-Sutcliffe (1970). Πρόκειται για μια αντικειμενική συνάρτηση η οποία αποτελεί μέτρο σύγκλισης της προσομοιωμένης με την παρατηρημένη χρονοσειρά και δίνεται από την εξίσωση:

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{est,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

Όπου:

- Eff : ο δείκτης Nash-Sutcliffe
- Q<sub>obs</sub> : οι παρατηρημένες τιμές της απορροής
- Q<sub>est</sub> : οι προσομοιωμένες τιμές της απορροής
- $\bar{Q}_{obs}$  : ο μέσος όρος των παρατηρημένων τιμών της απορροής
- n : το μήκος της χρονοσειράς (πλήθος παρατηρήσεων)

Για τα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου που εφαρμόζονται υπολογίζεται ο συντελεστής EC, ο οποίος, σύμφωνα με την παραπάνω συνάρτηση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$EC = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{obs,i} - S_i)}{\sum_{i=1}^n (S_{obs,i})}$$

Όπου:

$$S_{obs,i} = (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2$$

$$S_i = (Q_{obs,i} - Q_{est,i})^2$$

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

Η βέλτιστη και ταυτόχρονα μέγιστη τιμή του δείκτη είναι η μονάδα και λαμβάνεται όταν οι παρατηρημένες τιμές ταυτίζονται πλήρως με τις προσομοιωμένες. Ο δείκτης δεν έχει κάτω όριο, δηλαδή λαμβάνει και αρνητικές τιμές.

Η τιμή απόδοσης  $EC = 1$  αντιστοιχεί σε απόλυτη προσαρμογή του μοντέλου στις τιμές των παρατηρημένων παρατηρήσεων. Για  $EC = 0$  το μοντέλο ανταποκρίνεται στην προσομοίωση των παρατηρημένων δεδομένων όσο η μέση τιμή, ενώ για τιμές του  $EC < 0$  η μέση τιμή αντιπροσωπεύει καλύτερα την προσομοίωση των δεδομένων απ' ό,τι το μοντέλο. Με άλλα λόγια, όσο ο συντελεστής  $EC$  πλησιάζει την τιμή 1 τόσο αποτελεσματικότερα περιγράφει τις παρατηρημένες παρατηρήσεις.

Επίσης, εκτός από την απόκλιση των δύο χρονοσειρών, λαμβάνει υπ' όψιν του και τη διασπορά του δείγματος με χρήση της απόκλισης των παρατηρημένων τιμών από το μέσο όρο τους, στον παρονομαστή, γι' αυτό και θεωρείται πιο αντιπροσωπευτικός από άλλους.

Η επιθυμητή ακρίβεια είναι κάτι που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως το χρονικό βήμα που επιλέγεται αλλά και η ποιότητα των δεδομένων. Γενικά, στόχος της προσομοίωσης θα πρέπει να είναι η επίτευξη τιμής του δείκτη Nash-Sutcliffe όσο το δυνατό πλησιέστερη στη μονάδα. Παρόλα αυτά, πολλές φορές η ρύθμιση του μοντέλου για διάφορους λόγους δεν επιτρέπει την επίτευξη μέγιστης τιμής δείκτη Nash-Sutcliffe.

### **4.5 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων καταλληλότερου μοντέλου**

Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός της μεταβολής των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε πιθανή μεταβολή κάποιων εκ των παραμέτρων αυτού, καθώς και του βαθμού με τον οποίο κάθε μεταβλητή τα επηρεάζει.

Η μέθοδος ανάλυσης ευαισθησίας που ακολουθείται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι μία από τις απλούστερες. Είναι η προσέγγιση μέσω της διακύμανσης μιας παραμέτρου εισόδου κάθε φορά (One at a time - OAT / one factor at a time - OFAT), και η παρακολούθηση της επίδρασης την οποία προκαλεί στο τελικό αποτέλεσμα. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει:

- Τη μετακίνηση μιας μεταβλητής εισόδου ( $\pm 25\%$ ), εντός ορίων περιορισμού, διατηρώντας σταθερές όλες τις άλλες τιμές στην ονομαστική - αρχική τους τιμή.
- Επιστρέφοντας την μεταβλητή αυτή στην αρχική της τιμή, και επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για άλλη μεταβλητή εισόδου με τον ίδιο τρόπο.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Παρά την απλότητα τις μεθόδου, αυτή η προσέγγιση δε διερευνά πλήρως το πεδίο τιμών των μεταβλητών εισόδου, δεδομένου ότι δεν λαμβάνει υπόψη την ταυτόχρονη μεταβολή των μεταβλητών μειώνοντας κατά ένα βαθμό τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων. Αυτό σημαίνει ότι η μέθοδος προσέγγισης OAT/OFAT δεν μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου (Czitrom, 1999).

Ως ενδεικτική παράμετρος της συμπεριφοράς του μοντέλου, θεωρείται η μέση τιμή των προσομοιωμένων απορροών και ως μεταβλητές οι παράμετροι του μοντέλου.

Ακολουθώντας τη διαδικασία αυτή και μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του μοντέλου κατά διάφορα ποσοστά των αρχικών τους τιμών, προκύπτουν οι μεταβολές της μέσης τιμής των απορροών σύμφωνα με τον παρακάτω υπολογισμό:

$$\Delta Q = \left| \frac{\sum Q_{\text{cal}} - \sum Q_{\text{opt}}}{\sum Q_{\text{opt}}} \right| * 100\%$$

Όπου:

$\sum Q_{\text{cal}}$ : Άθροισμα των υπολογισμένων απορροών

$\sum Q_{\text{opt}}$ : Άθροισμα των υπολογισμένων απορροών για τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων.

### 4.6 Περιγραφή μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα

Προσομοίωση ταμιευτήρα είναι η αναπαράσταση της λειτουργίας του με μαθηματικά μεγέθη όπως αυτή εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Στην παρούσα μελέτη ο αριθμός των ετών προσομοίωσης είναι 20. Για τη διαδικασία της προσομοίωσης ακολουθήθηκε το μοντέλο Simple Counting Failure Method (Τσακίρης, 1995). Στο μοντέλο αυτό υπεισέρχονται ως δεδομένα εισόδου οι εισροές ενός σημαντικού αριθμού υδρολογικών ετών. Στις εισροές συμπεριλαμβάνονται η απορροή  $Q_{\text{obs}}$  η οποία μετριέται σε  $\text{hm}^3$  (εκατ. κυβικά μέτρα) και αποτελεί την κυριότερη αιτία των εισροών και η βροχόπτωση στην επιφάνεια της λίμνης του ταμιευτήρα. Στην προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν οι ανηγμένες τιμές της βροχόπτωσης στο σταθμό του φράγματος, καθώς είναι ο σταθμός που βρίσκεται πολύ κοντά στο φράγμα και συνεπώς στην επιφάνεια του καθρέφτη της λίμνης και επομένως θεωρείται ο πιο αξιόπιστος.

Στις εκροές συμπεριλαμβάνονται η μηνιαία εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα όπως αυτή υπολογίστηκε στο τρίτο κεφάλαιο (Παράγραφος 3.4.2), οι απολήψεις για καταναλωτική χρήση (ύδρευση, άρδευση) (Παράγραφος 3.6), οι ενδεχόμενες υπερχειλίσεις σε ορισμένα υδρολογικά έτη, ενώ είναι άγνωστο αν και κατά πόσο υφίστανται υπόγειες διαφυγές και απολήψεις για περιβαλλοντική διαχείριση. Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστεί η

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα μέσω των αθροιστικών όγκων και επιφανειών που περιγράφονται στο τρίτο κεφάλαιο. Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα προκύπτει όταν από το συνολική χωρητικότητα του ταμιευτήρα ( $115 \text{ hm}^3$ ) αφαιρεθεί η ποσότητα του νεκρού όγκου ( $0,5 \text{ hm}^3$ ). Έτσι προκύπτει τιμή ωφέλιμης χωρητικότητας ( $114,5 \text{ hm}^3$ ) στη στάθμη υπερχειλίσης (247,17 m απόλυτο υψόμετρο στάθμης).

Η γενική εξίσωση που περιγράφει τη λειτουργία ενός ταμιευτήρα με χρονικό βήμα το μήνα είναι η εξής (Τσακίρης, 1995):

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - E_t - A_t - Y_t$$

Όπου:

- $V_t$  και  $V_{t-1}$ : ο ωφέλιμος όγκος νερού που είναι αποθηκευμένος στον ταμιευτήρα τους μήνες  $t$  και  $t-1$  αντίστοιχα σε μονάδες  $\text{hm}^3$
- $Q_t$ : οι εισροές το μήνα  $t$  σε  $\text{hm}^3$
- $E_t$ : οι καθαρές απώλειες το συγκεκριμένο μήνα στις ίδιες μονάδες όγκου με τις προηγούμενες μεταβλητές
- $A_t$ : η πραγματική απόληψη τον ίδιο μήνα επίσης στις ίδιες μονάδες μέτρησης
- $Y_t$ : η πιθανή υπερχειλίση το συγκεκριμένο μήνα σε  $\text{hm}^3$

Για την πραγματική απόληψη και την υπερχειλίση και με δεδομένη μία τιμή της ωφέλιμης χωρητικότητας  $S$  του ταμιευτήρα, που όπως αναφέρθηκε πιο πάνω είναι η τιμή των  $114,526 \text{ hm}^3$ , ισχύουν οι εξής εξισώσεις (Τσακίρης, 1995):

$$A_t = \min \{B_t, V_{t-1} + Q_t - E_t\}$$
$$Y_t = \max \{0, V_{t-1} + Q_t - E_t - A_t - S\}$$

όπου  $B_t$  είναι η επιθυμητή απόληψη του μήνα  $t$  σε  $\text{hm}^3$ .

Οι καθαρές απώλειες που αναφέρθηκαν πιο πάνω οφείλονται στην εξάτμιση από την επιφάνεια της λίμνης και υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση (Τσακίρης, 1995):

$$E_t = E_{0t} - R_t + Q_t$$

Όπου :

- $E_{0t}$ : η εξάτμιση του συγκεκριμένου μήνα  $t$ , όπως υπολογίστηκε (Παράγραφος 3.4.2)
- $R_t$ : η ανηγμένη βροχόπτωση του ίδιου μήνα στην επιφάνεια της λίμνης
- $Q_t$ : η απορροή του μήνα  $t$  εκφρασμένη σε χιλιοστά (mm).

Στο μοντέλο προσομοίωσης που περιγράφηκε παραπάνω πρέπει να γίνεται αναγωγή των τιμών των απωλειών που υπολογίστηκαν από mm σε  $\text{hm}^3$  και αυτό επιτυγχάνεται με τον

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

πολλαπλασιασμό της τιμής της απώλειας με το εμβαδό της επιφάνειας κατάκλυσης του ταμιευτήρα, όπως αυτά προκύπτουν από τα διαγράμματα στάθμης επιφάνειας που αναφέρονται στη Παράγραφο 3.4.2.

Η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα πραγματοποιείται με βάση το διατιθέμενο δείγμα των απορροών των υδρολογικών ετών 1990-2010 και της πραγματικής αποθηκευτικότητας του φράγματος, με την ταυτόχρονη κατανομή της πραγματικής απόληψης (1990-2010), στους διάφορους μήνες της ζήτησης.

Υπολογίζεται λοιπόν ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα σε κάθε χρονικό βήμα ο οποίος προκύπτει:

1. Αθροίζοντας την πραγματική απορροή της λεκάνης Κούρη στο χρονικό βήμα, την πραγματική εισροή που προέρχεται από τον φράγμα της Αρμίνου και την βροχή στην επιφάνεια της λίμνης του φράγματος που υπογίζεται με βάση τη βροχή από το μετεωρολογικό σταθμό Κούρη.
2. Αθροίζοντας την πραγματική απολήψη από το φράγμα του Κούρη στο χρονικό βήμα, την εξάτμιση της λίμνης που υπολογίζεται όπως αναφέρεται προηγουμένως με βάση τη θερμοκρασία από τον μετεωρολογικό σταθμό Κούρη και τις υπόγειες διαφυγές (βελτιστοποίηση του μοντέλου) οι οποίες θεωρούνται διαφορετικές ανα μήνα αλλά σταθερές ανά έτος και λαμβάνουν τιμές από 0,05-0,5 hm<sup>3</sup>.
3. Προσθέτοντας στον ωφέλιμο όγκου του προηγούμενου βήματος το άθροισμα της διαδικασίας 1 και αφαιρώντας το άθροισμα της διαδικασίας 2 προκύπτει ο ωφέλιμος όγκος του βήματος.

Στη συνέχεια συγκρίνεται γραφικά και με τη βοήθεια του δείκτη EC η ιστορική χρονοσειρά ωφέλιμων όγκων με την υπολογισμένη για να εξακριβωθεί αν όντως η εξίσωση αυτή αντιπροσωπεύει την λειτουργία του ταμιευτήρα, χρησιμοποιώντας ως παράμετρο βελτιστοποίησης τις μηνιαίες υπόγειες διαφυγές.

### **4.7 Ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος**

Το μοντέλο που αναπτύσσεται στην Παράγραφο 4.6 εφαρμόζεται για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του ταμιευτήρα ως προς την κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση για τα επόμενα 30 χρόνια.

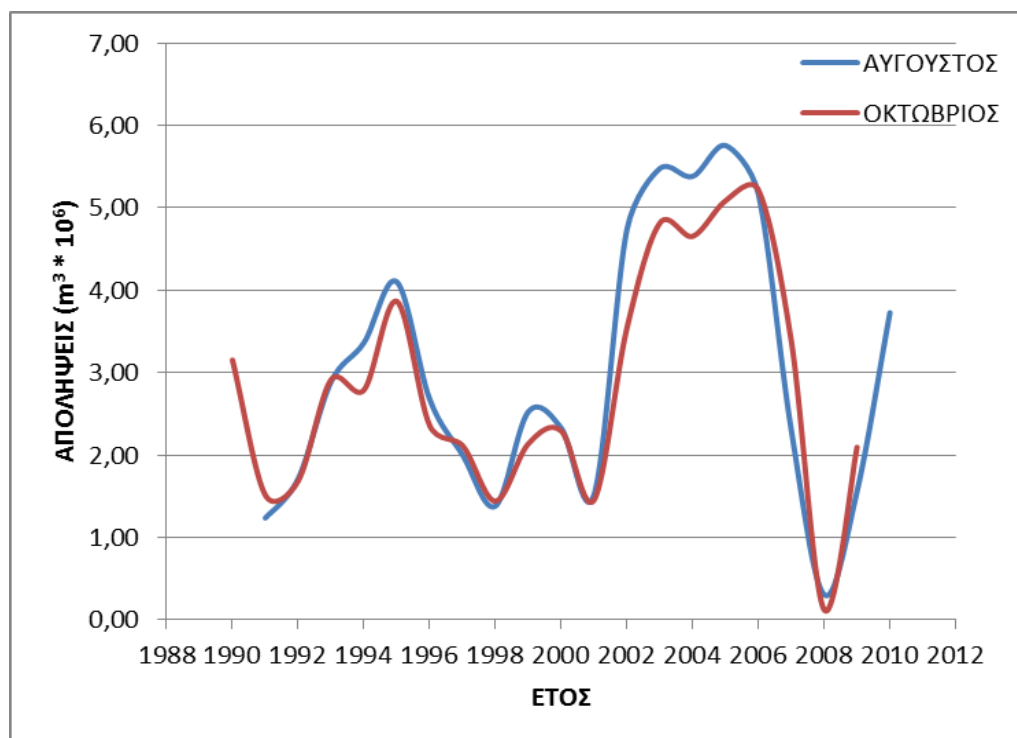
#### **4.7.1 Για την εφαρμογή του μοντέλου κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος πραγματοποιούνται τα πιο κάτω βήματα:**

1. Χρησιμοποιούνται αρχικά οι προσαρμοσμένες στο σενάριο κλιματικής αλλαγής, χρονοσειρές θερμοκρασίας για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από την λεκάνη απορροής (Παράγραφος 3.4.2).
2. Έπειτα εφαρμόζεται το υδρολογικό μοντέλο που επιλέχθηκε με δεδομένα εισόδου τις προσαρμοσμένες στο σενάριο κλιματικής αλλαγής, χρονοσειρές βροχόπτωσης και τις χρονοσειρές εξατμισοδιαπνοής που υπολογιστήκαν πιο πάνω. Έτσι εκτιμώνται οι απορροές της λεκάνης για μια χρονοσειρά 30 ετών.
3. Κατόπιν από τις προσαρμοσμένες στο σενάριο κλιματικής αλλαγής συνθετικές χρονοσειρές βροχόπτωσης υπολογίζεται η βροχή ( $hm^3$ ) στη λίμνη του ταμιευτήρα.
4. Ως εξάτμιση από τη λίμνη του ταμιευτήρα θεωρείται η μέση μηνιαία τιμή της εξάτμισης από την περίοδο ρύθμισης του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα, η οποία είναι διαφορετική για κάθε μήνα και σταθερή ανά έτος.
5. Ως απολήψεις για την χρονοσειρά των 30 ετών, έπειτα απο διερεύνηση, θεωρούνται οι μέσες μηνιαίες απολήψεις του φράγματος (54,9% ύδρευση και 45,1% άρδευση) από τα έτη 2003-2010, οι οποίες είναι διαφορετικές για κάθε μήνα και σταθερές ανά έτος.

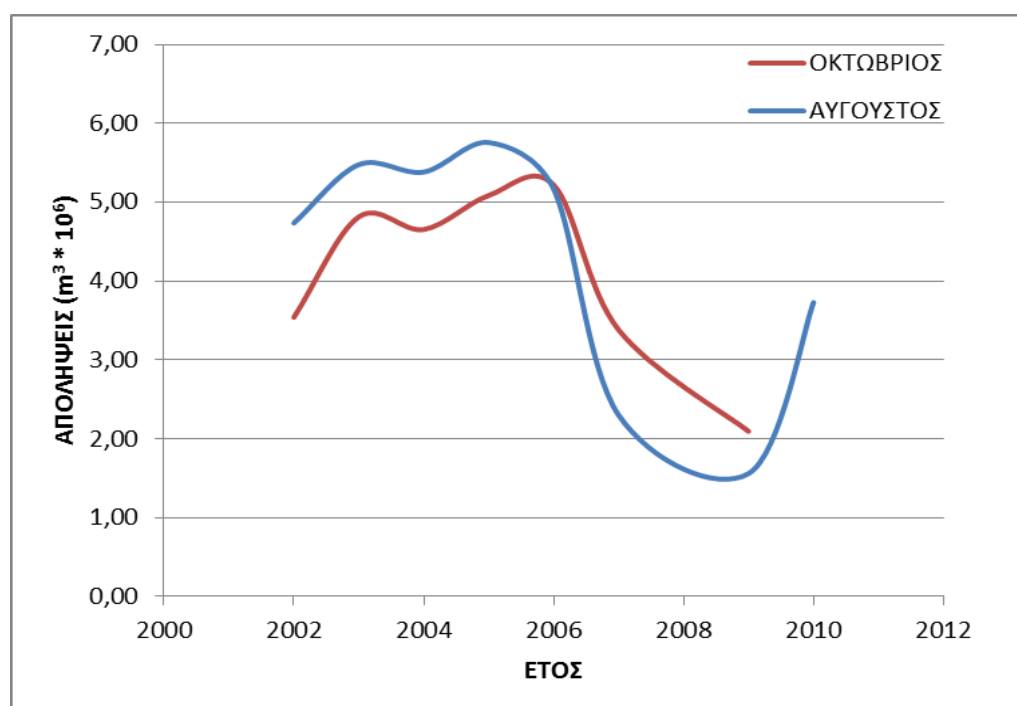
Λόγω μεγάλης διακύμανσης των τιμών των απολήψεων για κάθε μήνα κατά τα έτη 1990-2010 (μεγάλη τυπική απόκλιση από τον μέσο όρο) (Σχήμα 4.7-1) επιλέγονται τα έτη 2003-2010 για τον υπολογισμό των μέσων μηνιαίων απολήψεων για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα για 30 έτη γιατί τότε τέθηκε σε λειτουργία το έργο του Νοτίου Αγωγού που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις απολήψεις (Σχήμα 4.7-2).

6. Για τον υπολογισμό του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα σε κάθε χρονικό βήμα θεωρούνται : Ως εισροές στον ταμιευτήρα, ο ωφέλιμος όγκος του προηγούμενου βήματος, η απορροή και η βροχή που υπολογίζονται στα βήματα 2,3 και η μέση μηνιαία εισροή από το φράγμα της Αρμίνου (από τα έτη 1998-2010) η οποία είναι διαφορετική ανά μήνα και σταθερή ανά έτος. Ως εκροές στον ταμιευτήρα, η εξάτμιση και οι απολήψεις που υπολογίζονται στα βήματα 4,5 καθώς και οι μηνιαίες υπόγειες διαφυγές που υπολογίζονται κατά την αρχική ρύθμιση του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 4.7-1. Μηνιαίες απολήψεις με τη μεγαλύτερη απόκλιση (1990-2010)



Σχήμα 4.7-2. Μηνιαίες απολήψεις με τη μεγαλύτερη απόκλιση (2003-2010)

7. Τέλος, εκτιμάται η αξιοπιστία του ταμιευτήρα ως προς την κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση για 30 χρόνια.

Έτσι όταν υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα νερού (ωφέλιμος όγκος) επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόληψη ενώ το αντίθετο συμβαίνει όταν η επιθυμητή απόληψη υπερβαίνει τη διαθέσιμη ποσότητα νερού για κατανάλωση. Η τελευταία αυτή περίπτωση καλείται ως περίπτωση αστοχίας του έργου, δηλαδή το άδειασμα το πολύ  $m$  φορές του ταμιευτήρα στους  $N$  μήνες της προσομοίωσης. Άρα, η πιθανότητα να υπάρξει αστοχία στο έργο, δηλαδή απόληψη μικρότερη από την επιθυμητή είναι η εξής (Τσακίρης, 1995):

$$P = (m / N) * 100$$

Ορίζεται ως αξιοπιστία του ταμιευτήρα το ποσοστό εκείνο, σύμφωνα με το οποίο υπάρχει πλήρης κάλυψη των αναγκών σε νερό στα διάφορα υδρολογικά έτη. Στην αξιοπιστία δηλαδή τοποθετούμε τον αριθμό των ετών  $N'$  όπου υπάρχει πλήρης κάλυψη της ζήτησης και όχι τον αριθμό των ετών όπου έχουμε αστοχία του έργου. Έτσι η αξιοπιστία δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Τσακίρης, Τόμος II, 2006):

$$r = N' / N$$

#### **4.7.2 Για την εφαρμογή του μοντέλου κάτω από συνθήκες σταθερού κλίματος πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα:**

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ακριβώς η ίδια που περιγράφεται στην παράγραφο 5.7.2 χρησιμοποιώντας όμως τις αρχικές συνθετικές χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης έναντι των αντίστοιχων προσαρμοσμένων στο σενάριο κλιματικής αλλαγής.

#### **4.7.3 Σύγκριση των δύο χρονοσειρών ωφέλιμων όγκων μήκους 30 ετών που προκύπτουν από το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα**

Η σύγκριση της χρονοσειράς ωφέλιμων όγκων μήκους 30 ετών κάτω από καθεστώς μεταβαλλόμενου κλίματος και της χρονοσειράς ωφέλιμων όγκων μήκους 30 ετών κάτω από καθεστώς σταθερού κλίματος που προκύπτουν από το μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα επιτυγχάνεται βάση της πιθανότητας μη κάλυψης της επιθυμητής απόληψης (αστοχία του έργου).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

### 5.1 Αποτελέσματα της ρύθμισης και επαλήθευσης του υδρολογικού μοντέλου “WBUDG” στη λεκάνη απορροής Κούρη

Για τη λεκάνη απορροής Κούρη οι τιμές των παραμέτρων που αποδίδουν την καλύτερη προσομοίωση του μοντέλου βροχής – απορροής “WBUDG” δίνονται στον Πίνακα 5.1-1.

Πίνακας 5.1-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου “WBUDG” για τη λεκάνη απορροής Κούρη

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΗΝΕΣ	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
Smax	576,118	SRC	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,0023
K1	0,465		ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,0020
K2	0,221		ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,0258
To	1,722		ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,0301
T1	5,086		ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,0392
a	0,278		ΜΑΡΤΙΟΣ	0,0453
DF	0,695		ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,0473
			ΜΑΙΟΣ	0,0377
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,573		ΙΟΥΝΙΟΣ	0,0109
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,547		ΙΟΥΛΙΟΣ	0,0020
			ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,0017
			ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,0003

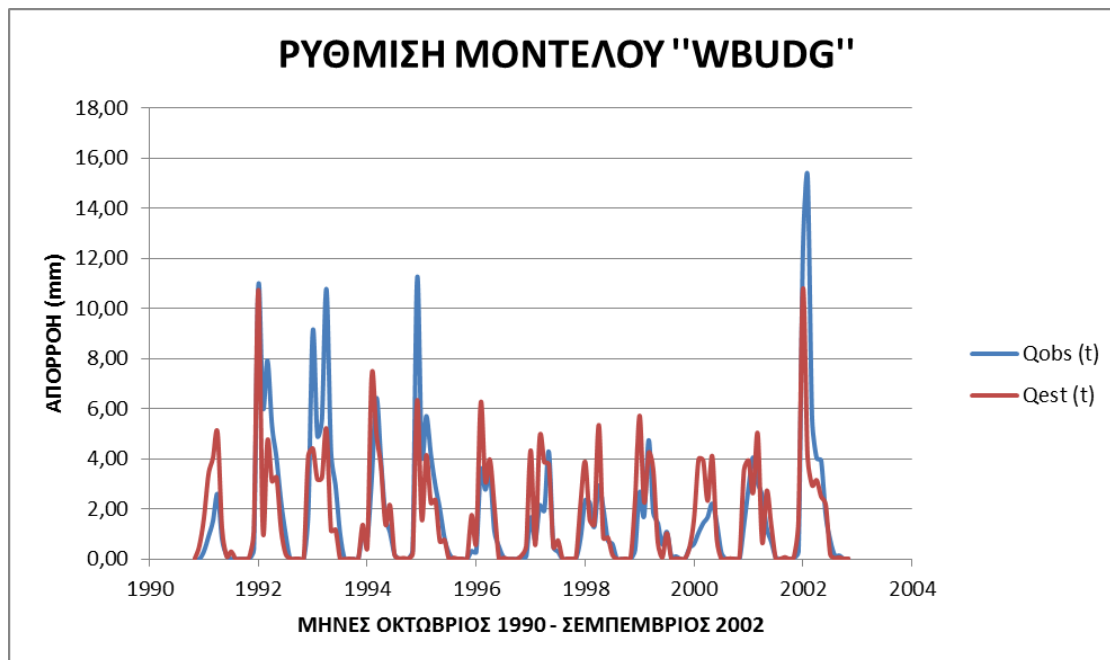
Η σύγκριση της παρατηρημένης και προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροών σε μηνιαίο βήμα για τα έτη ρύθμισης (1990-2002) απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1-1.

Η τιμή (0,573) που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC για τα έτη ρύθμισης φανερώνει μη ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.

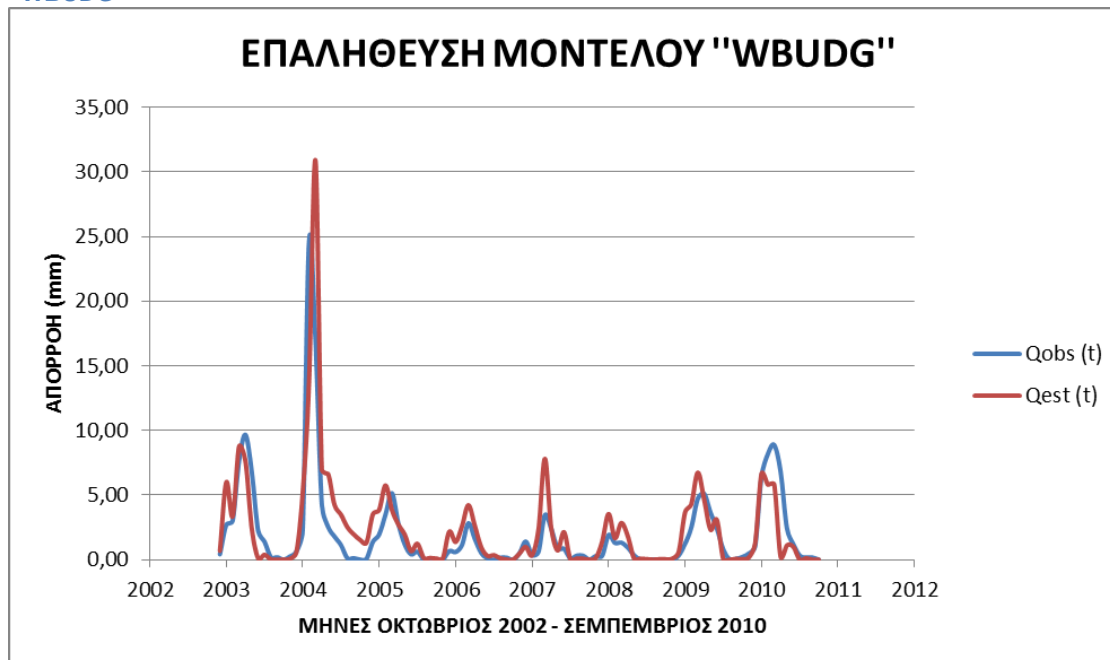
Η επαλήθευση του μοντέλου γίνεται για τα έτη (2002-2010) και στο Σχήμα 5.1-2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παρατηρημένη και η προσομοιωμένη χρονοσειρά απορροών σε μηνιαίο βήμα.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Η τιμή (0,547) που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC για τα έτη επαλήθευσης φανερώνει ότι επιτυγχάνεται ορθή ρύθμιση αλλά μη ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.



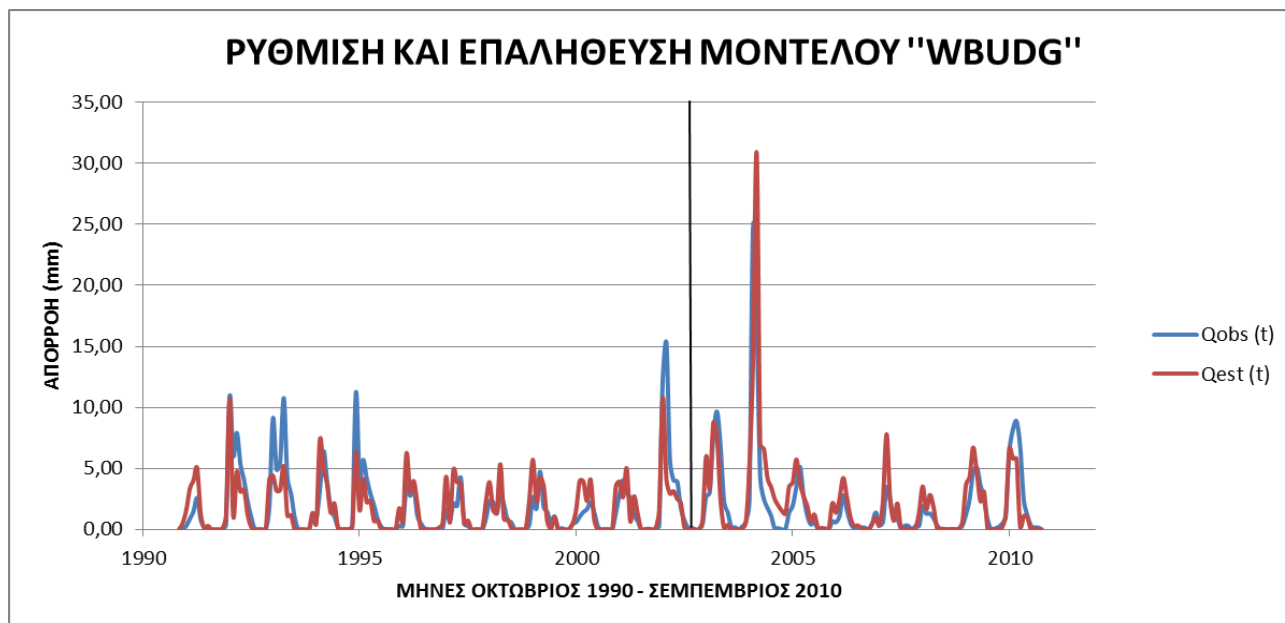
Σχήμα 5.1-1. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου "WBUDG"



Σχήμα 5.1-2. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου "WBUDG"

Στο Σχήμα 5.1-3 παρουσιάζεται η χρονοσειρά παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής τόσο για τα έτη ρύθμισης όσο και για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου "WBUDG".

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 5.1-3. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης και επαλήθευσης του μοντέλου "WBUDG"

## 5.2 Αποτελέσματα της ρύθμισης και επαλήθευσης του υδρολογικού μοντέλου "ABCD" στη λεκάνη απορροής Κούρη

Για τη λεκάνη απορροής Κούρη οι τιμές των παραμέτρων που αποδίδουν την καλύτερη προσομοίωση του μοντέλου βροχής – απορροής "ABCD" δίνονται στον Πίνακα 5.2-1.

Πίνακας 5.2-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου "ABCD" για τη λεκάνη απορροής Κούρη

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
a	0,965
b	452,664
c	0,909
d	0,000
S <sub>o</sub>	100,00
G <sub>o</sub>	59,65
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,857
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,813

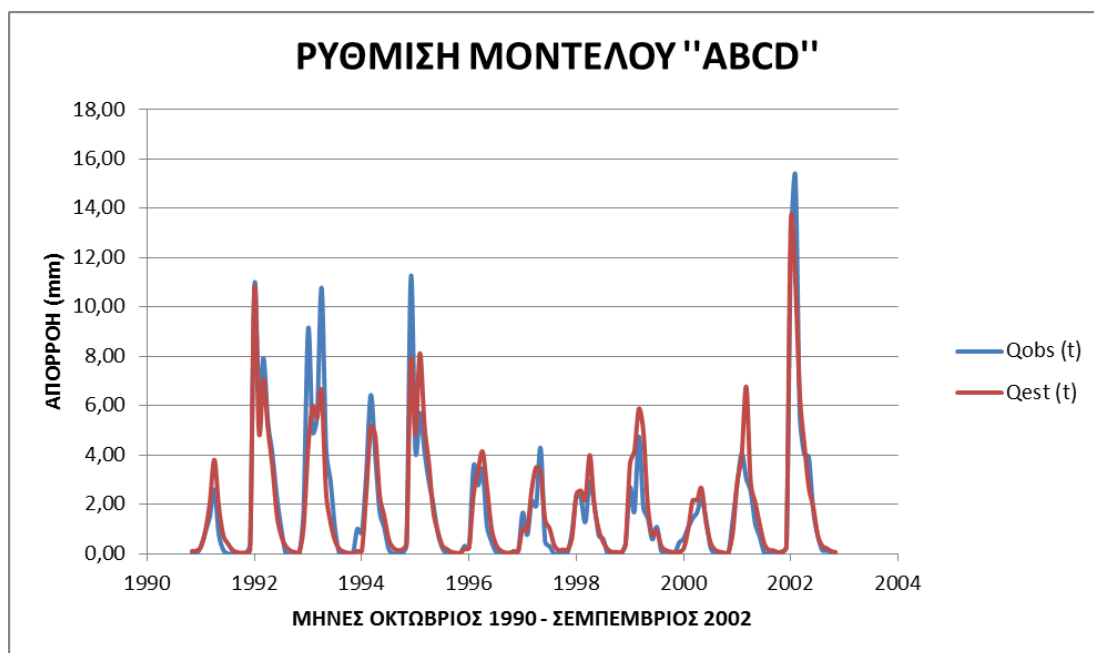
Η σύγκριση της παρατηρημένης και προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροών σε μηνιαίο βήμα για τα έτη ρύθμισης (1990-2002) απεικονίζεται στο Σχήμα 5.2-1.

Η τιμή (0,857) που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC για τα έτη ρύθμισης φανερώνουν ιδιαίτερα ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.

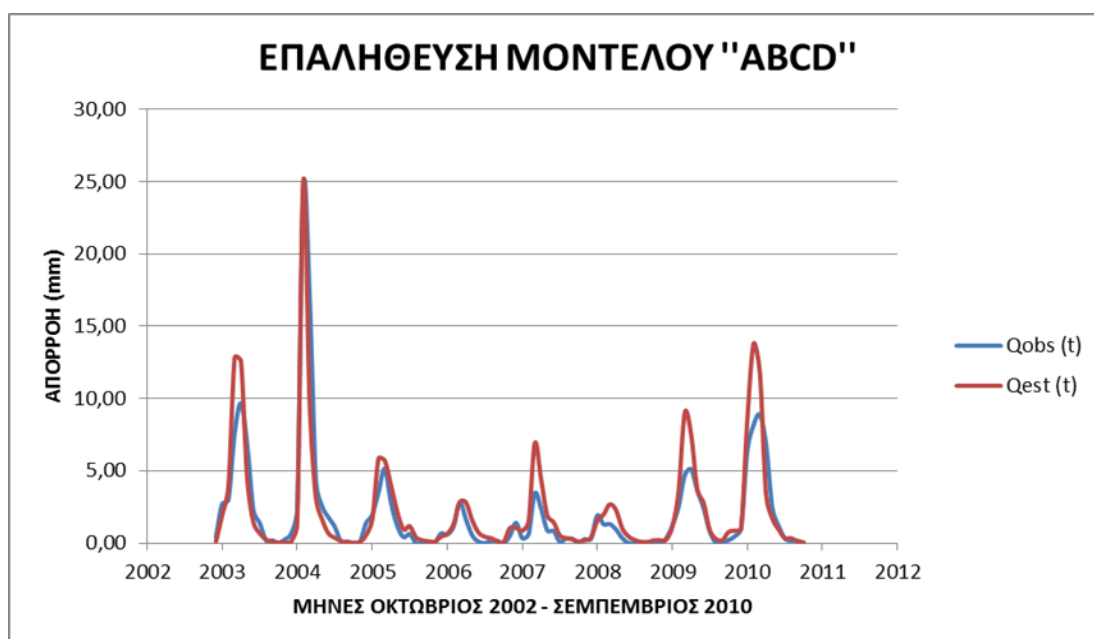
## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Η επαλήθευση του μοντέλου γίνεται για τα έτη (2002-2010) και στο Σχήμα 5.2-2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παρατηρημένη και η προσομοιωμένη χρονοσειρά απορροών σε μηνιαίο βήμα.

Η τιμή (0,813) που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC για τα έτη επαλήθευσης φανερώνει ότι επιτυγχάνεται ορθή ρύθμιση και ιδιαίτερα ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.



Σχήμα 5.2-1. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου "ABCD"



Σχήμα 5.2-2. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου "ABCD"

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Στο Σχήμα 5.2-3 παρουσιάζεται η χρονοσειρά παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής τόσο για τα έτη ρύθμισης όσο και για τα έτη επαλήθευσης του μοντέλου "ABCD".



Σχήμα 5.2-3. Χρονοσειρά απορροής λεκάνης Κούρη για τα έτη ρύθμισης και επαλήθευσης του μοντέλου "ABCD"

### 5.3 Σύγκριση και επιλογή καταλληλότερου μοντέλου για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης Κούρη

Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής γίνεται βάση των τιμών του δείκτη EC τόσο για τα έτη ρύθμισης όσο και για τα έτη επαλήθευσης των μοντέλων (Πίνακας 5.3-1).

Πίνακας 5.3-1. Έλεγχος ακρίβειας προσομοίωσης της λεκάνης απορροής Κούρη από τα υδρολογικά μοντέλα "ABCD" και "WBUDG"

	ΜΟΝΤΕΛΟ "ABCD"	ΜΟΝΤΕΛΟ "WBUDG"
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,857	0,573
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,813	0,547

Έπειτα παρουσιάζονται οι τιμές της παρατηρημένης και των προσομοιωμένων χρονοσειρών απορροών σε μηνιαίο βήμα όσο για τα έτη 1990-2010 αναλυτικά στον Πίνακα 5.3-2 και γραφικά στο Σχήμα 5.3-1.

Από τις τιμές του δείκτη EC για τα μοντέλα "ABCD" και "WBUDG" αλλά και από την γραφική απεικόνιση της παρατηρημένης και των προσομοιωμένων χρονοσειρών προκύπτει ότι το μοντέλο "ABCD" περιγράφει με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια το υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης απορροής Κούρη.

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

**Πίνακας 5.3-2. Παρατηρημένη και προσομοιωμένες χρονοσειρές απορροών λεκάνης Κούρη**

			ABCD	WBUDG					ABCD	WBUDG
ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Qobs (t)	Qest (t)	Qest (t)		ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Qobs (t)	Qest (t)	Qest (t)
Οκτώβριος	1990	0,000	0,099	0,011		Οκτώβριος	1994	0,344	0,402	0,212
Νοέμβριος	1990	0,000	0,112	0,525		Νοέμβριος	1994	11,229	7,844	6,332
Δεκέμβριος	1990	0,300	0,265	1,614		Δεκέμβριος	1994	4,152	4,835	1,575
Ιανουάριος	1991	0,887	0,922	3,368		Ιανουάριος	1995	5,700	8,115	4,142
Φεβρουάριος	1991	1,511	2,071	4,026		Φεβρουάριος	1995	4,161	5,217	2,239
Μάρτιος	1991	2,588	3,803	5,030		Μάρτιος	1995	2,922	3,663	2,352
Απρίλιος	1991	0,786	1,903	1,212		Απρίλιος	1995	1,985	1,704	0,701
Μάιος	1991	0,150	0,735	0,103		Μάιος	1995	0,837	0,910	0,761
Ιούνιος	1991	0,000	0,419	0,291		Ιούνιος	1995	0,231	0,331	0,001
Ιούλιος	1991	0,000	0,154	0,001		Ιούλιος	1995	0,000	0,185	0,048
Αύγουστος	1991	0,000	0,060	0,002		Αύγουστος	1995	0,000	0,072	0,002
Σεπτέμβριος	1991	0,000	0,026	0,000		Σεπτέμβριος	1995	0,000	0,033	0,001
Οκτώβριος	1991	0,000	0,046	0,074		Οκτώβριος	1995	0,000	0,028	0,025
Νοέμβριος	1991	0,386	0,130	1,116		Νοέμβριος	1995	0,313	0,186	1,748
Δεκέμβριος	1991	10,891	10,757	10,732		Δεκέμβριος	1995	0,281	0,231	0,663
Ιανουάριος	1992	6,038	4,888	1,101		Ιανουάριος	1996	3,542	2,395	6,239
Φεβρουάριος	1992	7,917	7,068	4,730		Φεβρουάριος	1996	2,770	3,333	3,112
Μάρτιος	1992	5,346	5,060	3,106		Μάρτιος	1996	3,407	4,136	3,962
Απρίλιος	1992	4,016	3,518	3,253		Απρίλιος	1996	1,119	2,694	2,105
Μάιος	1992	2,289	1,570	1,191		Μάιος	1996	0,497	1,043	0,017
Ιούνιος	1992	0,986	0,703	0,199		Ιούνιος	1996	0,071	0,375	0,041
Ιούλιος	1992	0,000	0,302	0,024		Ιούλιος	1996	0,000	0,132	0,000
Αύγουστος	1992	0,000	0,114	0,001		Αύγουστος	1996	0,000	0,050	0,000
Σεπτέμβριος	1992	0,000	0,063	0,003		Σεπτέμβριος	1996	0,000	0,023	0,001
Οκτώβριος	1992	0,000	0,046	0,023		Οκτώβριος	1996	0,089	0,095	0,143
Νοέμβριος	1992	1,826	1,120	4,126		Νοέμβριος	1996	0,098	0,115	0,509
Δεκέμβριος	1992	9,114	4,316	4,412		Δεκέμβριος	1996	1,655	1,044	4,328
Ιανουάριος	1993	4,917	5,955	3,178		Ιανουάριος	1997	0,758	0,957	0,558
Φεβρουάριος	1993	5,547	5,513	3,239		Φεβρουάριος	1997	2,141	2,590	4,876
Μάρτιος	1993	10,771	6,560	5,176		Μάρτιος	1997	1,932	3,500	3,858
Απρίλιος	1993	4,298	2,486	1,139		Απρίλιος	1997	4,274	3,273	3,774
Μάιος	1993	2,941	1,269	1,176		Μάιος	1997	0,476	1,357	0,471
Ιούνιος	1993	1,005	0,517	0,016		Ιούνιος	1997	0,301	1,027	0,742
Ιούλιος	1993	0,000	0,183	0,000		Ιούλιος	1997	0,000	0,358	0,012
Αύγουστος	1993	0,000	0,074	0,006		Αύγουστος	1997	0,000	0,137	0,009
Σεπτέμβριος	1993	0,000	0,030	0,000		Σεπτέμβριος	1997	0,000	0,159	0,014
Οκτώβριος	1993	0,000	0,017	0,002		Οκτώβριος	1997	0,032	0,154	0,069
Νοέμβριος	1993	1,004	0,102	1,361		Νοέμβριος	1997	0,861	0,621	2,265
Δεκέμβριος	1993	0,846	0,117	0,468		Δεκέμβριος	1997	2,328	2,399	3,878
Ιανουάριος	1994	3,265	2,432	7,358		Ιανουάριος	1998	2,246	2,553	1,560
Φεβρουάριος	1994	6,424	5,119	5,002		Φεβρουάριος	1998	1,279	2,193	1,378
Μάρτιος	1994	4,008	4,796	3,714		Μάρτιος	1998	2,922	3,990	5,344
Απρίλιος	1994	1,672	2,361	1,382		Απρίλιος	1998	2,016	1,976	0,838
Μάιος	1994	1,069	1,525	2,139		Μάιος	1998	0,737	0,963	0,856
Ιούνιος	1994	0,185	0,583	0,153		Ιούνιος	1998	0,600	0,471	0,168
Ιούλιος	1994	0,000	0,242	0,024		Ιούλιος	1998	0,000	0,170	0,000
Αύγουστος	1994	0,000	0,134	0,035		Αύγουστος	1998	0,000	0,061	0,000
Σεπτέμβριος	1994	0,000	0,163	0,016		Σεπτέμβριος	1998	0,000	0,067	0,010

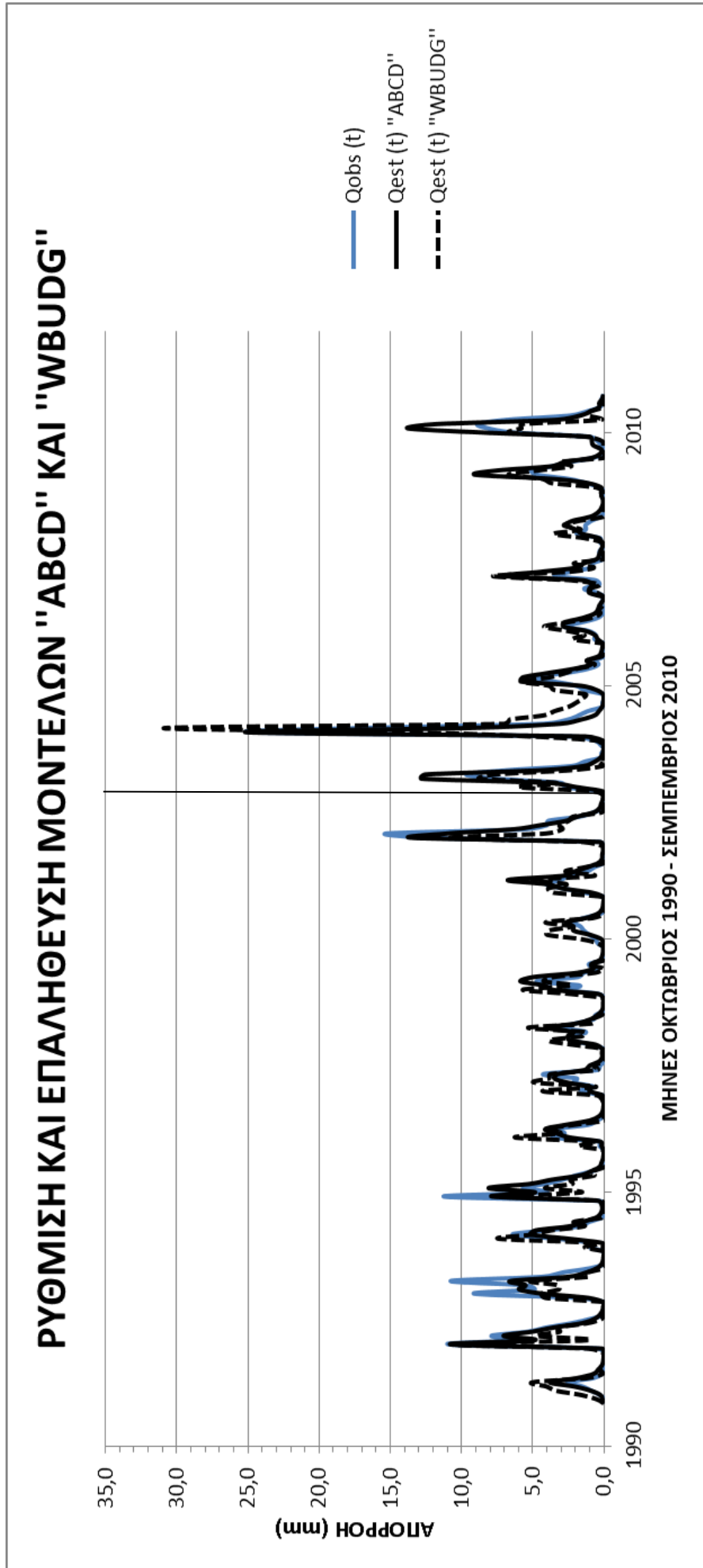
**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

			ABCD	WBUDG				ABCD	WBUDG
ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Qobs (t)	Qest (t)	Qest (t)	ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Qobs (t)	Qest (t)	Qest (t)
Οκτώβριος	1998	0,000	0,056	0,035	Οκτώβριος	2002	0,000	0,062	0,014
Νοέμβριος	1998	0,368	0,392	2,344	Νοέμβριος	2002	0,409	0,098	0,676
Δεκέμβριος	1998	2,659	3,627	5,714	Δεκέμβριος	2002	2,710	1,941	5,983
Ιανουάριος	1999	1,720	4,163	2,268	Ιανουάριος	2003	3,013	3,905	3,345
Φεβρουάριος	1999	4,740	5,874	4,242	Φεβρουάριος	2003	7,592	12,808	8,733
Μάρτιος	1999	1,866	4,952	3,570	Μάρτιος	2003	9,665	12,557	7,626
Απρίλιος	1999	1,436	1,898	0,658	Απρίλιος	2003	6,794	4,486	2,410
Μάιος	1999	0,568	0,755	0,054	Μάιος	2003	2,244	1,419	0,105
Ιούνιος	1999	1,079	0,918	1,024	Ιούνιος	2003	1,397	0,672	0,373
Ιούλιος	1999	0,101	0,307	0,000	Ιούλιος	2003	0,185	0,247	0,008
Αύγουστος	1999	0,101	0,138	0,020	Αύγουστος	2003	0,185	0,087	0,000
Σεπτέμβριος	1999	0,000	0,074	0,003	Σεπτέμβριος	2003	0,000	0,039	0,001
Οκτώβριος	1999	0,000	0,055	0,026	Οκτώβριος	2003	0,245	0,057	0,069
Νοέμβριος	1999	0,440	0,070	0,464	Νοέμβριος	2003	0,618	0,081	0,555
Δεκέμβριος	1999	0,607	0,202	1,636	Δεκέμβριος	2003	2,292	1,317	5,205
Ιανουάριος	2000	1,050	0,979	3,988	Ιανουάριος	2004	24,634	25,126	13,782
Φεβρουάριος	2000	1,424	2,144	3,933	Φεβρουάριος	2004	16,974	9,656	30,860
Μάρτιος	2000	1,667	2,154	2,325	Μάρτιος	2004	4,240	3,088	6,982
Απρίλιος	2000	2,207	2,648	4,093	Απρίλιος	2004	2,524	1,619	6,625
Μάιος	2000	1,417	1,278	0,794	Μάιος	2004	1,771	0,665	4,212
Ιούνιος	2000	0,253	0,459	0,002	Ιούνιος	2004	1,126	0,366	3,480
Ιούλιος	2000	0,000	0,158	0,001	Ιούλιος	2004	0,112	0,139	2,513
Αύγουστος	2000	0,000	0,073	0,017	Αύγουστος	2004	0,112	0,053	1,959
Σεπτέμβριος	2000	0,000	0,038	0,002	Σεπτέμβριος	2004	0,000	0,026	1,524
Οκτώβριος	2000	0,000	0,055	0,068	Οκτώβριος	2004	0,060	0,079	1,304
Νοέμβριος	2000	1,371	0,857	3,552	Νοέμβριος	2004	1,360	0,533	3,495
Δεκέμβριος	2000	2,866	2,922	3,931	Δεκέμβριος	2004	1,951	1,611	3,846
Ιανουάριος	2001	4,051	4,002	2,638	Ιανουάριος	2005	3,500	5,823	5,738
Φεβρουάριος	2001	3,052	6,762	5,006	Φεβρουάριος	2005	5,136	5,706	3,843
Μάρτιος	2001	2,519	2,881	0,669	Μάρτιος	2005	2,798	3,989	2,725
Απρίλιος	2001	1,233	2,085	2,719	Απρίλιος	2005	1,186	2,165	1,941
Μάιος	2001	0,699	1,199	1,345	Μάιος	2005	0,415	0,943	0,661
Ιούνιος	2001	0,052	0,416	0,000	Ιούνιος	2005	0,615	1,169	1,229
Ιούλιος	2001	0,000	0,149	0,002	Ιούλιος	2005	0,000	0,396	0,131
Αύγουστος	2001	0,000	0,134	0,065	Αύγουστος	2005	0,000	0,195	0,130
Σεπτέμβριος	2001	0,000	0,060	0,000	Σεπτέμβριος	2005	0,000	0,127	0,083
Οκτώβριος	2001	0,039	0,084	0,079	Οκτώβριος	2005	0,000	0,098	0,097
Νοέμβριος	2001	0,289	0,261	1,524	Νοέμβριος	2005	0,660	0,442	2,167
Δεκέμβριος	2001	12,322	13,475	10,779	Δεκέμβριος	2005	0,589	0,642	1,366
Ιανουάριος	2002	15,287	11,033	4,094	Ιανουάριος	2006	1,126	1,295	2,585
Φεβρουάριος	2002	5,626	6,431	2,941	Φεβρουάριος	2006	2,809	2,833	4,217
Μάρτιος	2002	4,019	4,431	3,141	Μάρτιος	2006	1,617	2,800	2,632
Απρίλιος	2002	3,921	2,686	2,488	Απρίλιος	2006	0,527	1,569	0,969
Μάιος	2002	1,757	1,888	2,168	Μάιος	2006	0,102	0,727	0,288
Ιούνιος	2002	0,748	0,732	0,177	Ιούνιος	2006	0,000	0,438	0,340
Ιούλιος	2002	0,133	0,323	0,037	Ιούλιος	2006	0,151	0,339	0,102
Αύγουστος	2002	0,133	0,212	0,060	Αύγουστος	2006	0,151	0,131	0,010
Σεπτέμβριος	2002	0,000	0,099	0,002	Σεπτέμβριος	2006	0,000	0,061	0,005

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

			ABCD	WBUDG
ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Qobs (t)	Qest (t)	Qest (t)
Οκτώβριος	2006	0,472	1,027	0,463
Νοέμβριος	2006	1,399	1,043	0,980
Δεκέμβριος	2006	0,331	0,849	0,331
Ιανουάριος	2007	0,604	1,453	2,329
Φεβρουάριος	2007	3,438	6,904	7,802
Μάρτιος	2007	2,392	4,446	2,452
Απρίλιος	2007	0,876	1,896	0,706
Μάιος	2007	0,838	1,451	2,125
Ιούνιος	2007	0,094	0,533	0,036
Ιούλιος	2007	0,302	0,350	0,080
Αύγουστος	2007	0,302	0,258	0,070
Σεπτέμβριος	2007	0,000	0,107	0,000
Οκτώβριος	2007	0,276	0,187	0,127
Νοέμβριος	2007	0,292	0,384	1,393
Δεκέμβριος	2007	1,906	1,537	3,527
Ιανουάριος	2008	1,295	1,971	1,654
Φεβρουάριος	2008	1,314	2,677	2,832
Μάρτιος	2008	0,940	2,277	1,848
Απρίλιος	2008	0,335	1,010	0,091
Μάιος	2008	0,000	0,456	0,074
Ιούνιος	2008	0,000	0,206	0,040
Ιούλιος	2008	0,020	0,085	0,001
Αύγουστος	2008	0,020	0,065	0,038
Σεπτέμβριος	2008	0,000	0,192	0,025
Οκτώβριος	2008	0,015	0,195	0,074
Νοέμβριος	2008	0,315	0,218	0,578
Δεκέμβριος	2008	1,217	1,123	3,641
Ιανουάριος	2009	2,504	3,555	4,304
Φεβρουάριος	2009	4,709	9,022	6,724
Μάρτιος	2009	5,102	7,522	4,646
Απρίλιος	2009	3,641	3,698	2,321
Μάιος	2009	2,413	2,793	3,070
Ιούνιος	2009	0,789	0,869	0,049
Ιούλιος	2009	0,022	0,280	0,000
Αύγουστος	2009	0,058	0,195	0,057
Σεπτέμβριος	2009	0,199	0,768	0,045
Οκτώβριος	2009	0,470	0,862	0,157
Νοέμβριος	2009	1,010	1,001	1,227
Δεκέμβριος	2009	6,388	8,488	6,624
Ιανουάριος	2010	8,168	13,793	5,796
Φεβρουάριος	2010	8,867	11,801	5,800
Μάρτιος	2010	6,820	3,356	0,237
Απρίλιος	2010	2,405	1,694	1,105
Μάιος	2010	1,184	0,937	0,984
Ιούνιος	2010	0,315	0,350	0,000
Ιούλιος	2010	0,162	0,338	0,108
Αύγουστος	2010	0,162	0,127	0,000
Σεπτέμβριος	2010	0,000	0,052	0,000





Σχήμα 5.3-1. Παρατηρημένη και προσομοιωμένες χρονοσειρές μηνιαίων απορροών λεκάνης Κούρη

## 5.4 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD”

Με σκοπό τον προσδιορισμό της μεταβολής των αποτελεσμάτων του μοντέλου “ABCD” σε πιθανή μεταβολή κάποιας εκ των παραμέτρων αυτού, καθώς και του βαθμού με τον οποίο κάθε μεταβλητή τα επηρεάζει, πραγματοποιείται η ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων όπως αυτή περιγράφεται στην Παράγραφο 4.5.

Στον Πίνακα 5.4-1 παρουσιάζονται οι αριθμητικές (meanQ') και ποσοστιαίες (%diff) μεταβολές του μέσου όρου των προσομοιωμένων τιμών απορροής για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου σε αντιστοιχία με τις αριθμητικές και ποσοστιαίες μεταβολές των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων a, b και c (η παράμετρος d είναι μηδενική).

Στο Σχήμα 5.4-1 παρουσιάζονται γραφικά οι ποσοστιαίες μεταβολές του μέσου όρου των προσομοιωμένων τιμών απορροής για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου σε αντιστοιχία με τις ποσοστιαίες μεταβολές των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων a, b και c.

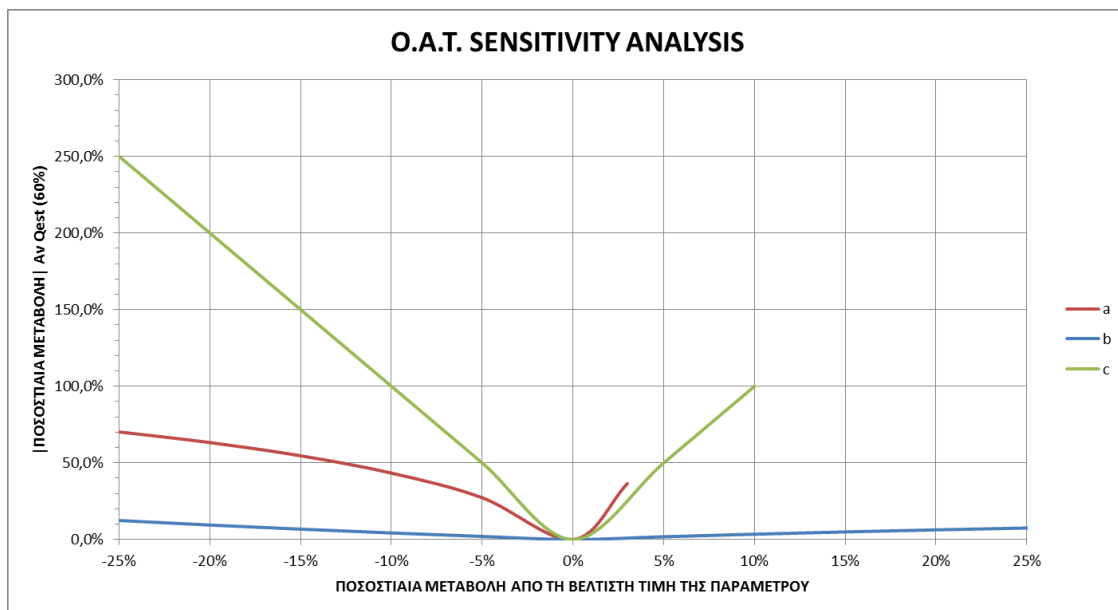
**Πίνακας 5.4-1. Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD”**

	a	meanQ'	%diff	b	meanQ'	%diff	c	meanQ'	%diff
25%				565,830	1,692	7,52%			
20%				543,196	1,714	6,32%			
15%				520,563	1,738	4,99%			
10%				497,930	1,765	3,50%	1,000	0,000	100,03%
5%	0,994	1,161	36,54%	475,297	1,796	1,84%	0,955	0,914	50,02%
0	0,965	1,829	0,00%	452,664	1,829	0,00%	0,909	1,829	0,00%
-5%	0,917	2,329	27,32%	430,031	1,867	2,04%	0,864	2,744	50,02%
-10%	0,868	2,623	43,37%	407,397	1,908	4,28%	0,818	3,659	100,03%
-15%	0,820	2,829	54,66%	384,764	1,953	6,76%	0,773	4,574	150,05%
-20%	0,772	2,987	63,30%	362,131	2,003	9,47%	0,727	5,489	200,06%
-25%	0,724	3,114	70,23%	339,498	2,057	12,44%	0,682	6,404	250,08%

Από τα παραπάνω (Πίνακας 5.4-1) παρατηρείται πως η μεταβλητή c αποτελεί την πιο «ευαίσθητη» παράμετρο του μοντέλου. Μόλις 10% αύξηση της c επιφέρει σχεδόν 100% αύξηση της μέσης τιμής. Ακολουθεί η παράμετρος a, η αύξηση της οποίας προκαλεί σημαντική μεταβολή σε σχέση με ενδεχόμενη μείωση της τιμής της. Δε φαίνεται να παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή το μοντέλο με τη διαφοροποίηση στην τιμή της παραμέτρου b.

Επομένως η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει το μοντέλο είναι το κλάσμα της ροής των υδατορευμάτων που προκύπτουν από την απορροή των υπόγειων υδάτων (c). Ακολουθεί η τάση της απορροής να εκδηλωθεί πριν τον πλήρη κορεσμό του εδάφους (a), ενώ, μεταβολή στο ανώτατο όριο της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και αποθήκευσης της υγρασίας του εδάφους δεν επιφέρει σημαντική μεταβολή (b).

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 5.4-1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων ανάλυσης ευαισθησίας παραμέτρων μοντέλου “ABCD”

## 5.5 Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα

Μετά την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα που περιγράφεται στην Παράγραφο 4.6 προκύπτουν οι ωφέλιμοι όγκοι που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5-2 και απεικονίζονται στο Σχήμα 5.5-1.

Για τον ταμιευτήρα Κούρη οι τιμές των μηνιαίων υπόγειων διαφυγών που αποδίδουν την καλύτερη προσομοίωση του μοντέλου λειτουργίας του ταμιευτήρα δίνονται στον Πίνακα 5.5-1.

Πίνακας 5.5-1. Βέλτιστες τιμές παραμέτρων μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΙΜΗ
ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΝΑ ΜΗΝΑ ( $m^3 \cdot 10^6$ )	
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,103
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,050
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,050
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,050
ΜΑΙΟΣ	0,050
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,050
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,050
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,096
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,247
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,050
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,086
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,163
EC <sub>cal</sub> (60%)	0,981
EC <sub>ver</sub> (40%)	0,988

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC τόσο για τα έτη ρύθμισης 1990-2002 (0,981), όσο και για τα έτη επαλήθευσης 2002-2010 (0,988), φανερώνουν απόλυτα ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.

**Πίνακας 5.5-2. Παρατηρημένη και προσομοιωμένη χρονοσειρά ωφέλιμων όγκων (1990-2010)**

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	Αποθηκευμένος όγκος <sub>est</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	Αποθηκευμένος όγκος <sub>est</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )
Οκτώβριος	1990	19,64	20,25	Οκτώβριος	1994	39,06	38,49
Νοέμβριος	1990	17,25	18,24	Νοέμβριος	1994	48,46	48,30
Δεκέμβριος	1990	15,61	16,50	Δεκέμβριος	1994	52,29	51,97
Ιανουάριος	1991	14,97	16,04	Ιανουάριος	1995	57,16	57,37
Φεβρουάριος	1991	15,19	16,45	Φεβρουάριος	1995	60,66	60,93
Μάρτιος	1991	15,97	17,20	Μάρτιος	1995	60,99	60,78
Απρίλιος	1991	14,87	16,12	Απρίλιος	1995	60,41	60,01
Μάιος	1991	12,96	14,33	Μάιος	1995	57,59	57,27
Ιούνιος	1991	11,82	13,07	Ιούνιος	1995	54,17	53,83
Ιούλιος	1991	10,55	11,91	Ιούλιος	1995	50,47	49,68
Αύγουστος	1991	9,10	10,42	Αύγουστος	1995	46,06	44,99
Σεπτέμβριος	1991	7,68	8,81	Σεπτέμβριος	1995	41,67	40,23
Οκτώβριος	1991	6,22	7,32	Οκτώβριος	1995	37,42	36,09
Νοέμβριος	1991	5,20	6,32	Νοέμβριος	1995	35,65	34,10
Δεκέμβριος	1991	15,04	16,71	Δεκέμβριος	1995	34,38	32,39
Ιανουάριος	1992	20,60	22,26	Ιανουάριος	1996	37,15	35,54
Φεβρουάριος	1992	28,34	30,17	Φεβρουάριος	1996	38,66	37,08
Μάρτιος	1992	33,44	35,26	Μάρτιος	1996	39,40	37,73
Απρίλιος	1992	35,79	37,50	Απρίλιος	1996	37,95	35,86
Μάιος	1992	36,27	38,20	Μάιος	1996	34,83	32,51
Ιούνιος	1992	35,67	37,51	Ιούνιος	1996	31,96	29,46
Ιούλιος	1992	34,84	36,21	Ιούλιος	1996	29,38	26,69
Αύγουστος	1992	32,82	34,04	Αύγουστος	1996	26,36	23,60
Σεπτέμβριος	1992	30,32	31,20	Σεπτέμβριος	1996	23,35	20,26
Οκτώβριος	1992	28,48	29,31	Οκτώβριος	1996	20,33	18,02
Νοέμβριος	1992	28,90	30,12	Νοέμβριος	1996	17,97	15,47
Δεκέμβριος	1992	37,75	39,15	Δεκέμβριος	1996	17,61	15,08
Ιανουάριος	1993	42,48	43,99	Ιανουάριος	1997	16,48	13,80
Φεβρουάριος	1993	47,85	49,36	Φεβρουάριος	1997	17,06	14,63
Μάρτιος	1993	57,63	59,13	Μάρτιος	1997	17,27	14,72
Απρίλιος	1993	61,01	61,63	Απρίλιος	1997	19,96	17,19
Μάιος	1993	62,69	62,52	Μάιος	1997	18,79	15,76
Ιούνιος	1993	61,92	61,16	Ιούνιος	1997	17,37	14,12
Ιούλιος	1993	59,68	58,52	Ιούλιος	1997	15,53	12,31
Αύγουστος	1993	56,49	54,96	Αύγουστος	1997	13,23	10,02
Σεπτέμβριος	1993	53,18	51,46	Σεπτέμβριος	1997	10,36	7,30
Οκτώβριος	1993	50,08	48,16	Οκτώβριος	1997	7,99	5,18
Νοέμβριος	1993	49,86	48,14	Νοέμβριος	1997	7,09	4,36
Δεκέμβριος	1993	47,90	47,35	Δεκέμβριος	1997	7,74	5,22
Ιανουάριος	1994	49,18	49,62	Ιανουάριος	1998	8,33	5,98
Φεβρουάριος	1994	55,22	55,51	Φεβρουάριος	1998	7,78	5,93
Μάρτιος	1994	57,04	57,41	Μάρτιος	1998	10,46	7,59
Απρίλιος	1994	56,13	56,50	Απρίλιος	1998	10,01	8,48
Μάιος	1994	54,63	54,92	Μάιος	1998	9,29	7,86
Ιούνιος	1994	52,08	52,22	Ιούνιος	1998	7,56	6,90
Ιούλιος	1994	49,32	49,34	Ιούλιος	1998	6,54	5,14
Αύγουστος	1994	45,42	45,39	Αύγουστος	1998	4,94	3,54
Σεπτέμβριος	1994	41,87	41,23	Σεπτέμβριος	1998	3,55	2,05

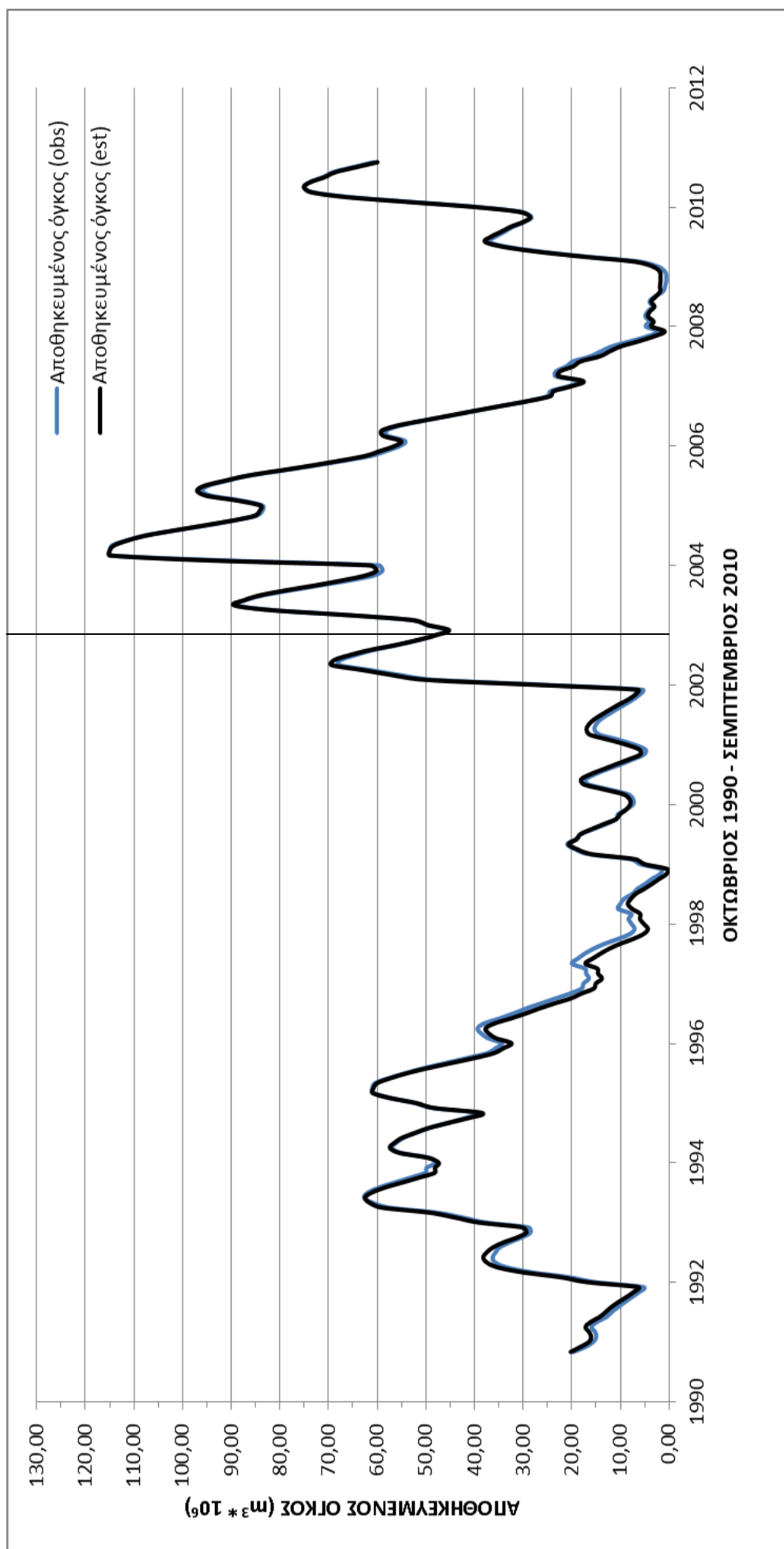
**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος	Αποθηκευμένος	ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος	Αποθηκευμένος
		όγκος <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	όγκος <sub>est</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )			όγκος <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	όγκος <sub>est</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )
Οκτώβριος	1998	1,86	0,54	Οκτώβριος	2002	47,98	47,84
Νοέμβριος	1998	1,59	0,35	Νοέμβριος	2002	45,68	45,23
Δεκέμβριος	1998	5,98	5,10	Δεκέμβριος	2002	49,71	49,56
Ιανουάριος	1999	7,91	7,08	Ιανουάριος	2003	52,71	52,58
Φεβρουάριος	1999	16,58	15,98	Φεβρουάριος	2003	65,61	65,77
Μάρτιος	1999	19,32	18,94	Μάρτιος	2003	81,43	81,61
Απρίλιος	1999	20,93	20,62	Απρίλιος	2003	89,17	89,43
Μάιος	1999	19,18	18,98	Μάιος	2003	87,18	87,39
Ιούνιος	1999	18,17	18,22	Ιούνιος	2003	83,48	84,06
Ιούλιος	1999	15,72	15,97	Ιούλιος	2003	77,78	78,68
Αύγουστος	1999	13,01	13,51	Αύγουστος	2003	71,66	72,60
Σεπτέμβριος	1999	10,90	10,95	Σεπτέμβριος	2003	65,59	67,07
Οκτώβριος	1999	10,49	10,12	Οκτώβριος	2003	60,63	62,26
Νοέμβριος	1999	8,78	8,77	Νοέμβριος	2003	58,89	60,09
Δεκέμβριος	1999	7,40	8,00	Δεκέμβριος	2003	59,74	61,41
Ιανουάριος	2000	7,37	8,10	Ιανουάριος	2004	91,74	94,22
Φεβρουάριος	2000	8,40	9,34	Φεβρουάριος	2004	114,85	115,00
Μάρτιος	2000	12,43	13,37	Μάρτιος	2004	115,00	115,00
Απρίλιος	2000	16,60	17,52	Απρίλιος	2004	114,50	114,13
Μάιος	2000	17,18	18,09	Μάιος	2004	111,60	111,37
Ιούνιος	2000	15,35	16,25	Ιούνιος	2004	107,70	107,50
Ιούλιος	2000	12,88	13,67	Ιούλιος	2004	101,65	101,84
Αύγουστος	2000	10,04	11,08	Αύγουστος	2004	95,30	95,69
Σεπτέμβριος	2000	7,56	8,35	Σεπτέμβριος	2004	89,54	89,83
Οκτώβριος	2000	5,21	5,95	Οκτώβριος	2004	84,75	85,16
Νοέμβριος	2000	4,85	6,08	Νοέμβριος	2004	83,61	84,16
Δεκέμβριος	2000	7,20	8,82	Δεκέμβριος	2004	83,56	83,93
Ιανουάριος	2001	10,48	12,50	Ιανουάριος	2005	87,82	88,60
Φεβρουάριος	2001	14,34	16,32	Φεβρουάριος	2005	94,18	95,19
Μάρτιος	2001	15,34	16,97	Μάρτιος	2005	96,04	97,06
Απρίλιος	2001	15,06	16,56	Απρίλιος	2005	94,77	95,50
Μάιος	2001	14,20	15,50	Μάιος	2005	91,00	91,34
Ιούνιος	2001	12,68	13,94	Ιούνιος	2005	86,54	86,77
Ιούλιος	2001	10,98	12,22	Ιούλιος	2005	79,92	80,43
Αύγουστος	2001	9,23	10,45	Αύγουστος	2005	73,22	73,92
Σεπτέμβριος	2001	7,52	8,50	Σεπτέμβριος	2005	67,13	67,87
Οκτώβριος	2001	6,13	7,01	Οκτώβριος	2005	61,36	62,43
Νοέμβριος	2001	5,42	6,39	Νοέμβριος	2005	58,12	59,33
Δεκέμβριος	2001	25,51	26,98	Δεκέμβριος	2005	55,35	56,38
Ιανουάριος	2002	48,23	49,96	Ιανουάριος	2006	54,28	55,15
Φεβρουάριος	2002	55,56	57,17	Φεβρουάριος	2006	57,80	58,74
Μάρτιος	2002	61,67	63,17	Μάρτιος	2006	58,25	59,17
Απρίλιος	2002	67,94	69,42	Απρίλιος	2006	55,64	56,20
Μάιος	2002	67,52	68,82	Μάιος	2006	50,97	51,06
Ιούνιος	2002	64,43	65,60	Ιούνιος	2006	45,50	45,62
Ιούλιος	2002	60,86	61,50	Ιούλιος	2006	40,12	40,25
Αύγουστος	2002	55,91	56,23	Αύγουστος	2006	34,55	34,76
Σεπτέμβριος	2002	51,51	51,70	Σεπτέμβριος	2006	29,19	29,01

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος	
		όγκος <sub>obs</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )	όγκος <sub>est</sub> (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> )
Οκτώβριος	2006	24,98	24,43
Νοέμβριος	2006	24,37	23,74
Δεκέμβριος	2006	20,62	20,00
Ιανουάριος	2007	18,34	17,59
Φεβρουάριος	2007	23,35	22,72
Μάρτιος	2007	23,23	22,40
Απρίλιος	2007	21,07	19,69
Μάιος	2007	19,68	18,16
Ιούνιος	2007	16,17	14,23
Ιούλιος	2007	14,00	12,20
Αύγουστος	2007	11,71	9,93
Σεπτέμβριος	2007	8,03	6,33
Οκτώβριος	2007	4,49	3,13
Νοέμβριος	2007	2,21	0,90
Δεκέμβριος	2007	4,78	3,64
Ιανουάριος	2008	4,00	3,17
Φεβρουάριος	2008	4,90	4,32
Μάρτιος	2008	4,39	3,98
Απρίλιος	2008	3,40	3,00
Μάιος	2008	4,02	3,68
Ιούνιος	2008	2,98	2,73
Ιούλιος	2008	1,29	1,85
Αύγουστος	2008	0,83	1,88
Σεπτέμβριος	2008	0,59	1,76
Οκτώβριος	2008	0,57	1,73
Νοέμβριος	2008	0,83	1,90
Δεκέμβριος	2008	2,25	3,26
Ιανουάριος	2009	6,03	6,90
Φεβρουάριος	2009	16,68	17,52
Μάρτιος	2009	26,18	27,00
Απρίλιος	2009	33,38	34,12
Μάιος	2009	37,05	37,85
Ιούνιος	2009	35,75	36,67
Ιούλιος	2009	33,88	34,56
Αύγουστος	2009	32,12	32,60
Σεπτέμβριος	2009	29,76	29,96
Οκτώβριος	2009	28,29	28,52
Νοέμβριος	2009	30,46	30,58
Δεκέμβριος	2009	39,50	40,01
Ιανουάριος	2010	52,89	53,58
Φεβρουάριος	2010	65,84	66,54
Μάρτιος	2010	73,49	73,76
Απρίλιος	2010	75,07	75,10
Μάιος	2010	73,82	73,72
Ιούνιος	2010	71,10	70,78
Ιούλιος	2010	69,05	68,60
Αύγουστος	2010	64,92	64,34
Σεπτέμβριος	2010	60,76	59,94

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 5.5-1. Παρατηρημένη και προσομοιωμένη χρονοσειρά οφέλιμων όγκων ταμιευτήρα Κούρη (1990-2010)

## 5.6 Εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος

Αρχικά όπως αναφέρεται στην Παράγραφο 4.7.1 υπολογίζεται η απορροή της λεκάνης Κούρη, χρησιμοποιώντας το υδρολογικό μοντέλο “ABCD”, για μια χρονοσειρά μήκους 30 ετών κάτω από συνθήκες σταθερού και μια κάτω από μεταβαλλόμενου κλίματος. Όπως αναμένεται, η απορροή στη χρονοσειρά του μεταβαλλόμενου κλίματος μειώνεται αυξητικά με την πάροδο του χρόνου σε σύγκριση με τη χρονοσειρά σταθερού κλίματος λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και μείωσης της βροχόπτωσης. Οι εκτιμώμενες απορροές απεικονίζονται στο Σχήμα 5.6.-1.

Έπειτα εφαρμόζοντας τα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στην Παράγραφο 4.7.1 υπολογίζονται οι αποθηκευμένοι όγκοι νερού για μια χρονοσειρά μήκους 30 ετών κάτω από συνθήκες σταθερού και μια κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6-2 και απεικονίζονται γραφικά στο Σχήμα 5.6-2. Επίσης στο Σχήμα 5.6-3 απεικονίζεται η ιστορική χρονοσειρά αποθηκευμένων όγκων νερού (με μεταβαλλόμενη ζήτηση) και η συνθετική χρονοσειρά κλιματικής αλλαγής (με σταθερή μηνιαία ζήτηση) ως συνέχεια (1990-2040).

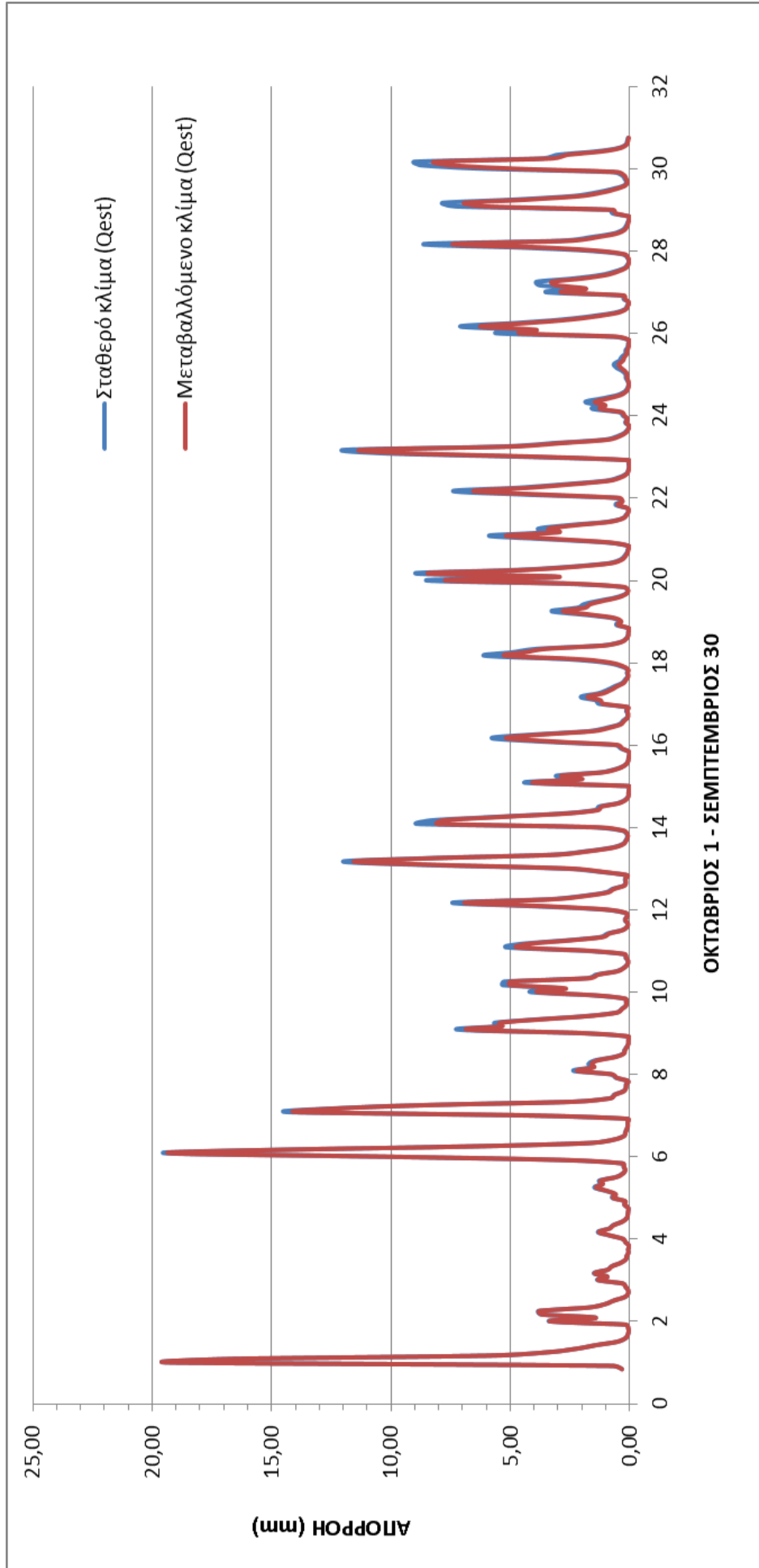
Τέλος υπολογίζονται και παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.6-1 οι αστοχίες του έργου ως προς τη μη κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης. Όπως είναι λογικό σε ένα περιβάλλον μεταβαλλόμενου κλίματος η κατάσταση είναι εμφανώς δυσμενέστερη. Ενώ σε συνθήκες σταθερού κλίματος παρουσιάζονται 17 αστοχίες (4,72%) όπου οι 12 (3,33%) επηρεάζουν και την ύδρευση, αντίθετα σε συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος οι αστοχίες που παρουσιάζονται είναι 34 (9,44%) και οι πλείστες, 25, επηρεάζουν και την ύδρευση (6,94%).

Πίνακας 5.6-1. Εκτιμώμενες αστοχίες του έργου για περίοδο 30 ετών

<b>ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ</b>			
<b>ΑΣΤΟΧΙΕΣ (ΑΡΔΕΥΣΗ)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>	<b>ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>
17	4,72	12	3,33
<b>ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ</b>			
<b>ΑΣΤΟΧΙΕΣ (ΑΡΔΕΥΣΗ)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>	<b>ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΔΡΕΥΣΗ</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>
34	9,44	25	6,94



Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμειυτήρα Κούρη



Σχήμα 5.6-1. Εκτιμώμενες απορροές 30 ετών με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου 'ABCD' κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

Πίνακας 5.6-2. Εκτιμώμενοι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα Κούρη για περίοδο 30 ετών κάτω συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος. Με **κίτρινο** χρώμα οι αστοχίες μόνο ως προς την κάλυψη των αναγκών της άρδευσης και με **κόκκινο** χρώμα οι αστοχίες που επηρεάζουν και την κάλυψη των αναγκών της ύδρευσης

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος	ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος
Οκτώβριος	1	56,96	56,96	Οκτώβριος	5	32,53	33,08
Νοέμβριος	1	55,20	55,20	Νοέμβριος	5	30,15	30,71
Δεκέμβριος	1	73,61	73,62	Δεκέμβριος	5	29,84	30,44
Ιανουάριος	1	90,41	90,42	Ιανουάριος	5	30,45	31,07
Φεβρουάριος	1	97,15	97,17	Φεβρουάριος	5	32,36	33,04
Μάρτιος	1	99,60	99,63	Μάρτιος	5	32,86	33,60
Απρίλιος	1	99,66	99,69	Απρίλιος	5	31,80	32,60
Μάιος	1	98,09	98,14	Μάιος	5	29,99	30,85
Ιούνιος	1	95,07	95,12	Ιούνιος	5	26,98	27,87
Ιούλιος	1	93,62	93,67	Ιούλιος	5	25,62	26,53
Αύγουστος	1	89,90	89,95	Αύγουστος	5	22,02	22,93
Σεπτέμβριος	1	85,98	86,03	Σεπτέμβριος	5	18,28	19,22
Οκτώβριος	2	81,83	81,88	Οκτώβριος	6	14,39	15,35
Νοέμβριος	2	79,49	79,54	Νοέμβριος	6	14,60	15,68
Δεκέμβριος	2	82,00	82,09	Δεκέμβριος	6	23,81	25,19
Ιανουάριος	2	83,43	83,53	Ιανουάριος	6	43,29	44,88
Φεβρουάριος	2	88,11	88,24	Φεβρουάριος	6	58,79	60,51
Μάρτιος	2	91,03	91,19	Μάρτιος	6	64,30	66,12
Απρίλιος	2	90,55	90,72	Απρίλιος	6	63,64	65,50
Μάιος	2	88,51	88,70	Μάιος	6	61,24	63,12
Ιούνιος	2	85,62	85,82	Ιούνιος	6	57,90	59,79
Ιούλιος	2	84,20	84,40	Ιούλιος	6	56,46	58,36
Αύγουστος	2	80,48	80,68	Αύγουστος	6	52,79	54,70
Σεπτέμβριος	2	76,55	76,76	Σεπτέμβριος	6	48,87	50,79
Οκτώβριος	3	72,50	72,71	Οκτώβριος	7	44,80	46,74
Νοέμβριος	3	70,28	70,50	Νοέμβριος	7	42,30	44,25
Δεκέμβριος	3	70,57	70,82	Δεκέμβριος	7	45,46	47,64
Ιανουάριος	3	71,58	71,84	Ιανουάριος	7	59,53	62,08
Φεβρουάριος	3	74,05	74,34	Φεβρουάριος	7	72,77	75,51
Μάρτιος	3	74,04	74,35	Μάρτιος	7	80,40	83,29
Απρίλιος	3	72,61	72,94	Απρίλιος	7	80,54	83,50
Μάιος	3	69,97	70,30	Μάιος	7	78,31	81,29
Ιούνιος	3	66,55	66,89	Ιούνιος	7	75,36	78,38
Ιούλιος	3	65,04	65,39	Ιούλιος	7	73,99	77,03
Αύγουστος	3	61,29	61,63	Αύγουστος	7	70,35	73,40
Σεπτέμβριος	3	57,43	57,78	Σεπτέμβριος	7	66,50	69,58
Οκτώβριος	4	53,27	53,62	Οκτώβριος	8	62,35	65,44
Νοέμβριος	4	50,94	51,30	Νοέμβριος	8	60,49	63,61
Δεκέμβριος	4	50,13	50,50	Δεκέμβριος	8	60,26	63,44
Ιανουάριος	4	51,12	51,52	Ιανουάριος	8	62,58	65,92
Φεβρουάριος	4	53,37	53,82	Φεβρουάριος	8	65,09	68,54
Μάρτιος	4	53,32	53,79	Μάρτιος	8	65,78	69,35
Απρίλιος	4	51,82	52,32	Απρίλιος	8	65,00	68,68
Μάιος	4	49,12	49,63	Μάιος	8	62,59	66,32
Ιούνιος	4	45,66	46,18	Ιούνιος	8	59,23	63,00
Ιούλιος	4	44,11	44,64	Ιούλιος	8	57,81	61,60
Αύγουστος	4	40,38	40,91	Αύγουστος	8	54,14	57,95
Σεπτέμβριος	4	36,47	37,01	Σεπτέμβριος	8	50,19	54,00

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος		ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος
Οκτώβριος	9	46,07	49,89		Οκτώβριος	13	25,97	35,70
Νοέμβριος	9	43,59	47,42		Νοέμβριος	13	24,68	34,54
Δεκέμβριος	9	44,49	48,48		Δεκέμβριος	13	26,21	36,32
Ιανουάριος	9	51,32	55,72		Ιανουάριος	13	34,11	44,79
Φεβρουάριος	9	57,63	62,26		Φεβρουάριος	13	46,75	57,87
Μάρτιος	9	62,18	67,02		Μάρτιος	13	53,95	65,36
Απρίλιος	9	63,69	68,69		Απρίλιος	13	54,85	66,42
Μάιος	9	62,32	67,40		Μάιος	13	53,54	65,23
Ιούνιος	9	59,24	64,35		Ιούνιος	13	50,69	62,45
Ιούλιος	9	57,95	63,08		Ιούλιος	13	49,35	61,15
Αύγουστος	9	54,29	59,43		Αύγουστος	13	45,70	57,53
Σεπτέμβριος	9	50,43	55,60		Σεπτέμβριος	13	41,84	53,69
Οκτώβριος	10	46,40	51,59		Οκτώβριος	14	37,79	49,68
Νοέμβριος	10	45,32	50,63		Νοέμβριος	14	35,55	47,49
Δεκέμβριος	10	48,03	53,64		Δεκέμβριος	14	35,78	47,92
Ιανουάριος	10	50,77	56,57		Ιανουάριος	14	44,02	57,00
Φεβρουάριος	10	56,78	62,89		Φεβρουάριος	14	52,93	66,36
Μάρτιος	10	60,85	67,21		Μάρτιος	14	57,47	71,19
Απρίλιος	10	60,31	66,77		Απρίλιος	14	57,96	71,86
Μάιος	10	58,63	65,19		Μάιος	14	56,26	70,27
Ιούνιος	10	55,56	62,16		Ιούνιος	14	53,86	67,98
Ιούλιος	10	54,17	60,81		Ιούλιος	14	52,65	66,84
Αύγουστος	10	50,47	57,12		Αύγουστος	14	49,00	63,23
Σεπτέμβριος	10	46,58	53,24		Σεπτέμβριος	14	45,06	59,30
Οκτώβριος	11	42,56	49,25		Οκτώβριος	15	40,87	55,12
Νοέμβριος	11	40,29	47,01		Νοέμβριος	15	38,35	52,62
Δεκέμβριος	11	41,07	47,98		Δεκέμβριος	15	37,36	51,64
Ιανουάριος	11	45,85	53,19		Ιανουάριος	15	41,58	56,22
Φεβρουάριος	11	51,10	58,74		Φεβρουάριος	15	44,54	59,29
Μάρτιος	11	52,73	60,54		Μάρτιος	15	46,54	61,53
Απρίλιος	11	51,66	59,57		Απρίλιος	15	45,47	60,57
Μάιος	11	49,49	57,48		Μάιος	15	42,99	58,14
Ιούνιος	11	46,22	54,23		Ιούνιος	15	39,61	54,78
Ιούλιος	11	44,69	52,71		Ιούλιος	15	38,06	53,24
Αύγουστος	11	40,96	49,00		Αύγουστος	15	34,30	49,50
Σεπτέμβριος	11	37,21	45,27		Σεπτέμβριος	15	30,31	45,52
Οκτώβριος	12	33,11	41,20		Οκτώβριος	16	26,16	41,39
Νοέμβριος	12	30,69	38,81		Νοέμβριος	16	24,01	39,30
Δεκέμβριος	12	30,53	38,77		Δεκέμβριος	16	23,47	38,86
Ιανουάριος	12	34,16	42,78		Ιανουάριος	16	26,85	42,74
Φεβρουάριος	12	42,00	51,14		Φεβρουάριος	16	33,02	49,51
Μάρτιος	12	44,32	53,67		Μάρτιος	16	35,84	52,69
Απρίλιος	12	43,94	53,43		Απρίλιος	16	35,19	52,21
Μάιος	12	41,82	51,39		Μάιος	16	32,99	50,13
Ιούνιος	12	38,92	48,56		Ιούνιος	16	29,79	47,00
Ιούλιος	12	37,50	47,17		Ιούλιος	16	28,39	45,65
Αύγουστος	12	33,89	43,58		Αύγουστος	16	24,67	41,97
Σεπτέμβριος	12	30,07	39,79		Σεπτέμβριος	16	20,72	38,04

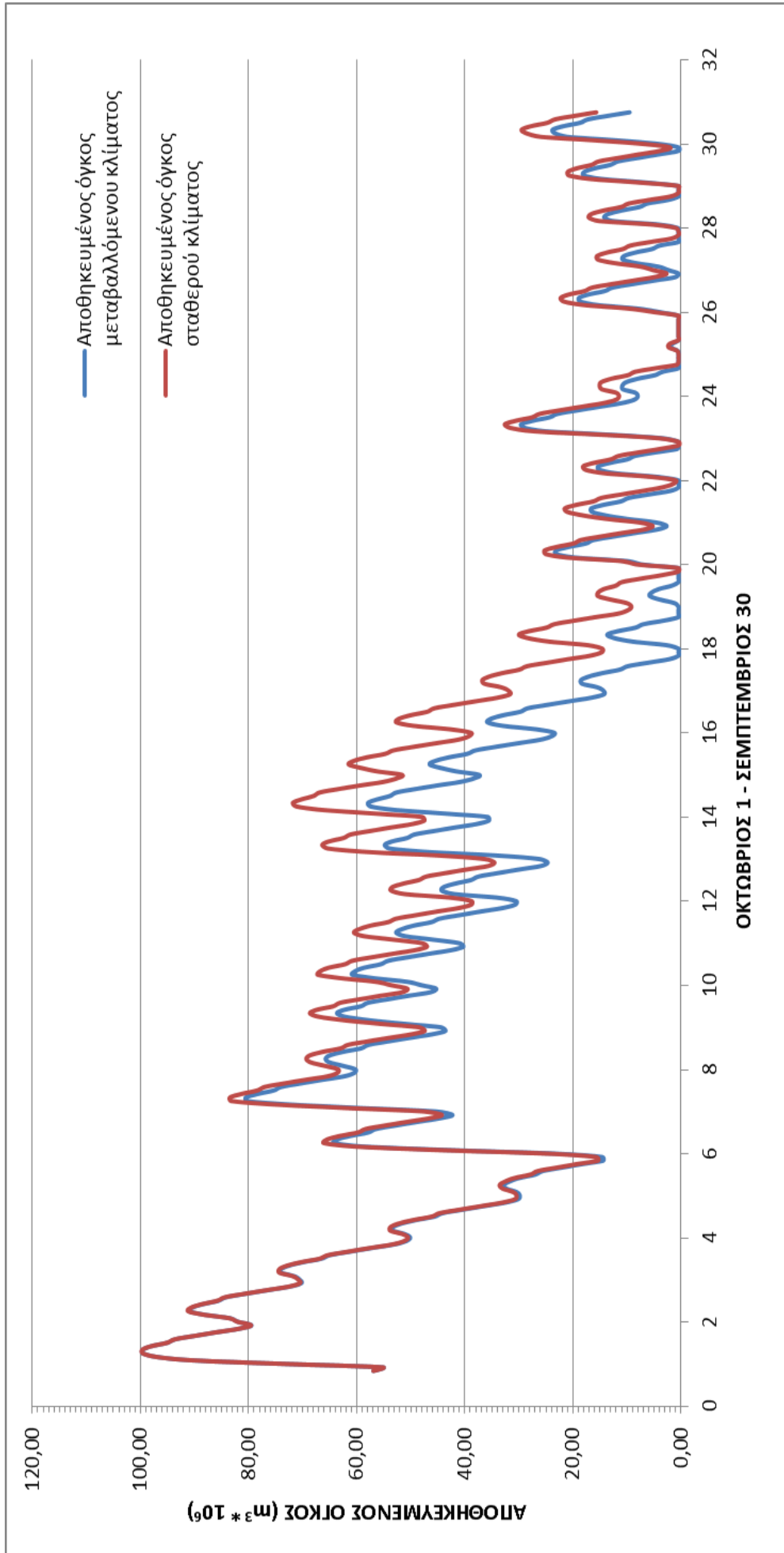
**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος		ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος
Οκτώβριος	17	16,66	34,02		Οκτώβριος	21	4,41	6,83
Νοέμβριος	17	14,26	31,65		Νοέμβριος	21	2,70	5,26
Δεκέμβριος	17	14,37	31,93		Δεκέμβριος	21	4,61	7,66
Ιανουάριος	17	15,56	33,32		Ιανουάριος	21	9,94	13,70
Φεβρουάριος	17	18,33	36,38		Φεβρουάριος	21	13,95	18,09
Μάρτιος	17	18,57	36,83		Μάρτιος	21	16,47	21,05
Απρίλιος	17	17,18	35,59		Απρίλιος	21	16,65	21,56
Μάιος	17	14,71	33,24		Μάιος	21	14,48	19,49
Ιούνιος	17	11,38	29,98		Ιούνιος	21	11,21	16,25
Ιούλιος	17	9,89	28,53		Ιούλιος	21	9,70	14,78
Αύγουστος	17	6,13	24,80		Αύγουστος	21	5,95	11,04
Σεπτέμβριος	17	2,21	20,92		Σεπτέμβριος	21	2,02	7,14
Οκτώβριος	18	0,50	16,83		Οκτώβριος	22	0,50	3,56
Νοέμβριος	18	0,50	14,68		Νοέμβριος	22	0,50	1,47
Δεκέμβριος	18	0,50	14,60		Δεκέμβριος	22	0,50	1,00
Ιανουάριος	18	2,68	17,26		Ιανουάριος	22	4,34	5,51
Φεβρουάριος	18	8,87	24,33		Φεβρουάριος	22	11,89	13,92
Μάρτιος	18	12,33	28,31		Μάρτιος	22	15,16	17,64
Απρίλιος	18	13,68	30,04		Απρίλιος	22	15,38	18,16
Μάιος	18	11,68	28,13		Μάιος	22	13,23	16,16
Ιούνιος	18	8,46	24,93		Ιούνιος	22	10,01	13,02
Ιούλιος	18	6,94	23,45		Ιούλιος	22	8,49	11,54
Αύγουστος	18	3,21	19,74		Αύγουστος	22	4,74	7,82
Σεπτέμβριος	18	0,50	15,83		Σεπτέμβριος	22	0,74	3,83
Οκτώβριος	19	0,50	11,71		Οκτώβριος	23	0,50	0,50
Νοέμβριος	19	0,50	9,84		Νοέμβριος	23	0,50	0,50
Δεκέμβριος	19	0,50	9,19		Δεκέμβριος	23	3,31	3,92
Ιανουάριος	19	1,25	10,06		Ιανουάριος	23	12,73	14,32
Φεβρουάριος	19	3,92	13,03		Φεβρουάριος	23	24,97	27,26
Μάρτιος	19	5,80	15,40		Μάρτιος	23	28,99	31,65
Απρίλιος	19	5,50	15,40		Απρίλιος	23	29,66	32,63
Μάιος	19	4,14	14,32		Μάιος	23	27,52	30,64
Ιούνιος	19	1,70	12,07		Ιούνιος	23	24,36	27,58
Ιούλιος	19	0,52	10,98		Ιούλιος	23	22,87	26,14
Αύγουστος	19	0,50	7,37		Αύγουστος	23	19,13	22,44
Σεπτέμβριος	19	0,50	3,51		Σεπτέμβριος	23	15,18	18,50
Οκτώβριος	20	0,50	0,50		Οκτώβριος	23	11,15	14,52
Νοέμβριος	20	0,50	0,57		Νοέμβριος	23	8,71	12,10
Δεκέμβριος	20	7,14	8,01		Δεκέμβριος	23	8,02	11,48
Ιανουάριος	20	10,15	11,17		Ιανουάριος	23	8,48	12,04
Φεβρουάριος	20	19,64	21,19		Φεβρουάριος	23	10,78	14,67
Μάρτιος	20	23,16	25,04		Μάρτιος	23	10,90	15,09
Απρίλιος	20	23,19	25,29		Απρίλιος	23	10,21	14,81
Μάιος	20	20,90	23,11		Μάιος	23	8,10	12,95
Ιούνιος	20	17,66	19,95		Ιούνιος	23	4,92	9,90
Ιούλιος	20	16,20	18,54		Ιούλιος	23	3,42	8,47
Αύγουστος	20	12,51	14,88		Αύγουστος	23	0,50	4,76
Σεπτέμβριος	20	8,58	10,98		Σεπτέμβριος	23	0,50	0,82

**Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής  
και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη**

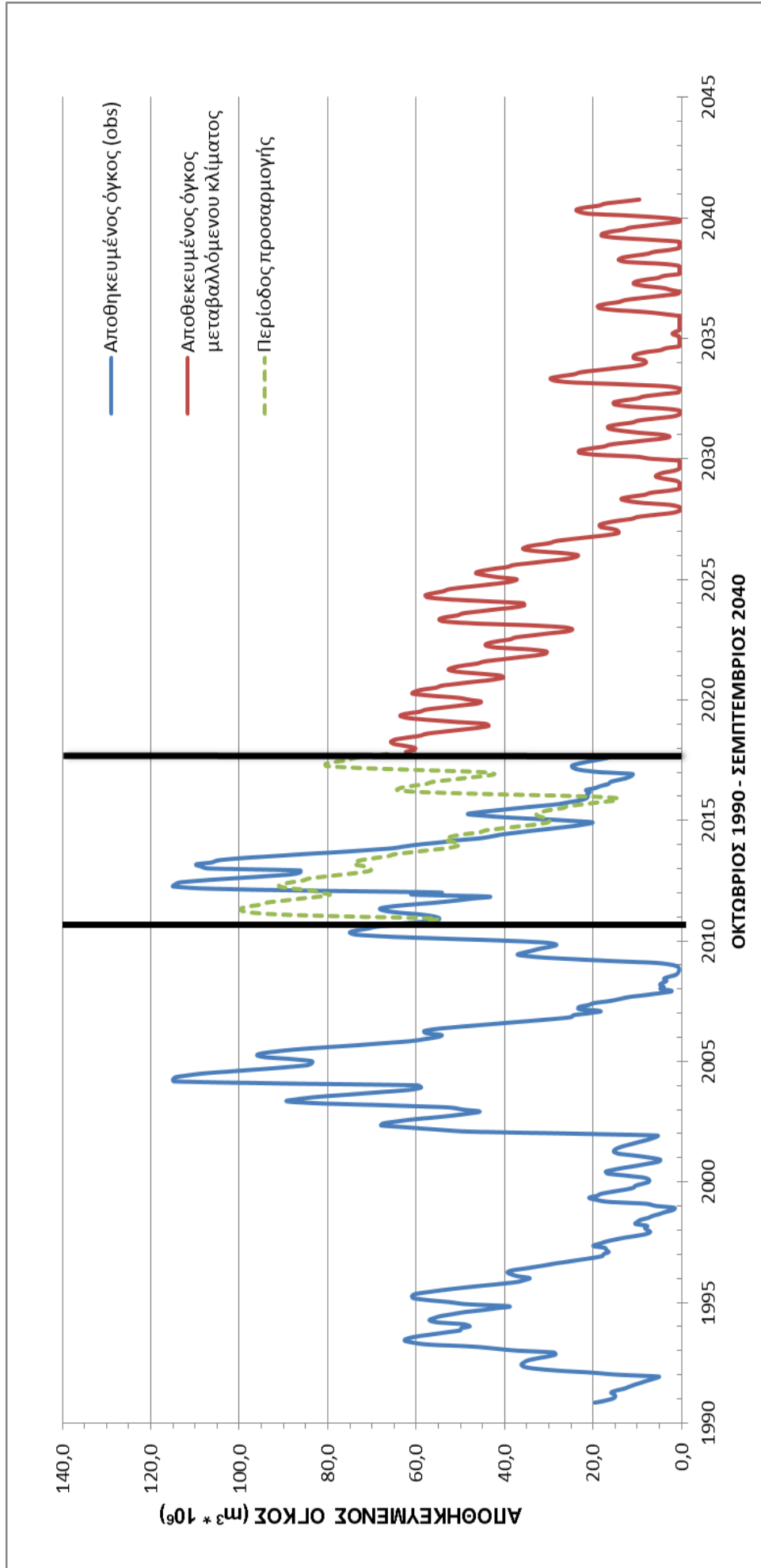
ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος		ΜΗΝΑΣ	ΕΤΟΣ	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) μεταβαλλόμενου κλίματος	Αποθηκευμένος όγκος (m <sup>3</sup> * 10 <sup>6</sup> ) σταθερού κλίματος
Οκτώβριος	24	0,50	0,50		Οκτώβριος	28	0,50	0,50
Νοέμβριος	24	0,50	0,50		Νοέμβριος	28	0,50	0,50
Δεκέμβριος	24	0,50	0,50		Δεκέμβριος	28	0,50	0,50
Ιανουάριος	24	0,68	0,79		Ιανουάριος	28	6,78	8,01
Φεβρουάριος	24	2,04	2,34		Φεβρουάριος	28	14,73	16,90
Μάρτιος	24	1,58	2,11		Μάρτιος	28	18,08	20,80
Απρίλιος	24	0,50	0,50		Απρίλιος	28	17,94	21,00
Μάιος	24	0,50	0,50		Μάιος	28	16,09	19,40
Ιούνιος	24	0,50	0,50		Ιούνιος	28	13,12	16,60
Ιούλιος	24	0,50	0,50		Ιούλιος	28	11,70	15,23
Αύγουστος	24	0,50	0,50		Αύγουστος	28	8,00	11,58
Σεπτέμβριος	24	0,50	0,50		Σεπτέμβριος	28	4,14	7,79
Οκτώβριος	25	0,50	0,50		Οκτώβριος	29	0,50	3,91
Νοέμβριος	25	0,50	0,50		Νοέμβριος	29	0,50	2,08
Δεκέμβριος	25	4,01	4,98		Δεκέμβριος	29	4,33	7,14
Ιανουάριος	25	7,99	9,62		Ιανουάριος	29	11,88	15,89
Φεβρουάριος	25	15,31	17,78		Φεβρουάριος	29	21,03	25,92
Μάρτιος	25	18,66	21,66		Μάρτιος	29	23,33	28,62
Απρίλιος	25	18,96	22,32		Απρίλιος	29	23,81	29,54
Μάιος	25	17,27	20,87		Μάιος	29	21,93	27,90
Ιούνιος	25	14,19	17,92		Ιούνιος	29	18,73	24,78
Ιούλιος	25	12,71	16,47		Ιούλιος	29	17,22	23,31
Αύγουστος	25	9,00	12,80		Αύγουστος	29	13,50	19,63
Σεπτέμβριος	25	5,02	8,84		Σεπτέμβριος	29	9,54	15,70
Οκτώβριος	26	1,07	4,95					
Νοέμβριος	26	0,50	2,70					
Δεκέμβριος	26	2,39	5,23					
Ιανουάριος	26	4,30	7,56					
Φεβρουάριος	26	8,47	12,41					
Μάρτιος	26	10,81	15,41					
Απρίλιος	26	10,58	15,58					
Μάιος	26	8,52	13,75					
Ιούνιος	26	5,43	10,80					
Ιούλιος	26	3,98	9,42					
Αύγουστος	26	0,50	5,74					
Σεπτέμβριος	26	0,50	1,80					
Οκτώβριος	27	0,50	0,50					
Νοέμβριος	27	0,50	0,50					
Δεκέμβριος	27	0,61	0,96					
Ιανουάριος	27	4,30	5,57					
Φεβρουάριος	27	12,73	15,22					
Μάρτιος	27	14,25	17,11					
Απρίλιος	27	13,47	16,61					
Μάιος	27	11,02	14,31					
Ιούνιος	27	7,71	11,10					
Ιούλιος	27	6,19	9,64					
Αύγουστος	27	2,44	5,94					
Σεπτέμβριος	27	0,50	1,99					

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 5.6-2. Εκτιμώμενοι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα Κούρη για περίοδο 30 ετών κάτω συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος.

Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη



Σχήμα 5.6-3 Ιστορική χρονοσειρά αποθηκευμένων όγκων νερού και συνθετική χρονοσειρά (κλιματικής αλλαγής) ως συνέχεια.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ**

### **6.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα**

Τα συμπεράσματα που προέκυπτουν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αντικείμενο μελέτης, όπως φαίνεται παρακάτω:

#### **Όσον αφορά τη συλλογή και ανάλυση των υδρομετεωρολογικών δεδομένων:**

- Τα μετεωρολογικά δεδομένα και η ανάλυσή τους παρουσιάζονται πλήρως. Παρατηρείται ανομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής Κούρη, η οποία οφείλεται κυριώς στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης (υψομετρική διαφορά και διαφορά θερμοκρασίας).
- Παρατηρείται ανομοιομορφία στην ιστορική χρονοσειρά απολήψεων (1990-2010) και για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν οι μέσες μηνιαίες τιμές των απολήψεων μόνο από τα έτη 2003-2010 για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος. Τα χρόνια αυτά τίθεται σε λειτουργία το μεγαλύτερο υδατικό έργο της Κύπρου, το Έργο του Νοτίου Αγωγού και οι απολήψεις είναι οι πλέον αντιπροσωπευτικές για το παρόν και το εγγύς μέλλον αφού ο ταμιευτήρας Κούρη αποτελεί την κύρια υδαταποθήκη του έργου.

#### **Όσον αφορά τα μοντέλα βροχής-απορροής “WBUDG” και “ABCD”:**

- Τα μοντέλα βροχής - απορροής “ABCD” και “WBUDG”, είναι ενιαία (lumped) και συνεχή (continuous), που ταξινομούνται ως προσδιοριστικά (determinative) και φυσικής βάσης (physically-based). Εκτελούνται σε μηνιαίο χρονικό βήμα, είναι συγκρίσιμα με άλλα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου και κάθε μία από τις βασικές παραμέτρους τους έχει μια φυσική ερμηνεία.
- Τα μοντέλα βροχής - απορροής “ABCD” και “WBUDG”, είναι μη γραμμικά μοντέλα βροχής - απορροής, τα οποία χρησιμοποιούν τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και τη δυνητική εξατμοδιαπνοή ως μεταβλητές εισόδου για τον υπολογισμό της απορροής ως μεταβλητή εξόδου.



## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

**Όσον αφορά τη ρύθμιση και επαλήθευση των μοντέλων βροχής-απορροής “WBUDG” και “ABCD”:**

- Για τον έλεγχο της ακρίβειας προσομοίωσης, ως μέτρο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της ρύθμισης των μοντέλων και επιλογής του καταλληλότερου καθορίζεται το κριτήριο Nash-Sutcliffe (δείκτης ρύθμισης-αντικειμενική συνάρτηση).
- Η ρύθμιση (Calibration) του μοντέλου βροχής - απορροής "WBUDG" στην λεκάνη απορροής Κούρη, που γίνεται σε μηνιαίο βήμα για τα έτη 1990-2002 κρίνεται μη ικανοποιητική, αφού ο δείκτης EC λαμβάνει την τιμή 0,573. Το ίδιο και η επαλήθευση (Verification) του μοντέλου για τα έτη 2002-2010, αφού ο δείκτης EC λαμβάνει την τιμή 0,547.
- Η ρύθμιση (Calibration) του μοντέλου βροχής - απορροής "ABCD" στην λεκάνη απορροής Κούρη, που γίνεται σε μηνιαίο βήμα για τα έτη 1990-2002 κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική, αφού ο δείκτης EC λαμβάνει την τιμή 0,857. Η επαλήθευση (Verification) του μοντέλου για τα έτη 2002-2010, είναι άκρως ικανοποιητική αφού ο δείκτης EC λαμβάνει την τιμή 0,813.
- Για να εξεταστεί πόσο ‘σωστά’ είναι ρυθμισμένο το μοντέλο και πόσο επηρεάζεται από μεταβολές στις βασικές του παραμέτρους γίνεται ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis). Δηλαδή υπολογίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές του μέσου όρου των προσομοιωμένων τιμών απορροής για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου σε αντιστοιχία με τις ποσοστιαίες μεταβολές των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων a, b και c. Παρατηρείται πως η μεταβλητή c αποτελεί την πιο «ευαίσθητη» παράμετρο του μοντέλου. Μόλις 10% αύξηση της c επιφέρει σχεδόν 100% αύξηση του μέσου όρου των προσομοιωμένων τιμών απορροής για τα έτη ρύθμισης του μοντέλου. Ακολουθεί η παράμετρος a, η αύξηση της οποίας προκαλεί σημαντική μεταβολή σε σχέση με ενδεχόμενη μείωση της τιμής της. Δε φαίνεται να παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή το μοντέλο με τη διαφοροποίηση στην τιμή της παραμέτρου b.

**Όσον αφορά την απορροή από τη λεκάνη του Κούρη κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος:**

- Η απορροή της λεκάνης Κούρη υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το υδρολογικό μοντέλο “ABCD”, για μια χρονοσειρά μήκους 30 ετών κάτω από συνθήκες σταθερού και για μια κάτω από συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος. Όπως αναμένεται, η απορροή στη χρονοσειρά του μεταβαλλόμενου κλίματος μειώνεται αυξητικά με την

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

πάροδο του χρόνου σε σύγκριση με τη χρονοσειρά σταθερού κλίματος λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και μείωσης της βροχόπτωσης.

### **Όσον αφορά την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα Κούρη:**

- Για τη διαδικασία της προσομοίωσης ακολουθήθηκε το μοντέλο Simple Counting Failure Method (Τσακίρης, 1995). Στο μοντέλο αυτό υπεισέρχονται ως δεδομένα εισόδου οι εισροές 20 υδρολογικών ετών.
- Στις εισροές συμπεριλαμβάνονται η απορροή  $Q_{obs}$  της λεκάνης Κούρη η οποία μετρείται σε  $hm^3$  (εκατ. κυβικά μέτρα) και αποτελεί την κυριότερη αιτία των εισροών, η εισροή από το φράγμα της Αρμίνου και η βροχόπτωση στην επιφάνεια της λίμνης του ταμιευτήρα.
- Στις εκροές συμπεριλαμβάνονται η μηνιαία εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, οι απολήψεις για καταναλωτική χρήση (ύδρευση, άρδευση), οι ενδεχόμενες υπερχειλίσεις σε ορισμένα υδρολογικά έτη και οι υπόγειες διαφυγές.
- Έπειτα με τη βοήθεια του δείκτη EC συγκρίνεται η ιστορική χρονοσειρά ωφέλιμων όγκων με την υπολογισμένη για να εξακριβωθεί αν όντως η εξίσωση αυτή αντιπροσωπεύει την λειτουργία του ταμιευτήρα, χρησιμοποιώντας ως παράμετρος βελτιστοποίησης τις μηνιαίες υπόγειες διαφυγές.
- Η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση (δείκτης) EC τόσο για τα έτη ρύθμισης 1990-2002 (0,981), όσο και για τα έτη επαλήθευσης 2002-2010 (0,988), φανερώνουν απόλυτα ικανοποιητική προσομοίωση του μοντέλου σε μηνιαίο βήμα.

### **Όσον αφορά την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος και την εκτίμηση των αστοχιών του έργου:**

- Υπολογίζονται οι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο φράγμα για μια περίοδο 30 ετών καθώς χρησιμοποιώντας: α) Τις χρονοσειρές εισροών από τη λεκάνη Κούρη στο ταμιευτήρα μήκους 30 ετών που προκύπτουν κάτω από συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος, β) τις μέσες μηνιαίες εισροές από το φράγμα της Αρμίνου από τα έτη 1998-2010, γ) τη βροχή στη λίμνη (προκύπτει από τη βροχόπτωση σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος), δ) τις μέσες μηνιαίες απολήψεις του φράγματος (ύδρευση και άρδευση από τα έτη 2003-2010), ε) την μέση μηνιαία εξάτμιση στη λίμνη από τα έτη 1990-2010 και στ) τις μηνιαίες υπόγειες διαφυγές που

υπολογίζονται στο στάδιο ρύθμισης του μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα.

- Τέλος υπολογίζεται η πιθανότητα μη επάρκειας κάλυψης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών δηλαδή πόσους από τους μήνες των εκτιμώμενων χρονοσειρών δεν υπάρχει επάρκεια διαθέσιμου νερού για την κάλυψη των αναγκών.
- Όπως είναι λογικό σε ένα περιβάλλον μεταβαλλόμενου κλίματος η κατάσταση είναι εμφανώς δυσμενέστερη. Ενώ σε συνθήκες σταθερού κλίματος παρουσιάζονται 17 αστοχίες (4,72%) όπου οι 12 (3,33%) επηρεάζουν και την ύδρευση εκτός από την άρδευση, αντίθετα σε συνθήκες μεταβαλλόμενου κλίματος οι αστοχίες που παρουσιάζονται είναι 34 (9,44%) και οι πλείστες, 25, επηρεάζουν και την ύδρευση (6,94%).

## **6.2 Προτεινόμενες δράσεις για την εν λόγω μελέτη περίπτωσης**

Ο ταμιευτήρας Κούρη είναι ένα έργο χρήσιμο έργο τόσο για την ίδια τη ζωή των κατοίκων, αφού τους εξασφαλίζει το σημαντικότερο αγαθό στη ζωή που είναι το νερό όσο και για την ανάπτυξη των καλλιεργειών στις κυριότερες αγροτικές εκτάσεις της Κύπρου (Κοκκινοχώρια κ.α).

Η προστασία των υδάτινων αποθεμάτων και η διατήρηση σε φυσιολογικά πλαίσια της στάθμης του ταμιευτήρα κρίνεται επιτακτική, ώστε να παραμείνει σε καλή λειτουργία ο ταμιευτήρας και να μην υπάρξουν προβλήματα στο μέλλον που θα έχουν να κάνουν τόσο με τη μείωση των αποθεμάτων νερού και άρα της μη πλήρους κάλυψης της ζήτησης όσο και με την υποβάθμιση της ποιότητας του πόσιμου νερού.

Ενδεικτικά προτείνονται:

- Καθορισμός κατώτατης στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα και τήρησής της.
- Καλύτερη λειτουργία των υφιστάμενων μονάδων αφαλάτωσης για την ύδρευση της περιοχής, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο.
- Συντήρηση και αναβάθμιση των υφιστάμενων δικτύων ύδρευσης και άρδευσης, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες ύδατος και αποκλειστική εφαρμογή στάγδην άρδευσης, αφού είναι η μέθοδος με τις λιγότερες απώλειες νερού.
- Πλήρης ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, που καθορίζει τα μέτρα, τις χρήσεις και τις διαδικασίες για την ολοκληρωμένη προστασία των υδάτων.
- Επικοινωνιακές στρατηγικές που να περιλαμβάνουν ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού για την ανάγκη εξοικονόμησης νερού σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο.

- Λήψη νομοθετικών και διοικητικών μέτρων όπως απαγόρευση αλόγιστης χρήσης και επιβολή προστίμων στους παραβάτες.

### **6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Με βάση τα συνολικά συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα εργασία, στη συνέχεια διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Διερεύνηση και εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων που να προσομοιώνουν ακόμα καλύτερα τον υδρολογικό κύκλο στη λεκάνη απορροής Κούρη.
- Εφαρμογή κατάλληλων ομοιωμάτων για την εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών σε ύδρευση και άρδευση (αντί της απλής προσέγγισης μίας μέσης τιμής βάσει του ιστορικού).
- Εφαρμογή διαφορετικών ομοιωμάτων (αντί των απλών AR) για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που να συμπεριλαμβάνουν και άλλα χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς, όπως η περιοδικότητα και η εμμονή.
- Εφαρμογή καταλληλότερου και πιο ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα (πολυκριτηριακού, με περισσότερες εξισώσεις) και διερεύνηση περισσότερων μελλοντικών σεναρίων αναφορικά με τις κλιματικές συνθήκες και τις απαιτήσεις σε νερό.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

### **ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ**

1. Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., 1999, Τεχνική Υδρολογία - 3<sup>η</sup> έκδοση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο - Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
2. Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α., 2003, Τεχνική Υδρολογία - γ έκδοση, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
3. Τσακίρης Γ., 1995, Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
4. Τσακίρης Γ., 2006, 'Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός και Διαχείριση, Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα', Εκδόσεις Συμμετρία.
5. Alley W. M., 1984, On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models. *Wat. Resour. Res.* 20, 1137-1149.
6. Alley W. M., 1985, Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting, *Wat. Resour. Res.* 21(4), 597-606.
7. Bournas A., Feloni E., Baltas E., 2017, Hydrological and geomorphological analysis in the Municipality of Florina, *Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics*, 366-374.
8. Collings A.H.C, Yzique A., 1991, Το φράγμα του Κούρη στην Κύπρο, *Εργασίες*, Αρ. 665, σελ. 42-46, 17ο Διεθνές Συνέδριο για τα μεγάλα φράγματα, Βιέννη.
9. Czitrom V, 1999, One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments *The American Statistician* Vol.53, Issue 2, p. 126-131.
10. EC (2003), *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC)*.
11. Fernandez W., Vogel R.M., Sankarasubramanian A., 2000, Regional calibration of a watershed model, *Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques*, 45(5), 689-707.
12. Giorgi F., Lionello P., 2008, Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, Vol 63, 90-104.
13. Krone, T., Albers, C.J. and Timmerman, M.E., 2017, A comparative simulation study of AR (1) estimators in short time series. *Quality & quantity*, 51(1), 1-21.
14. Marinou, P. G., Feloni, E. G., Tzoraki, O., & Baltas, E. A., 2017, An implementation of a water balance model in the Evrotas basin, *European Water*, vol 57, 147-154.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμιευτήρα Κούρη

---

15. Mimikou, M., Kouvopoulos, Y., Cawadias, G. and Vayiannos, N., 1991, Regional Hydrological Effects of Climate Change, Journal of Hydrology 123.
16. Monteith J. L., 1965, Evaporation and environment. Symposia of the Society for Experimental Biology 19: 205-224. PMID 5321565. Obtained from Forest Hydrology and Watershed Management - Hydrologie Forestiere et Amenagement des Bassins Hydrologiques (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987, Actes du Colloque de Vancouver, Aout 1987) : I AHS-AISH Publ. no. 167, 1987, 319-327.
17. Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I—a discussion of principles, Journal of Hydrology, 282-290.
18. Penman L.H., 1948, Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 193, No. 1032, 120-145.
19. Thomas H. A., 1981, Improved methods for national water assessment, Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council, Washington, DC, USA.
20. Thomas H. A., Marin C. M., Brown M. J. & Fiering M. B., 1983, Methodology for water resource assessment, Report NTIS 84-124163, to US Geological Survey, National Tech. Info. Serv., Springfield, Virginia, USA.
21. Vandewiele G. L., Xu C. - Y. & Ni-Lar-Win, 1992, Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma, J. Hydrol. 134, 315-347.
22. Vogel R. M., Kroll C. N., 1992, Regional geohydrologic - geomorphic relationships for estimation of low-flow statistics, Wat. Resour. Res. 28(9), 2451-2458.
23. Vogel R. M., Kroll C. N., 1996, Estimation of baseflow recession constants, Wat. Resour. Manage. 10, 303-320.
24. Vogel R.M., 2003, Notes on course CEE-112 Hydrology and Water Resource Engineering, School of Civil and Environmental Engineering, Tufts University, USA.
25. Xu C.Y., Singh V. P., 1998, A review of monthly water balance models for water resource investigations. Wat. Resour. Manage. 12, 31-50.

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

1. Ηλιάδης Μ., 2010, «Τυπολογία, γεωμορφολογικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κούρη (Κύπρος) με την χρήση Γ.Σ.Π», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Βιολογίας, Γεωλογίας και Πολιτικών Μηχανικών.

## Υδρολογική προσομοίωση σε μηνιαία βάση λεκάνης απορροής και λειτουργίας ταμειυτήρα Κούρη

---

2. Μαρίνου Π., 2015, «Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου Thomas στη λεκάνη του ποταμού Ευρώτα», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
3. Νίκα Κ., 2004, «Επικαιροποίηση της ρύθμισης και εφαρμογής του τροποποιημένου μοντέλου WBUDG για την εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής στη Θεσσαλία», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
4. Παίβανά Μ., 2007, «Ανάπτυξη μοντέλου βροχής-απορροής “ABCD” στην πειραματική λεκάνη απορροής του Πικερμίου», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

## ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2012-raster/link/corine-land-cover-2012>
2. [http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index\\_gr/index\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/wdd/Wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument)
3. [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/index\\_gr/index\\_gr?opendocument](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/index_gr/index_gr?opendocument)
4. [http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/index\\_gr/index\\_gr?opendocument](http://www.moa.gov.cy/moa/da/da.nsf/index_gr/index_gr?opendocument)
5. [http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlindex\\_gr/dmlindex\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/gsd/gsd.nsf/dmlindex_gr/dmlindex_gr?OpenDocument)
6. [http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex\\_gr/DMLindex\\_gr?OpenDocument](http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument)
7. [http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/DMLindex\\_gr/DMLindex\\_gr?OpenDocument](http://www.mcw.gov.cy/mcw/da/da.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument)