



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

**Θέμα: «Διαχείριση υδατικών πόρων λεκανών απορροής
Πλατύ και Φανερωμένης »**

Επιβλέπων: Καθηγητής κ.Νικολαΐδης Νικόλαος

Εξεταστική Επιτροπή : Καθηγητής κ.Καρατζάς Γεώργιος

Επίκουρος καθηγητής κ.Παρανυχιανάκης Νικόλαος

Παππά Δήμητρα

Χανιά

Ιούνιος 2018

Στον πατέρα μου!

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ,θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους με τους οποίους συνεργάστηκα και συνείσφεραν σημαντικά στην διεκπεραίωση της.

Πρωτίστως οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ.Νικόλαο Νικολαΐδη ,Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και επιβλέποντα στην παρούσα διπλωματική εργασία για την αρωγή του και την συνεχή στήριξή του σε όλο αυτό το διάστημα καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Επίσης οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Βαγγέλη Μαμαγκάκη Διευθυντή Διαχείρισης Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης για την πολύτιμη συνεισφορά του ,παρέχοντας μου σχετικές μελέτες και στοιχεία ώστε να θεωρηθούν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας .

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ.Γεώργιο Καρατζά και τον Επίκουρο Καθηγητή κ.Νικόλαο Παρανυχιανάκη που συμμετείχαν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής στην παρουσίαση και αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας . Επιπλέον οφείλω να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα κ. Σοφία Νερατζάκη για τις συμβουλές της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Γιώργο και Ρίτα για όλα όσα μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια .Επίσης ευχαριστώ την αδερφή μου Κωνσταντίνα για την πολύτιμη στήριξή της καθώς και τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου αυτά τα χρόνια.

Παππά Δήμητρα

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις υδρολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην λεκάνη απορροής της τεχνητής λίμνης του φράγματος της Φανερωμένης και του ποταμού Πλατύ. Τα νερά του φράγματος της Φανερωμένης πηγάζουν κατά κύριο λόγο από τον παραπόταμο Κουτσουλίδη που καταλήγει στον ποταμό Γεροπόταμο και διασχίζει την πεδιάδα της Μεσαράς. Ο ποταμός Πλατύς είναι ο πιο κοινός ποταμός της περιοχής που ανήκει στο νομό Ρεθύμνου και εκβάλει στην Αγία Γαλήνη. Η λεκάνη απορροής της Φανερωμένης που εντοπίζεται στο νότιο – κεντρικό τμήμα της Κρήτης, αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα όσον αφορά στους υπόγειους υδατικούς πόρους εξαιτίας της υπερεκμετάλλευσης του υδροφορέα, κυρίως για την άρδευση των 250 Km² καλλιεργήσιμης έκτασης στην πεδιάδα της Μεσαράς. Λόγω της κατάστασης αυτής, η πεδιάδα της Μεσαράς αντιμετωπίζει τον κίνδυνο ερημοποίησης. Πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του ημι – κατανεμημένου μοντέλου λεκάνης απορροής, Soil and Water Assessment Tool (SWAT20012), σε συνδυασμό με περιβάλλον ΓΣΠ, προκειμένου να εξεταστούν οι επιδράσεις των εναλλακτικών διαχειριστικών πρακτικών στο υδατικό ισοζύγιο. Η λεκάνη απορροής, έκτασης 375,7 Km² (Φράγμα της Φανερωμένης) και 1320,876(ποταμός Πλατύς) Km², διαιρέθηκε σε 38 υπολεκάνες και 174 υδρολογικές μονάδες απόκρισης (HRUs) με αυτοματοποιημένη διαδικασία. Για την βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου, που πραγματοποιήθηκε από το υδρολογικό έτος 1968-1969 μέχρι και το υδρολογικό έτος 2002 – 2003 για την λεκάνη απορροής του Πλατύ και μέχρι το υδρολογικό έτος 1996-1997 για την λεκάνη απορροής της Φανερωμένης, χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία και συνεχή μετεωρολογικά δεδομένα από 7 βροχομετρικούς σταθμούς και 2 σταθμούς θερμοκρασίας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα παροχής μετρημένα σε 38 θέσεις παρατήρησης εντός των ορίων των λεκανών απορροής που καλύπτουν τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα της εκάστοτε λεκάνης απορροής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της επαλήθευσης, συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο SWAT κατάφερε να προσομοιώσει ικανοποιητικά την λεκάνη απορροής του Φράγματος της Φανερωμένης καθώς και αυτή του ποταμού Πλατύ. Η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ελέγχθηκε με χρήση διαφόρων στατιστικών δεικτών, όπως οι RMSE, NSE, RSR και PBIAS. Το βαθμονομημένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε επίσης για την αξιολόγηση των επιδράσεων διαφόρων διαχειριστικών σεναρίων στο υδατικό ισοζύγιο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, το μοντέλο SWAT, εφόσον βαθμονομηθεί σωστά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την αξιολόγηση διαφόρων διαχειριστικών σεναρίων στις λεκάνες απορροής της Μεσογείου. Το μοντέλο SWAT, υποστηριζόμενο από το περιβάλλον ΓΣΠ, αποδείχθηκε ένα ευέλικτο και αξιόπιστο εργαλείο λήψης αποφάσεων για θέματα υδατικών πόρων καθώς και μια ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση προς της κατεύθυνση της Έναρμόνισης με την Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά που τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου του 2000.

Abstract

This diploma discusses the hydrological processes taking place in the artificial lake of the Faneromeni and the river Platy. The waters of Faneromeni dam spring mainly from the tributary Koutsoulidis, which ends on the river Geropotamos and crosses its plain Messaras. The Platys River is the closest river in the area that belongs to the Prefecture of Rethymno and flows into Agia Galini. The catchment area of Faneromeni, located in the south - central part of Crete, faces a serious problem with the underground water resources due to overexploitation of the aquifer, mainly for the irrigation of 250 Km² of cultivated area in the Mesara plain. Because of this situation, the Mesara plain faces the risk of desertification. The semi-distributed Soil and Water Assessment Tool (SWAT2012) was implemented in conjunction with a GIS environment to examine the effects of alternative management practices on the water balance. The 375.7 Km² (Phaneromeni Dam) and 1320.876 (Platys River) Km² catchment area was divided into 38 sub-basins and 174 hydrologic response units (HRUs) with an automated process. For the calibration and verification of the model, carried out from the hydrological year 1968-1969 up to the hydrological year 2000-2001 for the basin of Platy and until the hydrological year 1996-1997 for the catchment area of Faneromeni, monthly and continuous meteorological data from 7 rainfall stations and 2 temperature stations. In addition, delivery data measured at 38 observation sites within the boundaries of the catchment areas covering the respective time periods of each river basin were used. According to the results of calibration and verification, we conclude that the SWAT model has been able to simulate satisfactorily the catchment area of Faneromeni Dam as well as that of the Platy River. The effectiveness of the model was tested using various statistical indicators, such as RMSE, NSE, RSR and PBIAS. The calibrated model was also used to evaluate the effects of various management scenarios on the water balance. According to the results of this study, the SWAT model, if properly calibrated, can be used effectively to evaluate various management scenarios in the Mediterranean basin. SWAT, supported by the GIS environment, proved to be a flexible and reliable decision-making tool for water resources issues, as well as a particularly effective solution to the "Harmonization with the European Water Framework Directive", which came into force on 22 December 2000.

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή-Περιγραφή του Προβλήματος	12
1.1 Το νερό ως αγαθό.....	12
1.2 Σκοπός της παρούσας διπλωματικής διατριβής	15
2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	16
2.1 Γενικά.....	16
2.2 Περιβαλλοντικά μοντέλα	16
2.3 Υδρολογικά μοντέλα.....	18
2.3.1 Γενικά-Ορισμοί	18
2.3.2 Κατηγορίες Μοντέλων.....	19
2.4 Βαθμονόμηση και Επαλήθευση Υδρολογικού Μοντέλου	20
2.4.1Ορισμός Βαθμονόμησης	20
2.4.2Είδη Βαθμονόμησης.....	21
2.4.3 Ορισμός Επαλήθευσης	22
2.5 Το Μοντέλο SWAT	23
2.5.1 Δεδομένα Εισόδου	25
2.5.2Μεθοδολογία του μοντέλου	25
2.5.3 Υδρολογικός κύκλος SWAT.....	27
2.5.4 Η πλατφόρμα Arc-GIS.....	28
2.6.1 Διασύνδεση ArcGIS και SWAT	29
2.6 Φράγματα.....	30
2.6.1 Γενικές πληροφορίες.....	30
2.6.2 Υδρολογικός σχεδιασμός φραγμάτων	32
2.6.3 Επιπτώσεις των φραγμάτων	33
2.7 Κλιματική αλλαγή	35
2.7.1Γενικά	35

2.7.2 Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος- IPCC	36
2.8 Φαινόμενο Ξηρασίας	37
2.8.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά γνωρίσματα	37
2.8.2 Διαχείριση της ξηρασίας	39
2.8.3 Δείκτης Ξηρασίας	41
3. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης.....	42
3.1. Γενική περιγραφή λεκανών απορροής Κρήτης.....	42
3.1.2 Τεχνητή λίμνη Φανερωμένης και ποταμός Πλατύς	45
3.1.3 Το Φράγμα της λίμνης της Φανερωμένης –Σκοπός κατασκευής	47
3.2 Γεωγραφική τοποθέτηση	48
3.3 Γεωλογική δομή –Μορφολογία περιοχής.....	49
3.4 Σεισμικότητα	53
3.5 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των περιοχών.....	55
3.6 Μετεωρολογικά-Κλιματολογικά στοιχεία των περιοχών	56
4. Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου	63
4.1 Λογισμικό-Εισαγωγή δεδομένων	63
4.2 Βαθμονόμηση –Επαλήθευση μοντέλου.....	70
4.3 Περιγραφή μεθόδου αξιολόγησης της μοντελοποίησης.....	75
4.4. Αξιολόγηση μοντελοποίησης ποταμού Πλατύ και φράγματος Φανερωμένης.....	78
4.5. Ιδατικό ισοζύγιο λεκανών απορροής.....	88
5. Προσομοίωση ταμιευτήρα.....	91
5.1. Στόχοι προσομοίωσης ταμιευτήρα– Παρουσίαση σεναρίων	91
5.2. Εναλλακτικά σενάρια εκτροπής ποταμού Πλατύ	93
5.3. Μηνιαίο ισοζύγιο	95
5.4. Παράμετροι ισοζυγίου	96
5.5. Λεπτομερής περιγραφή σεναρίων.....	98

5.5.1. Σενάριο άρδευσης 1	98
5.5.2.Σενάριο άρδευσης 2	100
5.5.3.Σενάριο άρδευσης 3	101
5.5.4.Σενάριο εκτροπής 1	102
5.5.5.Σενάριο εκτροπής 2	103
6. Συμπεράσματα	104
7.Βιβλιογραφία	107
7.1 Διεθνής βιβλιογραφία.....	107
7.2 Ελληνική βιβλιογραφία	111
7.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	113
8.Παράρτημα.....	114

Ευρετήριο Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2 <i>EVALUATION OF EFFECTS ON SWAT SIMULATED HYDROLOGY AND SEDIMENT BEHAVIORS OF SWAT WATERSHED DELINEATION USING SWAT ARCVIEW GIS EXTENSION PATCH, JANUARY 2008</i>	24
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWAT (NEITSCH ET AL 2011, ΑΝΤΩΝΑΚΟΣ 2012).....	26
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΠΙΘΑΝΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SWAT (NEITSCH ET AL. 2011, ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2011)	28
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΧΩΜΑΤΙΝΟ ΦΡΑΓΜΑ - ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ (Ν. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΤΥΠΟΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ (Ν. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ).....	31
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ -ΥΠΕΚΑ.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΌΡΙΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ -ΥΠΕΚΑ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΡΗΤΗΣ -ΥΠΕΚΑ	44
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΦΡΑΓΜΑ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ - HTTPS://WWW.CNA.GR/CRETE/NERO-KAI-STO-FRAGMA-TIS-FANEROMENIS/	47
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ -ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΚΡΗΤΗΣ GR13,ΥΠΕΚΑ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΟ SWAT	49
ΕΙΚΟΝΑ 14 Η ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟΝ GILBERT ET AL. 1994, NOOMEN ET AL. 1996 ΚΑΙ REILINGER ET AL. 1997).....	50
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΤΟ ΟΙΚΟΔΟΜΗΜΑ ΤΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ. - ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ	52
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΑΠΟ BONEAU ,1973)- ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ	53
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΝΕΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΕΑΚ 2000)	54
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ –ΓΕΩΠΥΛΗ ΥΠΕΚΑ	56
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ ΣΤΟ SWAT	64
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ HRU ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ SWAT.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	69
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ EXCEL MICROSOFT OFFICE	92
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΕΣΗΣ ΑΥΛΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΟ SWAT	94

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΡΑΚΑΡΙ-ΖΑΡΟΣ	57
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΛΑΓΟΛΙΟ -ΜΕΛΑΜΠΕΣ	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ-ΒΟΡΙΖΙΑ	58
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΕΡΑΚΑΡΙ -ΒΥΖΑΡΙ.....	59
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΛΑΓΟΛΙΟ-ΜΕΛΑΜΠΕΣ	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΓΕΡΑΚΑΡΙ-ΖΑΡΟΣ	60
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ-ΒΟΡΙΖΙΑ.....	61
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΖΑΡΟΣ-ΒΥΖΑΡΙ.....	61
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9 ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΖΑΡΟΣ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	62
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΤΗΣΙΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΖΑΡΟΣ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ.....	63
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ ,ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1972-1978.....	78
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ ,ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1979-1986.....	80
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1973-1989	81
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-1996	83
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΕΣ ΠΑΡΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ, ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1978-1984	84
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1972-1986.....	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1972-1986.....	86
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1973-1996	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1973-1996	87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΜΗ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΤΗΣ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ.....	90
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21 ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΠΟΤΑΜΟ ΠΛΑΤΥ	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 1	99
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 2	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ 3	101
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ 1	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ 2	103
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΠΛΑΤΥ ΜΕ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ Ο.Α.ΔΥ.Κ.....	114

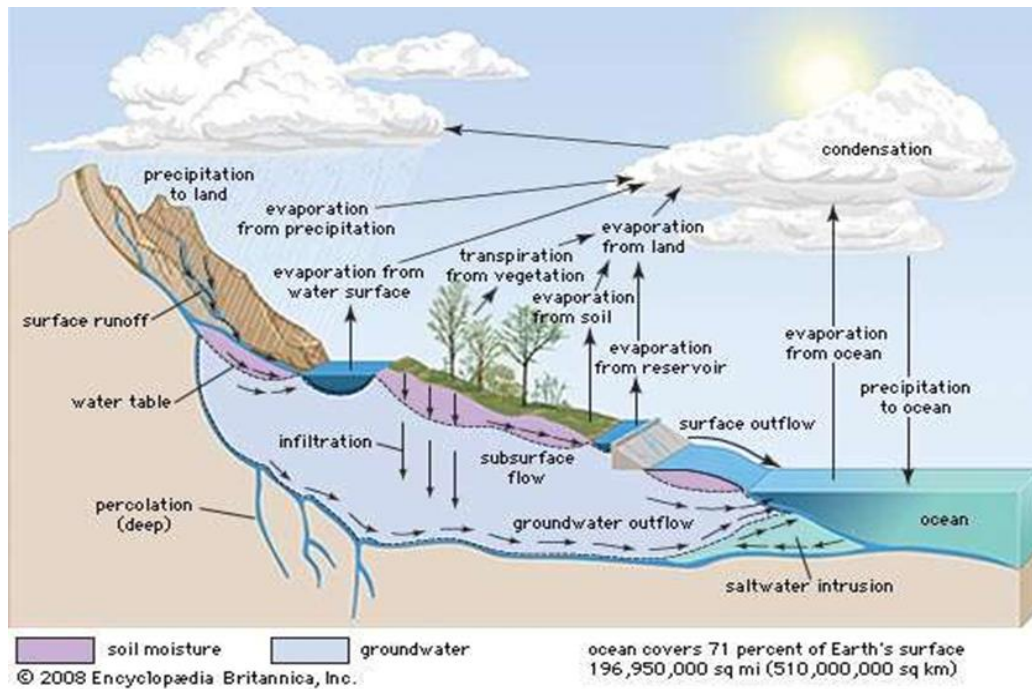
1.Εισαγωγή-Περιγραφή του Προβλήματος

1.1 Το νερό ως αγαθό

Το νερό είναι στενά συνυφασμένο με τη ζωή .Είναι ζωή !Βρίσκεται παντού ,από τα σύννεφα και τους ωκεανούς μέχρι τους πάγους των πόλων και το υπέδαφος .Από τους σπόρους των φυτών μέχρι τον άνθρωπο .Ο φυσικός αυτός πόρος είναι υψίστης σημασίας αφού αποτελεί βασικό παράγοντα για την ύπαρξη ζωής και την ανάπτυξη. Αποτελεί βασικό συστατικό όλων των οργανισμών ,τόσο των φυτικών, όσο και των ζωικών .Μιλώντας με αριθμούς ,ας σκεφτεί κάποιος ότι το βάρος ενός δέντρου αντιστοιχεί σε νερό κατά ποσοστό 60% ενώ ο άνθρωπος και τα ζώα αποτελούνται από νερό κατά 65% . Ακόμη καλύτερα αρκεί να σκεφτούμε πως ένας ανθρώπινος οργανισμός δεν μπορεί να αντεξει περισσότερο από 2-3 μέρες χωρίς να καταναλώσει νερό .

Το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη μας καλύπτεται από νερό .Αρκεί να ρίξουμε μία ματιά στο γαλάζιο χρώμα που κατακλύζει έναν παγκόσμιο χάρτη και θα το διαπιστώσουμε .Ωστόσο το 97,2% του νερού αυτού είναι αλμυρό ενώ μόλις το υπόλοιπο αντιστοιχεί σε «γλυκό νερό» .Το γλυκό νερό βρίσκεται κυρίως στους πόλους και στους παγετώνες και σε μικρότερο ποσοστό βρίσκεται στις λίμνες στα ποτάμια και στα υπόγεια ύδατα . Παρατηρούμε λοιπόν πως παρά το γεγονός ότι ο πλανήτης μας βρέχεται από νερό ,μόνο ένα πολύ μικρό μέρος αυτού είναι διαθέσιμο για τις ανάγκες των ανθρώπων .

Το νερό αποτελεί το μοναδικό στοιχείο στη φύση που συναντάται και στις τρεις καταστάσεις της ύλης :υγρό στερεό και αέριο . Η κίνηση του στη Γή είναι αέναη και περιλαμβάνει διεργασίες όπως η εξάτμιση η συμπύκνωση η κατακρήμνιση κ.α. Η συνεχής αυτή μετακίνηση ονομάζεται «κύκλος του νερού» (Εικόνα 1) και αποτελεί σημαντική διεργασία για την ζωή όλων μας. Κινητήριος δύναμη του κύκλου του νερού αποτελεί ο ήλιος που θερμαίνει τη Γη μαζί με τα νερά της .



Εικόνα 1 Υδρολογικός κύκλος

Το διαθέσιμο νερό σε κάθε οικοσύστημα είναι αυτό που καθορίζει (μαζί με άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία και τα θρεπτικά) τα είδη των οργανισμών που θα αναπτυχθούν σε κάθε τόπο. Επιπλέον το νερό διαδραματίζει πολύ μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος μίας περιοχής. Οι ωκεανοί για παράδειγμα επηρεάζουν σημαντικά το κλίμα που επικρατεί στη Γη. Αλλαγές στα υδάτινα οικοσυστήματα έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγή του κλίματος της εκάστοτε περιοχής. Σε ότι αφορά την ατμόσφαιρα, το νερό συμβάλλει στην αναπνοή των οργανισμών. Επιπλέον μέσω της απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας συμβάλλει στη δημιουργία του φυσικού «φαινομένου του θερμοκηπίου». Το φαινόμενο αυτό είναι αυτό που συνεισφέρει στη διατήρηση της ζωής σε σχετικά σταθερές μέσες θερμοκρασίες αφού σε διαφορετική περίπτωση η θερμοκρασία πάνω στον πλανήτη θα παρέμενε στους -18°C . Επιπλέον ονομάζεται και παγκόσμιος καταλύτης εξαιτίας της τεράστιας ικανότητας διάλυσης που διαθέτει.

Τα πάντα είναι εξαρτώμενα από το νερό. Ότι και να κοιτάξουμε γύρω μας χρειάζεται νερό για να παραχθεί. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι η ιστορία του νερού συμβαδίζει με την ιστορία του ανθρώπου. Ο πρωτόγονος άνθρωπος φρόντιζε να ζει και να κατοικεί κοντά σε πηγές λίμνες και ποτάμια ενώ οι πρώτες του μετακινήσεις φαίνεται να συνδέονται άμεσα με την αναζήτηση πόσιμου νερού. Τρανταχτό παράδειγμα αποτελεί ο Αιγυπτιακός πολιτισμός που άνθισε κατά μήκος της κοιλάδας του Νείλου.

Ένα από τα πλέον ανησυχητικά προβλήματα της νέας χιλιετίας είναι η έλλειψη νερού . Τα αποθέματα πόσιμου νερού ανά τον κόσμο δεν είναι αρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες της ανθρωπότητας στον αιώνα που διανύουμε . Οι επιστήμονες δηλώνουν ότι αν δεν ληφθούν δραστικά μέτρα , δεκάδες εκατομμύρια άνθρωποι θα βρεθούν αντιμέτωποι με την μάστιγα της λειψυδρίας .

Τις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο συνδυασμός της αλματώδους πληθυσμιακής ανάπτυξης, της αστικοποίησης , της μόλυνσης και της πενιχρής εκπαίδευσης έχουν εντείνει τα προβλήματα της διαχείρισης του νερού παγκοσμίως . Τα προβλήματα που παρατηρούνται σχετικά με την ορθή διαχείριση των υδάτων αφορούν τόσο στην ποσότητα όσο και την ποιότητά τους .Αναγκαία λοιπόν κρίνεται η κατασκευή υποδομών για την προστασία και την αποκατάστασή τους .Η θεσμοθέτηση της προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και η ορθή περιβαλλοντική εκπαίδευση κρίνονται επίσης απαραίτητες για την επίλυση του προβλήματος .

Η Οδηγία Πλαίσιο (2000/60/EK) για τα νερά τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000 μετά από μία μακρόχρονη περίοδο διαπραγματεύσεων μεταξύ των Κρατών Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης .Αποτελεί θεσμικό εργαλείο που αφορά την διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων σε ευρωπαϊκό επίπεδο το οποίο :

- Αποτρέπει την περαιτέρω υποβάθμιση ,προστατεύει και βελτιώνει την κατάσταση όλων των υδατικών πόρων
- Προωθεί την βιώσιμη διαχείριση των υδάτων
- Εφαρμόζονται μέτρα για την μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών ενισχύοντας την προστασία των υδάτων
- Διασφαλίζει την συνεχή μείωση της ρύπανσης που αφορά τα υπόγεια ύδατα και κατ' επέκταση την αποκατάσταση της ποιότητάς τους
- Συμβάλλει στην αντιμετώπιση ακραίων φαινομένων όπως οι πλημμύρες και η ξηρασία .

1.2 Σκοπός της παρούσας διπλωματικής διατριβής

Όπως είναι ήδη γνωστό η αλόγιστη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων στην περιοχή της Μεσογείου, οι οποίοι είναι περιορισμένοι τόσο σε αριθμό όσο και σε διαθεσιμότητα ύδατος, καθώς και οι επιπτώσεις που μπορεί να προέλθουν από τις κλιματικές αλλαγές, αποτελούν κίνδυνο για την βιωσιμότητα των πόρων και την ερημοποίηση της περιοχής (Fantechi et al., 1995). Συγκεκριμένα στον ελλαδικό χώρο παρότι οι υδατικοί πόροι είναι επαρκείς, οι πρακτικές αγροτικών καλλιεργειών, απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες ειδικότερα κατά τους θερινούς μήνες δεν είναι διαθέσιμες με αποτέλεσμα το υδατικό ισοζύγιο να εμφανίζεται ελλειμματικό (F.Rijsberman, 2004). Επιπλέον, οι κλιματικές αλλαγές επιδρούν ιδιαιτέρως αρνητικά στη διαθεσιμότητα υδάτινων όγκων για την κάλυψη των αναγκών των σημερινών κοινωνιών. Η αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας, επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο, προκαλώντας αλλαγές στις κατακρημνίσεις αλλά και στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής (Middelkoop et al., 2001). Η ανάγκη για την ανεύρεση “βέλτιστων” λύσεων είναι πραγματικά επιτακτική. Η έλλειψη νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας μπορεί να αντιμετωπισθεί, με ανεύρεση νέων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Προκύπτει, συνεπώς, η ανάγκη να εντοπιστούν νέοι τρόποι για την καλύτερη χρήση του διαθέσιμου νερού, καθώς και για τη χρήση καλύτερων μεθόδων διατήρησης, διανομής και καθαρισμού του (Γ. Τσακίρης et al., 1995).

Σε ότι αφορά την περιοχή της Κρήτης, που εντοπίζεται στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου, θεωρείται ότι διατρέχει σημαντικότερο κίνδυνο λόγω των κλιματικών διαφοροποιήσεων και κυρίως λόγω των γεωργικών πρακτικών διαχείρισης.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής διατριβής είναι η μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής του ποταμού Πλατύ και της τεχνητής λίμνης της Φανερωμένης με την χρήση του υδρολογικού μοντέλου SWAT (Soil and Water Assessment Tool-Εργαλείο Αξιολόγησης Εδαφών και Νερού). Επιπλέον, πρόκειται να εφαρμοστούν διάφορα διαχειριστικά σενάρια στο ήδη βαθμονομημένο μοντέλο που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο θα καλύπτονται οι αρδευτικές ανάγκες ώστε να αξιολογηθούν στην συνέχεια οι πιθανές επιπτώσεις τους στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής. Κύριος στόχος της διατριβής αυτής είναι η εύρεση της βέλτιστης αρδευτικής πρακτικής που θα ικανοποιεί τις αρδευτικές ανάγκες και την βιωσιμότητα των υδατικών πόρων στην υπό μελέτη περιοχή.

2.Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Γενικά

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας, η γενικότερη γεωμορφολογική της σύσταση και η τεκτονική της δομή, την χαρακτηρίζουν ως σχεδόν άνυδρη χώρα. Αυτό πολλές φορές τεκμηριώνεται και από το ξηροθερμικό κλιματικό περιβάλλον του μεγαλύτερου μέρους της χώρας. Παρόλα αυτά όμως, για κάθε κάτοικό της Ελλάδας αναλογεί ετησίως μεγαλύτερη επάρκεια νερού, απ'ότι στις άλλες μεσογειακές χώρες, αν και η ανομοιόμορφη χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων δημιουργεί προβλήματα επάρκειας υδατικών πόρων (OECD, 1982).

Στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους ανήκουν τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, τα έλη, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες, ενώ στους υπόγειους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται τα νερά των γεωτρήσεων, των πηγαδιών, των πηγών καθώς και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων).

Το σύνολο της επιφάνειας της Ελλάδας (131990 τ.χλμ) καλύπτεται με επιφανειακούς υδατικούς πόρους συνολικής επιφάνειας γύρω στα 2200 τ.χλμ., δηλαδή ποσοστό κάλυψης 1.6%. Από αυτά οι φυσικές και οι τεχνητές λίμνες καλύπτουν έκταση περίπου 956 τ.χλμ. (47.2%), οι λιμνοθάλασσες 288 τ.χλμ (14.2%), οι ποταμοί έχουν μήκος 4268 χλμ, και οι εκβολές ποταμών με τα δέλτα τους καλύπτουν έκταση περίπου 723 τ.χλμ. (35.7%) που χρόνο με το χρόνο μειώνονται με έργα αποξήρανσης και διευθετήσής τους (ΝΑ, 1970-1996, Κουσουρή και συν., 1981-1994, ΕΚΒΥ, 1994).

Σχετικά με τη χρήση των υδάτων στην γεωργία, η Ελλάδα με έκταση 1.4 εκατ. he, διαθέτει την Πέμπτη μεγαλύτερη αρδευόμενη έκταση στην Ευρώπη. Από τη συνολική έκταση περίπου το ένα τρίτο (1/3) αποτελείται από συλλογικά συστήματα τα οποία διαχειρίζονται Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ) υπό την εποπτεία του αρμόδιου Υπουργείου, ενώ τα υπόλοιπα δύο τρίτα(2/3) αποτελούνται από ιδιωτικά αρδευτικά συστήματα. Στις αρχές του 2000 το 19% των αρδευόμενων εκτάσεων έκανε λήψη νερού μέσω επιφανειακής άρδευσης, το 50.6% με εκτοξευτές νερού και το 30.4% με στάγδην άρδευση (OECD Environmenta l Performance Reviews,Greece, 2009).

2.2 Περιβαλλοντικά μοντέλα

Η μελέτη και η περιγραφή διαφόρων φυσικών φαινομένων και συστημάτων και η προσπάθεια να ερμηνευτούν θεωρίες και θεωρήματα έχουν καταστήσει αναγκαία την δημιουργία επιστημονικών μοντέλων. Τα «μοντέλα» δηλαδή αποτελούν εργαλεία για την ερμηνεία της συμπεριφοράς των υπό μελέτη φαινομένων. Η έννοια του «μοντέλου περιβάλλοντος» (Νικολαΐδης, 2013) αποδίδεται ως εξής:

1. Μοντέλο είναι ένα κατασκεύασμα που ποσοτικοποιεί, περιγράφει ή είναι ανάλογο χημικών, φυσικών, βιολογικών φαινομένων.
2. Μοντέλο είναι η μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς που έχει ένα φυσικό σύστημα

Τα μαθηματικά μοντέλα των οποίων η χρήση έχει αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία κυρίως 50 χρόνια, εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση προβλημάτων που αφορούν κυρίως την ποιότητα των υδάτων και χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση και την προσομοίωση κάθε τύπου προβλήματος που έχει σχέση με τους υδατικούς πόρους (Friedman et al., 1984, Van Gravel et al., 1995).

Θα μπορούσαμε να περιγράψουμε την διαδικασία κατασκευής ενός μαθηματικού μοντέλου ως εξής (Χρήστος Νικολόπουλος, σημειώσεις για το μάθημα «Μαθηματικά μοντέλα στις φυσικές επιστήμες»)

- Αρχικά προσπαθούμε να κατανοήσουμε την φυσική διαδικασία καθορίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της .
- Γράφουμε εξισώσεις για την ομαδοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών σε μαθηματική μορφή .Μπορεί να έχουμε περιπτώσεις όπου γνωρίζουμε τους φυσικούς νόμους που περιγράφουν το φαινόμενο ,δηλαδή υπάρχει κάποια σχετική μαθηματική θεωρία από πριν .Σε περίπτωση που αυτοί οι νόμοι είναι περίπλοκοι μπορεί να χρειάζεται να κατασκευάσουμε εξισώσεις από την αρχή ,ή να χρησιμοποιήσουμε φυσική διαίσθηση η μαθηματική απλοποίηση .Σαν τελικό αποτέλεσμα χρειαζόμαστε ένα επιλύσιμο πρόβλημα επαρκές να δώσει ένα ρεαλιστικό μοντέλο .Πιο συγκεκριμένα το ζητούμενο είναι ότι οι εξισώσεις αυτές με κάποιο τρόπο πρέπει να λύνονται .
- Συγκρίνουμε τη λύση με πειραματικά δεδομένα .Βελτιώνουμε το μοντέλο ,εάν αυτό χρειάζεται .Το απλοποιούμε περαιτέρω ή και συμπεριλαμβάνουμε περισσότερα χαρακτηριστικά .Αρχίζουμε την διαδικασία από την αρχή μέχρι να έχουμε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα .

Η διαδικασία αναζήτησης του μαθηματικού μοντέλου ονομάζεται μοντελοποίηση .

2.3 Υδρολογικά μοντέλα

2.3.1 Γενικά-Ορισμοί

Με τον ορισμό υδρολογικά μοντέλα νοούνται οι μαθηματικοί μετασχηματισμοί που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου (π.χ. υδρολογικά, κλιματολογικά) και εύστοχες υποθέσεις σχετικά με τους μηχανισμούς του « κύκλου του νερού », με σκοπό την αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών, στον χρόνο και στον χώρο που μελετάται το φαινόμενο.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την προσομοίωση της επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας :

HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) (Johanson et al., 1980, Bicknell et al., 2001)

Προσομοιώνει την υδρολογία για μεγάλες χρονικές περιόδους, ακόμα και σε αστικές περιοχές.

ETD (Enhanced Trickle –Down Model) (Schoor et al., 1984, Nikolaidis et al., 1988) Με τη δυνατότητα να περιγράφει επαρκώς όλους τους τύπους υδρολογικών συστημάτων σε συστήματα απορροής και αποστράγγισης

Topoflow (Pecham et al., 2007) Μελέτη φυσικών διαδικασιών σε κλιματικές αλλαγές, μη κατανεμημένο μοντέλο

Modoflow (Modular Three-Dimensional Finite –Difference Ground –Water Flow Model) (Harbaugh and McDonald, 1996) Μοντέλο πεπερασμένων διαφορών για έδαφος – νερό, τριών διαστάσεων

ANSWERS-Continuous (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation – Continuous) (Beasley et al., 1980)

AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) (Young et al., 1989)

MIKE-SHE (European Hydrological System Model) (Refsgaard, 1997, Demetriou and Punthakey, 1998)

SURFER (Golden Software Inc., 1989)

TMWAM (Turkey-Mersey Watershed Acidification Model) (Lam et al., 1988, Bobba and Lam, 1990)

ILWAS (Integrated Lake –Watershed Acidification Study) (Chen et al., 1984)

RAINS (Regional Air Pollution Information and Simulation) (Kamari, 1986)

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998, Neitsch et al., 2002, Gassman et al., 2007, Oeurng et al., 2011)

Τα στάδια τα οποία περιλαμβάνει η δημιουργία ενός μοντέλου είναι:

- Conceptualization (Επιλογή τρόπου προσομοίωσης)
- Κωδικοποίηση μοντέλου
- Calibration (Βαθμονόμηση μοντέλου)
- Verification (Επαλήθευση μοντέλου)
- Validation (Αξιοπιστία μοντέλου)
- Σύγκριση προβλέψεων με δεδομένα στο μέλλον
- Sensitivity Analysis (Ανάλυση ευαισθησίας)
- Uncertainty Analysis (Ανάλυση αβεβαιότητας)

2.3.2 Κατηγορίες Μοντέλων

Δεδομένης της συνεχής εξέλιξης των υδρολογικών μοντέλων προσομοίωσης αλλά και λόγω της μεγάλης ποικιλίας τους κρίθηκε σκόπιμη η κατάταξη τους σε επιμέρους κατηγορίες. Τα υδρολογικά μοντέλα λοιπόν μπορούν να καταταχθούν βάσει του πεδίου εφαρμογής τους, την χωρική τους κλίμακα, την μαθηματική τους δομή και την χρονική τους διακριτότητα ως εξής :

- ❖ Συνεχή και διακριτά, ανάλογα με τον αν τα συστήματα μελετώνται σε συνεχή ή διακριτά χρονικά διαστήματα.
- ❖ Δυναμικά και στατικά. Στα δυναμικά υδρολογικά μοντέλα παρατηρούμε αλλαγές στις διαδικασίες του συστήματος με την πάροδο του χρόνου ενώ στα στατικά δεν παρατηρείται καμία αλλαγή.
- ❖ Περιγραφικά και εννοιολογικά. Τα περιγραφικά μοντέλα στηρίζονται στους φυσικούς νόμους που σχετίζονται με την κίνηση του νερού. Από την άλλη τα εννοιολογικά στηρίζονται σε παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα που αναπαριστούν τις κύριες υδρολογικές διεργασίες.

- ❖ Προσδιοριστικά και στοχαστικά .Κριτήριο της κατηγορίας αυτής αποτελεί ο τύπος των μεταβλητών που υπεισέρχονται στο πρόβλημα αλλά και οι μεταξύ τους σχέσεις.
- ❖ Συγκεντρωτικά και κατανεμημένα ,ανάλογα με την χωρική μεταβλητή των παραμέτρων του μοντέλου. Τα συγκεντρωτικά η όπως αλλιώς ονομάζονται τα μοντέλα «καθολικών παραμέτρων» ,συνήθως είναι απλούστερα και σημειακά .Τα κατανεμημένα διαχωρίζουν την περιοχή που εφαρμόζονται σε κελιά με την εφαρμογή ενός αυθαίρετου καννάβου και εξετάζουν αρχικά την εξέλιξη του κάθε κελιού μεμονωμένα και στη συνέχεια την αλληλεπίδραση που παρουσιάζουν τα γειτονικά κελιά .
- ❖ Μοντέλα προσομοίωσης γεγονότων και συνεχή μοντέλα ,ανάλογα με το μέγεθος της χρονικής κλίμακας στην οποία μελετάμε την συμπεριφορά τους.
- ❖ Μαύρου κουτιού και απομίμησης κατασκευών αναλόγως την αναλυτική διαδικασία που ακολουθείται από το σύστημα .

Η τελική επιλογή του υδρολογικού μοντέλου εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως το βασικό σκοπό της μελέτης ,την εμπειρία του μελετητή και τα δεδομένα που έχει στην διάθεση του .Τόσο η ποιότητα όσο και η ποσότητα των δεδομένων που έχει στην διάθεση του ο μελέτητης του εκάστοτε μοντέλου αποτελεί κύριο παράγοντα για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας και την εξασφάλιση αναλυτικότερων διαγραμμάτων προσομοίωσης .

2.4 Βαθμονόμηση και Επαλήθευση Υδρολογικού Μοντέλου

2.4.1 Ορισμός Βαθμονόμησης

Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) προέρχεται από τις στατιστικές επιστήμες, και υποδηλώνει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, έτσι ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τις αντίστοιχες παρατηρημένες τιμές. Διαφοροποιείται από τον γενικότερο όρο εκτίμηση παραμέτρων, που μπορεί να αναφέρεται σε μια εμπειρική ή διαισθητική διαδικασία «εκ των προτέρων» ορισμού των παραμέτρων του μοντέλου, χωρίς «εκ των υστέρων» έλεγχο της επίδοσής του, με βάση πραγματικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό, 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 με τα προσομοιωμένα δεδομένα. *(Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Αθήνα 2009)*

Για να κριθεί αξιόπιστη η βαθμονόμηση ενός υδρολογικού μοντέλου θα πρέπει :

- ❖ το μοντέλο να διαθέτει επαρκή προγνωστική ικανότητα, να μπορεί με άλλα λόγια να αναπαράγει με ακρίβεια όλο το εύρος των αποκρίσεων μιας λεκάνης
- ❖ να μπορεί να αποδοθεί νόημα στις βελτιστοποιημένες παραμέτρους τους ώστε να θεωρηθούν συμβατές με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος

Αυτά τα δύο βασικά γνωρίσματα εξασφαλίζουν ότι το μοντέλο αναπαριστά με συνέπεια τους υδρολογικούς μηχανισμούς της λεκάνης και το πεδίο εφαρμογής του δεν περιορίζεται μόνο στο διάστημα που υπάρχουν ιστορικές παρατηρήσεις αλλά επεκτείνεται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα.

2.4.2 Είδη Βαθμονόμησης

Η διαδικασία της βαθμονόμησης συνήθως γίνεται είτε εμπειρικά (ManualCalibration) είτε αυτόματα (Automatedcalibration). Ο συνδυασμός των παραπάνω περιπτώσεων δημιουργεί μία Τρίτη μέθοδο που ονομάζεται ημιαυτόματη βαθμονόμηση. Όλες οι μέθοδοι περιγράφονται αναλυτικότερα ως εξής :

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

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

γει όλο το φάσμα των δυνατών αποκρίσεων της λεκάνης.

Ημιαυτόματη βαθμονόμηση: Πρόκειται για μια διαδραστική μέθοδο, βάσει της οποίας ο μελετητής παρακολουθεί τη διαδικασία βελτιστοποίησης και επεμβαίνει σε αυτή, μεταβάλλοντας τα κριτήρια και τις υποθέσεις του προβλήματος, ώστε να κατευθύνει την πορεία αναζήτησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της εμπειρικής και αυτόματης βαθμονόμησης, και θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύνθετων σχημάτων, στα οποία είναι και πιο έντονη η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των παραμέτρων, λόγω της ύπαρξης πολλών ισοδύναμα καλών λύσεων . (Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Αθήνα 2009)

2.4.3 Ορισμός Επαλήθευσης

Η επαλήθευση (validation) εκφράζει την διαδικασία κατά την οποία αξιολογούνται τα μαθηματικά μοντέλα για να διαπιστωθεί το κατά πόσο αποτελούν αντιπροσωπευτικές απεικονίσεις του συστήματος που προσομοιώνουν .

Στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία της επαλήθευσης εφαρμόζεται για το βέλτιστο σύνολο των παραμέτρων που προέκυψε κατά το προηγούμενο στάδιο της βαθμονόμησης .Η προσέγγιση αυτή που ονομάζεται και διαχωρισμός δεδομένων(data-split) , έχει νόημα μόνο εφόσον τα χαρακτηριστικά του συστήματος παραμένουν αμετάβλητα και στα 2 στάδια βαθμονόμησης-επαλήθευσης ,εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο σαν δεδομένο ότι στη λεκάνη ισχύουν συνθήκες στασιμότητας . Ωστόσο, υπάρχουν ερευνητές που διαφωνούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο και προτείνουν άλλους τρόπους αξιολόγησης. Η “τυφλή μέθοδος” αφορά σε μοντέλα που δεν έχουν βαθμονομηθεί. Η κεντρική ιδέα της «τυφλής μεθόδου» είναι η απευθείας σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με τις μετρήσεις πεδίου.

Σαφώς και η επιτυχής βαθμονόμηση δεν εξασφαλίζει την επιτυχή επαλήθευση .Η τάση να «υπερ»-βελτιστοποιούνται οι παράμετροι έτσι ώστε τα προσομοιωμένα δεδομένα να πλησιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο στα πειραματικά παρουσιάζεται ως ένα από τα πιο πιθανά λάθη .Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως υπερ-προσαρμογή (over-fitting) του μοντέλου και χρήζει ιδιαίτερης προσοχής .

2.5 Το Μοντέλο SWAT

Το μοντέλο SWAT (Soil and Water Assessment Tool) είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης εδάφους και νερού που αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Jeff Arnold για το Τμήμα Γεωργίας της Υπηρεσίας Γεωργικής Έρευνας των ΗΠΑ (USDA, ARS) (Arnold et al., 2012, Arnold et al., 1998). Το SWAT αναπτύσσεται για να προβλέψει τον αντίκτυπο της πρακτικής διαχείρισης της γης στις αποδόσεις των υδάτων, των ιζημάτων και των γεωργικών χημικών ουσιών σε μεγάλες λεκάνες απορροής με ποικίλα εδάφη, χρήσεις γης και πρακτικές διαχείρισης για μεγάλες χρονικές περιόδους (Neitsch et al., 2009). Το SWAT έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για τον επιδιωκόμενο σκοπό.

Ιστορική εξέλιξη και εφαρμογή:

Η ανάπτυξη της SWAT αποτελεί συνέχεια της εμπειρίας μοντελοποίησης της Υπηρεσίας Γεωργικής Έρευνας του USDA (ARS) από το 1980. Η αρχή της SWAT ιδρύθηκε το 1980 όπως αναφέρθηκε από τους Gassman et al., 2007. Το SWAT υποβλήθηκε σε συνεχή επανεξέταση και επέκταση από τότε που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990 και είναι διαθέσιμα λεπτομερή θεωρητικά έγγραφα (Neitsch et al., 2009) και το εγχειρίδιο χρήστη (Neitsch et al., 2000) για να δώσουν θεωρητικό υπόβαθρο και οδηγό στους χρήστες. Το μοντέλο SWAT αναπαριστά πολλαπλές διεργασίες, υδρολογικές, υδροδυναμικές καθώς και υδροχημικές σε κλίμακα υπολεκάνης ακόμη και σε βάθος χρόνου, εκτός από την περίπτωση προσομοίωσης λεπτομερών μεμονωμένων πλημμυρικών γεγονότων ημερήσιας διακριτότητας. (Μπακή και Ευστρατιάδης, 2010)

Στις δυνατότητες του αξίζει συμπεριλαμβάνονται τα παρακάτω γνωρίσματα:

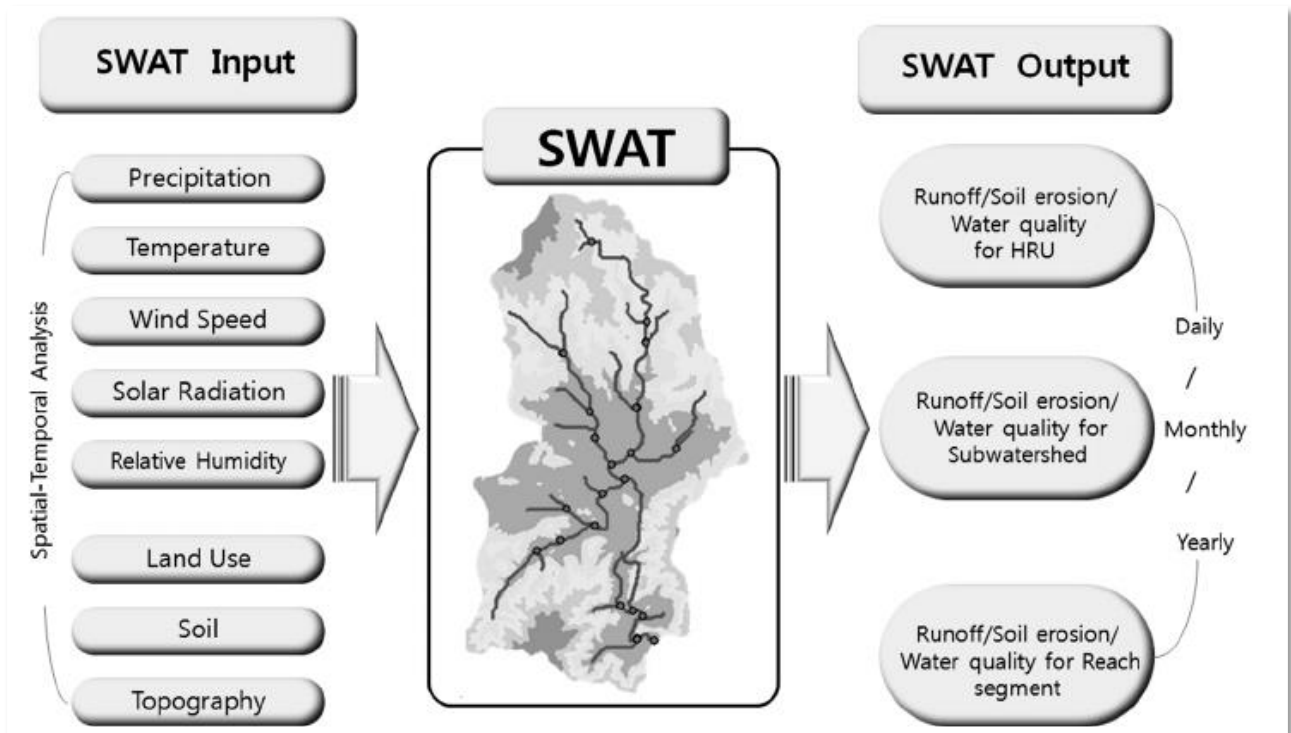
- ❖ Προσομοίωση βροχόπτωσης και/ή της χιονόπτωσης μέχρι και 10 κλιμάκων υψομέτρου.
- ❖ Επαναπροσδιορισμός εισαχθέντων δεδομένων για σενάρια κλιματικής αλλαγής.
- ❖ Πρόβλεψη μελλοντικών κλιματικών συνθηκών

Στα πλεονεκτήματα του υδρολογικού μοντέλου συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- ❖ Μελέτη μακροχρόνιων επιπτώσεων και επιδράσεων της διαχείρισης (π.χ. συγκέντρωση ρύπων, φερτών υλικών).
- ❖ Χρονικός προγραμματισμός αγροτικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια του έτους (π.χ. καλλιέργειες εκ περιτροπής, άρδευση, λιπάσματα).
- ❖ Ποσοτικοποίηση επίδρασης αλλαγών στα δεδομένα εισόδου (π.χ. αλλαγές στις χρήσεις γης).

- ❖ Εύκολη γραφική παρουσίαση αποτελεσμάτων.
- ❖ Προσομοίωση σύνθετων λεκανών απορροής και διαφορετικών στρατηγικών προσομοίωσης. (Μπακή και Ευστρατιάδης, 2010)

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της προσομοίωσης του Swat απεικονίζονται στην Εικόνα 2 που ακολουθεί.



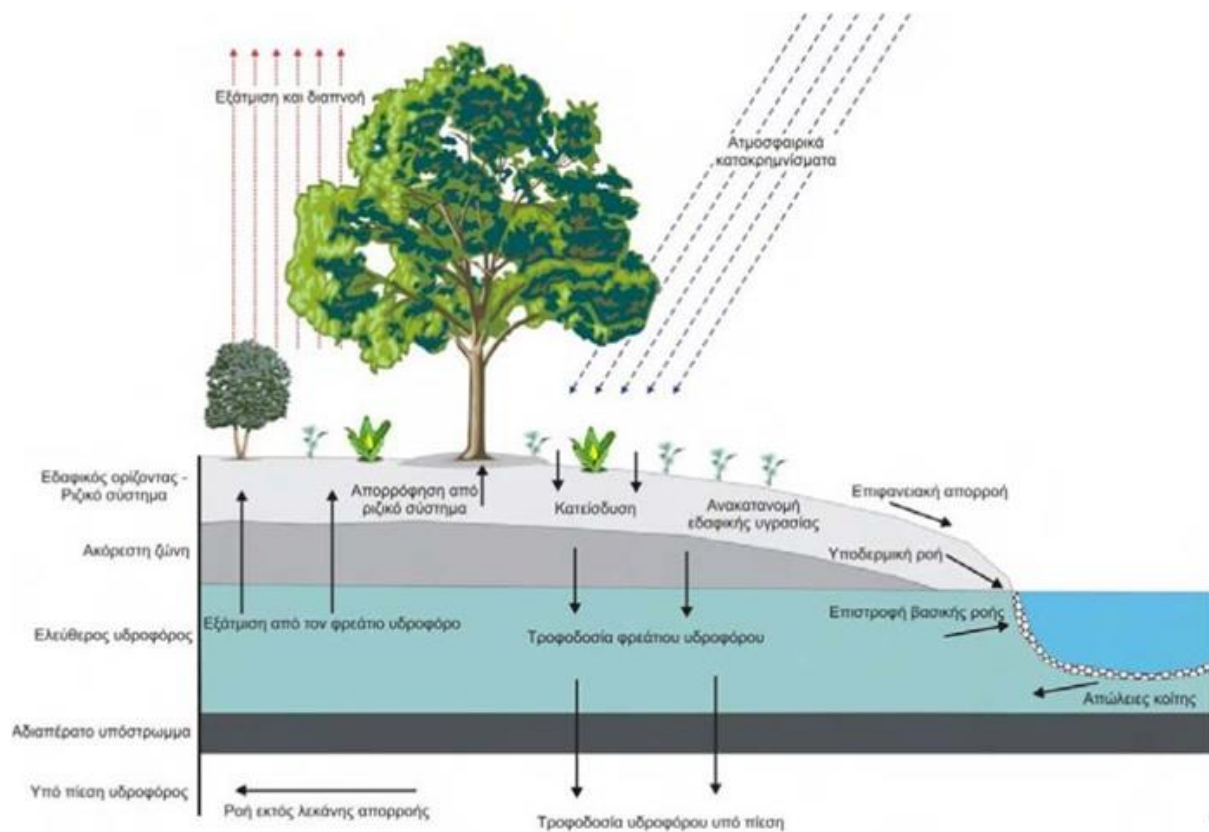
Εικόνα 2 *Evaluation of Effects on SWAT Simulated Hydrology and Sediment Behaviors of SWAT Watershed Delineation using SWAT ArcView GIS Extension Patch, January 2008*

2.5.1 Δεδομένα Εισόδου

Στα δεδομένα εισόδου του μοντέλου συμπεριλαμβάνονται το ανάγλυφο, οι χρήσεις γης, οι τύποι του εδάφους (ιδανικά της ακόρεστης ζώνης), οι χρονοσειρές με τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας του ανέμου καθώς και ηλιακής ακτινοβολίας (η απαίτηση των τριών τελευταίων εξαρτάται από τη μέθοδο προσομοίωσης της χρονοσειράς δυνητικής εξατμισοδιαπνοής) για όλο το χρονικό διάστημα προσομοίωσης (Gassman et al., 2007). Ο μέσος όρος της ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα υπολογίζεται από τα δεδομένα που εισήχθησαν με σκοπό να καθοριστεί αν η βροχόπτωση πρέπει να προσομοιωθεί ως χιονόπτωση. Σε ότι αφορά την ελάχιστη και μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς της ημερήσιας θερμοκρασίας του εδάφους και του νερού. Τα δεδομένα που εισάγουμε χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του κλίματος της περιοχής μελέτης με τη βοήθεια 13 μηνιαίων κλιματικών μεταβλητών που αναπτύχθηκαν μετά από χρόνια καταγραφή κλιματικών δεδομένων, και είναι καταγεγραμμένες σε πίνακες που διαθέτει το μοντέλο.

2.5.2 Μεθοδολογία του μοντέλου

Στο μοντέλο SWAT μας ενδιαφέρει πρωτίστως να δούμε πως προσομοιώνεται ο υδρολογικός κύκλος. Ο υδρολογικός κύκλος (Εικόνα 3) είναι αυτός που ορίζει την ποσότητα του νερού και την ποσότητα των φερτών υλών και θρεπτικών στοιχείων που εγκαταλείπουν το έδαφος και καταλήγουν στο υδρογραφικό δίκτυο. Η λεκάνη απορροής υποδιαιρείται σε υδρολογικές μονάδες απόκρισης (HRU) και επιτρέπει έτσι στο μοντέλο να βρίσκει την εξατμισοδιαπνοή για διαφορετικές χρήσεις γης και εδάφη. Η απορροή βρίσκεται ξεχωριστά για κάθε (HRU) και στη συνέχεια στο σύνολο της απορροής.



Εικόνα 3 Διαγραμματική απεικόνιση των διεργασιών που προσομοιώνονται από το μοντέλο SWAT (Neitsch et al 2011, Αντωνάκος 2012)

2.5.3 Υδρολογικός κύκλος SWAT

Το SWAT δέχεται ημερήσια δεδομένα βροχοπτώσεων ή και χιονοπτώσεων. Το χιόνι όταν λιώνει συμπεριφέρεται ακριβώς όπως τα όμβρια νερά (Neitsch et al., 2005). Οι κατακρημνίσεις που δεν συγκρατούνται από τα φυλλώματα, φτάνουν στο έδαφος και από εκεί ακολουθούν δύο διόδους: είτε απορρέουν επιφανειακά είτε διηθούνται στο έδαφος. Ο τύπος του εδάφους και οι χρήσεις γής είναι αυτά που καθορίζει τον συντελεστή απορροής και κατ'επέκταση το ποσοστό των κατακρημνίσεων που τελικά θα απορρεύσει. Το νερό που ακολουθεί την επιφανειακή δίοδο προσλαμβάνεται από την βλάστηση και διαπνέεται, υφίσταται εδαφική εξάτμιση ή συμβάλλει στην απορροή στην έξοδο της λεκάνης. Το νερό που καταλήγει σε υδάτινους αποδέκτες συνεισφέροντας στην αύξηση της παροχής τους είναι το άθροισμα της επιφανειακής, της ενδιάμεσης και της υπόγειας απορροής.

Σε όλη την πορεία της ροής του νερού το πρόγραμμα αφαιρεί τις απώλειες μετάβασης και απορρόφησης με τη μέθοδο Lane (USDA, 1983). Η τελική λοιπόν, παροχή του ποταμού δίνεται από το άθροισμα των επιμέρους απορροών.

- επιφανειακή απορροή
- ενδιάμεση απορροή
- υπόγεια απορροή (Μιμίκου, 2006)

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η εξίσωση που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο του μοντέλου :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Όπου,

SW_t : η τελική περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους την ημέρα t (mmH₂O)

SW_0 : η αρχική περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους την χρονική στιγμή 0 (mmH₂O)

R_{day} : η ημερήσια κατακρήμνιση την ημέρα (mmH₂O)

Q_{surf} : η ημερήσια επιφανειακή απορροή την ημέρα i(mmH₂O)

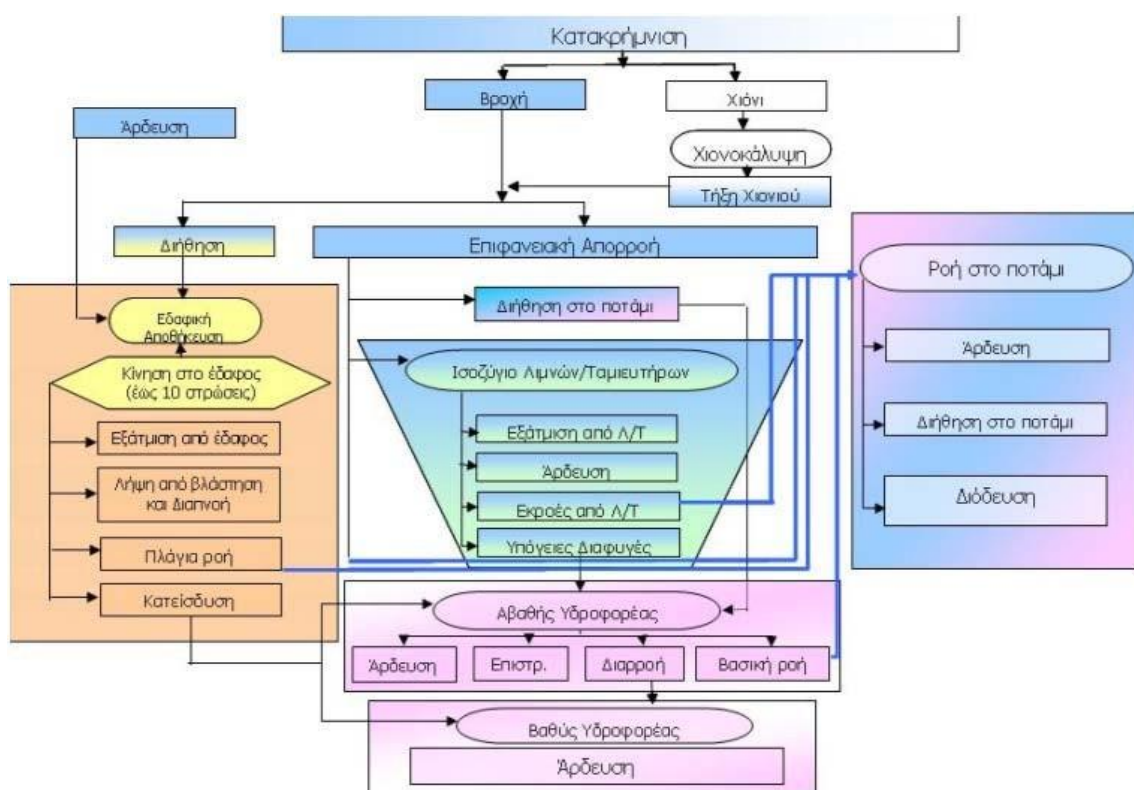
E_a : η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή την ημέρα i(mmH₂O)

W_{seep} : η ποσότητα νερού που εξέρχεται από την ζώνη ριζοστρώματος και εισέρχεται στην ζώνη vadoseτην ημέρα i (mmH₂O)

Q_{gw} : η υπόγεια ροή την ημέρα i (mmH₂O)

2.5.4 Η πλατφόρμα Arc-GIS

Το ArcGIS είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού GIS, η οποία παρέχει μια πλατφόρμα για την δημιουργία, διαχείριση, ενσωμάτωση και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Το ArcGIS είναι επεκτάσιμο και μπορεί να ενσωματωθεί σε ήδη υπάρχοντα συστήματα διαδικασιών, όπως το SWAT. Από πλευράς κλίμακας, το ArcGIS μπορεί να αναπτυχθεί είτε σε ατομικό υπολογιστή (ArcGIS Desktop) είτε από ένα δίκτυο ατόμων κατανεμημένο σε όλον τον κόσμο. Οι πιθανές διαδρομές νερού στο μοντέλο Swat αποτυπώνονται στην Εικόνα 4 που ακολουθεί .



Εικόνα 4 Πιθανές διαδρομές νερού στο μοντέλο SWAT (Neitsch et al. 2011, Παναγόπουλος, 2011)

2.6.1 Διασύνδεση ArcGIS και SWAT

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, το SWAT είναι ένα μοντέλο φυσικής βάσης, συνεχούς χρόνου το οποίο ποσοτικοποιεί τις επιδράσεις από τις πρακτικές διαχείρισης της γης. Προσομοιάζει ολόκληρο τον υδρολογικό κύκλο, συμπεριλαμβάνοντας την εξατμισδιαπνοή, την διείσδυση νερού σε μικρό βάθος, την διύλιση σε βαθείς υδροφόρους ορίζοντες, και τις διεργασίες πλευρικής ροής υδάτων (Arnold et al., 1998).

Μεγάλο μέρος των δεδομένων εισόδου του SWAT είναι χωρικού χαρακτήρα όπως το ανάγλυφο, οι χρήσεις γης και οι τύποι του εδάφους. Τα εργαλεία του GIS δημιουργήθηκαν για να ληφθούν πληροφορίες για το SWAT από ψηφιακά χωρικά δεδομένα που είναι εύκολα διαθέσιμα.

Από την διασύνδεση των ArcGIS και SWAT, αναπτύχθηκε το μοντέλο ArcGIS-SWAT (ή ArcSWAT), το οποίο είναι ένα πακέτο λογισμικού ανοικτού κώδικα SWAT, που εκτελείται σε περιβάλλον ArcGIS (Olivera et al., 2006). Το μοντέλο αυτό αποθηκεύει δεδομένα εισόδου του SWAT, όπως γεωγραφικά και αριθμητικά καθώς επίσης και αποτελέσματα. Η δομή της βάσης δεδομένων που προτείνεται για το μοντέλο ArcGIS-SWAT είναι ίδια με αυτή του SWAT με δυνατότητες να αποθηκεύει επιπλέον γεωγραφικές πληροφορίες πέρα των αριθμών και του κειμένου. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του ArcGIS-SWAT είναι η ικανότητά του να καταγράφει τις μονάδες υδρολογικής απόκρισης (HRU), πράγμα που επιτρέπει πιο ακριβή υπολογισμό των παραμέτρων του μοντέλου από εκείνο που θα προέκυπτε από τον μέσο όρο των υπο-λεκανών (Olivera et al., 2006).

Το μοντέλο ArcGIS-SWAT περιλαμβάνει μια δυναμική βάση γεω-δεδομένων (η βάση αυτή αποθηκεύει πληροφορίες της περιοχής της μελέτης) και από μια στατική βάση γεω-δεδομένων (αποθηκεύει πληροφορίες που δεν είναι εξειδικευμένες για το έργο της μελέτης). Η διασύνδεση ArcGIS-SWAT αποτελείται από ενότητες που περιλαμβάνουν χωρική ανάλυση (χρησιμοποιώντας δεδομένα όπως καιρού και τοπογραφίας) και από ενότητες που συνδέουν τα δεδομένα του SWAT με το μοντέλο και υποστηρίζουν την υδρολογική ανάλυση και την ολοκλήρωση του μοντέλου.

Οι ενότητες της διασύνδεσης ArcGIS-SWAT περιλαμβάνουν τα εξής στάδια:

- ❖ Καθορισμός του Υδροκρίτη
- ❖ Συνθετική Δημιουργία Καιρού
- ❖ Προετοιμασία αρχείων εισόδου SWAT
- ❖ Επεξεργασία αρχείων εξόδου SWAT
- ❖ Μετάδοση της Αβεβαιότητας
- ❖ Ολοκλήρωση Εφαρμογής που βασίζεται σε COM (Component Object Model)
- ❖ Ολοκλήρωση Υδρολογικού Μοντέλου

2.6 Φράγματα

2.6.1 Γενικές πληροφορίες

Με την έννοια φράγμα εννοούμε, το τεχνικό εκείνο έργο που κατασκευάζεται εγκάρσια στην κοίτη ενός ποταμού, με σκοπό τη δημιουργία κλειστής κοιλότητας για αποθήκευση του νερού. Στο τμήμα ανάντη του φράγματος, βρίσκεται μια λεκάνη η οποία αποτελεί χώρο αποθήκευσης του υδάτινου όγκου που συγκρατείται του οποίου τα όρια μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες, και ονομάζεται ταμιευτήρας (Ευστρατιάδης, Μαμάσης, Κουτσογιάννης 2014) . Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάσθηκαν αποσκοπούσαν κυρίως στην παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς. Σήμερα η κατασκευή φραγμάτων αποσκοπεί επιπλέον στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, στον τουρισμό αλλά και την αναψυχή. Τα φράγματα στη σύγχρονη εποχή έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με το παρελθόν ενώ παράλληλα αξιοποιούν τις γνώσεις της υδρολογίας και της υδρομηχανικής .

Η αποθήκευση του νερού και κατ' επέκταση η κατασκευή των φραγμάτων ,αποσκοπεί στην εξυπηρέτηση συγκεκριμένων αναγκών όπως η ύδρευση ,η άρδευση ,η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και η αντιπλημμυρική προστασία .Τα φράγματα μπορούν να διακριθούν σε διάφορες υποκατηγορίες ανάλογα:

- ❖ με τον επιδιωκόμενο στόχο
- ❖ το ύψος του φράγματος
- ❖ με τα υλικά κατασκευής τους
- ❖ με τον τρόπο λειτουργίας τους
- ❖ το σχήμα τους

Ανάλογα με τα υλικά κατασκευής τους τα φράγματα διακρίνονται σε:

-Εύκαμπτα: κατά την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται γαιώδη υλικά και τεμάχια βράχων.Υποκατηγοριοποιούνται σε χωμάτινα(Εικόνα 5) και λιθόρριπτα

-Άκαμπτα: κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και υποκατηγοριοποιούνται σε φράγματα βαρύτητας , τοξωτά και αντηριδωτά (Εικόνα 6) .

2.6.2 Υδρολογικός σχεδιασμός φραγμάτων

Σε υφιστάμενα έργα, απαιτείται η εκτίμηση των φυσικοποιημένων απορροών στη θέση του φράγματος, για το διάστημα λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η εκτίμηση εισροών στη θέση του φράγματος (απορροή ανάντη λεκάνης) επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα (διαστασιολόγηση), την μελέτη λειτουργίας του και την κατάρτιση σχεδίου διαχείρισης των υδατικών πόρων σε κλίμακα λεκάνης απορροής ή υδροσυστήματος. Η φυσικοποιημένη απορροή εκτιμάται από την εξίσωση υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα, εφόσον οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι γνωστές, από μετρήσεις (π.χ., μεταβολή αποθέματος, εκροές, βροχόπτωση, εξάτμιση) ή εκτιμήσεις (π.χ., υπόγειες διαφυγές). Οι υπολογισμοί βάσει του υδατικού ισοζυγίου είναι λιγότερο ακριβείς όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του ταμιευτήρα και όσο μικρότερη είναι η χρονική κλίμακα των υπολογισμών.

Το γενικευμένο ισοζύγιο για τον σχεδιασμό ενός φράγματος με μηνιαίο χρονικό βήμα παρουσιάζεται ως εξής :

$$V_i = V_{i-1} + Q_{in_i} + P \cdot A - PET \cdot A - Q_{eco} - Q_{irr}$$

Όπου,

- V_i : ο αποθηκευμένος όγκος νερού τον μήνα i (m^3)
- V_{i-1} : ο αποθηκευμένος όγκος νερού τον μήνα $i-1$ (m^3)
- Q_{in_i} : η εισροή στον ταμιευτήρα κατά τον μήνα i (m^3)
- P : η ποσότητα βροχόπτωσης το μήνα i (m)
- A : η επιφάνεια του φράγματος (m^2)
- PET : η δυνητική εξατμισοδιαπνοή τον μήνα i (m)
- Q_{eco} : η οικολογική παροχή ή παροχή υπερχείλισης τον μήνα i (m^3)
- Q_{irr} : η ποσότητα που χρησιμοποιείται για αρδευτικούς ή υδρευτικούς σκοπούς τον μήνα i (m^3)

2.6.3 Επιπτώσεις των φραγμάτων

Στη σύγχρονη εποχή η πλειονότητα των φραγμάτων χρησιμοποιείται για πολλαπλούς σκοπούς.

Συγκεκριμένα παγκοσμίως τα φράγματα χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς (37%), για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (16%), για παροχή πόσιμου νερού (12%), για αντιπλημμυρικό έλεγχο (6%), για σκοπούς αναψυχής (3%) και για λοιπούς σκοπούς (4%) [ICOLD 1998a. *World Register of Large Dams*. ICOLD, Paris] .

Τα φράγματα είναι κατασκευές σχεδιασμένες με σκοπό την αποθήκευση και την εκτροπή του νερού, την αλλαγή της φυσικής διανομής και το συγχρονισμό των ποτάμιων ροών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανθρώπινες ανάγκες {Πολύζος, Σ. και Παράσχης, Κ. 2003. Προϋποθέσεις σχεδιασμού και κατασκευής μεγάλων Φραγμάτων: Η Εμπειρία από τα έργα Σμοκόβου και Αχελώου. Πρακτ. Συνεδρίου: «Διαχείριση Υδάτινων Πόρων και Αειφόρος Ανάπτυξη της Θεσσαλίας», Λάρισα Δεκέμβριος }. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού τα φράγματα αλλάζουν τις θεμελιώδεις διαδικασίες για τα φυσικά οικοσυστήματα, αφού λειτουργούν ως «εμπόδια» στις διαμήκεις ανταλλαγές νερού στους ποταμούς.Σαν αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής στον τρόπο της κατάντη ροής , αλλάζουν το υδατικό ίζημα και τα θρεπτικά καθεστώτα, μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του ύδατος και τη χημεία του. Στην συνέχεια οι ταμιευτήρες πλημμυρίζουν τα χερσαία οικοσυστήματα, καταστρέφοντας φυτά και αναγκάζοντας τα ζώα να μετακινηθούν .Αν σκεφτεί κανείς ότι πολλά είδη προτιμούν τα κατώτατα σημεία κοιλάδων μία επερχόμενη πλυμμήρα θα επέφερε κινδύνους .Η αναγνώριση και ταξινόμηση των περιβαλλοντικών μεταβολών που προσμένονται μετά την υλοποίηση ενός φράγματος έχουν μεγάλη σημασία για το σωστό σχεδιασμό του. Ορισμένες από τις περιβαλλοντικές(αρνητικές) επιπτώσεις της κατασκευής φραγμάτων είναι :

- Η μεταβολή στη ροή του ποταμού με εκτεταμένα αποτελέσματα στην τοπική υδρολογία και στα κατάντη ρέοντα ύδατα, καθώς και τη μεταφορά των φερτών υλών. Η μεταβολή αυτή μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις στο έδαφος και να μεταβάλλει το οικοσύστημα που προϋπήρχε στην περιοχή.
- Στην περιοχή που θα δημιουργηθεί ο ταμιευτήρας είναι πιθανό να καλύψει αρχαιολογικούς χώρους και χώρους ιστορικής μνήμης.
- Η συγκράτηση του υδάτινου όγκου εντός του ταμιευτήρα και οι μεταβολές στη ροή του ποταμού που φράσσεται και της ποσότητας των φερτών υλών εμποδίζουν την αναπαραγωγή των ψαριών και επηρεάζουν αρνητικά την πανίδα της κατάντη περιοχής .
- Η θερμοκρασία του νερού, η περιεκτικότητα σε αλάτι και οξυγόνο μπορεί να μεταβληθεί .
- Δημιουργούνται εμπόδια στη διέλευση των ζώων, ενώ προβλήματα προκαλούνται στην «προς τα πάνω» κίνηση των ποτάμιων ψαριών κατά την περίοδο της ωοτοκίας τους, συμβάλλοντας έτσι στη

μείωση του πληθυσμού των ποτάμιων ψαριών {Stott, R. and Smith, L. 2001}. Ακόμη τα ψάρια μπορούν να βλαφθούν περνώντας διαμέσου των υδροφρακτών, των στροβίλων και των αντλιών των μεγάλων φραγμάτων.

- Το υδατικό καθεστώς της περιοχής του φράγματος μπορεί να αλλάξει ως αποτέλεσμα της καταστροφής της φύσης, απροσδόκητες πλημμύρες μπορούν να εμφανιστούν και συνεπώς η βλάστηση και οι φυσικές δομές στις όχθες των ποταμών μπορούν να υποστούν καταστροφές. Η αύξηση στη εξάτμιση του νερού μπορεί να αναμένεται ως αποτέλεσμα της αύξησης της επιφάνειας ύδατος της περιοχής.
- Τα φράγματα σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν αυξήσεις στις ασθένειες που οφείλονται στην ύπαρξη στάσιμων νερών, όπως τύφος, τυφοειδής πυρετός, ελονοσία και χολέρα.

Η συμβολή των φραγμάτων στην εθνική οικονομία είναι μεγάλη και ποικίλη. Εξυπηρετούν την άρδευση, εξασφαλίζουν πόσιμο νερό, βοηθούν στον έλεγχο των πλημμυρών, εξασφαλίζουν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δημιουργούν εστίες αλιείας, βοηθούν τον τουρισμό. Ένα νέο περιβάλλον δημιουργείται από τη λειτουργία του φράγματος, αφού συμβάλλει στην έλευση και την ανάπτυξη μιας άλλης πανίδας στην περιοχή. Τα φράγματα συμβάλλουν όχι μόνο στην οικονομική, αλλά και στην περιφερειακή ανάπτυξη, αφού σε πολλές αναπτυγμένες χώρες, τα φράγματα έχουν παίξει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη των υπανάπτυκτων περιοχών. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες θετικές επιπτώσεις που επέρχονται με την κατασκευή των φραγμάτων :

- Έλεγχος των πλημμυρών και κατ' επέκταση μείωση ή εξάλειψη των καταστροφών που προκαλούν.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως μείωση της εξάρτησης κάθε περιοχής από την ενέργεια που παράγεται από ρυπογόνες διαδικασίες όπως πετρέλαιο, λιθάνθρακας, κ.λπ.
- Ύδρευση οικισμών και βελτίωση της δημόσιας υγείας λόγω της χρήσης ελεγχόμενου πόσιμου νερού.
- Αύξηση του παραγόμενου γεωργικού προϊόντος λόγω της δυνατότητας άρδευσης γεωργικών εκτάσεων και αύξηση της παραγωγικότητας του αγροτικού τομέα.
- Αύξηση του εισοδήματος που προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες που μπορούν να αναπτυχθούν εντός του ταμιευτήρα του φράγματος.
- Βελτίωση της τουριστικής ελκυστικότητας των περιοχών πέριξ του φράγματος και του ταμιευτήρα του και αύξηση του τουριστικού εισοδήματος .

2.7 Κλιματική αλλαγή

2.7.1 Γενικά

Ενα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης Γη στη σύγχρονη εποχή είναι η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος. Η μεταβολή αυτή χαρακτηρίζεται από την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, την θέρμανση των ωκεανών, το λιώσιμο των πάγων αλλά και την συνεχώς αυξανόμενη στάθμη της θάλασσας. Πρωταρχικό ρόλο στην εξέλιξη αυτή διαδραματίζει ο άνθρωπος. Είναι γεγονός πως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έγινε μεγαλύτερη από τον αιώνα της βιομηχανικής επανάστασης και μετέπειτα. Κυρίαρχο λοιπόν παράγοντα αποτελούν οι αυξημένες εκπομπές των αερίων που είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου και των θειούχων αεροζόλ (ανθρωπογενείς παράγοντες). Υπάρχουν ωστόσο και ορισμένοι εξωγενείς-φυσικοί παράγοντες που συμβάλλουν στο φαινόμενο αυτό όπως οι μετακινήσεις των ηπείρων στην επιφάνεια της γης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας, και οι ανωμαλίες στην γήινη κίνηση. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι φυσικοί παράγοντες και μόνο, δεν μπορούν να εξηγήσουν τις αλλαγές στη θερμοκρασία κατά τα τελευταία 50 χρόνια. Χρησιμοποιώντας λοιπόν υπολογιστικά μοντέλα (αφού πρώτα εξασφαλίσουν ότι τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να αναπαραγάγουν τις αλλαγές θερμοκρασίας που παρατηρούνται στο πρόσφατο παρελθόν), αναπαράγουν τους διάφορους παράγοντες κλιματικής επιδείνωσης (φυσικούς και ανθρωπογενείς). Έχει παρατηρηθεί πως όταν τα μοντέλα περιλαμβάνουν μόνον φυσικούς κλιματικούς παράγοντες (όπως διακυμάνσεις στην ένταση του ήλιου και ηφαιστειακές εκρήξεις), δεν μπορούν να αναπαραγάγουν με ακρίβεια την αύξηση της θερμοκρασίας που έχει παρατηρηθεί κατά τον τελευταίο μισό αιώνα. Ωστόσο όταν στους υπολογισμούς του μοντέλου περιλαμβάνονται ανθρωπογενείς κλιματικοί παράγοντες όπως είναι τα αέρια του θερμοκηπίου, τότε είναι σε θέση να αναπαραστήσουν τις πρόσφατες αυξήσεις της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως όταν οι φυσικοί και οι ανθρωπογενείς κλιματικοί παράγοντες συγκριθούν μεταξύ τους, η δραματική συσσώρευση του άνθρακα από ανθρώπινες πηγές είναι κατά πολύ ο σημαντικότερος παράγοντας κλιματικής αλλαγής.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Όμως, παρά την ένταση του κλιματικού παράγοντα, μελέτες σε επίπεδο λεκανών απορροής υποδεικνύουν ότι οι αλλαγές αυτές δεν οφείλονται μόνο στην κλιματική αλλαγή αλλά και σε πληθυσμιακούς παράγοντες, στην οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη και άλλους κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες που συνεισφέρουν στην αλλαγή της ζήτησης, ποσοτικά και ποιοτικά, των υδάτινων πόρων (Alcamo et al, 2007, Kundzewicz et al, 2008).

Για την Ευρώπη είναι γενικά αποδεκτό ότι βρίσκεται ήδη υπό την επήρεια κλιματικής αλλαγής με τις επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους να είναι εμφανείς, όπως αυξημένη ευαισθησία σε πλημμύρες και ξηρασίες, αυξημένος κίνδυνος των επιφανειακών υδατικών οικοσυστημάτων, υπερεκμετάλλευση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και μείωση της ποιότητας των υδάτων (Mimikou and Baltas, 2013). Η μέση θερμοκρασιακή αύξηση στην Ευρώπη τα τελευταία 100 χρόνια είναι περίπου $+0.95^{\circ}\text{C}$ και αναμένεται να αυξηθεί 2°C με 6.3°C μέχρι το 2100, ενώ παράλληλα παρατηρείται μειούμενη τάση στις βροχοπτώσεις μέχρι και 20% στην Νότια και Νότιο-ανατολική Ευρώπη (Mimikou and Baltas, 2013). Υδρολογικά οι ποτάμιες παροχές αναμένεται να αυξηθούν στην Βόρεια Ευρώπη και να μειωθούν στην Νότια (Henrichs and Alcamo, 2001), ενώ η διαφοροποίηση μεταξύ χειμερινών και καλοκαιρινών απορροών στην περιοχή της Μεσογείου θα αυξηθεί (Mimikou and Baltas, 2013).

Ειδικότερα η περιοχή της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από αυξημένη ευαισθησία στην κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα ως "hot spot" κινδύνου για τον επόμενο αιώνα (Kundzewicz et al, 2008; Tsanis et al, 2011).

2.7.2 Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος- IPCC

Στη σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια (United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nation, 1992).

Κατά τον τρόπο αυτό, το 1988 ιδρύθηκε η «Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος» (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) είναι επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών. Η επιτροπή στοχεύει στην αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Παράλληλα αξιολογεί τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων.

Η πιο πρόσφατη αναφορά της IPCC (2014) αναφέρεται στα παρακάτω σημεία:

- ❖ Η τιμή της μέσης θερμοκρασίας αυξάνεται, με έμφαση στις περιοχές με μεγάλα υψόμετρα. Πιο συγκεκριμένα, από το 1980 στην περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου τα καλοκαίρια είναι πιο θερμά

στην (EEA, 2012), ενώ παράλληλα στις Σκανδιναβικές χώρες οι χειμώνες είναι πιο θερμοί . Η μέση θερμοκρασία κατά τη χρονική περίοδο 2002-2011 έχει αυξηθεί κατά $1.3^{\circ}\text{C} \pm 0.11^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την χρονική περίοδο 1850-1899 (HadCRUT Brohan et al., 2006)

- ❖ Περίπου το 1/3 των μεγαλύτερων ποταμών της γης είχε μια συγκεκριμένη τάση. Τα 45 είχαν μείωση ροής και μόνο τα 19 αύξηση (Dai et al., 2009), σύμφωνα με μία παγκόσμια ανάλυση προσομοιωμένων ροών (1948-2004)
- ❖ Από το 1950 τα ακραία φαινόμενα υψηλών θερμοκρασιών (τροπικές νύχτες, καύσωνες) έχουν γίνει πιο συχνά ενώ φαινόμενα χαμηλών θερμοκρασιών (παγετοί, πολικό ψύχος) όχι τόσο συχνά.
- ❖ Οι αλλαγές στη βροχόπτωση αιτιολογούνται είτε από τη τοπική μεταβλητότητα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, είτε από τη παγκόσμια θέρμανση (Lambert et al., 2004 ; Stott et al., 2010). Ενώ, ο άνθρωπος παράγοντας έχει προσδιοριστεί ότι επηρέασε σημαντικά στις αλλαγές τόσο της παγκόσμιας όσο και της τοπικής βροχόπτωσης, κυρίως τον 20ο αιώνα (Zhang et al., 2008)
- ❖ Παρατηρείται εύκολα μια διαφορά στη ροή των ποταμών της βόρειας Ευρώπης σε σχέση με τους ποταμούς της νότιας και ανατολικής (Stahl et al., 2010)
- ❖ Από το 1960 και έπειτα, παρατηρείται σημαντική αύξηση περιόδων ξηρασίας καθώς και αύξηση των ξηρών ημερών .

2.8 Φαινόμενο Ξηρασίας

2.8.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά γνωρίσματα

Είναι γεγονός ότι μέχρι στιγμής δεν έχει δοθεί ένας περιεκτικός και ευρέως αποδεκτός ορισμός της ξηρασίας. Η ξηρασία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή ή ακόμη, ανάλογα με το στόχο του κάθε ερευνητή. Ίσως ο πιο γενικός από τους προτεινόμενους ορισμούς είναι αυτός των Berman and Rodier (1985): «ξηρασία είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα». Τα χαρακτηριστικά της εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης, η ξηρασία εξαρτάται από το σταδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκονται τα φυτά την δεδομένη χρονική στιγμή αλλά και από τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων για παράδειγμα την ένταση της βροχόπτωσης και τον αριθμό των επεισοδίων της βροχής. Έτσι, κάθε επεισόδιο ξηρασίας αντιμετωπίζεται ως μοναδικό, με τα δικά του χαρακτηριστικά γνωρίσματα .

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι πιο γνωστοί ορισμοί της ξηρασίας είναι:

- ❖ **Μετεωρολογική ξηρασία:** Η μετεωρολογική ξηρασία προσδιορίζει το βαθμό έλλειψης βροχοπτώσεων από το όριο που δείχνει τις κανονικές συνθήκες σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- ❖ **Γεωργική (αγροτική) ξηρασία:** Συνδέει τη μετεωρολογική ξηρασία με τις επιπτώσεις στη γεωργία, εστιάζοντας κυρίως στην έλλειψη βροχόπτωσης, στη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, στο εδαφικό νερό .
- ❖ **Υδρολογική ξηρασία:** Έλλειψη βροχοπτώσεων σε ένα υδρολογικό ισοζύγιο και οι επιπτώσεις που επέρχονται .
- ❖ **Κοινωνικο-οικονομική ξηρασία:** Σχετίζεται με τα αποθέματα και τις απαιτήσεις ορισμένων οικονομικών αγαθών ή υπηρεσιών σε συνδυασμό με τις τρεις προηγούμενες μορφές ξηρασίας.

Το φαινόμενο της ξηρασίας εμφανίζεται βαθμιαία με αργούς ρυθμούς . Η παρουσία της δεν γίνεται αντιληπτή στα αρχικά στάδια .Επιπλέον αποτελεί κινητήριο δύναμη πλήθους αρνητικών συνεπειών για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο .Τα παραπάνω είναι ορισμένα από τα γνωρίσματα που καθιστούν την ξηρασία ως ένα πολύ επικίνδυνο κλιματικό φαινόμενο .Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί πως η ξηρασία δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέεται με την ξηροτητα του κλίματος μίας περιοχής καθώς πρόκειται για δύο πολύ διαφορετικές έννοιες . Με τον όρο ξηρασία περιγράφεται μια μακρά χρονική περίοδο, κατά την οποία η παρουσία του γλυκού νερού σε μια γεωγραφική περιοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αναμενόμενη. Η ξηρότητα από την άλλη περιγράφει μία φυσική μόνιμη κλιματική κατάσταση με πολύ χαμηλές ετήσιες ή εποχιακές βροχοπτώσεις .

2.8.2 Διαχείριση της ξηρασίας

Η φυσική διακύμανση του κλίματος της εκάστοτε περιοχής αποτελεί την βασική αιτία εκδήλωσης μίας ξηρασίας .Διαφέρει σαν φαινόμενο από άλλες φυσικές καταστροφές για τους εξής λόγους : πλήττει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων ,εξελίσσεται αργά με αποτέλεσμα να γίνεται δύσκολα αντιληπτό ,οι κοινωνικές επιπτώσεις του φαινομένου παραμένουν για μακρόχρονο διάστημα μετά την λήξη του και εκτείνονται σε αρκετά μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές σε σχέση με άλλες φυσικές καταστροφές .

Η επιστήμη αναζητά στρατηγικές για την αντιμετώπιση του επικίνδυνου αυτού φαινομένου ούτως ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος και της ανθρώπινης ζωής .Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να αναπτυχθούν μέτρα με στόχο :

- ❖ Την προστασία της γεωργίας και επομένως την αποφυγή έλλειψης τροφής
- ❖ την διατήρηση των υδατικών αποθεμάτων της κάθε περιοχής
- ❖ την αποτροπή της υπερεκμετάλλευσης του διαθέσιμου νερού

Επιτακτική λοιπόν κρίνεται η ανάγκη να περιοριστεί η ζήτηση του νερού .Αρωγός αυτής της προσπάθειας θα μπορούσε να φανεί η εισαγωγή νέων τεχνολογιών με στόχο την αλλαγή διαδικασιών στη γεωργία .Επιπλέον η εξοικονόμηση οικιακού νερού και η άμεση αντιμετώπιση των διαρροών στα δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης θα συνεισέφεραν σημαντικά .Φυσικά για να εφαρμοστούν όλα τα παραπάνω θα πρέπει να ενημερώνονται οι πολίτες από τα αρχικά κιόλας στάδια της ζωής τους για την προστασία των υδατικών αποθεμάτων και την σημασία της κοινωνικής τους συμμετοχής .

Μέτρα αύξησης της διαθεσιμότητας νερού:

- ❖ κατασκευή νέων ταμιευτήρων ή αύξηση της αποθηκευτικότητάς τους
- ❖ κατασκευή μικρών λιμνοδεξαμενών
- ❖ εμπλουτισμός υδροφορέων
- ❖ αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού
- ❖ συλλογή ομβρίων σε οικίες

- ❖ επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων
- ❖ φυσική αποθήκευση στις λεκάνες απορροής (υγρότοποι, πλημμυρικά πεδία)
- ❖ μεταφορά νερού από γειτονικές λεκάνες (έσχατη λύση)
- ❖ καθορισμός οικολογικής παροχής (MED WS&D WG, 2007)- (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007)

Μέτρα προστασίας από τη ξηρασία στη γεωργία:

- ❖ Επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών προσαρμοσμένων στο συγκεκριμένο κλίμα
- ❖ Επιλογή ανθεκτικών στη ξηρασία καλλιεργειών και ποικιλιών
- ❖ Αντικατάσταση της εντατικής άρδευσης και χρήση του διαθέσιμου νερού στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης
- ❖ Χρήση σύγχρονων συστημάτων εξοικονόμησης αρδευτικού νερού
- ❖ Ελαχιστοποίηση του ανταγωνισμού – καταπολέμηση ζιζανίων
- ❖ Αναστολή της χρήσης λιπασμάτων που αυξάνει τη ζήτηση νερού
- ❖ Προστασία των καλλιεργειών με ανεμοθραύστες
- ❖ Τεχνική κάλυψη των φυτών με ανακλαστικά υλικά (μείωση διαπνοής)
- ❖ Εφαρμογή της μεθόδου της 0 – γεωργίας («ελάχιστης καλλιεργητικής φροντίδας»)

2.8.3 Δείκτης Ξηρασίας

Γενικά, ένας δείκτης ξηρασίας είναι δόκιμος όταν παρουσιάζει μία ξεκάθαρη, απλή και ποιοτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών της ξηρασίας: την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική έκτασή της (Hayes, 2000). Πολλοί είναι οι δείκτες ξηρασίας που έχουν αναπτυχθεί. Ορισμένοι από τους πιο διαδεδομένους είναι οι παρακάτω:

- ❖ ο Percent of Normal, τα Deciles που εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο στην Αυστραλία
- ❖ ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), που έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά στις ΗΠΑ
- ❖ ο China-Z index (CZI), που χρησιμοποιείται από το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο της Κίνας (Wu et al., 2001)
- ❖ ο Surface Water Supply Index (SWSI) που έχει υιοθετηθεί από αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ και
- ❖ ο Standardized Precipitation Index (SPI – McKee et al., 1993)

Σύμφωνα με τους Tsakiris and Pangalou (2009) τα βασικά χαρακτηριστικά ενός καλού δείκτη ξηρασίας είναι: α) η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι εύχρηστος και κατανοητός, β) να είναι σωστά ορισμένος, δηλαδή επιστημονικά αποδεκτός και να έχει φυσική έννοια, γ) η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών, δ) η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις, ε) η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές, στ) η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει πρόσβαση σε μεγάλου μήκους χρονοσειρές και καλής ποιότητας δεδομένα και ζ) το χαμηλό κόστος επεξεργασίας δεδομένων για την παραγωγή του δείκτη.

3.Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

3.1.1Γενική περιγραφή λεκανών απορροής Κρήτης

Για την καλύτερη διαχείριση και προστασία των υδάτων ,η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποφάσισε τον καθορισμό των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας μας .Με τον όρο «Λεκάνη Απορροής Ποταμού» ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο της απορροής (βροχόπτωση,χιονόπτωση) μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου (διαδοχικά ρεύματα,ποτάμια ,λίμνες) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω εκβολής ποταμών (ή δέλτα ποταμών) . Έτσι η Ελλάδα διαιρείται σε 46 Λεκάνες Απορροής Ποταμών οι οποίες με την σειρά τους υπάγονται στα 14 υδατικά διαμερίσματα όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 7 που παρατίθεται πιο κάτω .Ένα εκ των 14 υδατικών διαμερισμάτων είναι αυτό της Κρήτης .

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου .Έχει έκταση 8.335 km² ενώ η ακτογραμμή της εκτείνεται στα 1.306 km .Το νησί αυτό χαρακτηρίζεται από εντονο ανάγλυφο και μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών (φαράγγια ,σπήλαια, οροπέδια). Ένα ακόμη γνώρισμα της Κρήτης αποτελεί το γεγονός ότι τα ποτάμια εκτείνονται σε μικρά μήκη και αυτό οφείλεται στο σχήμα του νησιού (εκτείνεται κατά μήκος και όχι κατά πλάτος) αλλά και στο ότι ο κεντρικός άξονας περιλαμβάνει τις κύριες οροσειρές του . Οι μεγάλες και απότομες κλίσεις των ψηλών οροσειρών και το περιορισμένο μήκος έκτασης των ποταμών έχουν ως αποτέλεσμα την μεγάλη ορμητικότητα τους χάρη στην οποία μεταφέρονται φερτές ύλες που εναποτίθενται στις ακτές του νησιού και κάποιες φορές σχηματίζουν μικρά δέλτα .Τα επιφανειακά νερά της Κρήτης καθορίζονται κυρίως από τη βροχόπτωση το ανάγλυφο και την σύσταση των πετρωμάτων της .



Εικόνα 7 Λεκάνες απορροής -ΥΠΕΚΑ

Η Κρήτη αποτελεί ξεχωριστό Υδατικό διαμέρισμα και περιλαμβάνει 3 Λεκάνες Απορροής Ποταμών όπως απεικονίζονται στις εικόνες 8 και 9 που ακολουθούν :

- Ρεμάτων Βορείου τμήματος Χανίων –Ρεθύμνου –Ηρακλείου (GR39)
- Ρεμάτων Νοτίου τμήματος Χανίων –Ρεθύμνου –Ηρακλείου (GR40)
- Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41)



Εικόνα 8 Όρια λεκανών απορροής των ποταμών της Κρήτης -ΥΠΕΚΑ



Εικόνα 9 Τοπογραφικό ανάγλυφο Κρήτης -ΥΠΕΚΑ

Έκταση Λεκανών Απορροής Ποταμών Κρήτης:

GR39 → 3.676,06 km²

GR40 → 2.798,2 km²

GR41 → 1.870,48 km²

3.1.2 Τεχνητή λίμνη Φανερωμένης και ποταμός Πλατύς

Το **φράγμα της Φανερωμένης** βρίσκεται 7 χλμ δυτικά του χωριού Ζαρού και περίπου 7 χλμ βόρεια του Τυμπακίου, στην περιφέρεια του χωριού Φανερωμένη της επαρχίας Πυργιώτισσας. Βρίσκεται μέσα σε μια καταπράσινη κοιλάδα στους νότιους πρόποδες του Ψηλορείτη και καλύπτει μια έκταση 1000 περίπου στρεμμάτων και χωρητικότητας 20 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων. Κύριος τροφοδότης είναι ο Ποταμός Κουτσουλίδης, που μεταφέρει τα νερά από το δάσος του Ρούβα.

Κατασκευάστηκε το 2005 για να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες νερού για την άρδευση της «διψασμένης» πεδιάδας της Μεσαράς. Στα λίγα χρόνια λειτουργίας του, η λίμνη της Φανερωμένης έχει γίνει ένας εξαιρετικής σημασίας υδροβιότοπος, όπου φωλιάζουν και σταματούν σπάνια πουλιά και ζώα. Η πρόσβαση στο φράγμα γίνεται κυρίως μέσω του χωριού Βώροι, από όπου υπάρχουν πινακίδες. Άλλοι τρόποι πρόσβασης είναι μέσω του χωριού Γαλιά, αλλά κι από το Ζαρό.

Οι τοποθεσίες Πλατύ και Φανερωμένης αποτυπώνονται στην Εικόνα 10 .



Εικόνα 10 Περιοχή μελέτης

Ο Πλατύς Ποταμός είναι ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Κρήτης που τροφοδοτείται από τα νερά του βορειοανατολικού Κέδρου και της Κοιλάδας του Αμαρίου. Οι εκβολές του βρίσκονται στην παραλία της Αγίας Γαλήνης στο Νότιο Ρέθυμνο. Ο Πλατύς Ποταμός ανήκει στους Ποταμούς της Κρήτης που έχουν πολύ νερό και πυκνή βλάστηση. Μάλιστα, κατά μήκος του υπάρχουν πανέμορφα πέτρινα γεφύρια με καμάρες που έκτισαν παλιά οι κάτοικοι της περιοχής για να διασχίζουν το ποτάμι. Το ποτάμι υδρεύεται από την κοιλάδα του Αμαρίου και ενώνεται με τον παραπόταμο του Σμιλιανού Φαραγγιού, τον Λυγιώτη Ποταμό, που ξεκινάει κοντά στο Γερακάρι.

Η υδρολογική λεκάνη του Πλατύ έχει έκταση 210 km^2 και ο μέσος ετήσιος όγκος επιφανειακής απορροής του ανέρχεται στα $50.000.000 \text{ m}^3$. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα του ποταμού υπολογίζεται στα $26.000.000 \text{ m}^3$.

3.1.3 Το Φράγμα της λίμνης της Φανερωμένης –Σκοπός κατασκευής



Εικόνα 11 Φράγμα Φανερωμένης -<https://www.cna.gr/crete/nero-kai-sto-fragma-tis-faneromenis/>

Η κατασκευή του Φράγματος Φανερωμένης(Εικόνα 11) ολοκληρώθηκε το 2005 από το πρώην Υπουργείο Γεωργίας . Τα νερά του φράγματος προέρχονται κατά κύριο λόγο από τον Κουτσουλίδη, παραπόταμο του Γεροποτάμου, και βρίσκεται σε απόσταση 3.5 km από την συμβολή του Κουτσουλίδη με τον Γεροπόταμο . Σκοπός της κατασκευής του φράγματος αποτέλεσε η άρδευση της πεδιάδας της Μεσσαράς ,της μεγαλύτερης πεδιάδας της νότιας Κρήτης στον Νομό Ηρακλείου στην οποία παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα οπωροκηπευτικών του νησιού.

Ο ταμιευτήρας πληρώθηκε το 2010 ,αλλά τα αρδευτικά δίκτυα διανομής νερού ολοκληρώθηκαν το 2013 .Η μέση ετήσια απορροή είναι 13.000.000 m³ (ελάχιστη 4.700.000 m³ και μέγιστη 29.500.000 m³)και η απολήψιμη ποσότητα ανά έτος είναι 8.700.000 m³ (για περίοδο επαναφοράς 10ετών) .Η παροχή νερού στον κάμπο της Μεσσαράς για το διάστημα Αύγουστος –Δεκέμβριος 2013 έφτασε στα 6.000.000 m³ .Από τον ταμιευτήρα αρδεύονται 40.000 στρέμματα θερμοκηπιακών εκτάσεων του κάμπου της Μεσσαράς (οικισμοί Σκούρβουλα ,Γαλιά ,Φανερωμένη ,Βώροι ,Τυμπάκι ,Α-Β-Γ ζώνη Μεσσαράς), αποτελούμενα από 60%ελαιόδεντρα ,30%κηπευτικά και 10%από διάφορα άλλα .Η περιοχή της Μεσσαράς καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής ελαιολάδου της Κρήτης και ένα μεγάλο μέρος της Ελλάδας .

Συμπληρωματικά το φράγμα Φανερωμένης προγραμματίζεται η κατασκευή του φράγματος Πλατύ ,στο νομό Ρεθύμνου ,του οποίου οι μελέτες από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και βρίσκονται στη φάση ολοκλήρωσης και έκδοσης των Περιβαλλοντικών όρων .Όταν ολοκληρωθεί η κατασκευή του θα μεταφέρονται ,μέσω των κεντρικών αγωγών ,ποσότητες νερού ,έτσι ώστε να ικανοποιούνται πλήρως οι αρδευτικές ανάγκες της περιοχής της Μεσσαράς .(Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης GR13,ΥΠΕΚΑ).Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος αναγράφονται λεπτομερώς παρακάτω στην Εικόνα 12 .

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	
Τύπος	χωμάτινο
Έκταση επιφάνειας	1,017 km ² (1.017 στρέμματα)
Ύψος	69 m
Μήκος στέψης	484 m
Όγκος ταμιευτήρα	19.670.0m ³

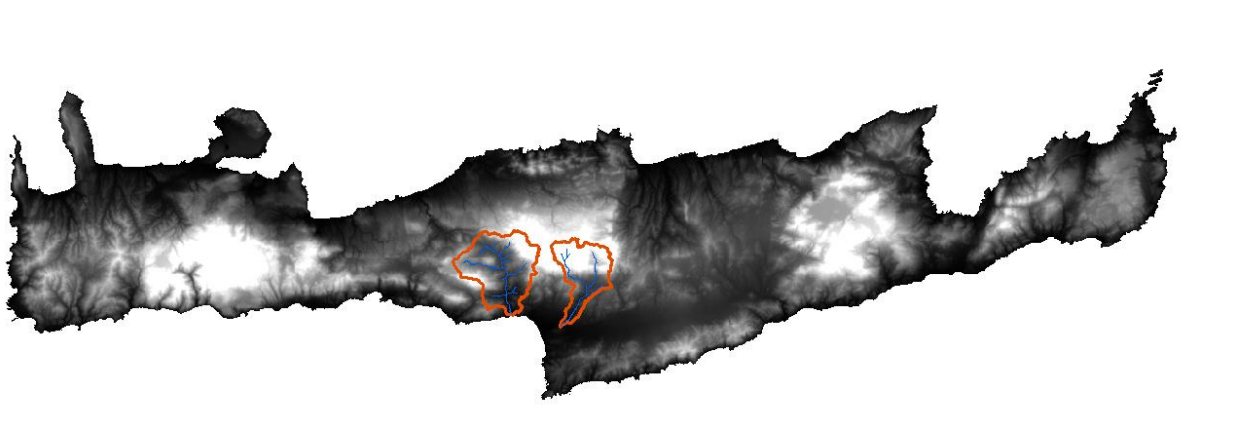
Εικόνα 12 Χαρακτηριστικά Φράγματος Φανερωμένης -Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης GR13,ΥΠΕΚΑ

3.2 Γεωγραφική τοποθέτηση

Η λεκάνη απορροής του της λίμνης της φανερωμένης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Ν. Ηρακλείου, και οριοθετείται με συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους μεταξύ 35°13'22.871" και 35°3'19.071" και γεωγραφικού μήκους 24°52'18.49"και 24°48'19.087" . Περίπου 37 km απέχει η πόλη του Ηρακλείου από το φράγμα της Φανερωμένης ενώ η συνολική έκταση που καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής ανέρχεται στα 375.7 Km² .Ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής έκτασης της λεκάνης καλύπτεται από την πεδιάδα της δυτικής Μεσσαράς, η οποία έχει ανατολικό- δυτικό προσανατολισμό και συνολική έκταση περίπου 100 Km² και αποτελεί την σημαντικότερη αγροτική ζώνη της ευρύτερης περιοχής, αλλά και ολόκληρης της Κρήτης.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πλατύ βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού ρεθύμνου και οριοθετείται με συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους μεταξύ $35^{\circ}16'20.445$ και $35^{\circ}5'55.792$ " και γεωγραφικού μήκος $24^{\circ}39'45.915$ " και $24^{\circ}41'44.691$ ". Η πηγή του ποταμού απέχει περίπου 25 km από την πόλη του Ρεθύμνου και η έκταση που καταλαμβάνει στο σύνολό της η λεκάνη απορροής ,ανέρχεται στα 1320.876 Km^2 .

Οι λεκάνες απορροής Πλατύ και Φανερωμένης όπως διαμορφώθηκαν στο λογισμικό Swat ,παρουσιάζονται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13 Περιοχή μελέτης στο SWAT

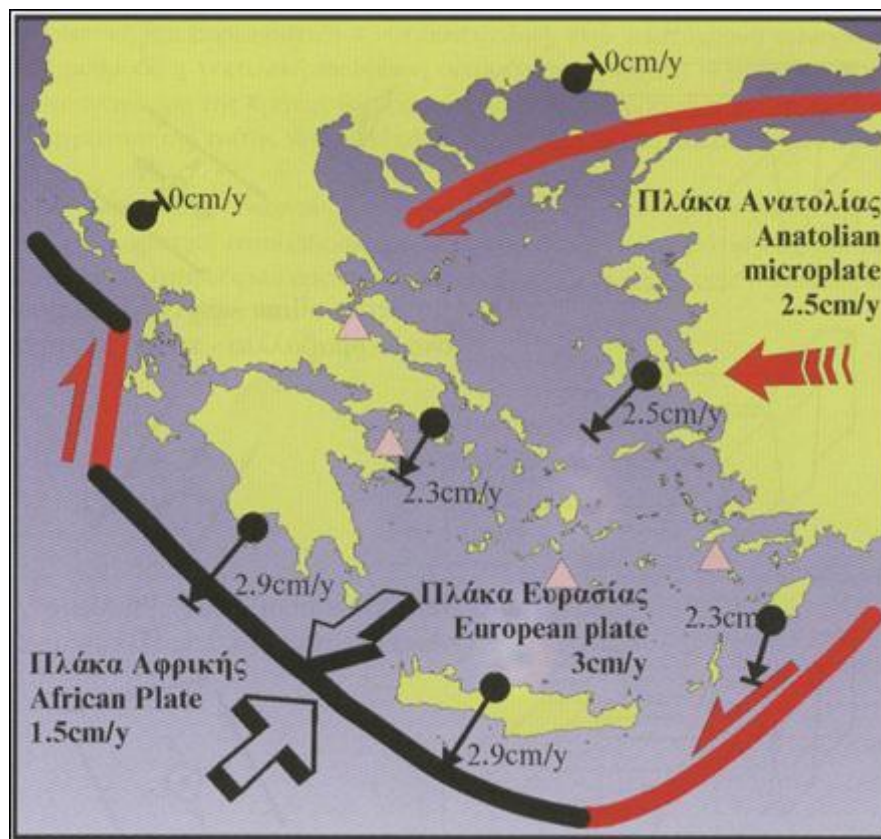
3.3 Γεωλογική δομή –Μορφολογία περιοχής

Η Κρήτη στο μεγαλύτερο ποσοστό τις χαρακτηρίζεται ορεινή περιοχή .Πιο συγκεκριμένα το 33% του νησιού είναι ορεινό το 26% ημιορεινό και το 41% ορεινό. Τα πιο χαρακτηριστικά συγκροτήματα της Νήσου είναι :

- ❖ Τα Λευκά όρη (η κορυφή των οποίων χαρακτηρίζεται από υψόμετρο 2.454 m)
- ❖ Ο Ψηλορείτης ή Ίδη (η κορυφή του φτάνει τα 2.456 m)
- ❖ Το όρος Δίκτη (με υψόμετρο 2.147m)
- ❖ Τα όρη Σητείας (με υψόμετρο 1.476 m)

Στο νότιο και δυτικό τμήμα της Κρήτης οι πρόποδες των βουνών διακρίνονται από μεγάλες και απότομες κλίσεις συγκριτικά με το βόρειο τμήμα του νησιού όπου το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο. Σε ότι αφορά το πεδινό τμήμα της, η μεγαλύτερη πεδιάδα βρίσκεται νοτιο-κεντρικά και είναι η πεδιάδα της Μεσσαράς ενώ στο νοτιοανατολικό τμήμα αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας.

Η γεωλογική δομή της Κρήτης είναι αρκετά πολύπλοκη γεγονός που οφείλεται στην γεωτεκτονική της θέση. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στο σημείο όπου συγκλίνουν δύο λιθοσφαιρικές πλάκες η Αφρικανική και η Ευρασιατική (Εικόνα 14).



Εικόνα 14 Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al. 1996 και Reilinger et al. 1997)

Κύριο χαρακτηριστικό της πολύπλοκης δομής της αποτελεί η ακολουθία Ταλέα Όρη –Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι πάνω στην οποία αναπτύσσονται πλήθος άλλα τεκτονικά καλύματα διαφόρων ζωνών. Η ακολουθία Ταλέα Όρη-Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι έχει ηλικία από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο και πιθανώς ανήκει στην ζώνη της Αδριατικοϊονίου. Κατά κύριο λόγο αποτελείται από κλαστικά ιζήματα χωρίς ηφαιστειακά πετρώματα που εξελίσσονται σε τυπικούς «πλακώδεις ασβεστόλιθους» και σε μικρότερο ποσοστό εμφανίζονται μάζες ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών-χαλαζιακών πετρωμάτων.

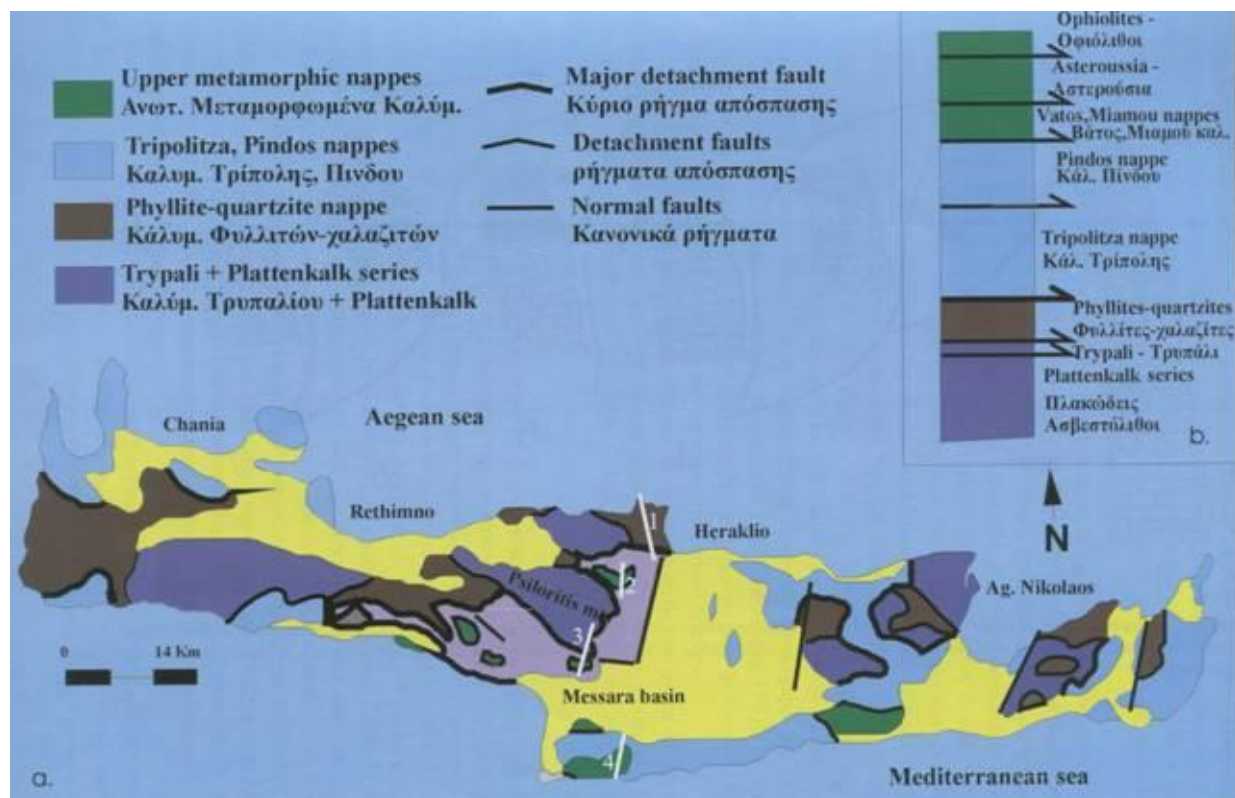
Τεκτονικά επωθημένη στην επικείμενη ενότητα βρίσκεται η ενότητα του Τρυπαλίου (αποτελείται από δομοιτικούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στη βάση) και πάνω από αυτή εμφανίζεται η ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών (περιλαμβάνει φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-ανδρείτες, μεταβασίτες). Σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου.

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος, η ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. (Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών).

Τέλος, πάνω σε αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς κάθονται με στρωματογραφική ασυμφωνία ιζήματα του Νεογενούς. Στα Νεογενή ιζήματα της Κρήτης έχουν καταγραφεί δεκάδες λιθοστρωματογραφικές ενότητες, από τις οποίες άλλες έχουν τοπική εξάπλωση ενώ άλλες εμφανίζονται σε όλο το νησί (Μουντράκης, 1985, Φασούλας, 2001). Οι ενότητες αυτές έχουν ταξινομηθεί σε 6 ομάδες σχηματισμών (Meulenkamp 1979): Πρίνα, Τεφελίου, Βρυσών, Ελληνικού, Φοινικιά και Αγίας Γαλήνης. Το οικοδόμημα των καλυμμάτων της Κρήτης παρουσιάζονται στην Εικόνα 15 που ακολουθεί.

Κατά τη διάρκεια του κατώτερου-μέσου Πλειοκαίνου, αποτέθηκαν με ασυμφωνία πάνω στα Μειοκαινικά ιζήματα τα πετρώματα της ενότητας Φοινικιάς. Η ενότητα αποτελείται στη βάση από μαργαϊκά κροκαλοπαγή και ακολούθως από ανοικτής θάλασσας λευκές μάρμες και αργίλους με κατά τόπους εναλλαγές καστανόχρωμων διατομιτών. Τα στρώματα αυτά εμφανίζονται πολύ χαρακτηριστικά στην περιοχή του Ηρακλείου και δυτικά των Χανίων. Την ίδια χρονική περίοδο η περιοχή του Ηρακλείου ανυψώθηκε σημαντικά λόγω τεκτονικών κινήσεων και αποχωρίστηκε έτσι από την περιοχή της Μεσσαράς με την οποία μέχρι τότε είχαν κοινή ιζηματογένεση. Η διάβρωση των πετρωμάτων της περιοχής του Ηρακλείου τροφοδότησε με ιζήματα τη λεκάνη της Μεσσαράς, σχηματίζοντας έτσι τα κοκκινωπά, μη θαλάσσια κροκαλοπαγή και άμμους της ενότητας Αγίας Γαλήνης. Αυτή η ενότητα που εμφανίζεται χαρακτηριστικά στην περιοχή της Αγίας Γαλήνης Μεσσαράς, αποτελεί το νεότερο σχηματισμό του Πλειόκαινου για την Κρήτη (Φασούλας, 2001).

Η ευρύτερη περιοχή της τεχνητής λίμνης φανερωμένης αποτελείται από Τεταρτογενείς (Πλειστοκαινικές) αποθέσεις αποτελούμενα από κροκαλοπαγή, άμμους και αργίλους αλλά και από μια τάφρο αλουβιακών ιζημάτων αποτελούμενα εξίσου από λεπτόκοκα υλικά.



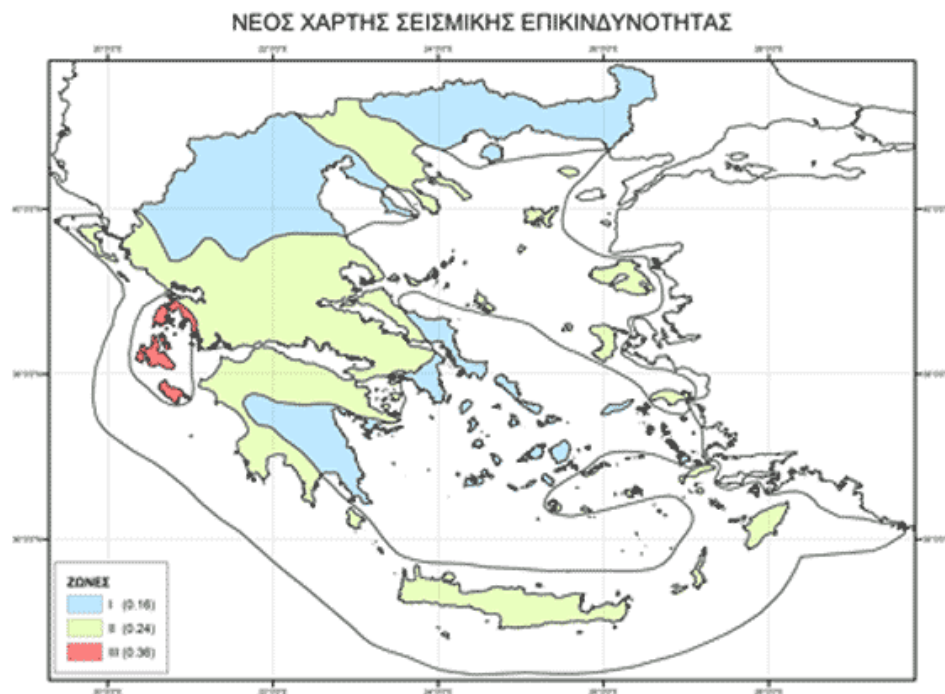
Εικόνα 15 Το οικοδόμημα των καλυμμάτων της Κρήτης.- Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών

Στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Πλατύ το ανάγλυφο παρουσιάζεται ήπιο και λοφώδες, με υψόμετρα που κυμαίνονται μεταξύ 255μ στο επίπεδο του ποταμού και ξεπερνούν τα 1000m στις κορυφές των γύρω υψωμάτων. Ο Πλατύς ποταμός αποστραγγίζει τη κοιλάδα Αμαρίου και την ορεινή ασβεστολιθική μάζα Σάμιτος. Το πλάτος και το βάθος της κοίτης του είναι σχετικά μικρό, ενώ η κοιλάδα του αποτελείται από ομαλές κλιτές μικρής σχετικά κλίσης. Η μορφολογική τομή κατά μήκος της κοίτης του ποταμού είναι σχετικά ανώμαλη, πιθανόν λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων και διαφορικής διάβρωσης των πετρωμάτων της κοίτης, καθώς και διαφορικής διάβρωσης των τεκτονικών δομών που υπάρχουν σε αυτά. Η πορεία του επηρεάζεται κυρίως από τις τεκτονικές δομές της περιοχής, όπως π.χ. το ρήγμα που οριοθετεί την ορεινή μάζα Σάμιτος. Σε γενικές γραμμές ακολουθεί ευθυτενή πορεία ενώ τοπικά σχηματίζει ανοιχτούς μαιάνδρους. Ο κύριος κορμός της κοίτης του ποταμού αναπτύσσεται κατά βάση σε ιλυόλιθους και ψαμμίτες του φλύσχη της Ενότητας Εθίας (Φλύσχη Πίνδου). Επιπλέον διασχίζει την κοιλάδα Αμαρίου, η οποία αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους κλπ, ιζηματα λιμναίας ηλικίας του Μειοκαινίου.

Στην Εικόνα 16 που παρατίθεται παρακάτω, αποτυπώνεται ο γεωλογικός χάρτης της Κρήτης.

Υφυπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε και δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1154Β/12.8.2003. Με το νέο αυτό χάρτη, ο ελληνικός χώρος κατανέμεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (σε αντίθεση με τις τέσσερις ζώνες που υπήρχαν μέχρι πρότινος καθώς καταργείται η μικρότερη). Οι τιμές εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού είναι **0,16g** (ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g) για την πρώτη ζώνη, **0,24g** για τη δεύτερη ζώνη και **0,36g** για την τρίτη ζώνη.

Τα νησιά του Ιονίου πελάγους βρίσκονται στην πρώτη θέση παρουσιάζοντας την εντονότερη σεισμική δραστηριότητα και επικινδυνότητα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος. Η Κρήτη κι ένα ποσοστό της Κεντρικής Ελλάδας ακολουθούν στην δεύτερη θέση ενώ η Μακεδονία η Θράκη το κεντρικό Αιγαίο κι ένα μέρος της Πελοποννήσου κατατάσσονται στην τρίτη ζώνη αφού διέπονται από μικρότερη σεισμική δραστηριότητα.



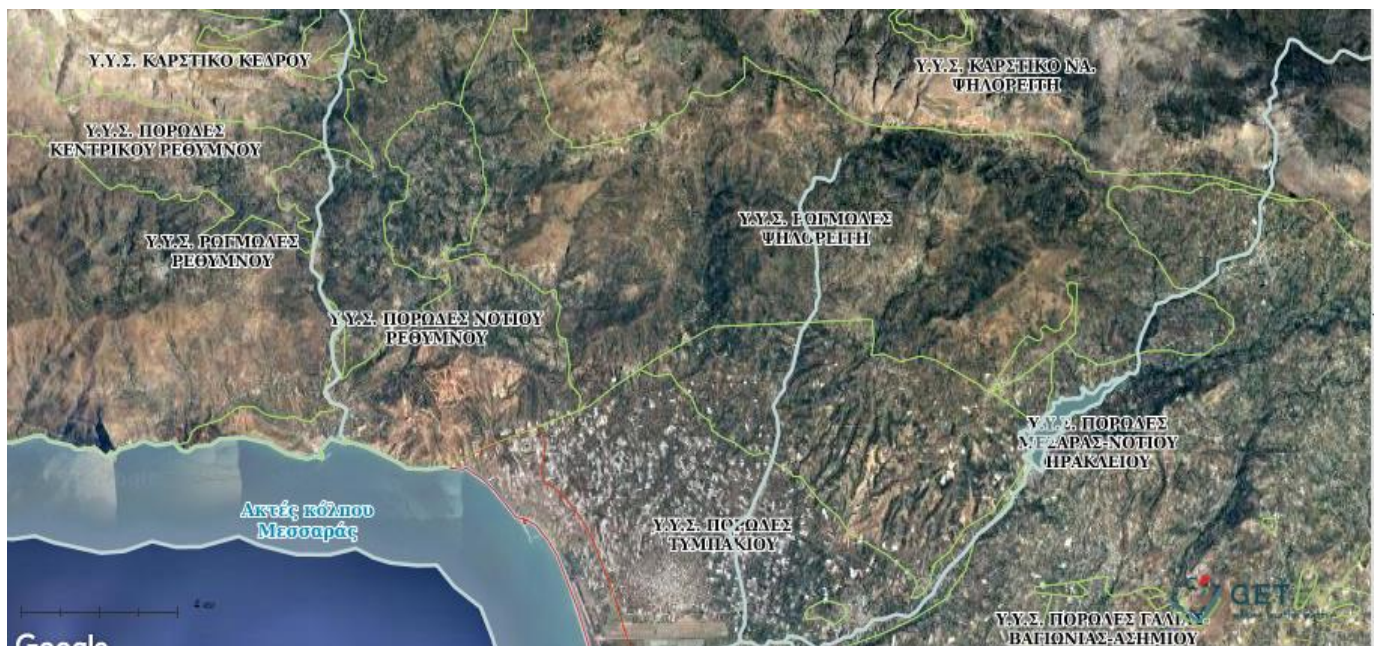
Εικόνα 17 Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΕΑΚ 2000)

3.5 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των περιοχών

Η προέλευση, η κατανομή και ο σχηματισμός των φυσικών οδών επιφανειακής μεταφοράς και αποθήκευσης του νερού και των κάθε είδους υδατοσυλλογών σε οποιαδήποτε λεκάνη απορροής είναι αποτέλεσμα κλιματικών, γεωλογικών, γεωμορφολογικών παραγόντων και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, η δημιουργία των επιφανειακών υδατοσυλλογών στην ενδοχώρα μιας περιοχής οφείλεται κυρίως σε γεωλογικές διεργασίες, στη δράση των παγετώνων, των ηφαιστείων, των σεισμών και τέλος στη διαλυτική - διαβρωτική διεργασία του νερού. Επομένως, τα φυσικά αίτια αποτελούν τον κύριο παράγοντα της δημιουργίας τους και βάση για την ταξινόμησή τους (τεκτονική, ηφαιστειακή, παγετώδη, διαλυτική, κατολισθήσεων, κ.ά) (Dussart, 1966).

Το ισχυρό ανάγλυφο του Υδατικού Διαμερίσματος, οι μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατά- κρημνισμάτων, η έκταση του νησιού και η πολύπλοκη γεωλογική δομή του δημιουργούν ποικιλία στη διακίνηση του νερού τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου. Ως αποτέλεσμα αυτών παρατηρείται η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών που η έκταση του όμως δεν ξεπερνά τα 600 km². Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, χειμαρρώδους χαρακτήρα, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των παροχών του. Λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν ροή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου (Γεροπόταμος, Πλατανιάς Χανίων και Κουρταλιώτης Ρεθύμνου) και τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαιά νερά. Η συνολική απορροή που διακινείται ετησίως επιφανειακά και προέρχεται από πηγαιά νερά ή από απευθείας απορροή των υδατορευμάτων για τα κυριότερα υδατορεύματα του νησιού (αυτά στα οποία υφίσταται ή προγραμματίζεται για το μέλλον κάποιας μορφής εκμετάλλευση) ανέρχεται σε 500 x 10⁶ m³ /ετησίως. Υπολογίζεται δε ότι μια επιπλέον ποσότητα 450x10⁶ m³ διακινούνται ετησίως μέσω των τριών πηγών αλμυρού του νησιού. Οι δύο μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού, του Γεροπόταμου και του Αναποδιάρη έκτασης 525 και 600,6 km² αντίστοιχα, βρίσκονται στο νότιο τμήμα του νησιού στην περιοχή της Μεσσαράς. Οι δύο λεκάνες αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Εξ αιτίας του πεδινού τμήματος των εκτεταμένων καλλιεργειών, και των υψηλών θερμοκρασιών που συναντώνται εκτιμάται ως μικτή απορροή των δύο λεκανών το 10-12 % των βροχοπτώσεων που σημαίνει περίπου 25 x 10⁶ m³ /ετησίως για το Γεροπόταμο και 35 x 10⁶ m³ /ετησίως για τον Αναποδιάρη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, από υδρογεωλογική άποψη, παρουσιάζουν οι τρεις μεγάλες σε έκταση ανθρακικές ενότητες που αναπτύσσονται στους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων, του Ψηλορείτη και της Δίκτης- Σελενας στα ανατολικά και δευτερευόντως οι καρστικές ενότητες Σητείας. Οι ασβεστολιθικοί αυτοί όγκοι τροφοδοτούν μεγάλο αριθμό αξιόλογων πηγών στην περίμετρο τους. Εκτός από τις ενότητες αυτές υπάρχουν πολλές μικρότερες, υψηλού πάντα δυναμικού, που αναπτύσσονται σε μικρότερες ανθρακικές εμφανίσεις. Η τεκτονική δομή και η στρωματογραφία συμμετέχουν στη διαμόρφωση και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδρογεωλογικών

λεκανών. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στην Κρήτη αποτελεί η ύπαρξη μεγάλων παράκτιων και υποθαλάσσιων καρστικών πηγών αυξημένης περιεκτικότητας σε χλωρίοντα (Cl⁻), μαζί με τις αντίστοιχα μεγάλες καρστικές πηγές με καλής ποιότητας υπόγειο νερό. Η ανυπαρξία γεωλογικών φραγμών στις εκτεταμένες ανθρακικές εμφανίσεις προς τη θάλασσα οδηγεί στην εκτεταμένη υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων με μηχανισμούς που ποικίλουν από υδροφορέα σε υδροφορέα. Αντίθετα οι πηγές που εμφανίζονται προς το εσωτερικό του νησιού, όπου τοποθετούνται γεωλογικοί φραγμοί στην κίνηση του υπόγειου νερού προς τη θάλασσα, προσφέρουν δυνατότητες πλήρους αξιοποίησης των εκρεόντων ποσοτήτων (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Αναβάθμισης του Β.Ο.Α.Κ. στο τμήμα «Βρύσες- Ατσιπόπουλο»). Στην Εικόνα 18 που ακολουθεί αποτυπώνεται η χημική σύσταση του υπό μελέτη εδάφους .



Εικόνα 18 Χημική σύσταση εδάφους –Γεωπύλη ΥΠΕΚΑ

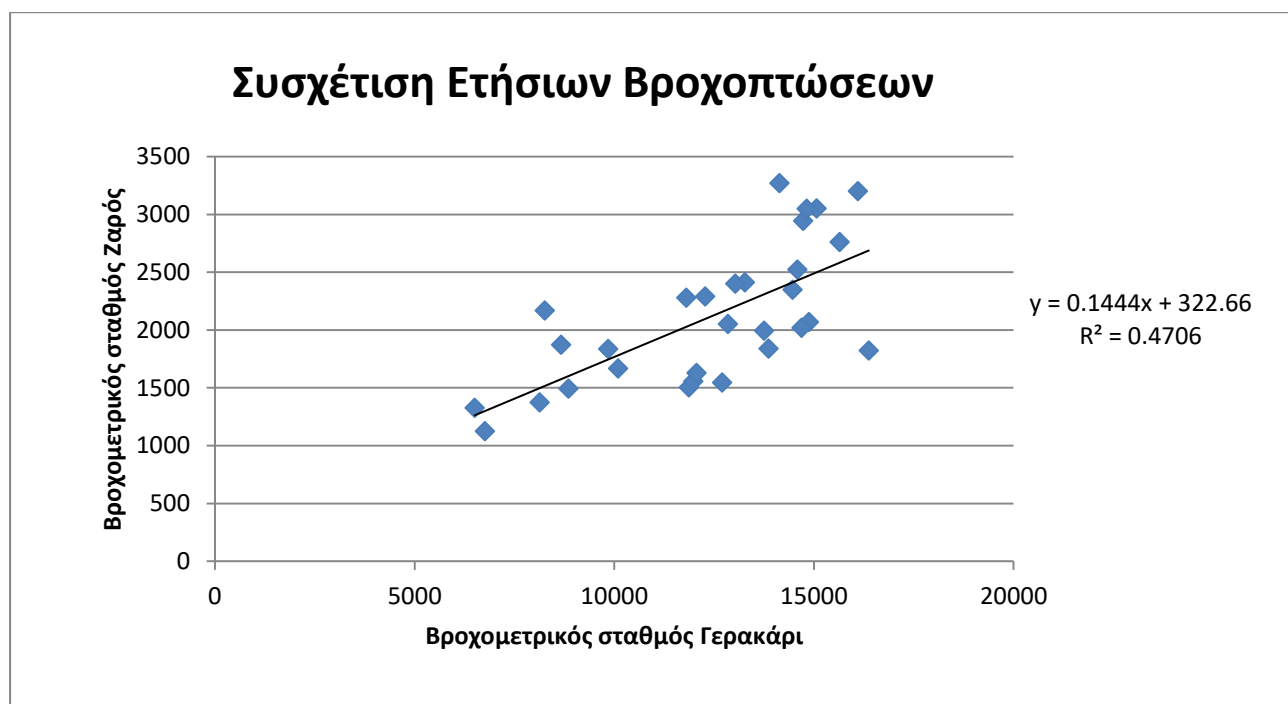
3.6 Μετεωρολογικά-Κλιματολογικά στοιχεία των περιοχών

Η Νήσος Κρήτη χαρακτηρίζεται από εύκρατο μεσογειακό κλίμα ,με τους ορεινούς όγκους του νησιού να τείνουν προς τον ηπειρωτικό τύπο. Ο μέσος όρος της ετήσιας θερμοκρασίας κυμαίνεται στους 14-25⁰ C .Οι νοτιοανατολικές περιοχές καθώς και οι πεδιάδες της Κρήτης ,κατατάσσονται στις θερμότερες περιοχές της χώρας .Η ηλιοφάνεια διαρκεί όλο το χρόνο ,διότι η εμφάνιση νεφώσεων είναι σχετικά μικρή ιδίως στην δυτική πλευρά του νησιού .Οι θερμότεροι μήνες βάσει των θερμοκρασιών που έχουν καταγραφεί είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος ,ενώ οι ψυχρότεροι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος .Λόγω της θάλασσας που περι-

βάλλει την Κρήτη και των ανέμων που φυσούν, το κλίμα παρουσιάζεται αρκετά δροσερό ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες .Οι βροχές είναι εντονότερες στο δυτικό τμήμα κυρίως στην ορεινή ζώνη .

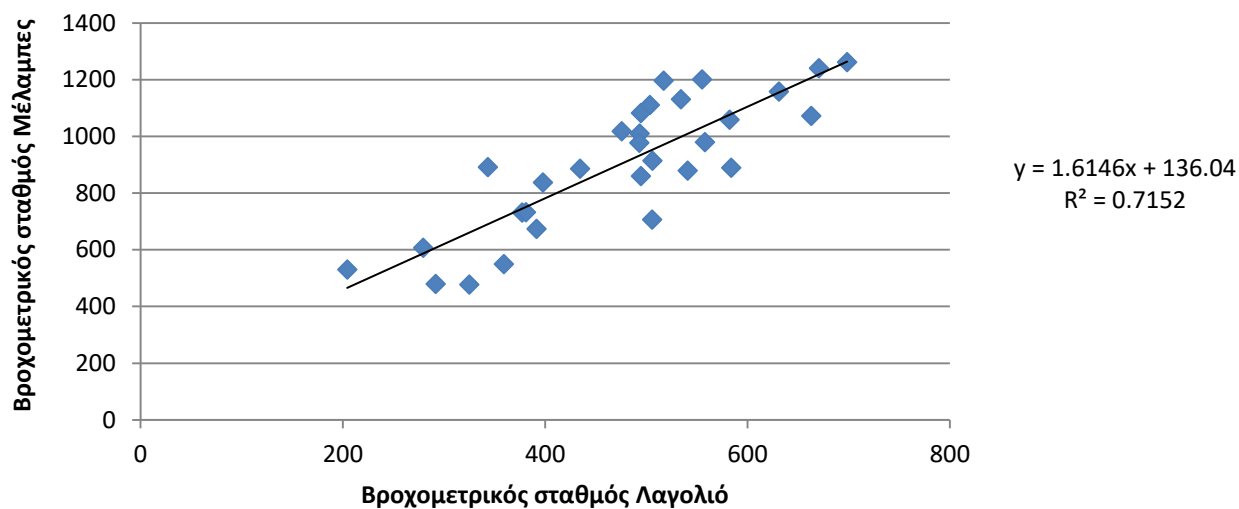
Συγκεκριμένα το Ηράκλειο χαρακτηρίζεται ήπιο και γλυκό κλίμα με θερμούς και υγρούς ανέμους .Η σχετική υγρασία της περιοχής υπολογίζεται στο 68% .Το καλοκαίρι διαρκεί από Μάη μέχρι και Σεπτέμβρη και θεωρείται ιδιαίτερα ξηρό .Κατά την διάρκεια του φθινοπώρου παρατηρούνται ραγδαίες βροχές οι οποίες γίνονται εντονότερες στο δυτικό και νότιο τμήμα της Κρήτης .Ο Αύγουστος και ο Ιούλιος είναι σχεδόν άνομβροι στις πεδινές περιοχές της Νήσου .Το κλίμα του Ρεθύμνου είναι επίσης εύκρατο και μεσογειακό ωστόσο λόγω των ορεινών όγκων του νομού σε μερικά σημεία τείνει προς το ηπειρωτικό.

Στα παρακάτω διαγράμματα 1 έως 4 παρουσιάζονται οι ετήσιες βροχοπτώσεις όπως αυτές έχουν καταγραφεί από τους βροχομετρικούς σταθμούς Γερακάρι ,Βυζάρι,Αγία Γαλήνη ,Μέλαμπες ,Βορίζια ,Ζαρός και Λαγολιό . Τα διαγράμματα καταγράφουν την απόκλιση των βροχοπτώσεων ανάμεσα στους σταθμούς .Μας διευκολύνουν επομένως να εντοπίσουμε πιθανά σφάλματα στις μετρήσεις και να κρίνουμε το κατά πόσο τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεση μας είναι αντιπροσωπευτικά .Κατά κύριο λόγο οι αποκλίσεις μεταξύ των σταθμών είναι μικρές και διακρίνεται μία καλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων τους .



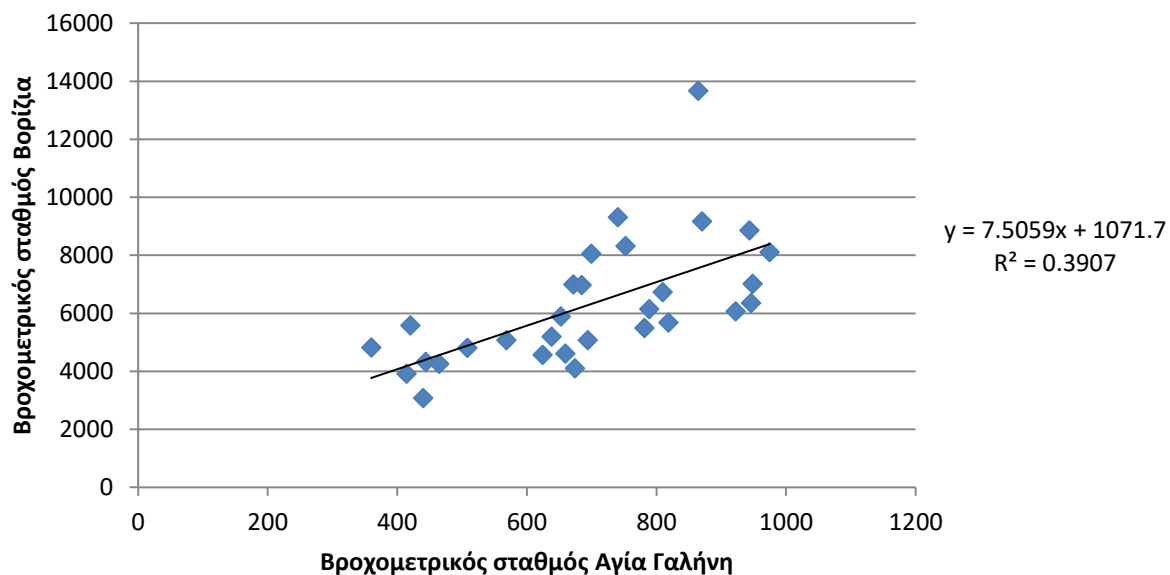
Διάγραμμα 1 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων Γερακάρι-Ζαρός

Συσχέτιση Ετήσιων Βροχοπτώσεων

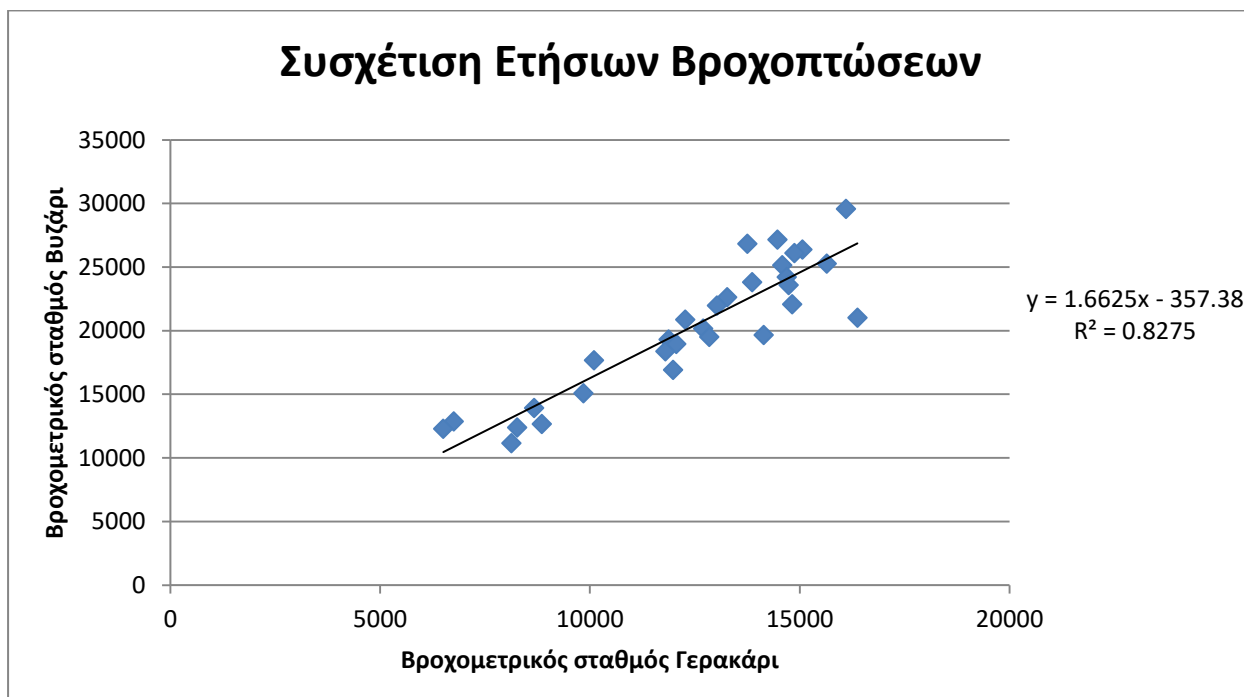


Διάγραμμα 2 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων Λαγολιό -Μέλαμπες

Συσχέτιση Ετήσιων Βροχοπτώσεων

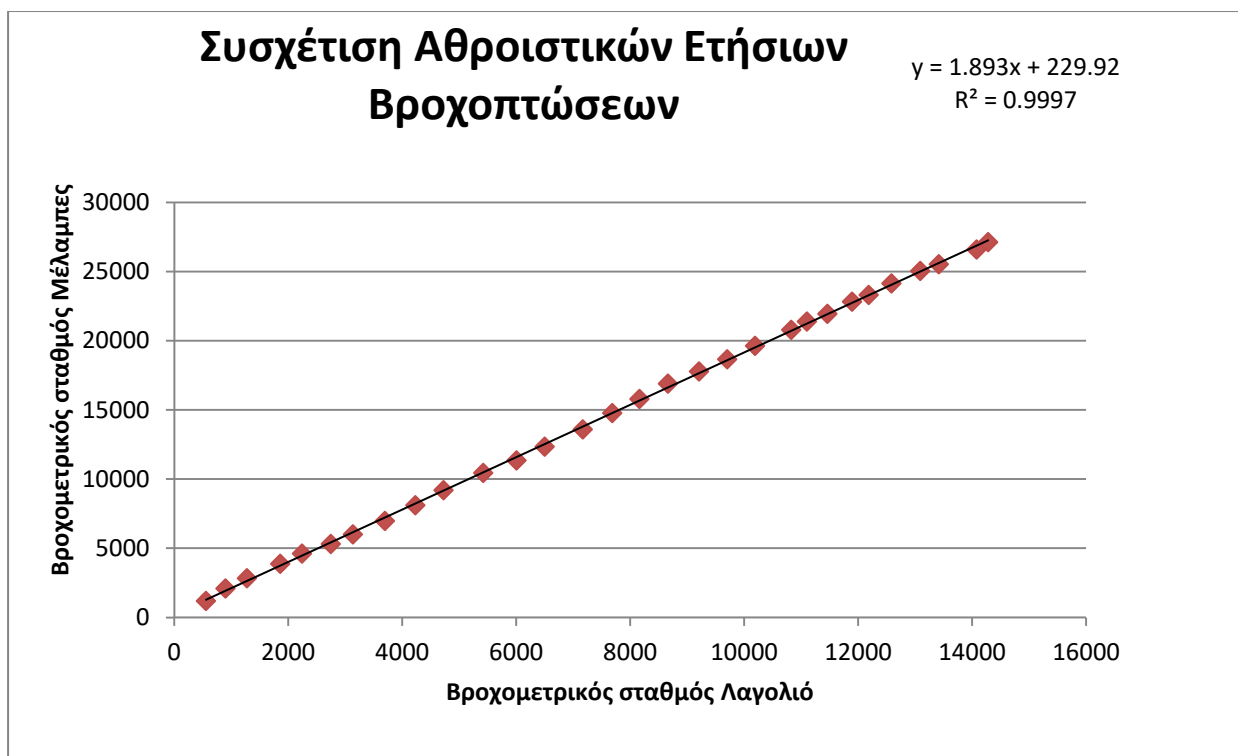


Διάγραμμα 3 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων Αγία Γαλήνη-Βορίζια

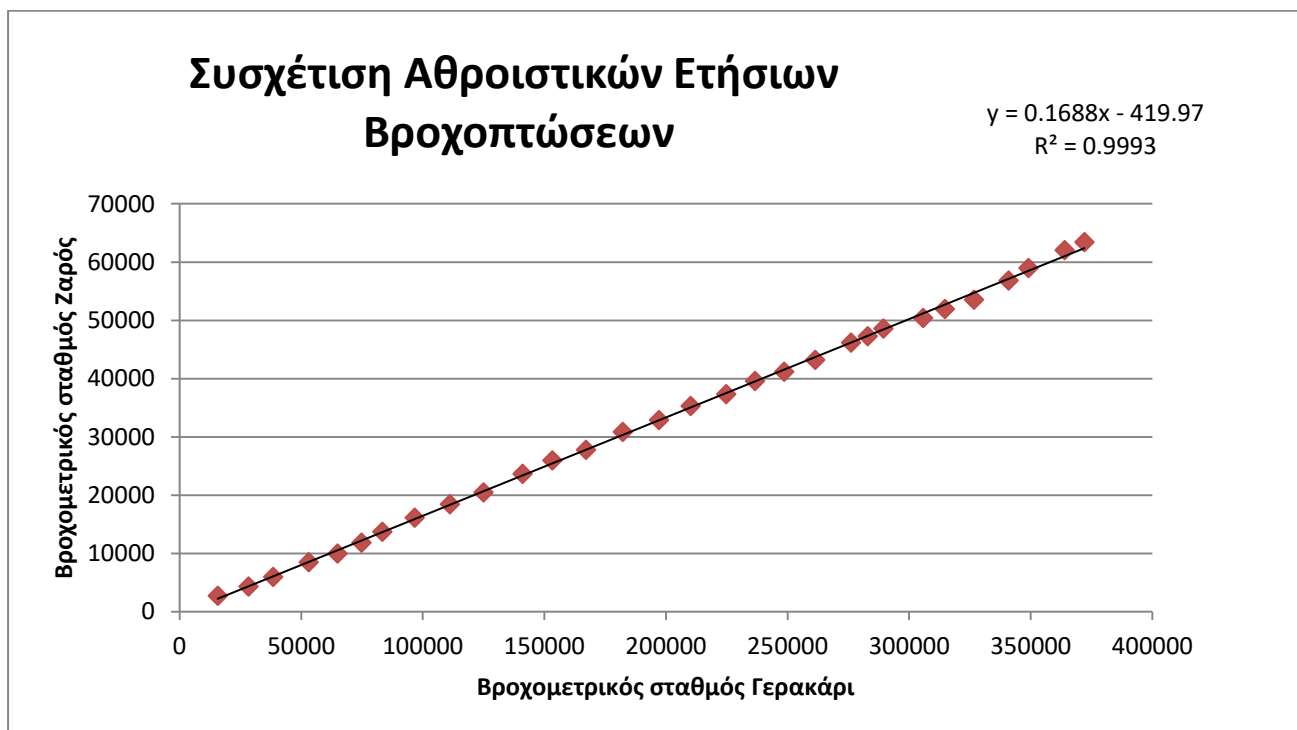


Διάγραμμα 4 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων Γερακάρι -Βυζάρι

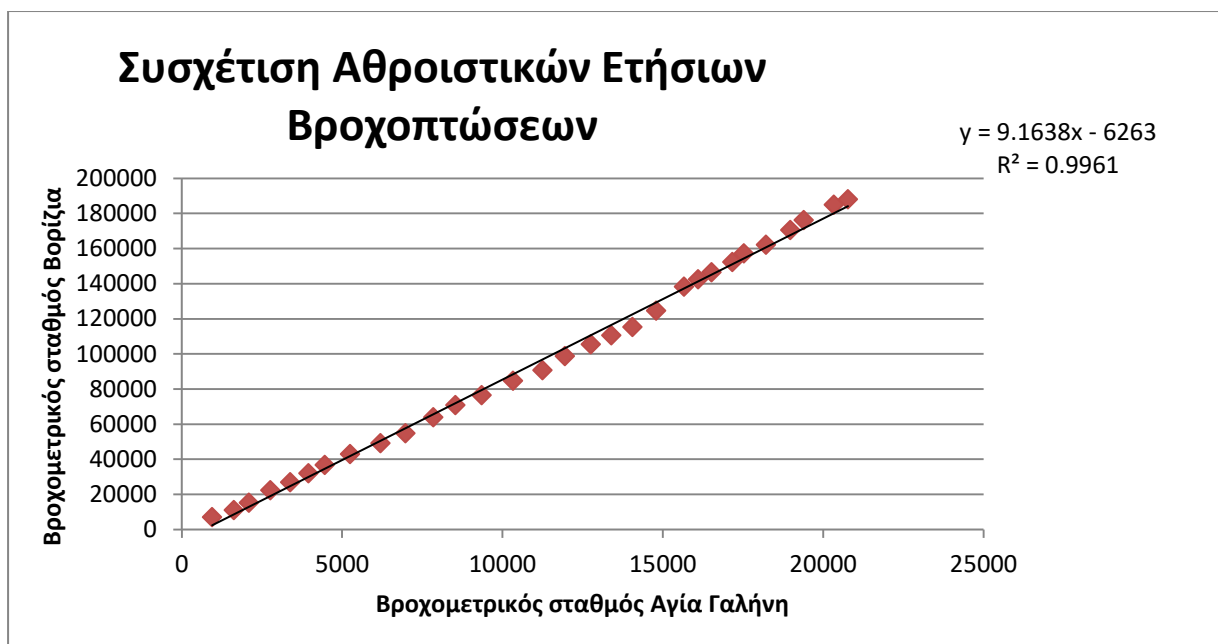
Στα επόμενα διαγράμματα 5-8 απεικονίζονται οι αθροιστικές ετήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών και προσδιορίζονται τα σφάλματα συσχέτισης των δεδομένων με τον συντελεστή R^2 . Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή είναι η μονάδα όπου η απόκλιση ανάμεσα στα δεδομένα είναι μηδενική ,δηλαδή τα δεδομένα ταυτίζονται .Σύμφωνα με τους συντελεστές που καταγράφονται στα πιο κάτω διαγράμματα ,όπου οι τιμές πλησιάζουν την βέλτιστη τιμή ,συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχουν συστηματικά σφάλματα κατά την καταγραφή των δεδομένων που έχουμε στη διάθεση μας .



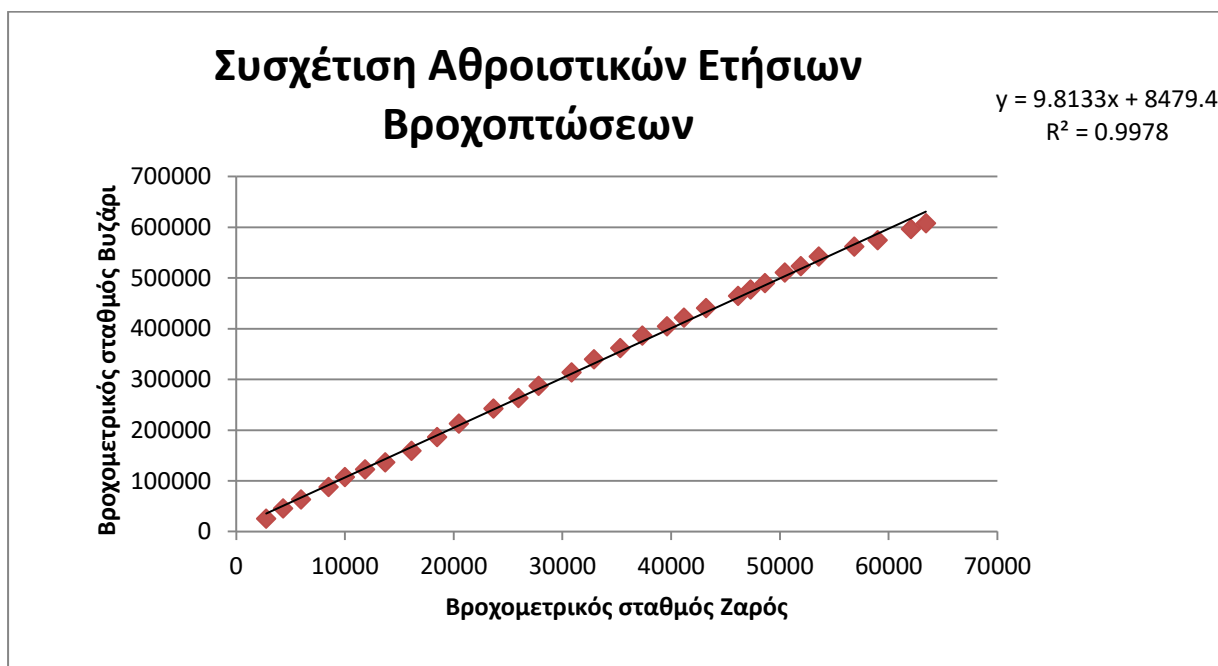
Διάγραμμα 5 Σύγκριση αθροιστικών ετήσιων βροχοπτώσεων Λαγολιό-Μέλαμπες



Διάγραμμα 6 Σύγκριση αθροιστικών ετήσιων βροχοπτώσεων Γερακάρι-Ζαρός



Διάγραμμα 7 Σύγκριση αθροιστικών ετήσιων βροχοπτώσεων Αγία Γαλήνη-Βορίζια

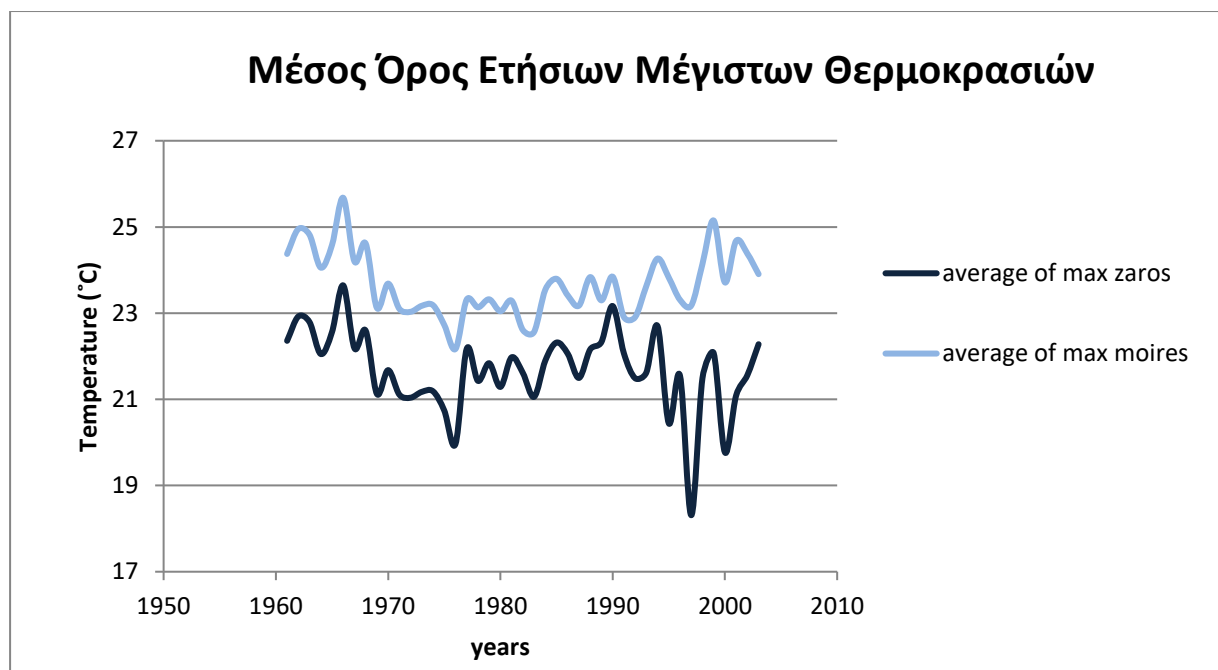


Διάγραμμα 8 Σύγκριση αθροιστικών ετήσιων βροχοπτώσεων Ζαρός-Βυζάρι

Τέλος τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από το λογισμικό ,προέρχονται από τους σταθμούς Ζαρό και Μοίρες .Τα δεδομένα των σταθμών αυτών περιέχουν τις θερμοκρασίες που έχουν σημειωθεί στις περιοχές που προαναφέρθηκαν στο πέρασμα των χρόνων .Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα 9 και 10 που δημιουργήθηκαν και απεικονίζουν τον μέσο όρο των ετήσιων μέγιστων και των ελάχιστων θερμοκρασιών όπως αυτές καταγράφηκαν από τους σταθμούς .Τα διαγράμματα σχεδιάστηκαν για τα έτη 1961-2003 .



Διάγραμμα 9 Μέσος όρος ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών στους σταθμούς Ζαρός και Μοίρες

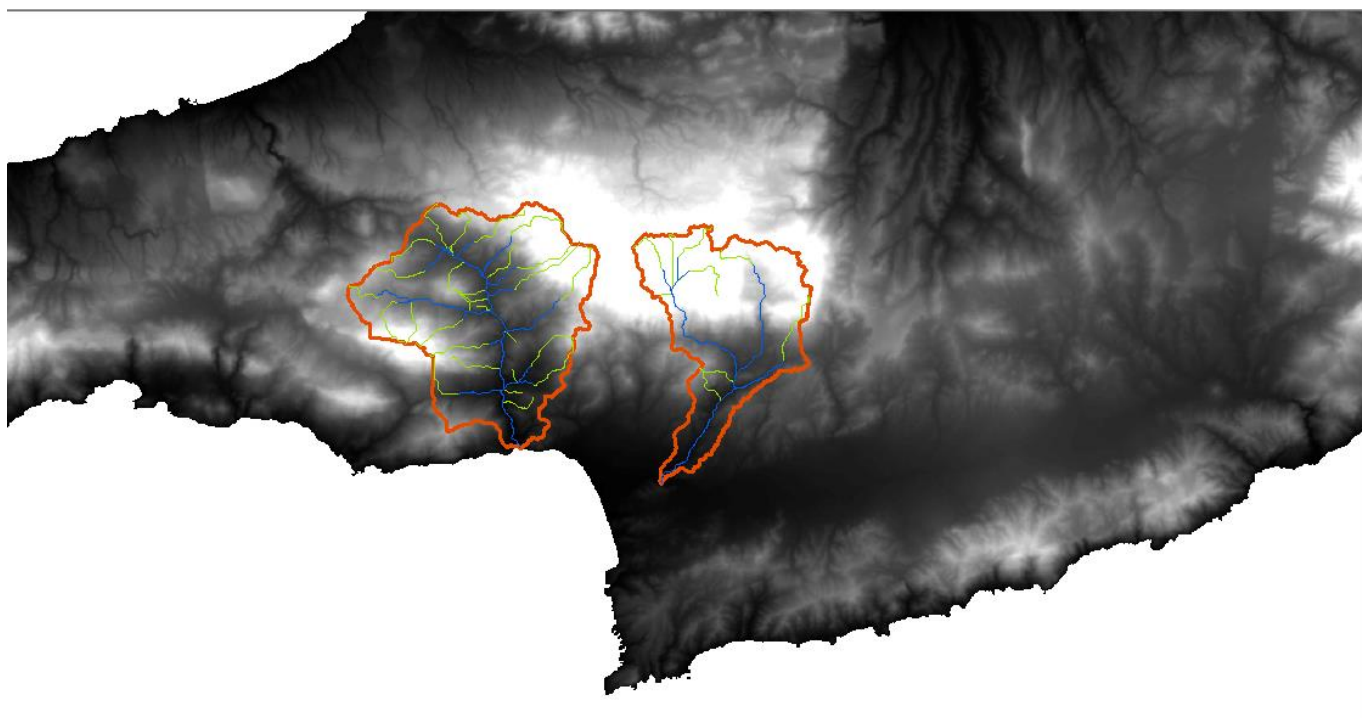


Διάγραμμα 10 Μέσος όρος ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιών στους σταθμούς Ζαρός και Μοίρες

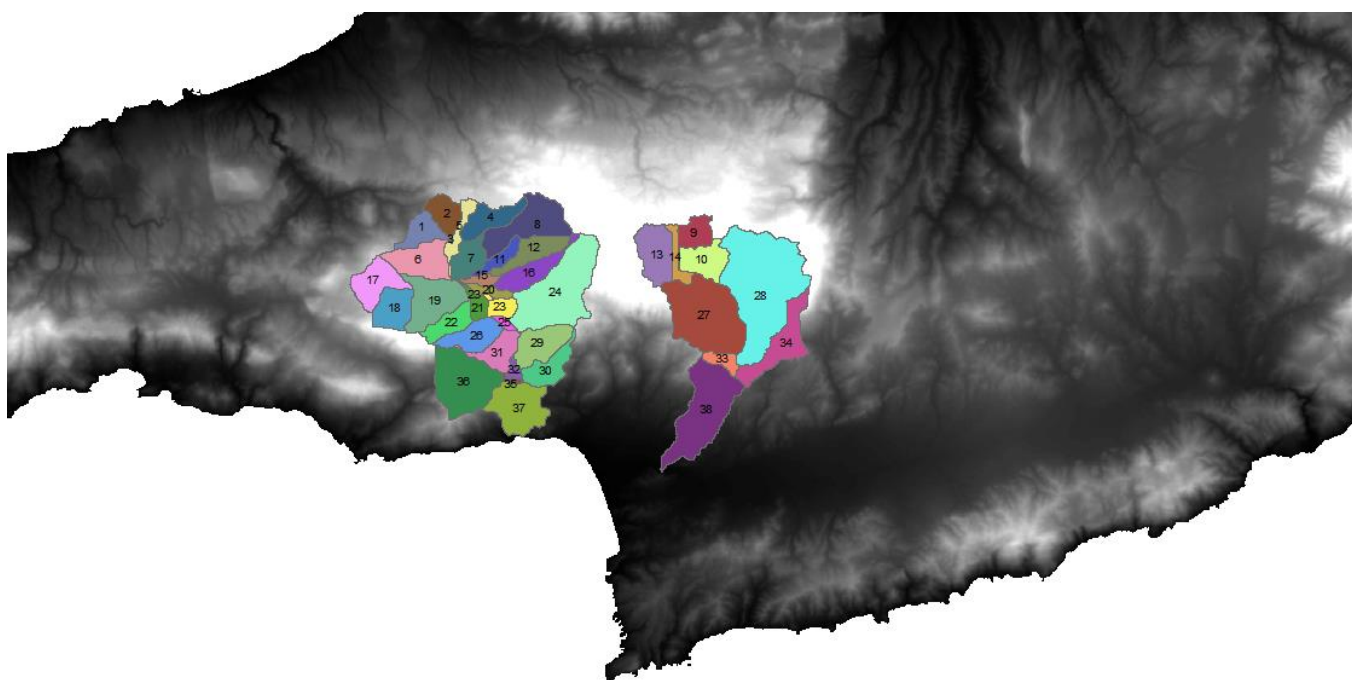
4. Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου

4.1 Λογισμικό-Εισαγωγή δεδομένων

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση είναι το ArcMap 10, Service Pack 5(Build 4400) και το SWAT 2012.10_015. Αρχικά εισήχθησαν ο τοπογραφικός και ο εδαφολογικός χάρτης όπως αποτυπώνονται στις Εικόνες 19 και 22 αντίστοιχα , καθώς και ο χάρτης χρήσεων Γής όπως φαίνεται στην Εικόνα 21 .Οι δύο λεκάνες απορροής (Πλατύ και Φανερωμένης) χωρίστηκαν αθροιστικά σε 38 υπολεκάνες (Εικόνα 20) και στα εξής εύρη κλίσεων (%) εδάφους 0-10,10-20 και 20-999(Εικόνα 24) .Οι λεκάνες υποδιαιρέθηκαν επίσης σε HRUs (Hydrologic Response Units), δηλαδή χωρικές ενότητες με ίδιο τύπο εδάφους ίδια κλίση και χρήση γης (Εικόνα 23) .Στη συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα δεδομένα όπως οι ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αλλά και οι βροχομετρικές μετρήσεις από 7 σταθμούς για τα έτη 1961 έως 2010 .Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα με σκοπό την μοντελοποίηση της ταχύτητας του ανέμου ,την ηλιακή ακτινοβολία και την σχετική υγρασία .



Εικόνα 19 Τοπογραφικός χάρτης λεκανών απορροής



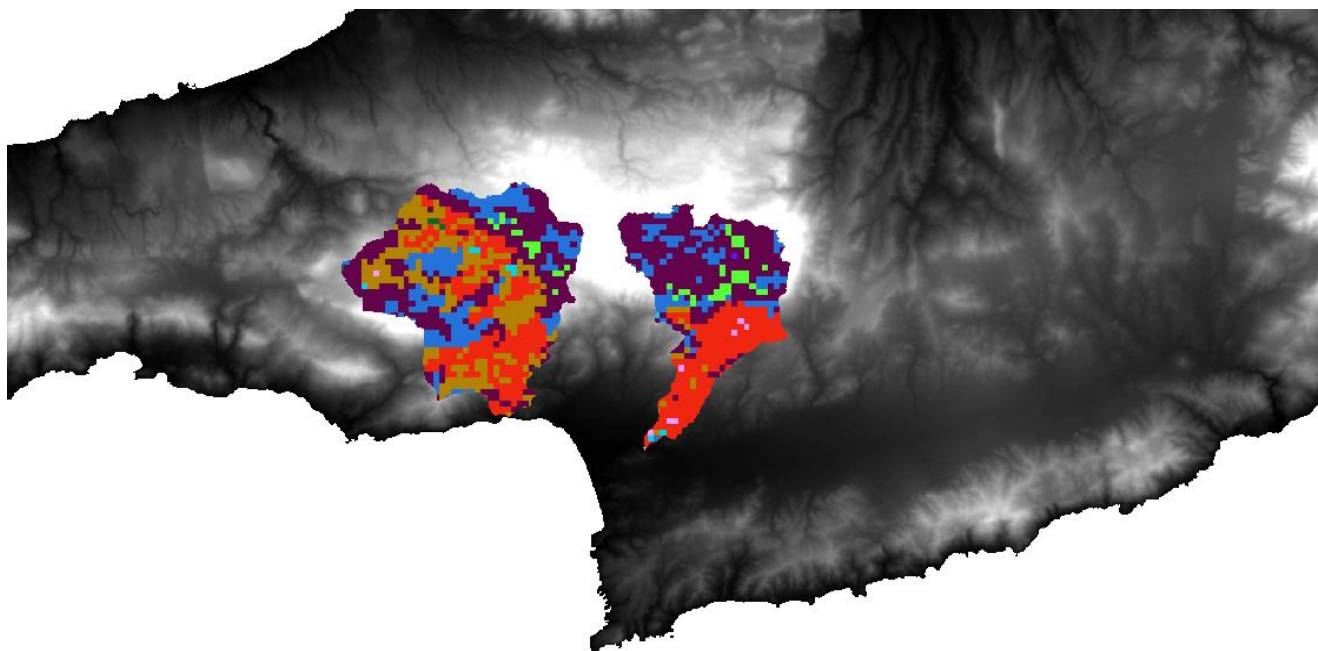
Εικόνα 20 Υπολεκάνες στο SWAT

Πίνακας 1 Έκταση υπολεκανών Φανερωμένης

Νο. Υπολεκάνης	Area (km²)
9	5.087
10	7.983
13	10.26
14	16.19
27	52.83
28	41.8
33	97.36
34	11.99
38	132.2
Σύνολο λεκάνης απορροής Φανερωμένης	375.7

Πίνακας 2 Έκταση υπολεκανών Πλατύ

Νο. Υπολεκάνης	Area (km²)
1	5.694
2	5.575
3	11.34
4	7.328
5	25.53
6	10.47
7	38.92
8	14.71
11	56.91
12	7.423
15	66.19
16	7.622
17	9.191
18	7.773
19	30.1
20	76.09
21	38.47
22	5.674
23	117.7
24	26.57
25	145.2
26	7.667
29	9.438
30	6.791
31	159.3
32	17.48
35	177.4
36	18.72
37	209.6
Σύνολο λεκάνης απορροής Πλατύ	1320.876



Εικόνα 21 Χρήσεις Γης λεκανών απορροής

☐ SwatLandUseClass(LandUse5)

Classes

- APPL
- FRSD
- FRSE
- OLIV
- RNGB
- RNGE
- SWHE
- SWHT
- TWIN
- URMD

κωδικός APPL (apple): μηλιές

κωδικός FRSD (forest-deciduous): δάσος φυλλοβόλων δέντρων

κωδικός FRSE (forest-evergreen): δάσος αειθαλών δέντρων

κωδικός OLIV (olive): ελιές

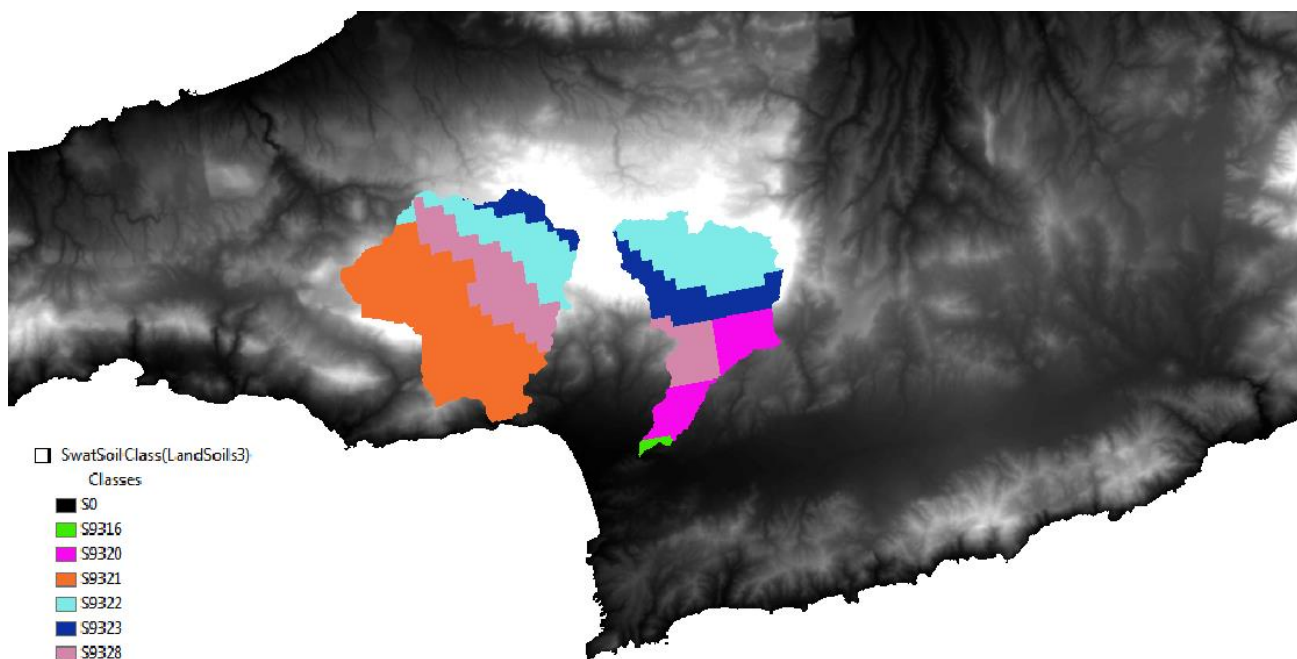
κωδικός RNGB (range-brush): λιβάδι, βοσκοτόπι

κωδικός RNGE (range-grasses): γρασίδι

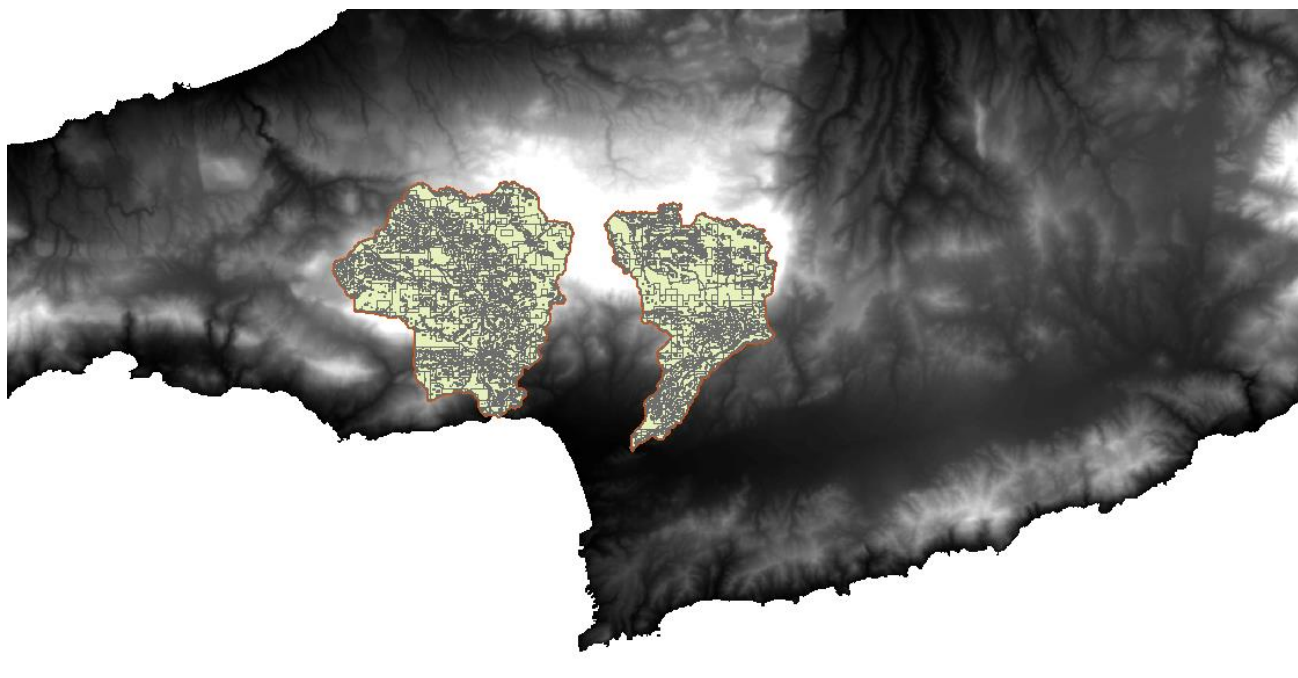
κωδικός SWHE (common wheat): σιτάρι

κωδικός SWHT (spring wheat): σιτάρι

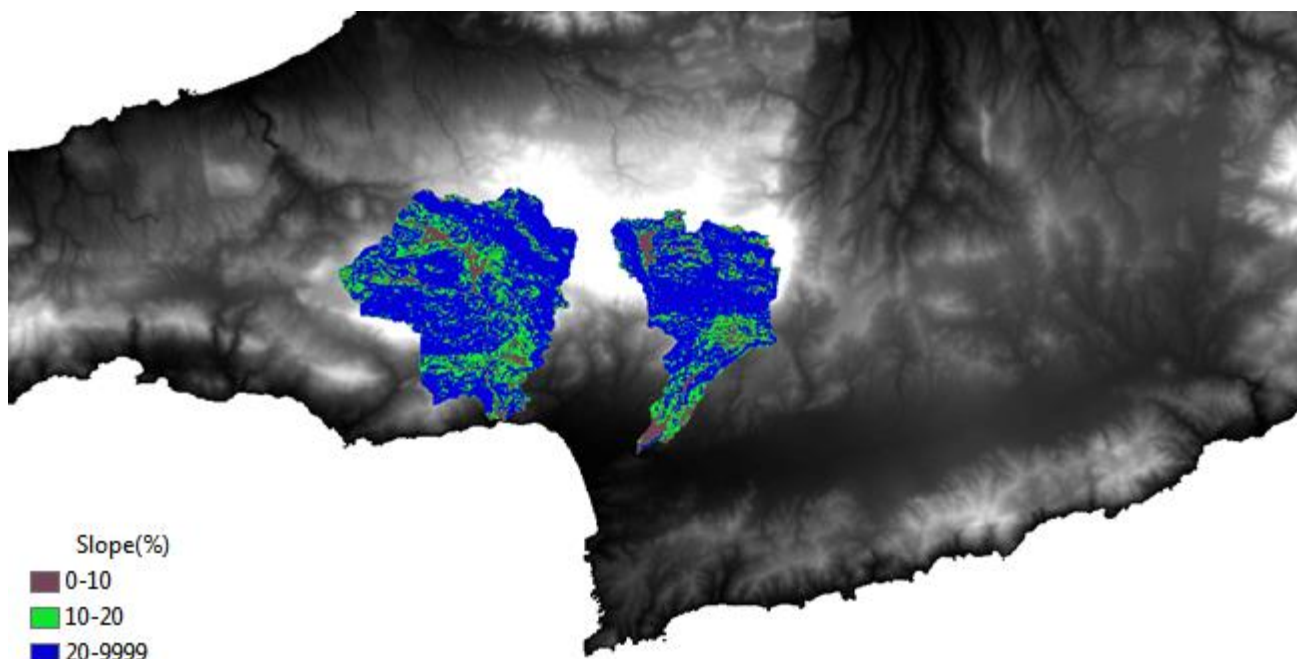
κωδικός TWIN (quality wineyard): ποιοτικός αμπελώνας



Εικόνα 22 Εδαφολογικός χάρτης



Εικόνα 23 Κατανομή των HRU μετά την κατηγοριοποίηση του SWAT



Εικόνα 24 Κλίσεις εδάφους

4.2 Βαθμονόμηση –Επαλήθευση μοντέλου

Η βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου γίνεται μέσω της μεταβολής διαφόρων παραμέτρων ούτως ώστε να υπάρξει ικανοποιητική σύγκλιση των τιμών που προβλέπει το μοντέλο και των παρατηρούμενων .

Η επιλογή των παραμέτρων που μεταβάλλουμε , εξαρτάται από την απόκλιση των αρχικών τιμών του μοντέλου και των παρατηρούμενων δεδομένων .Στις περισσότερες περιπτώσεις επιλέγονται οι παράμετροι που διαφοροποιούν σε μεγάλο βαθμό τα δεδομένα που εξάγει το SWAT και επιφέρουν φανερές αλλαγές. Οι τιμές των παραμέτρων που μεταβάλλονται θα πρέπει να κινούνται σε επιτρεπτό εύρος βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας .

Στην παρούσα εργασία η βαθμονόμηση έγινε χειροκίνητα με την μέθοδο «Δοκιμής-Σφάλματος» .Κάθε φορά που αλλάζει η τιμή μίας παραμέτρου τα εκάστοτε αποτελέσματα εξόδου συγκρίνονται με προηγούμενα .Η σύγκριση γίνεται με την βοήθεια στατιστικών δεικτών και γραφημάτων .Τα αποτελέσματα που συγκλίνουν περισσότερο στα παρατηρούμενα μας υποδεικνύουν ποια τιμή της παραμέτρου είναι πιο κατάλληλη για την επίτευξη της προσομοίωσης .Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα ωστόσο αποτελεί αποτελεσματικό μέσο για να ελεγχθεί ο τρόπος μεταβολής των πιο ευαίσθητων και αβέβαιων παραμέτρων (Engel et al.2007) .Η βέλτιστη βαθμονόμηση δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί όπως και το σημείο στο οποίο πρέπει να σταματήσει η διαδικασία γεγονός που οδηγεί κάθε χρήστη να εξάγει διαφορετικά αποτελέσματα από τους υπολοίπους (Wheater 2002) .Για την επιτάχυνση της διαδικασίας της βαθμονόμησης αναπτύχθηκε η αυτόματη βαθμονόμηση, μία μέθοδος αξιόπιστης και σταθερής εκτίμησης των παραμέτρων που περιορίζει τα σφάλματα που μπορεί να προκύψουν με την μέθοδο της χειροκίνητης βαθμονόμησης από την υποκειμενικότητα της ανθρώπινης κρίσης (Boyle et al.2000).

Μετά την βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου έπεται η διαδικασία της επαλήθευσης (verification). Κατά την διεξαγωγή της επαλήθευσης χρησιμοποιούνται δεδομένα πεδίου διαφορετικών χρονοσειρών .Με την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο αυτών διαδικασιών (calibration ,verification) εξακριβώνεται η αποτελεσματικότητα του λογισμικού ως προς την προσομοίωση των δεδομένων που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην βαθμονόμηση του .

Σχετικά με την παρούσα διπλωματική για την βαθμονόμηση του ποταμού Πλατύ επιλέχθηκαν τα έτη 1973-1989 ενώ για την βαθμονόμηση της Φανερωμένης τα έτη 1972-1978 .

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται με λεπτομέρεια όλες οι παράμετροι που μεταβλήθηκαν και οι τιμές που πήραν για την κατά το δυνατόν βέλτιστη βαθμονόμηση της εκάστοτε περιοχής .

Πίνακας 3 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν κατά την βαθμονόμηση της Φανερωμένης

α/ α	Παράμετρος	ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ Περιγραφή	Τυπικό εύρος στο SWAT	Εύρος τιμών στη λεκάνη απορροής
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : Soils(.sol)				
1	SOL_AWC	Διαθέσιμη υγρασία Available water capacity in soil layer (mm H ₂ O/mm εδάφους)	0-1	0.3
2	SOL_K	Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Saturated hydraulic conductivity (mm/h)	0-2000	20
3	SOL_Z	Βάθος εδάφους Soil depth (mm)	0-3500	300
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : Subbasin (.Sub)				
4	CH_K1	Αποτελεσματική υδραυλική αγωγιμότητα σε αλλουβιακά κανάλια παραπόταμων Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium	0-300	0
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : HRU (.Hru)				
5	HRU_SLP	Μέσος όρος κλίσης απότομων πλαγιών Average slope steepness (m/m)	0-0.6	0.1
6	EPCO	Συντελεστής αντιστάθμισης πρόληψης φυτών Plant uptake compensation factor	0-1	0.5
7	ESCO	Συντελεστής αντιστάθμισης εξάτμισης εδάφους Soil evaporation compensation factor	0-1	1

8	LAT_TIME	Χρόνος διαδρομής πλευρικής ροής lateral flow travel time (days)	0-100	5
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Groundwater (.gw)				
9	GW_DELAY	Συντελεστής καθυστέρησης υπογείου νερού Groundwater Delay time (days)	0-500	25
10	ALPHA_BF	Παράγοντας ύφεσης της παροχής του υπογείου νερού Baseflow alpha factor (days)	0-1	0
11	REVAPMN	Συντελεστής επανατροφοδότησης υπογείου νερού Groundwater Revap Coefficient	0-1000	20
12	RCHRG_DP	Ποσοστό ποσότητας νερού που από τον αβαθή κατεισδύει στο βαθύ υδροφορέα Deep aquifer percolation factor	0-1	0.05
13	GWQMIN	Ελάχιστο βάθος νερού στον αβαθή υδροφορέα για να επιστρέψει η ροή στην επιφάνεια Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)	0-5000	5000
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Management(.Mgt)				
14	CN2	Αρχικός αριθμός καμπύλης απορροής SCS για την κατάσταση υγρασίας II Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	35-98	45

Πίνακας 4 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν κατά την βαθμονόμηση του Πλατύ

α/ α	Παράμετρος	ΠΛΑΤΥΣ Περιγραφή	Τυπικό εύρος στο SWAT	Εύρος τιμών στη λεκάνη απορροής
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : Soils(.sol)				
1	SOL_AWC	Διαθέσιμη υγρασία Available water capacity in soil layer (mm H2O/mm εδάφους)	0-1	0.023
2	SOL_K	Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα. Saturated hydraulic conductivity (mm/h)	0-2000	6
3	SOL_Z	Βάθος εδάφους Soil depth (mm)	0-3500	999
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : Subbasin (.Sub)				
4	CH_K1	Αποτελεσματική υδραυλική αγωγιμότητα σε αλλουβιακά κανάλια παραπόταμων Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium	0-300	300
Παράμετροι εισαγωγής δεδομένων : HRU (.Hru)				
5	HRU_SLP	Μέσος όρος κλίσης απότομων πλαγιών Average slope steepness (m/m)	0-0.6	0.0005
6	EPCO	Συντελεστής αντιστάθμισης πρόληψης φυτών Plant uptake compensation factor	0-1	1
7	ESCO	Συντελεστής αντιστάθμισης εξάτμισης εδάφους Soil evaporation compensation factor	0-1	0.5
8	CANMX	Μέγιστη αποθήκευση θόλων (mm) Maximum canopy storage (mm)	0-100	100

Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Groundwater (.gw)				
9	GW_DELAY	Συντελεστής καθυστέρησης υπογείου νερού Groundwater Delay time (days)	0-500	75
10	ALPHA_BF	Παράγοντας ύφεσης της παροχής του υπογείου νερού Baseflow alpha factor (days)	0-1	1
11	REVAPMN	Συντελεστής επανατροφοδότησης υπογείου νερού Groundwater Revap Coefficient	0-1000	950
12	RCHRG_DP	Ποσοστό ποσότητας νερού που από τον αβαθή κατεισδύει στο βαθύ υδροφορέα Deep aquifer percolation factor	0-1	0
13	GWQMIN	Ελάχιστο βάθος νερού στον αβαθή υδροφορέα για να επιστρέψει η ροή στην επιφάνεια Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)	0-5000	2500
14	GW_REVAP	Συντελεστής υπογείου νερού Groundwaterrevap coefficient	0.02-0.2	0.2
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων: Management(.Mgt)				
15	CN2	Αρχικός αριθμός καμπύλης απορροής SCS για την κατάσταση υγρασίας II Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	35-98	50

4.3 Περιγραφή μεθόδου αξιολόγησης της μοντελοποίησης

Η επικύρωση των αποτελεσμάτων του μοντέλου (validation) ,γίνεται με την χρήση στατιστικών δεικτών και γραφικών ή ποιοτικών μεθόδων .Με αυτή την τεχνική αξιολογείται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης ,καθώς και πιθανά σφάλματα που πιθανώς έχουν προκύψει κατά την καταγραφή των παρατηρούμενων τιμών .Στην παρούσα εργασία οι στατιστικοί δείκτες που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση της μοντελοποίησης είναι οι εξής :

- ❖ όπως ο δείκτης αποδοτικότητας NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)
- ❖ η ποσοστιαία απόκλιση (Percent BIAS-PBIAS)
- ❖ ο λόγος του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square-RMSE) και
- ❖ ο λόγος του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προς την τυπική απόκλιση των μετρήσεων (Root Mean Square Error-Standard deviation of measured data Ratio-RSR).

Συνοψίζοντας οι βασικότεροι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται στατιστικοί δείκτες από τους υδρολόγους είναι η εκτίμηση της πορείας και των βελτιώσεων που προκύπτουν στο στάδιο της βαθμονόμησης, η ποσοτική εκτίμηση της δυνατότητας του μοντέλου να αναπαράγει την παρελθοντική και μελλοντική συμπεριφορά του αντικειμένου του καθώς και η σύγκριση της εκάστοτε προσπάθειας μοντελοποίησης με παλαιότερες προσπάθειες (Krause et al., 2005).

- Δείκτης NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)

Με τον δείκτη αποδοτικότητας εκτιμάται η σύγκλιση των υδρολογικών δεδομένων ανάμεσα στην προσομοιωμένη και την παρατηρούμενη χρονοσειρά (Nash and Sutcliffe, 1970) .Οι τιμές που μπορούν να προκύψουν κατά τον υπολογισμό του δείκτη NSE κυμαίνονται από το $-\infty$ έως 1 .Η μονάδα υποδεικνύει την πλήρη ταύτιση παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών ,δηλαδή την «τέλεια» βαθμονόμηση .Τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 0,5 παραπέμπουν σε έμπιστα αποτελέσματα και ικανοποιητική σύγκλιση των τιμών. Η εξίσωση κατά την οποία υπολογίζεται ο δείκτης είναι η εξής:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right]$$

Όπου: O_i η παρατηρούμενη χρονοσειρά

P_i η προσομοιωμένη χρονοσειρά

\bar{O} ο αριθμητικός μέσος της παρατηρούμενης χρονοσειράς

n το μήκος της χρονοσειράς

- Δείκτης PBIAS

Με τον δείκτη αυτό εκτιμάται η τάση των προσομοιωμένων τιμών να υστερούν ή να υπερτερούν έναντι των παρατηρούμενων-καταγεγραμμένων, ενώ ταυτόχρονα προσδιορίζει τη μικρή αποδοτικότητα και την προγνωστική ικανότητα του μοντέλου (Gupta et al., 1999). Βέλτιστη τιμή θεωρείται το 0. Η τιμή αυτή υποδηλώνει επιτυχή προσομοίωση, σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες τιμές που υποδηλώνουν ότι το μοντέλο παρουσιάζει την τάση να υποεκτιμά τις πραγματικές τιμές, ενώ οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν την τάση του μοντέλου να υποτιμά τις παρατηρούμενες τιμές (Gupta et al., 1999). Προκειμένου το μοντέλο να θεωρηθεί βαθμονομημένο, απαραίτητο κρίνεται η απόλυτη τιμή του δείκτη να είναι μικρότερη του 25 % (Moriasi et al., 2007).

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right] \%$$

Όπου: O_i η παρατηρούμενη χρονοσειρά

P_i η προσομοιωμένη χρονοσειρά

n το μήκος της χρονοσειράς

- Δείκτης RMSE και RSR

Ο δείκτης RMSE ή όπως αλλιώς ονομάζεται το μέσο υπολειμματικό σφάλμα, αποτελεί έναν από τους πιο κοινούς στατιστικούς δείκτες. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές που λαμβάνει ο RMSE, τόσο καλύτερη θεωρείται η αποδοτικότητα του μοντέλου (Moriasi et al., 2007).

Ο δείκτης RSR προϋποθέτει τον υπολογισμό του RMSE, καθώς υπολογίζει τη τετραγωνική ρίζα της τιμής που προκύπτει αν αφαιρεθεί η τιμή του NSE από τη μονάδα. Όπως και στον δείκτη PBIAS έτσι και σε αυτή την περίπτωση βέλτιστη τιμή θεωρείται η μηδενική. Μη αποτελεσματική μοντελοποίηση έχουμε όταν ο δείκτης RSR παίρνει τιμή μεγαλύτερη του 0,7. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV} = \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}} \right]$$

Όπου: O_i η παρατηρούμενη χρονοσειρά

P_i η προσομοιωμένη χρονοσειρά

\bar{O} ο αριθμητικός μέσος της παρατηρούμενης χρονοσειράς

n το μήκος της χρονοσειράς

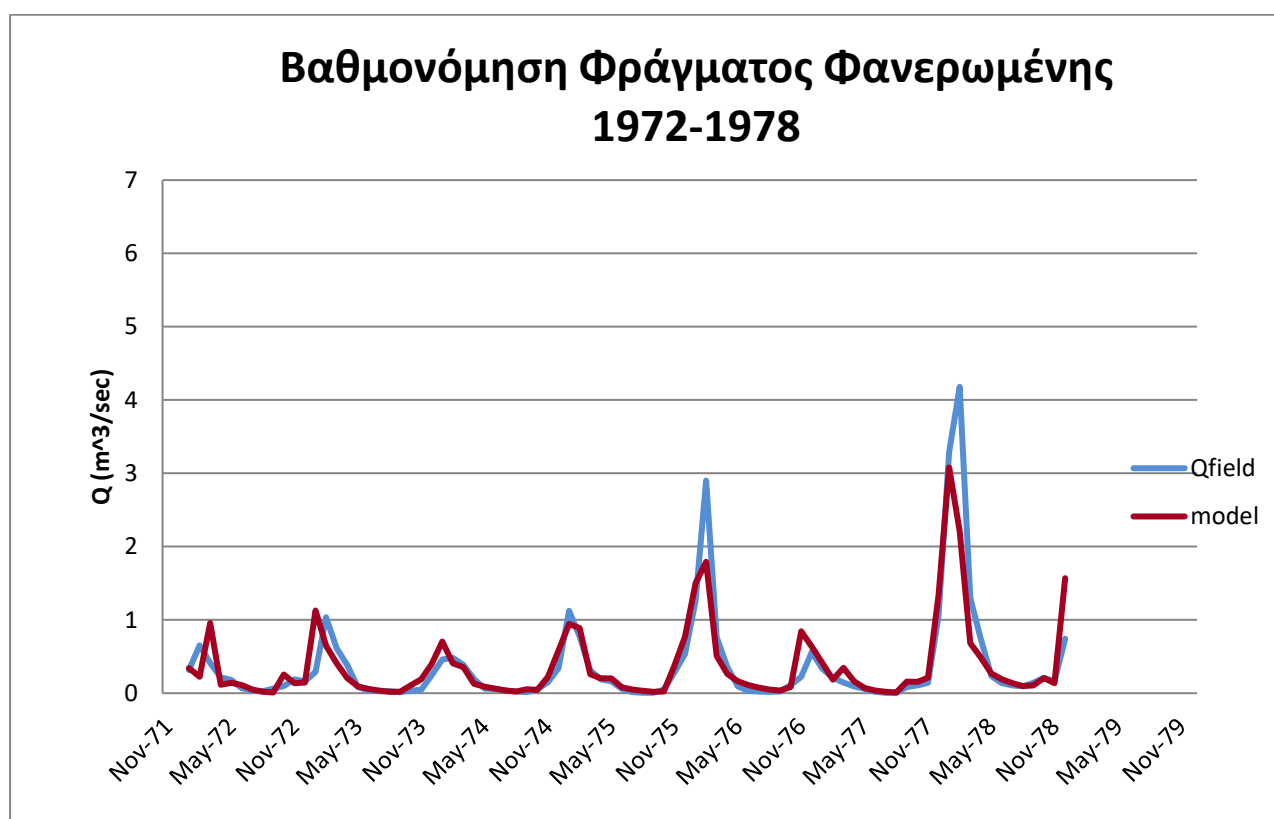
Τα αποδεκτά όρια των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 5:

Πίνακας 5 Τιμές αξιολόγησης βαθμονόμησης του μοντέλου βάσει Moriasi

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS
Very Good	$0.00 \leq \text{RSR} \leq 0.50$	$0.75 < \text{NSE} \leq 1.00$	$\text{PBIAS} < \pm 0.1$
Good	$0.50 < \text{RSR} \leq 0.60$	$0.60 < \text{NSE} \leq 0.75$	$\pm 0.1 \leq \text{PBIAS} < \pm 0.15$
Satisfactory	$0.6 \leq \text{RSR} \leq 0.7$	$0.5 \leq \text{NSE} \leq 0.65$	$\pm 0.15 \leq \text{PBIAS} \leq \pm 0.25$
Unsatisfactory	$0.70 < \text{RSR}$	$\text{NSE} \leq 0.5$	$\pm 0.25 \leq \text{PBIAS}$

4.4. Αξιολόγηση μοντελοποίησης ποταμού Πλατύ και φράγματος Φανερωμένης

Το φράγμα της Φανερωμένης βαθμονομήθηκε για την περίοδο 1972-1978 και τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης απεικονίζονται στο διάγραμμα 11. Όπως είναι φανερό οι προσομοιωμένες τιμές που μας έδωσε το λογισμικό του SWAT πλησιάζουν αρκετά τις παρατηρούμενες, γεγονός που επιβεβαιώνεται και κατά την αξιολόγηση της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές των δεικτών που υπολογίστηκαν μέσω excel, κρίθηκαν παραπάνω από ικανοποιητικές και αναγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 6. Οι δείκτες NSE, PBIAS και RSR έλαβαν τιμές αρκετά κοντά στις βέλτιστες, πιστοποιώντας την αποδοτικότητα και την προγνωστική ικανότητα που έχει το μοντέλο.



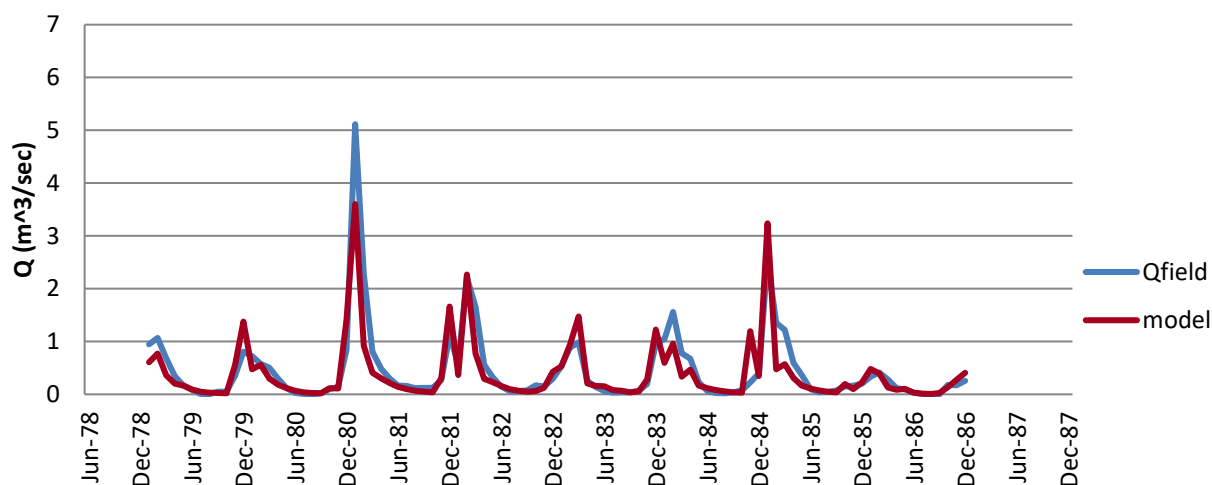
Διάγραμμα 11 Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες παροχές του Φράγματος Φανερωμένης, για την περίοδο 1972-1978

Πίνακας 6 Αξιολόγηση της προσομοίωσης του Φράγματος Φανερωμένης για την περίοδο 1972-78

Δείκτης	Τιμή	Αξιολόγηση τιμής
NSE	0.77049	Very Good
PBIAS	0.009165	Very Good
RSR	0.479072	Very Good

Στη συνέχεια η επαλήθευση της βαθμονόμησης του Φράγματος της Φανερωμένης έγινε κατά τα έτη 1979-1986. Οι τιμές των παραμέτρων παραμένουν ίδιες τόσο για την περίοδο της βαθμονόμησης όσο και για την περίοδο της επαλήθευσής της, με σκοπό να αξιολογηθεί η ικανότητα του μοντέλου να προσομοιώνει τις παρατηρούμενες παροχές με αυτές που μας δίνει το λογισμικό για μακροχρόνια περίοδο. Υπολογίστηκαν εκ νέου οι δείκτες NSE, PBIAS και RSR λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα της χρονοσειράς που επιλέχθηκε. Οι τιμές των δεικτών όπως υπολογίστηκαν, αποδεικνύουν πως το μοντέλο καταφέρνει και προσομοιώνει τη υδρολογία της υπό μελέτη λεκάνης απορροής σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Παρατηρώντας και το διάγραμμα 12 που παρατίθεται πιο κάτω είναι φανερό πως παρατηρούμενες και προσομοιωμένες παροχές εμφανίζουν συγκλίνουσα συμπεριφορά με μικρές εξαιρέσεις, οι οποίες κρίνονται απόλυτα αποδεκτές στα πλαίσια της «αναπαράστασης» μίας διεργασίας.

Βαθμονόμηση Φράγματος Φανερωμένης 1979-1986

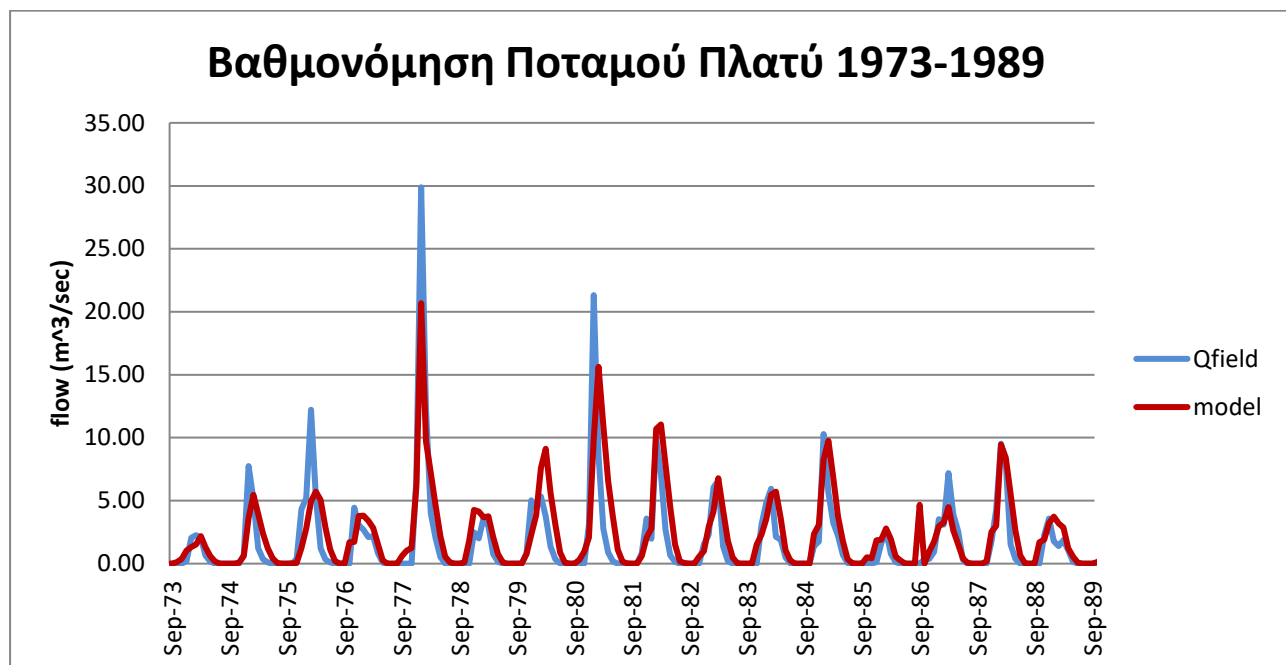


Διάγραμμα 12 Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες παροχές του Φράγματος Φανερωμένης ,για την περίοδο 1979-1986

Πίνακας 7 Αξιολόγηση της προσομοίωσης του Φράγματος Φανερωμένης για την περίοδο επαλήθευσης 1979-1986

Δείκτης	Τιμή	Αξιολόγηση τιμής
NSE	0.772589	Very Good
PBIAS	0.131923	Good
RSR	0.476876	Very Good

Για την βαθμονόμηση του ποταμού Πλατύ επιλέχθηκε η χρονοσειρά 1973-1989 .Στο διάγραμμα 13 απεικονίζονται οι παροχές που έχουν καταγραφεί-παρατηρηθεί και οι προσομοιωμένες όπως αυτές υπολογίστηκαν από το μοντέλο .Είναι ευδιάκριτο το γεγονός πως οι προσομοιωμένες παροχές ακολουθούν με επιτυχία της παρατηρούμενες με μικρές αποκλίσεις κατά τα έτη 1975,1978 και 1981 όπου οι κορυφές των παρατηρούμενων παροχών ξεφεύγουν των προσομοιωμένων .Οι αποκλίσεις είναι δικαιολογημένες και μπορούν να προκύπτουν είτε από πιθανά λάθη που έχουν συμβεί κατά την καταγραφή των παρατηρούμενων τιμών ,είτε λόγω έντονων καιρικών φαινομένων που είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Οι δείκτες όπως αναγράφονται και στον πίνακα 8 έχουν λάβει ικανοποιητικές έως καλές τιμές .Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης PBIAS παρουσιάζεται καλός , ενώ οι δείκτες NSE και RSR αξιολογούνται ως ικανοποιητικοί .

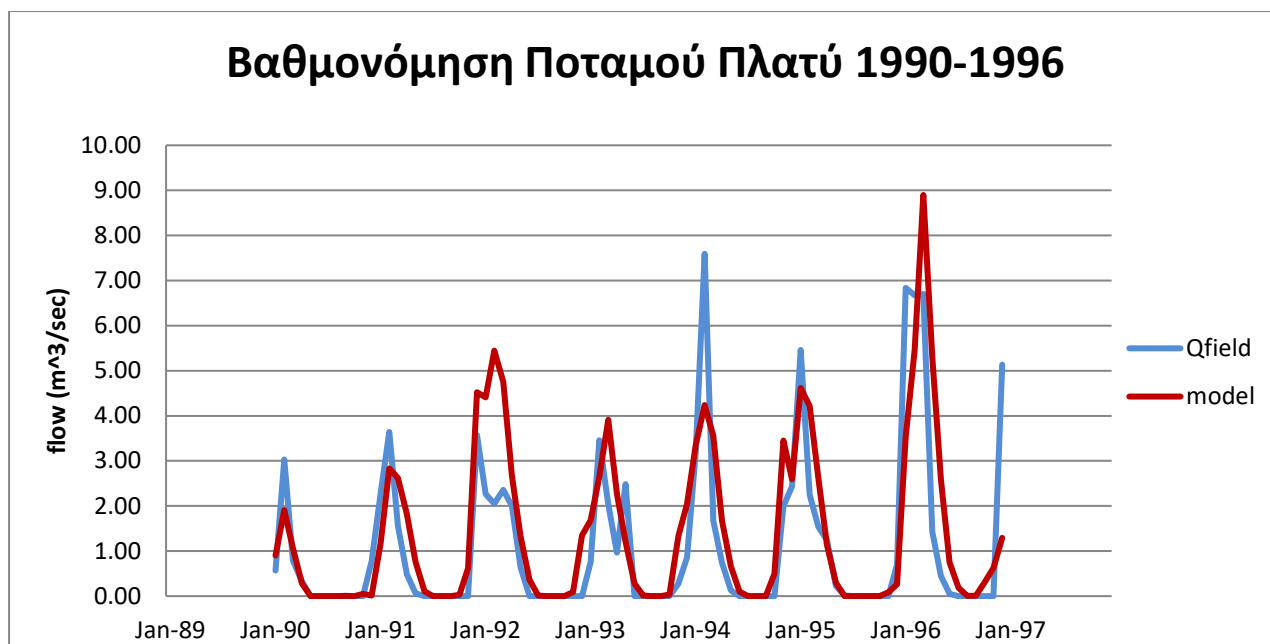


Διάγραμμα 13 Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες παροχές του Ποταμού Πλατύ, για την περίοδο 1973-1989

Πίνακας 8 Αξιολόγηση της προσομοίωσης του Ποταμού Πλατύ για την περίοδο 1973-1989

Δείκτης	Τιμή	Αξιολόγηση τιμής
NSE	0.641537	Satisfactory
PBIAS	-0.24147	Satisfactory
RSR	0.598718	Good

Για την επαλήθευση της βαθμονόμησης λάβαμε υπόψη τα δεδομένα των χρονοσειρών 1990-1996 .Σύμφωνα με το διάγραμμα 14 οι τιμές του μοντέλου προσομοιώνουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις τιμές του μοντέλου. Παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις των παροχών σε αυτή την χρονική περίοδο είναι πιο έντονες σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονοσειρά .Συγκεκριμένα οι ακραίες τιμές των προσομοιωμένων παροχών για τα έτη 1992 και 1996 ξεπερνούν τις μέγιστες τιμές που έχουν καταγραφεί από παρατηρητές .Ωστόσο όπως έχει ήδη αναφερθεί οι αποκλίσεις αυτές είναι πιθανό να οφείλονται σε διαφορετικούς εξωτερικούς παράγοντες .Τέλος να σημειωθεί πως και για αυτή την περίοδο οι τιμές των δεικτών υπολογίζονται ικανοποιητικοί επιβεβαιώνοντας και πάλι την αποδοτικότητα του μοντέλου και την ικανότητά του να αναπαριστά την υδρολογία της λεκάνης απορροής (Πίνακας 9).



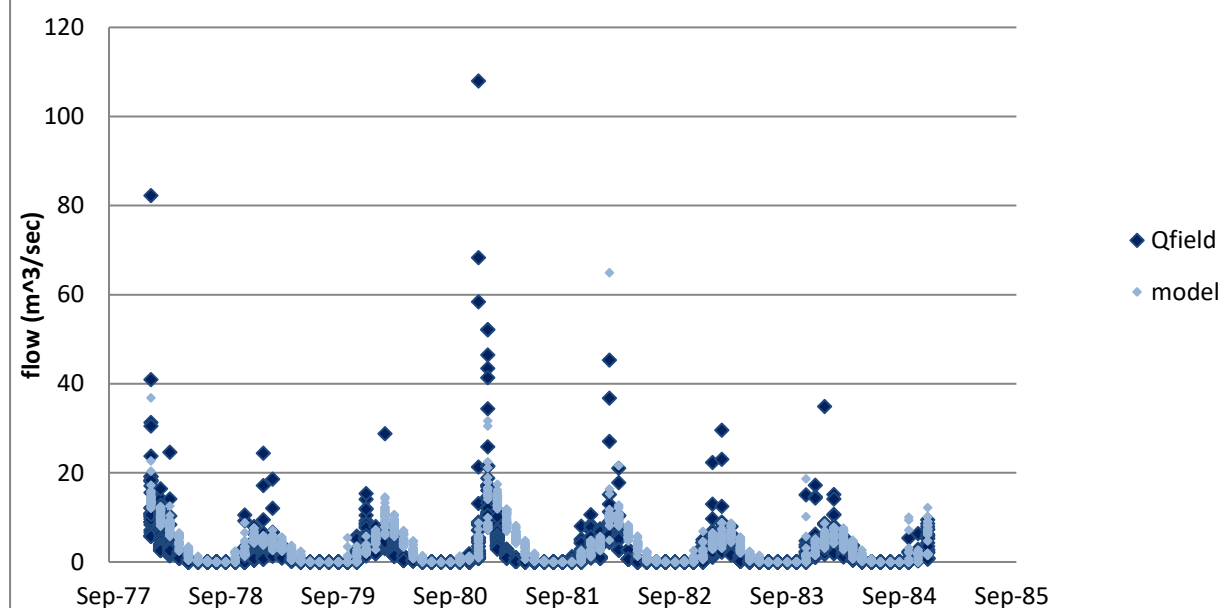
Διάγραμμα 14 Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες παροχές του Ποταμού Πλατύ, για την περίοδο 1990-1996

Πίνακας 9 Αξιολόγηση της προσομοίωσης του Ποταμού Πλατύ για την περίοδο επαλήθευσης 1990-1996

Δείκτης	Τιμή	Αξιολόγηση τιμής
NSE	0.54978	Satisfactory
PBIAS	-0.2476	Satisfactory
RSR	0.670984	Satisfactory

Ο Ποταμός Πλατύς βαθμονομήθηκε και πάλι ,λαμβάνοντας υπόψη αυτή τη φορά ημερήσιες μετρήσεις από τον σταθμό «Αγία Γαλήνη» .Τα στοιχεία μας παραχωρήθηκαν από την υπηρεσία Ο.Α.ΔΥ.Κ. (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ) και αφορούν τα έτη 1971 έως και 2003 .Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν για την βαθμονόμηση του ποταμού αφορούν την χρονοσειρά 1978-1984 .Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης απεικονίζονται στο διάγραμμα 15 και οι δείκτες παρατίθενται στον πίνακα 10 .

Βαθμονόμηση Ποταμού Πλατύ 1978 -1984



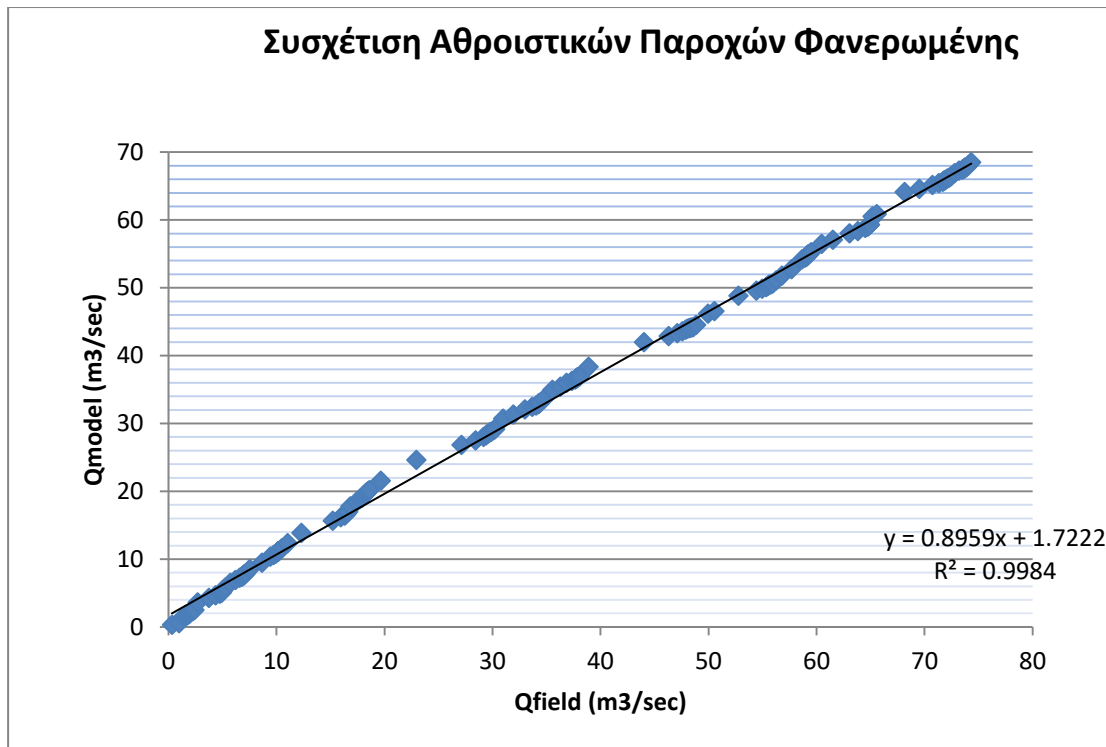
Διάγραμμα 15 Προσομοιωμένες και παρατηρούμενες παροχές του Ποταμού Πλατύ, για την περίοδο 1978-1984

Πίνακας 10 Αξιολόγηση της προσομοίωσης του Ποταμού Πλατύ για την περίοδο 1976-1989

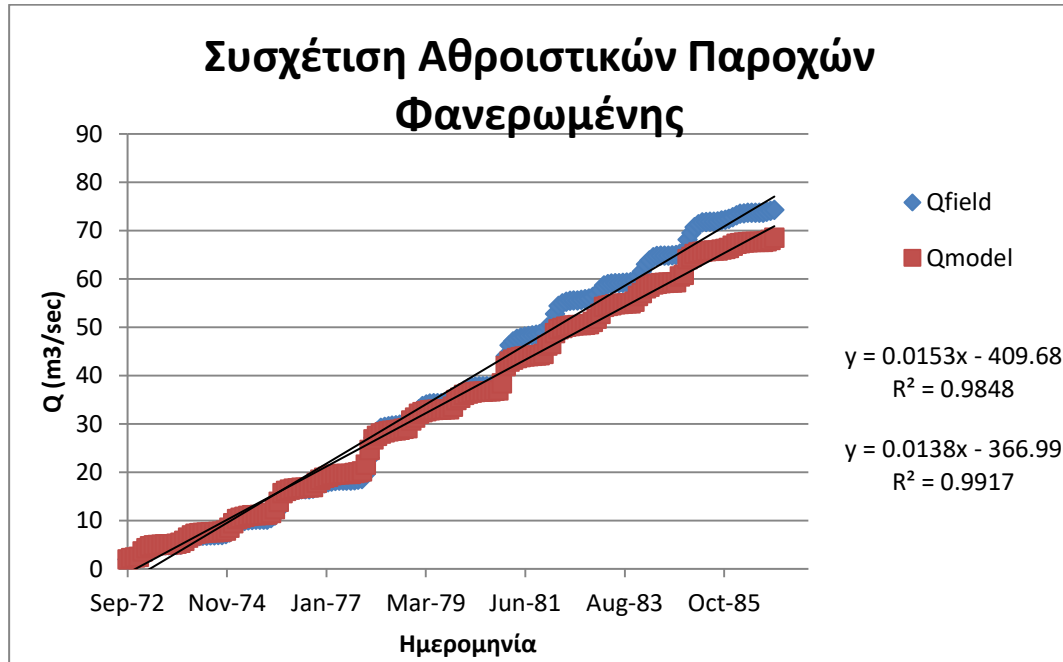
Δείκτης	Τιμή	Αξιολόγηση τιμής
NSE	0.268365699	Unsatisfactory
PBIAS	-0.4707628	Unsatisfactory
RSR	0.855356242	Unsatisfactory

Όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί από τον πίνακα 10 οι δείκτες δεν είναι ικανοποιητικοί κι αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των μεγάλων αποκλίσεων μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών. Ιδιαίτερα τα έτη 1977, 1980 και 1982 οι αποκλίσεις μεταξύ των κορυφών των δύο παροχών είναι αρκετά εμφανείς, γεγονός που αποδεικνύει ότι δεν κατάφεραν σε καμία περίπτωση να προσομοιωθούν. Συγκρίνοντας τις δύο παροχές μπορούμε να συμπεράνουμε πως ενώ η βασική ροή τους εμφανίζει παραπλήσια συμπεριφορά, οι κορυφές τους δεν συμβαδίζουν. Είναι προφανές πως πολλοί εξωτερικοί παράγοντες είναι πιθανό να έχουν συντελέσει στο αποτέλεσμα αυτό. Μελετώντας κανείς τις ημερήσιες μετρήσεις της στάθμης του Ποταμού που έχουν καταγραφεί από τον υδρομετρικό σταθμό της Αγίας Γαλήνης, μπορεί να παρατηρήσει αρκετές τιμές να επαναλαμβάνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα της τάξης του ενός μηνός. Θεωρητικά κάτι τέτοιο είναι αρκετά απίθανο να συμβεί αν συλλογιστούμε την διαρκή εναλλαγή των θερμοκρασιών και των καιρικών φαινομένων που επικρατούν. Επομένως υπάρχει πιθανότητα να έχουν προκύψει λάθη κατά την καταγραφή ή κατά την λήψη μίας μέτρησης. Από την στιγμή που στην λήψη των μετρήσεων συμμετέχουν άνθρωποι, πρέπει να αναλογιστούμε την δυσκολία και τον κίνδυνο που αντιμετωπίζουν κατά τις ημέρες που επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα άρα και τα πιθανά σφάλματα που μπορεί να έχουν προκύψει. Τέλος, ενδεχομένως τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης που ευθύνονται και τα peaks (κορυφές) του διαγράμματος, να είναι δύσκολο να προβλεφτούν και να προσομοιωθούν πλήρως από το λογισμικό του μοντέλου.

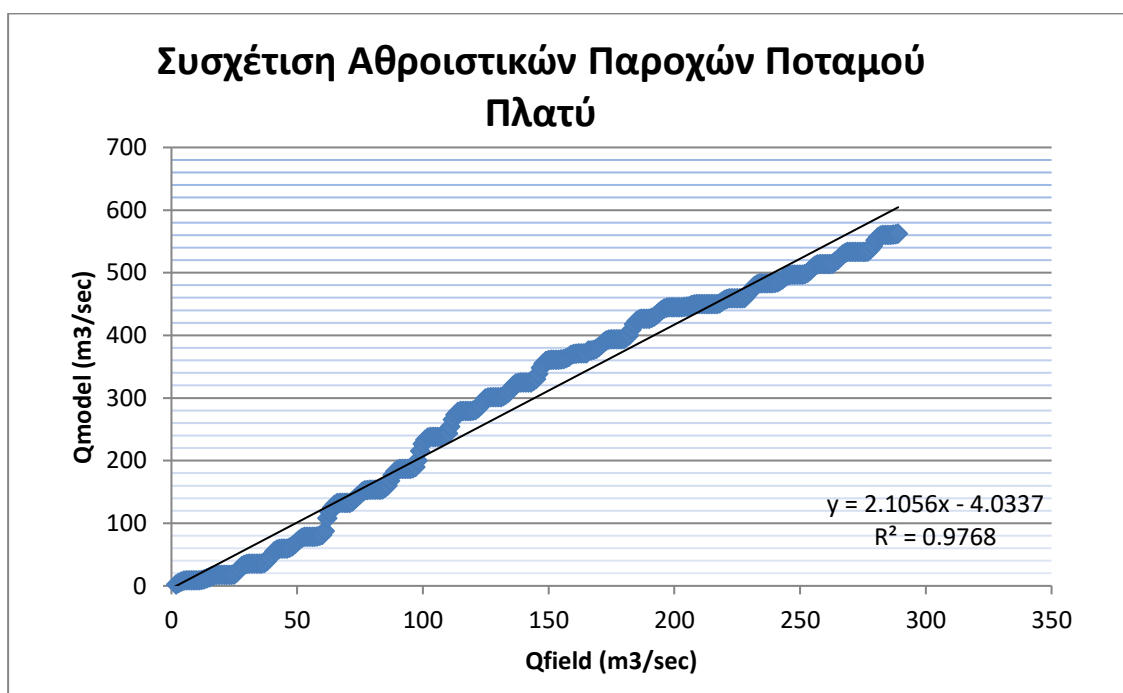
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, γίνεται συσχέτιση των αθροιστικών παροχών των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών για την κάθε υπολεκάνη αντίστοιχα. Τα γραφήματα 16 και 17 αφορούν την περιοχή της Φανερωμένης, ενώ τα γραφήματα 18 και 19 αντιστοιχούν στις παροχές του ποταμού Πλατύ. Τα διαγράμματα δείχνουν πως οι τιμές μπορεί να μην ταυτοποιούνται πλήρως, ωστόσο το σφάλμα σύγκλισης είναι πολύ μικρό. Η Φανερωμένη παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση των παροχών της κι αυτό απεικονίζεται στο διάγραμμα 17, όπου οι παροχές (παρατηρούμενες και προσομοιωμένες) εμφανίζουν πολύ μικρή απόκλιση κυρίως κατά τα τελευταία έτη. Από την άλλη η συσχέτιση των παροχών του ποταμού Πλατύ στο πέρασμα των χρόνων εμφανίζει ελαφρώς πιο έντονη απόκλιση από αυτή που εμφανίζεται στην περιοχή της Φανερωμένης. Είναι απόλυτα λογικό να υπάρχει αυτή η ψαλίδα (απόκλιση) στο τέλος κάθε περιόδου μιας και όσο αθροίζονται οι παροχές στο πέρασμα του χρόνου συσσωρεύονται και τα πιθανά σφάλματα που έχουν προκύψει στις μετρήσεις. Η συσσώρευση αυτή είναι που ευθύνεται στις αποκλίσεις μεταξύ των παροχών στο τέλος κάθε περιόδου. Ωστόσο οφείλουμε να τονίσουμε πως παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αποκλίσεις είναι αρκετά μικρές κι αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο καταφέρνει να προσομοιώνει με επιτυχία τις τιμές του πεδίου.



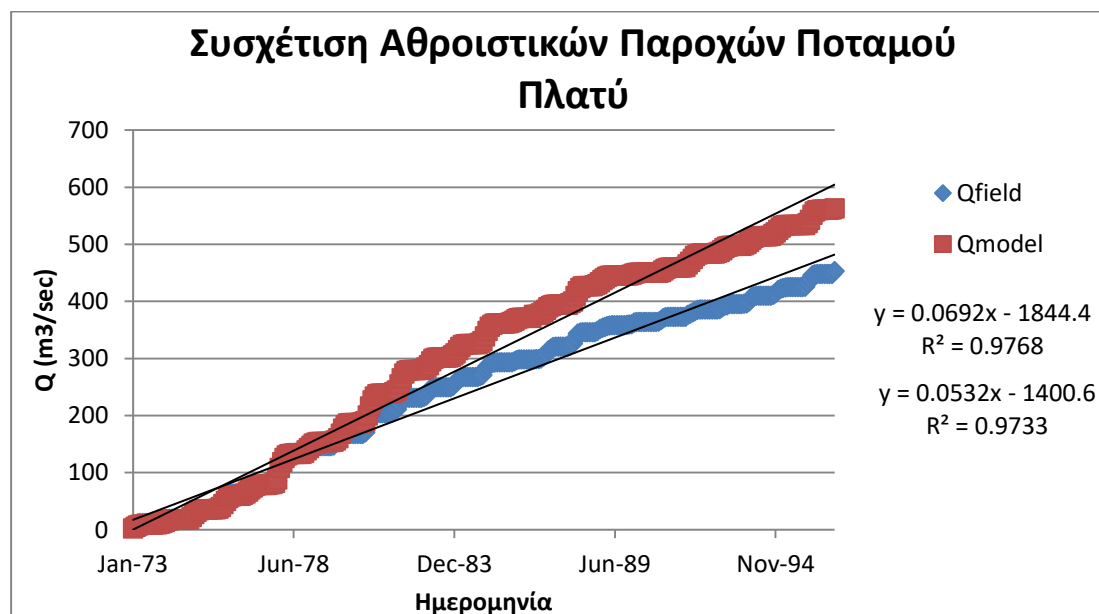
Διάγραμμα 16 Συσχέτιση αθροιστικών παροχών Φανερωμένης για την περίοδο 1972-1986



Διάγραμμα 17 Συσχέτιση αθροιστικών παροχών Φανερωμένης για την περίοδο 1972-1986

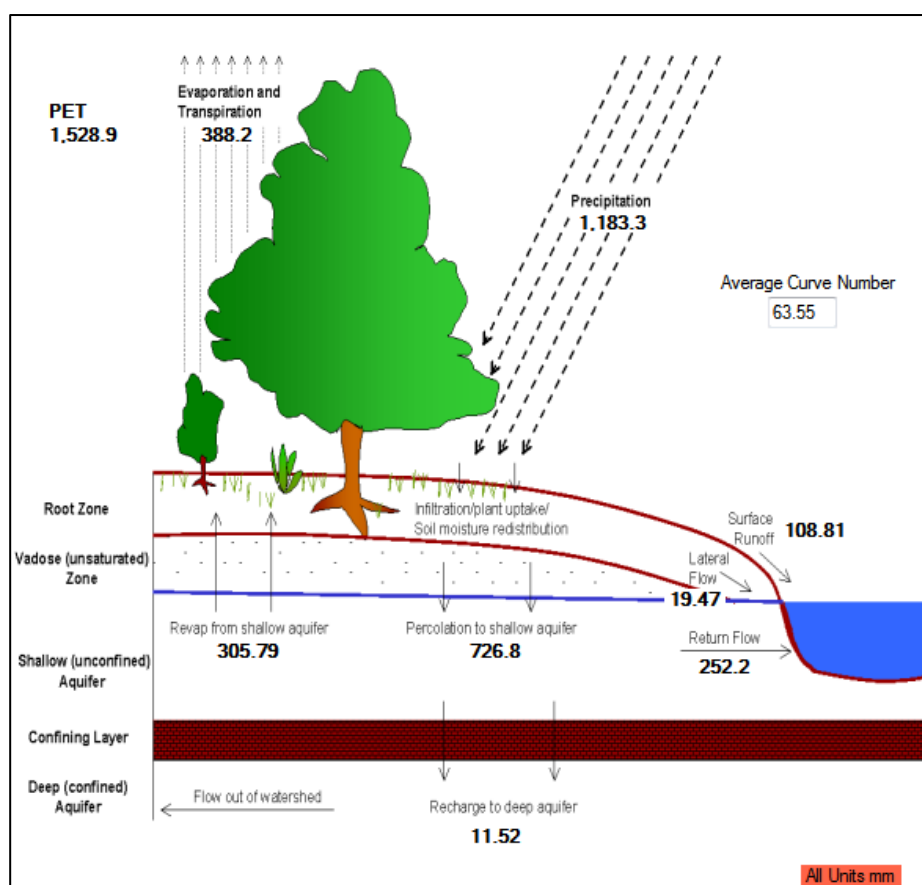


Διάγραμμα 18 Συσχέτιση αθροιστικών παροχών Ποταμού Πλατύ για την περίοδο 1973-1996



Διάγραμμα 19 Συσχέτιση αθροιστικών παροχών Ποταμού Πλατύ για την περίοδο 1973-1996

4.5. Ιδατικό ισοζύγιο λεκανών απορροής



Εικόνα 25 Απεικόνιση υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής Πλατύ και Φανερωμένης για την περίοδο 1972 έως 1996- SWAT

Το υδατικό ισοζύγιο που προκύπτει από την προσομοίωση του SWAT απεικονίζεται πιο πάνω (Εικόνα 25). Αφορά τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν και στις δύο λεκάνες απορροής (Πλατύ και Φανερωμένης) την χρονική περίοδο 1972-1996. Πιο συγκεκριμένα μετά την επεξεργασία των δεδομένων από το λογισμικό του swat προκύπτουν τα εξής προβλεπόμενα στοιχεία :

- ❖ η κατακρήμνιση ανέρχεται στα 1183.3 mm/year
- ❖ 388.2 mm/year εξατμίζονται
- ❖ η ποσότητα ύδατος που απορροφάται από το έδαφος ανέρχεται στα 726.8 mm/year
- ❖ και 11.52 mm/year κατεισδύουν στον υπόγειο υδροφόρο
- ❖ 108.81 mm/year δεν απορροφούνται, ρέουν επιφανειακά και καταλήγουν στην λεκάνη απορροής
- ❖ ενώ 19.47 mm/year οδηγούνται στην λεκάνη απορροής μέσω πλάγιας ροής
- ❖ τέλος 252.2 mm/year επιστρέφουν από τον ρηχό υδροφόρο στην λεκάνη απορροής.

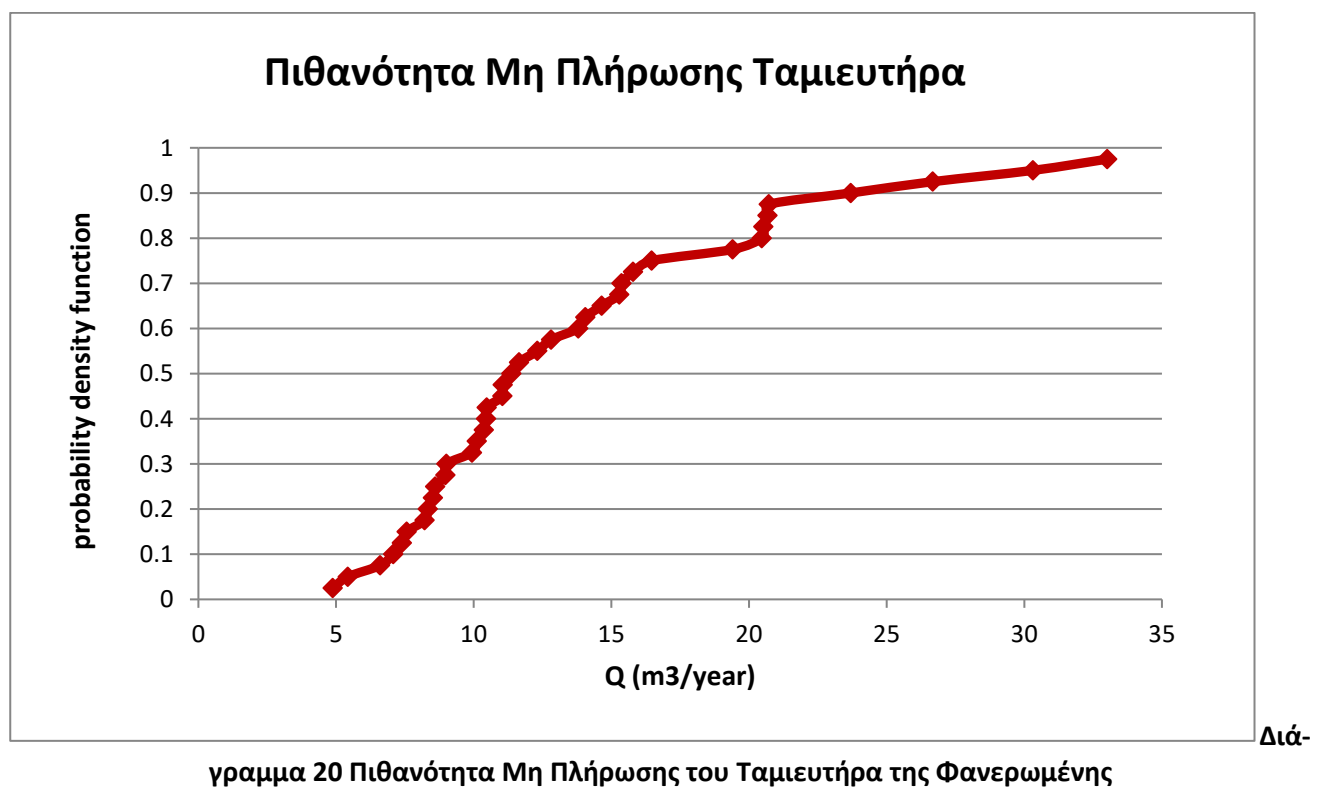
Συνοψίζοντας υπολογίζω ότι η συνολική ποσότητα ύδατος που καταλήγει στην λεκάνη απορροής του Πλατύ και της Φανερωμένης, ανέρχεται στα 340.48 mm/year. Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφονται οι λόγοι του υδατικού ισοζυγίου, όπως διατυπώθηκαν από το μοντέλο. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις τιμές αυτές είναι τα εξής :

- ❖ η ετήσια ποσότητα ύδατος που κατεισδύει στον υπόγειο υδροφορέα καταλαμβάνει μόλις το 1% της συνολικής ποσότητας που κατακραννίζεται
- ❖ η βασική ροή ύδατος αποτελεί ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ροής
- ❖ σε αντίθεση με την επιφανειακή απορροή που καταλαμβάνει μικρότερο ποσοστό (29%)
- ❖ και τέλος από το νερό που κατακραννίζεται περίπου το 60% διηθείται και μόλις το 30% εξατμίζεται

Πίνακας 11 Λόγοι υδρολογικού ισοζυγίου 1972-1996

Water Balance Ratios (1972-1996)	
Streamflow/Precip	0.32
Baseflow/Total Flow	0.71
Surface Runoff/Total Flow	0.29
Percolation/Precipitation	0.61
Deep Recharge/Precipitation	0.01
ET/Precipitation	0.33

Το διάγραμμα 20 που ακολουθεί απεικονίζει την πιθανότητα μη πλήρωσης του ταμιευτήρα της Φανερωμένης. Αρχικά υπολογίζουμε τις ετήσιες παροχές που αφορούν την υπολεκάνη του ταμιευτήρα. Γνωρίζουμε ότι ο μέγιστος όγκος του ταμιευτήρα είναι $19.670.000 \text{ m}^3$. Μελετώντας λοιπόν το διάγραμμα διαπιστώνουμε πως η πιθανότητα να μην γεμίσει ο ταμιευτήρας, με δεδομένες τις ετήσιες παροχές όπως υπολογίστηκαν από το μοντέλο, ανέρχεται περίπου στο 80%. Πρακτικά η συνθήκη αυτή σημαίνει πως ο ταμιευτήρας για κάποια χρόνια θα πρέπει να αποταμιεύει νερό και κατ' επέκταση να μην διατίθεται καθόλου νερό για τις ανάγκες ύδρευσης ή άρδευσης της περιοχής, προκειμένου να γεμίσει. Για παράδειγμα για περίοδο 10 χρόνων λειτουργίας του ταμιευτήρα τα 8 θα χρειαστούν για την πλήρωσή του. Σύμφωνα με το διάγραμμα όσο μικρότερη είναι η ποσότητα απόληψης ύδατος, τόσο ελαχιστοποιούνται και οι πιθανότητες να μην πληρωθεί ο ταμιευτήρας που είναι και απολύτως λογικό. Πιο συγκεκριμένα για να μειωθεί η πιθανότητα μη πλήρωσης του ταμιευτήρα σε ποσοστά μικρότερα του 50%, θα πρέπει και ο όγκος του ταμιευτήρα να ήταν μικρότερος ή ίσος από $11.000.000 \text{ m}^3$.



5. Προσομοίωση ταμιευτήρα

5.1. Στόχοι προσομοίωσης ταμιευτήρα- Παρουσίαση σεναρίων

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί το φράγμα της Φανερωμένης κατασκευάστηκε με σκοπό την συλλογή ύδατος ούτως ώστε να διατίθεται για την άρδευση της πεδιάδας της Μεσσαράς .Η πεδιάδα της Μεσσαράς αποτελεί την μεγαλύτερη σε έκταση πεδιάδα του νησιού και εκεί παράγεται το μεγαλύτερο μέρος των οπωροκηπευτικών του νησιού . Ο όγκος του ταμιευτήρα ανέρχεται στα 19,67 εκατομμύρια κυβικά μέτρα .Η απολήψιμη ποσότητα ανέρχεται περίπου στα 9 εκατομμύρια κυβικά μέτρα το χρόνο .

Με την προσομοίωση λοιπόν του ταμιευτήρα υπολογίζουμε την ποσότητα ύδατος που εισέρχεται στον ταμιευτήρα ανά μήνα και στη συνέχεια υπολογίζουμε κατά πόσον είναι εφικτή η απόληψη τουλάχιστον 9 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων το χρόνο (αρχικό σενάριο) .Αξίζει να σημειωθεί πως το νερό του ταμιευτήρα δεν διατίθεται για την ενίσχυση του υδρευτικού δικτύου των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής αλλά μόνο για άρδευση .

Η προσομοίωση πραγματοποιείται με την βοήθεια του λογισμικού Excel Microsoft Office .Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε απεικονίζονται στην εικόνα 25 και είναι τα εξής :

- ❖ Τεχνικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα όπως όγκος ,εμβαδόν , ποσοστό ύδατος που διατίθεται για άρδευση καθώς και οικολογική παροχή
- ❖ Ορισμένα δεδομένα που μας έδωσε το μοντέλο του Swat ,όπως ποσότητα βροχόπτωσης ,δυναμική εξατμισοδιαπνοή και εισροή ανά μήνα .
- ❖ Ποσοστά άρδευσης ανά μήνα για την υπό μελέτη περιοχή

Με την βοήθεια των παραπάνω δεδομένων και την χρήση ορισμένων αλγορίθμων υπολογίστηκαν τα εξής :

- ❖ Εξερχόμενη παροχή ανά μήνα
- ❖ Όγκος ταμιευτήρα ανά μήνα
- ❖ Μηνιαία ποσότητα άρδευσης που απαιτείται
- ❖ Μηνιαία ποσότητα άρδευσης που παρέχεται
- ❖ Ποσοστό αστοχίας ,κατά πόσον δηλαδή καλύπτονται οι ποσότητες άρδευσης που απαιτούνται με βάση τις ποσότητες άρδευσης που παρέχονται από τον ταμιευτήρα .
- ❖ Ποσότητα νερού αστοχίας μεταξύ του απαιτούμενου για άρδευση με του παρεχόμενου για άρδευση

Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής :

- **1^ο Σενάριο**

Συνολική ποσότητα άρδευσης –ύδρευσης :9.000.000 m³

- **2^ο Σενάριο**

Συνολική ποσότητα άρδευσης –ύδρευσης :12.000.000 m³

- **3^ο Σενάριο**

Συνολική ποσότητα άρδευσης –ύδρευσης :15.000.000 m³

Αξίζει να σημειωθεί ότι όπως αποτυπώνεται και στην παρακάτω εικόνα σαν ετήσια ποσότητα ύδρευσης επιλέχθηκε η τιμή 0.01 m^3 που είναι μία πολύ μικρή τιμή αρκετά κοντά στο μηδέν. Η τιμή αυτή αντικαθιστά το μηδέν και αυτό συμβαίνει διότι, η ποσότητα ύδρευσης χρησιμοποιείται ως παρανομαστής κλάσματος σε ορισμένους υπολογισμούς και είναι απόλυτα αντιληπτό πως πράξεις με μηδενικό παρανομαστή δεν ορίζονται. Εξάλλου η τιμή που επιλέχθηκε είναι μηδαμινή και σε καμία περίπτωση δεν θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ενίσχυση του υδρευτικού δικτύου.

L9		0.01																				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
Date		V	Qin/month	P*A	PET*A	Qout(m)/month	Qirr/final	(%) Failure	deficit	METABALHTES		Qirr/annat	Qeco/m onth	Ζήτηση/Μήνα	Υδρεύση ποσοστό	Αρδύση ποσοστό	FLOW Out/sums	PETmm	PRESmm	PET(m/month)	PREC(m/month)	
1	09/19/70		0	268272	58.389	74.67	0	0		Qeco(m3/s)	Vmax(m3)	524086.2223	25820	0.002677358	0.10526316	0.002677358	0.1035	73.422	57.413	0.0734	0.01	
2	09/19/70	1000000	346594.96	74.131	51.264		0	0		0.01	19670000	298144.8771	26784	0.033212208	0.07894737	0.003321208	0.1294	50.407	72.892	0.0504	0.01	
4	11/19/70	140866.666	436752	66.3	32.234	25920	0	0		Vmin(m3)		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.1685	31.695	65.782	0.0371	0.06	
5	12/19/70	1865940.734	481944.18	37.798	23.888	26784	0	0		1000000		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.1799	23.489	37.466	0.0235	0.01	
6	01/19/71	9060368.814	722096.84	27.018	26.36	26784	0.0007895			A (στρογγυλεμένο επιφανειακό τμήμα)		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.2407	23.557	20.58	0.0256	0.26	
7	02/19/71	10103588.64	227574.144	205	23.97	24492	0.0007895			1017		0.000789474	24182	0.771931E-07	0.07894737	0	0.3403	23.557	20.58	0.0232	0.26	
8	03/19/71	12427770.26	1136444.12	66.362	56.494	26784	0.00052636			I Υδρεύσης(m3/year)		0.00052636	26784	0.00052636	0.05263158	0	0.4047	55.55	68.771	0.0595	0.02	
9	04/19/71	12769569.86	223456.5	27.09	59.972	25920	0.00466.89					334166.894	26784	0.003712695	0.07894737	0.037126955	0.1294	58.97	26.837	0.0595	0.02	
10	05/19/71	11852361.03	373366.96	10306	97.091	26784	0.17924.8	0	0	I Αρδύσης(m3/year)		173124.763	26784	0.13013862	0.07894737	0.13013862	0.1799	94.548	1.8	0.0955	0.0	
11	06/19/71	10226560.53	272160	76706	107.98	25920	1867450.4	0	0	9000000		1867450.395	26784	0.218605959	0.07894737	0.218605959	0.1055	116.17	7.739	0.1062	0.0	
12	07/19/71	8136106.903	196895.94	8.2367	126.92	26784	2270029.2	0	0	I Αποδ. Αναπληρωμένο		1270029.221	26784	0.255225469	0.10526316	0.255225469	0.1293	106.67	8.099	0.1267	0.0	
13	08/19/71	6194500.077	116563.968	0	11.21	26784	2026773.581	0	0	9000000.01		2026773.581	26784	0.225187064	0.10526316	0.225187064	0.04352	110.34	0	0.1103	0	
14	09/19/71	6095001.636	360547.02	56.205	73.703	25920	324096.22	0	0	(%) Δρυσή		324096.2229	26784	0.002677358	0.05263158	0.002677358	0.1591	72.471	53.344	0.0725	0.05	
15	10/19/71	5775867.79	495771.94	57.861	47.63	26784	238144.88	0	0	1.111111E-09		298144.8771	26784	0.033212208	0.07894737	0.033212208	0.1185	45.987	74.691	0.046	0.0	
16	11/19/71	7304189.542	1554163.2	87.676	21.23	25920	0.000789474	0	0	(%) Αρδύση		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.5956	26.67	85.11	0.0267	0.0	
17	12/19/71	7622656.74	645226.56	47.041	20.395	26784	0.0007895	0	0	0.999999999		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.2409	20.054	46.255	0.0201	0.04	
18	01/19/72	8806589.675	910856	41.843	22.525	26784	0.0007895	0	0	Net Season Parameters		0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.34	22.148	80.091	0.0221	0.0	
19	02/19/72	9320434.309	538030.08	36.639	30.144	24182	0.0007895	0	0	Qout	10%	0.000789474	24182	0.771931E-07	0.07894737	0	0.2224	29.64	36.086	0.0296	0.03	
20	03/19/72	1185524.3	2561621.76	93.441	41.212	26784	0.0005263	0	0	Qstorage		0.000526316	26784	0.00526316	0.05263158	0	0.9564	40.523	91.879	0.0405	0.0	
21	04/19/72	11187569.2	292377.6	28.463	74.268	25920	0.00466.89	0	0			334166.894	26784	0.003712695	0.07894737	0.037126955	0.1128	73.027	27.987	0.0732	0.02	
22	05/19/72	10954190.32	372565.44	45.485	81.044	26784	0.17924.8	0	0			173124.763	26784	0.13013862	0.07894737	0.13013862	0.1799	76.889	44.725	0.0797	0.04	
23	06/19/72	9246338.626	296598.34	0	18.7	25920	1867450.4	0	0			1867450.395	25920	0.218605959	0.07894737	0.218605959	0.1021	117.17	0	0.1177	0	
24	07/19/72	8136106.903	196895.94	8.2367	126.92	26784	2270029.2	0	0			1270029.221	26784	0.255225469	0.10526316	0.255225469	0.1293	106.67	8.099	0.1267	0.0	
25	08/19/72	5077303.401	446363.104	0.9853	107.98	26784	2026773.581	0	0			2026773.581	26784	0.225187064	0.10526316	0.225187064	0.04352	110.34	0	0.1103	0	
26	09/19/72	4153461.125	298953.84	4.667	90.36	25920	324096.22	0	0			324096.2229	26784	0.002677358	0.05263158	0.002677358	0.1591	88.85	45.89	0.0899	0.03	
27	10/19/72	4524227.243	683795.52	11.31	42.031	26784	238144.88	0	0			298144.8771	26784	0.033212208	0.07894737	0.033212208	0.1293	45.987	74.691	0.046	0.0	
28	11/19/72	4843924.001	357436.8	13.453	33.494	25920	0.0007895	0	0			0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.1799	32.954	13.228	0.0329	0.0	
29	12/19/72	5202323.608	395153.92	50.793	21.06	26784	0.0007895	0	0			0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.1438	20.054	49.944	0.0208	0.04	
30	01/19/73	5869539.189	302126.52	63.45	23.063	26784	0.0007895	0	0			0.000789474	26784	0.771931E-07	0.07894737	0	0.1128	27.987	160.72	0.0227	0.06	
31	02/19/73	5742404.243	156975.96	18.73	32.646	24182	0.000789474	0	0			0.000789474	24182	0.771931E-07	0.07894737	0	0.4688	32.1	134.45	0.0251	0.01	
32	03/19/73	10004638.68	1809037.44	28.463	47.452	26784	0.0005263	0	0			0.000526316	26784	0.00526316	0.05263158	0	0.956	46.659	27.987	0.0467	0.02	
33	04/19/73	10973256.93	534729.36	51.342	75.914	25920	0.00466.89	0	0			334166.894	26784	0.003712695	0.07894737	0.037126955	0.1293	45.987	74.691	0.046	0.0	
34	05/19/73	1002618.78	252867.74	0	96.131	26784	0.17924.8	0	0			173124.763	26784	0.13013862	0.07894737	0.13013862	0.1799	94.548	1.8	0.0955	0.0	
35	06/19/73	8186103.697	153472.32	0	118	25920	1867450.4	0	0			1867450.395	25920	0.218605959	0.07894737	0.218605959	0.1021	116.03	0	0.116	0	

Εικόνα 25 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο Excel Microsoft office

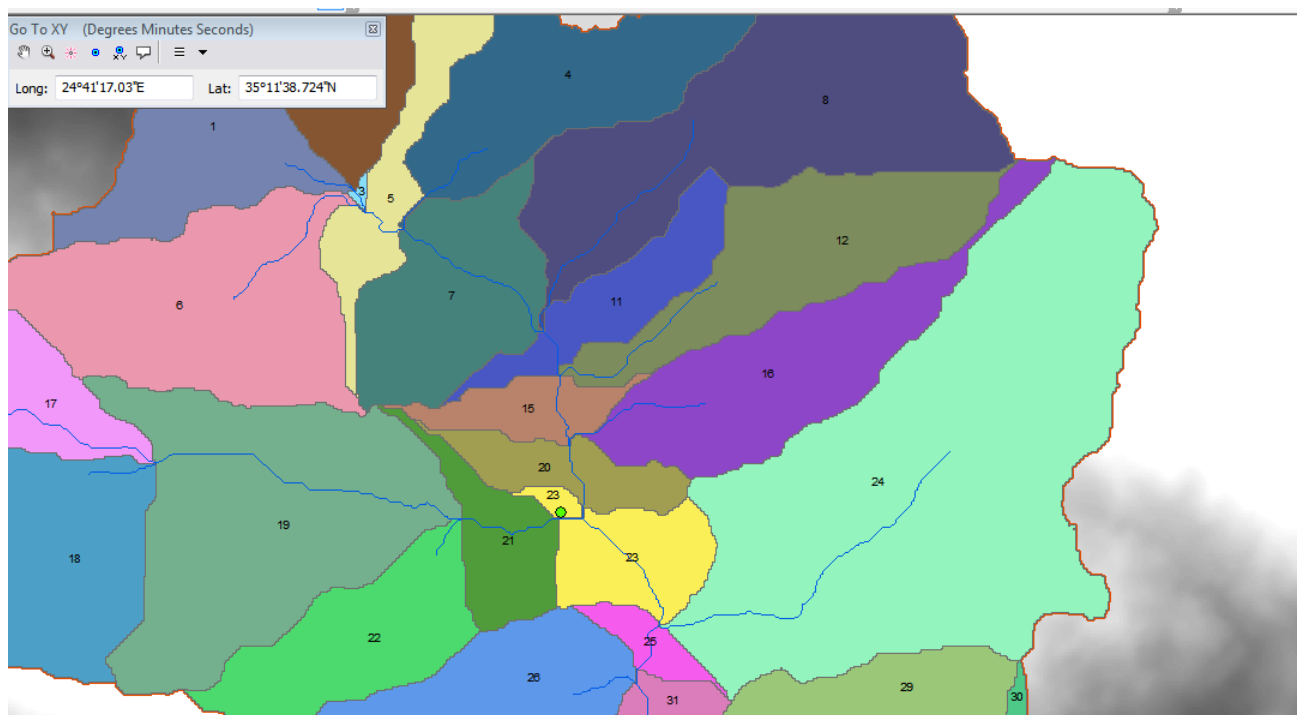
5.2.Εναλλακτικά σενάρια εκτροπής ποταμού Πλατύ

Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο έντονο το φαινόμενο έλλειψης νερού στην λίμνη της Φανερωμένης λόγω ανομβρίας και καιρικών συνθηκών .Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία μάστευσης των απαιτούμενων ποσοτήτων για αρδευτικούς σκοπούς .Όπως προέκυψε και κατά τον υπολογισμό των μέσων ετήσιων παροχών της Φανερωμένης παρατηρούμε ,ότι για αρκετές χρονιές η μέση ετήσια παροχή δεν καταφέρνει να ξεπεράσει τα 9 εκατομμύρια κυβικά ,ελλοχεύοντας πολλούς κινδύνους για την αγροτική ζωή της περιοχής .

Εδώ και αρκετά χρόνια έχει προταθεί η εκτροπή ποσότητας νερού από τον εγγύ ποταμό Πλατύ, προκειμένου να γεμίζει το φράγμα της Φανερωμένης . Ο Πλατύς Ποταμός κατεβάζει κατά μέσο όρο 50-55 εκατομμύρια κυβικά νερό τον χρόνο ,κάποιες χρονιές μάλιστα ξεπερνά ακόμη και τα 100 εκατομμύρια. Το νερό του ποταμού περνά από τον σταθμό Αγία Γαλήνη και εκβάλλει στην θάλασσα χωρίς να εκμεταλλεύεται για την κάλυψη των αναγκών του νησιού .Η κατασκευή του έργου εκτροπής του ποταμού αποσκοπεί στη μεταφορά, με αγωγό που λειτουργεί με βαρύτητα, του πλεονάζοντος μέσου ετήσιου όγκου νερού στη δυτική περιοχή της μεγάλης πεδιάδας της Μεσσαράς για την ενίσχυση του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου της, με συμπληρωματική πλήρωση του ταμιευτήρα της Φανερωμένης. Το έργο στοχεύει επίσης :

- ❖ στον τεχνητό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα της πεδιάδας της Μεσσαράς ,που είναι εφικτός εφόσον ο ταμιευτήρας της Φανερωμένης είναι γεμάτος .
- ❖ στην έμμεση αύξηση της δυνατότητας άρδευσης των γεωργικών εκτάσεων στην περιοχή της Μεσσαράς με την προϋπόθεση ότι δεν δημιουργείται πρόβλημα στον υδροφόρο ορίζοντα της πεδιάδας.

Σε ότι αφορά την θέση εκτροπής που επιλέχθηκε ,είναι ο σταθμός Αύλακας (Ο.Α.ΔΥ.Κ. «Αξιοποίηση Υδατικού Δυναμικού Υδρολογικής Λεκάνης Ποταμού Πλατύ Ά Φάση»).Ένας από τους λόγους που δεν επιλέχθηκε η θέση του σταθμού Αγίας Γαλήνης είναι ότι βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα σε σχέση με τον Αύλακα και σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί για τις δύο αυτές περιοχές ,κατά τους μήνες Οκτώβριο Ιούνιο και Ιούλιο παρατηρούμε ότι στο σταθμό «Αύλακας» καταγράφεται απορροή κατά τους μήνες αυτούς ενώ στο σταθμό «Αγία Γαλήνη» η απορροή είναι μηδενική .Αυτό συμβαίνει διότι κατάντη της θέσης «Αύλακας» υπάρχουν περατοί σχηματισμοί με αποτέλεσμα κατάντη της θέσης αυτής η χαμηλή απορροή να κατεισδύει ολόκληρη και να μην καταγράφεται επιφανειακά στο σταθμό «Αγία Γαλήνη» .Η τοποθεσία του Αύλακα όπως εκτιμήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26 Εκτίμηση θέσης Αύλακα και εντοπισμός υπολεκάνης στην οποία βρίσκεται στο SWAT

Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής :

1° Σενάριο Εκτροπής

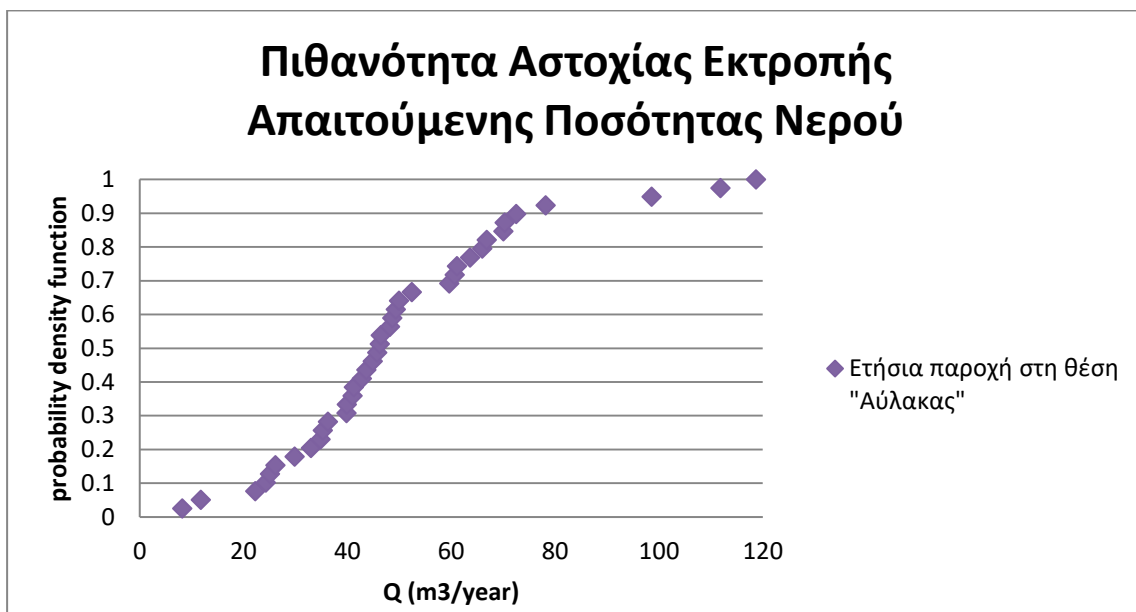
Συνολική ποσότητα που εκτρέπεται τον χρόνο: 15.000.000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης –ύδρευσης :20.000.000 m³

2° Σενάριο Εκτροπής

Συνολική ποσότητα που εκτρέπεται τον χρόνο: 18.000.000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης –ύδρευσης :20.000.000 m³



Διάγραμμα 21 Πιθανότητα αστοχίας απαιτούμενης ποσότητας από ποταμό Πλατύ

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα 21, οι πιθανότητες να υπάρξει αστοχία στην εκτροπή των απαιτούμενων ποσοτήτων, είναι μικρότερη του 10%. Πιο συγκεκριμένα η πιθανότητα να μην εκτραπούν 20 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως, υπολογίζεται περίπου στο 7%. Πρακτικά η συνθήκη αυτή μας εξασφαλίζει πως το σενάριο εκτροπής έχει υπόσταση, και ότι υπάρχει η δυνατότητα ο ποταμός Πλατύς να συνεισφέρει την ζητούμενη ποσότητα με σκοπό την πλήρωση του φράγματος της Φανερωμένης. Πληροφορία αρκετά σημαντική για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των σεναρίων εκτροπής.

5.3.Μηνιαίο ισοζύγιο

Το βασικό ισοζύγιο που χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση του φράγματος της Φανερωμένης υπολογίζεται ως εξής :

$$V_i = V_{i+1} + Qin_i + P \cdot A - PET \cdot A - Qout - Qirr_{final}$$

Όπου,

V_i, V_{i+1} : ο αποθηκευμένος όγκος νερού στον ταμιευτήρα τους μήνες i και $i-1$ αντίστοιχα (m^3)

*ισχύει ότι $V_{min} < V_i < V_{max}$

Qin_i : η εισροή στον ταμιευτήρα τον μήνα i , (m^3)

A : η επιφάνεια του φράγματος, (m^2)

P : η ποσότητα βροχόπτωσης τον μήνα i , (m)

PET : η δυνητική εξατμισοδιαπνοή τον μήνα i , (m)

$Qout$: η υπερχειλίση ή οικολογική παροχή του μήνα i , (m^3)

$Qirr_{final}$: η τελική ποσότητα νερού που παρέχεται για ύδρευση και άρδευση τον μήνα i , (m^3)

5.4.Παράμετροι ισοζυγίου

Όγκος φράγματος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή επιλογή του όγκου ενός φράγματος ,είναι η γνώση των υδρολογικών συνθηκών της υπό μελέτη περιοχής .Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών (εξατμηση, βροχόπτωση ,παροχή κ.λ.π.), προκύπτει η βέλτιστη διαστασιολόγηση του όγκου φράγματος και των συναφών του υδραυλικών χαρακτηριστικών, όπως του ύψους στέψης και μήκους υπερχειλίσσης .Ιδιαίτερα σημαντική για τον καθορισμό του όγκου είναι η μορφολογία της περιοχής σε συνδυασμό με τα τοπογραφικά και γεωλογικά δεδομένα της, ούτως ώστε ο βαθμός στον οποίο θα εξυπηρετούνται οι ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης να είναι ο προσδοκώμενος και η πιθανή αστοχία η ελάχιστη δυνατή.(ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών Ο.Α.ΔΥ.Κ., Μάρτιος 1992).

Εισερχόμενη Παροχή

Η παροχή Q_{min} που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του ισοζυγίου ,αφορά την παροχή νερού που εισέρχεται κάθε μήνα στον ταμιευτήρα και υπολογίζεται από τα δεδομένα που προέκυψαν από την προσομοίωση του SWAT .

Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

Εξάτμηση είναι το φαινόμενο κατά το ποίο ένα σώμα μετατρέπεται από την υγρή στην αέρια φάση χωρίς βρασμό . Διαπνοή ονομάζεται η διεργασία κατά την οποία τα φυτά προσλαμβάνουν νερό για την ανάπτυξη και τον μεταβολισμό τους, και στη συνέχεια το απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα σε αέρια μορφή, διά των φυλλωμάτων τους. Τέλος, ως δυνητική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο φυσικό περιβάλλον και εμπεριέχει και τις δυο παραπάνω διεργασίες καθώς είναι εξαιρετικά δύσκολο να διαχωριστεί με ποιον τρόπο έχουν παραχθεί υδρατμοί στην ατμόσφαιρα (Ε.Μπαλτάς, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ) Συγκεκριμένα ο όρος «δυνητική» περιγράφει τις συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού. Οι τιμές της παραμέτρου αυτής, δίνονται ως έξοδος του λογισμικού του SWAT σε χιλιοστά και πολλαπλασιάζονται με την μέγιστη επιφάνεια του ταμιευτήρα.

Κατακρήμνιση-Θερμοκρασία

Οι παράμετρος της κατακρήμνισης καθώς επίσης και της θερμοκρασίας ανά ημέρα και ανά μήνα, έχουν μετρηθεί από τους μετεωρολογικούς και βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής που μελετάμε .Τα μηνιαία δεδομένα θερμοκρασίας προέρχονται από τους σταθμούς «Ζαρός» και «Μοίρες» ,ενώ τα ημερήσια δεδο-

μένα βροχόπτωσης καταγράφηκαν από τους σταθμούς «Λαγολιό» , «Γερακάρι» , «Αγία Γαλήνη» , «Ζαρός» , «Μελάμπες» , «Βυζάρι» και «Βορίζια» .

Οικολογική παροχή

Η ποσότητα ροής ύδατος που διατίθεται για την αποκατάσταση και την συντήρηση διεργασιών που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα , προς όφελος της διατήρησης των υδρόβιων οικοσυστημάτων ονομάζεται οικολογική παροχή (Γεωργαλάς Σ ,Μαμάσης Ν) . Η οικολογική παροχή έχει ως σκοπό να συντηρήσει, να προστατέψει και να αποκαταστήσει τις βιολογικές, γεωμορφολογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα, οι οποίες διαμορφώνουν και διατηρούν τα υδρόβια οικοσυστήματα. (Suen 2011)

5.5.Λεπτομερής περιγραφή σεναρίων

Το μοντέλο του φράγματος Φανερωμένης και του ποταμού Πλατύ που έχει ήδη βαθμονομηθεί στο SWAT ,υπόκειται σε περαιτέρω διερεύνηση σχετικά με την επίδραση που έχουν τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης ,στο υδρολογικό καθεστώς της περιοχής μελέτης .

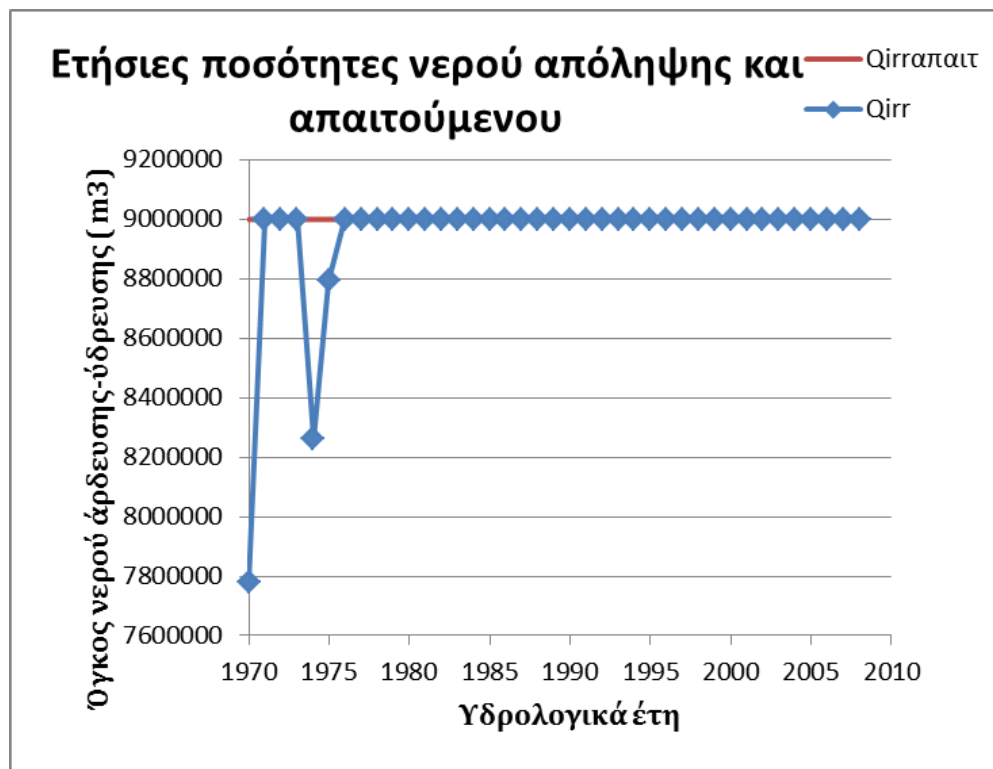
Σε όλα τα σενάρια που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τα υδρολογικά έτη 1970-2009 . Σκοπός της ενότητας αυτής αποτελεί η ανάπτυξη τριών σεναρίων που αφορούν την αξιολόγηση της λειτουργίας του φράγματος της Φανερωμένης και δύο σενάρια εκτροπής μέρος του ύδατος του ποταμού Πλατύ με στόχο την πλήρωση του ταμιευτήρα της Φανερωμένης .Λεπτομέρειες για τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόστηκαν τα σενάρια, παρατίθενται στις επόμενες υποενότητες .

5.5.1. Σενάριο άρδευσης 1

Στόχος αυτού του σεναρίου αποτελεί η σταθερή απόδοση 9.000.000 m³ νερού ετησίως , τα οποία θα διατίθενται για τις ανάγκες άρδευσης της πεδιάδας της Μεσσαράς .Με την χρήση του ισοζυγίου που παρουσιάστηκε πιο πάνω υπολογίστηκαν οι ετήσιες ποσότητες απολήψιμου και απαιτούμενου νερού .Οι ποσότητες νερού απόληψης προέκυψαν από τα δεδομένα της εισερχόμενης παροχής ,της βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής όπως αυτά προέκυψαν από το λογισμικό του SWAT .Όλα τα δεδομένα αντιστοιχούν σε μηνιαίο βήμα .Οι ετήσιες ποσότητες απαιτούμενου νερού υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις συνολικές απαιτήσεις του φράγματος και τις μηνιαίες ανάγκες της περιοχής για ύδρευση-άρδευση (ποσοστά ζήτησης) .Όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα 21 που ακολουθεί η ποσότητα ύδατος απόληψης του σεναρίου αυτού , ανταποκρίνεται με επιτυχία στις απαιτήσεις άρδευσης .Παρατηρούμε ότι το σενάριο κρίνεται ελλειμματικό τον πρώτο χρόνο ,το οποίο είναι απολύτως λογικό αν σκεφτεί κανείς πως χρειάζεται κάποιος

χρόνος για να πληρωθεί ο ταμειευτήρας ,αλλά και τα έτη 1974 και 1975 .Τα υπόλοιπα έτη δεν παρουσιάζουν έλλειμμα και το σενάριο έχει επιτυχή κατάληξη .Η αστοχία του σεναρίου υπολογίζεται μόλις στο 0,63% δεδομένου ότι από τους 472 μήνες στους οποίους γίνεται υπολογισμός του όγκου του νερού μόλις 3 μήνες δεν καταφέρνουν να δώσουν την απαιτούμενη ποσότητα .Βάσει ετήσιας αστοχίας παρατηρούμε ότι 3 από τα 39 χρόνια η απολήψιμη ποσότητα δεν ανταποκρίνεται στην ζητούμενη και έτσι η ετήσια αστοχία υπολογίζεται στο 7,69% .

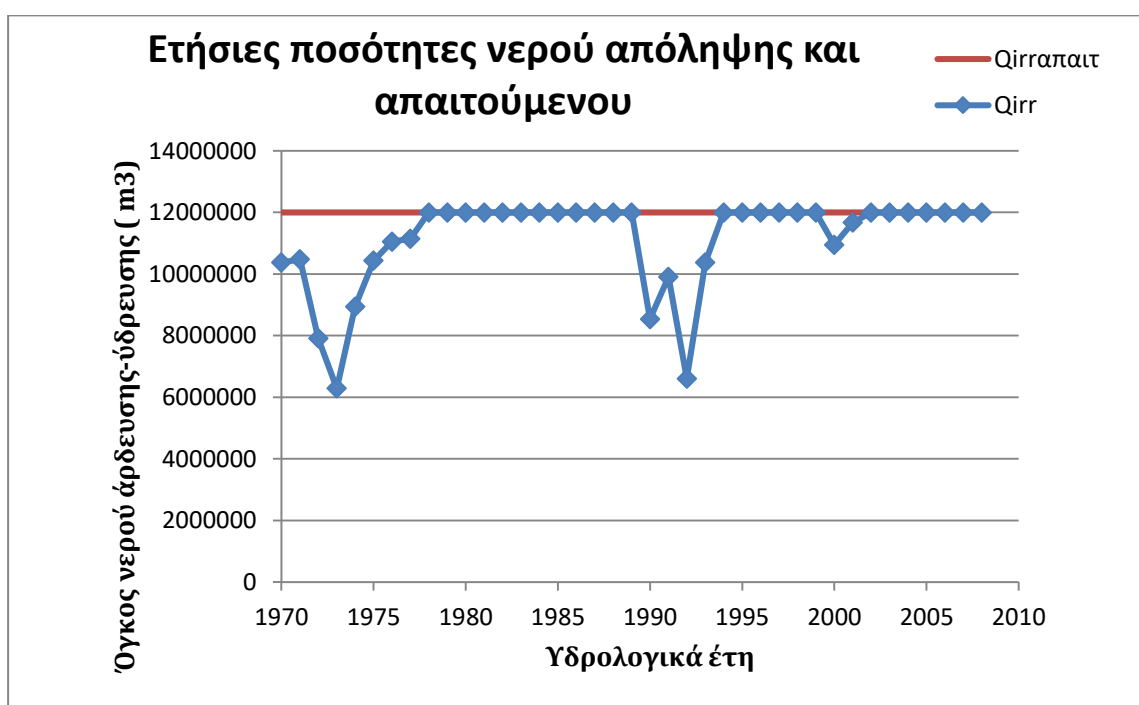
Ωστόσο παρά την καλή απόδοση του σεναρίου αξίζει να σημειώσουμε ότι η ποσότητα των εννέα εκατομμυρίων κυβικών μέτρων δεν αποτελεί ικανοποιητική απόδοση για το υπό μελέτη φράγμα ο όγκος του οποίου ανέρχεται στα 19.67 εκατομμύρια κυβικά μέτρα .



Διάγραμμα 22 Απεικόνιση ελλείμματος σεναρίου 1

5.5.2.Σενάριο άρδευσης 2

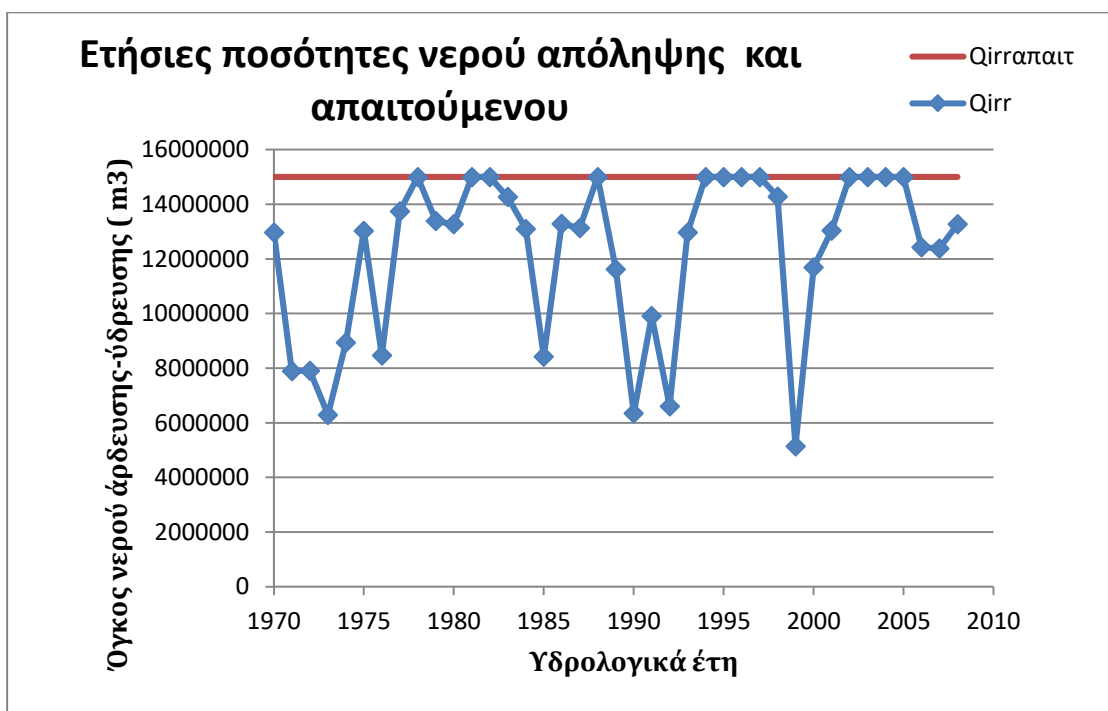
Στο σενάριο αυτό τέθηκε ως στόχος η σταθερή απόδοση 12.000.000 m³ νερού ετησίως ,τα οποία θα διατίθενται και πάλι για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης της ευρύτερης περιοχής .Η καλή απόδοση του πρώτου σεναρίου μας οδήγησε στο να θέσουμε ένα υψηλότερο στόχο απόληψης μεγαλύτερης ποσότητας ύδατος .Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με το προηγούμενο σενάριο και υπολογίστηκαν οι ίδιες παράμετροι με την χρήση του προγράμματος Microsoft Excel .Το σενάριο αυτό παρουσιάζει περισσότερες ελλείψεις οι οποίες αποτυπώνονται στο διάγραμμα 22 που ακολουθεί .Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται τα έτη 1970-1977 η ποσότητα του νερού απόληψης δεν κατάφερε να φτάσει τις ποσότητες ύδατος που απαιτεί το σενάριο .Το ίδιο συνέβη τα έτη 1990-1993 και 2000-2001 .Το σενάριο κρίνεται εύστοχο σε μεγάλο βαθμό ,εφόσον ο στόχος εκπληρώνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό των μηνών ,όχι όμως στο βέλτιστο .Η αστοχία του σεναρίου υπολογίζεται ως ένα ποσοστό της τάξης του 35% δεδομένου ότι 14 από τα 39 έτη η απολήψιμη ποσότητα δεν καλύπτει τις απαιτήσεις .Η ποσότητα των 12 εκατομμυρίων κυβικών εξακολουθεί να μην είναι επαρκής σκεπτόμενοι τον όγκο του ταμιευτήρα.



Διάγραμμα 23 Απεικόνιση ελλείμματος σεναρίου 2

5.5.3.Σενάριο άρδευσης 3

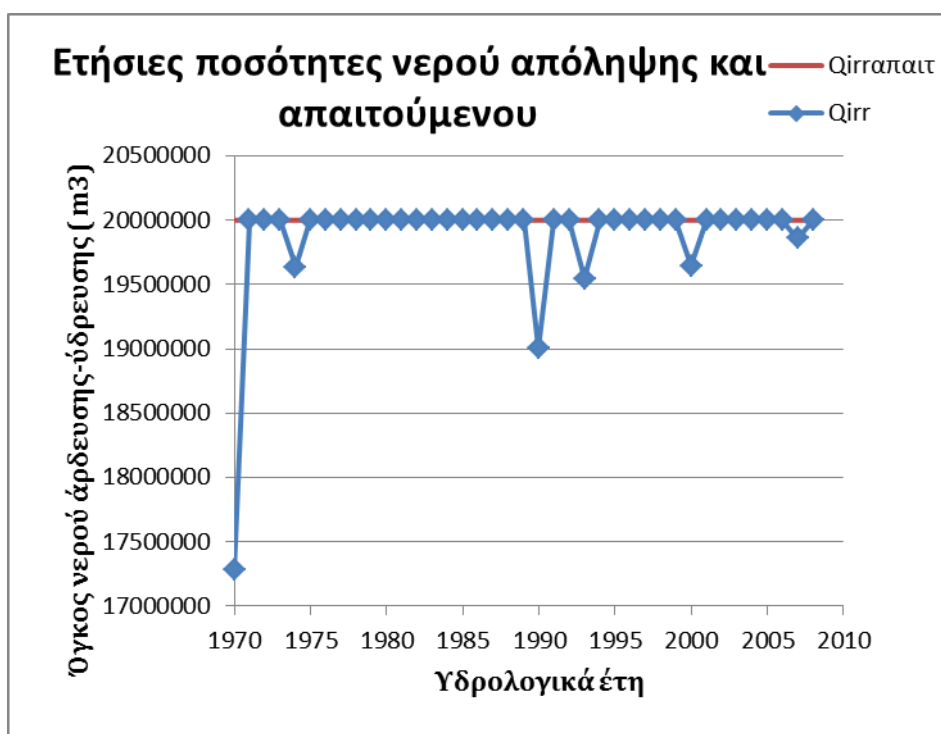
Το παρόν σενάριο αναφέρεται σε σταθερή απόδοση 15.000.000 m³ νερού ετησίως .Η ποσότητα αυτή είναι πιο ρεαλιστική συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος και πιο συγκεκριμένα τον όγκο του που ανέρχεται στα 19.670.000 m³.Ωστόσο η απόδοση του σεναρίου δεν κρίνεται ιδιαίτερα αποδοτική .Τα περισσότερα έτη η απολήψιμη ποσότητα δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των 15 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων .Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει και στο διάγραμμα 23 που ακολουθεί η αστοχία του σεναρίου είναι μεγάλη ,αφού από τα 39 χρόνια υπολογισμού μόλις τα 12 ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του σεναρίου .Οι ελλείψεις που παρουσιάζονται στο σενάριο αυτό μας εμποδίζει να θέσουμε υψηλότερους στόχους της τάξης των 18 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων και θέτει καίρια ερωτήματα σχετικά με την σωστή και αποδοτική λειτουργία του φράγματος της Φανερωμένης .



Διάγραμμα 24 Απεικόνιση ελλείμματος σεναρίου 3

5.5.4.Σενάριο εκτροπής 1

Στην προσπάθεια επίλυσης των ελλείψεων που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω σενάρια θα αναπτύξουμε τα σενάρια εκτροπής του ποταμού Πλατύ .Στο σενάριο αυτό λοιπόν αξιοποιείται η ιδέα της δημιουργίας ενός φράγματος εκτροπής στον Πλατύ ,τα νερά του οποίου θα συμβάλουν στην πλήρωση του φράγματος της Φανερωμένης .Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο παρόν σενάριο είναι ίδια με τις προηγούμενες και διαφοροποιείται μόνο στον υπολογισμό της παροχής που εισέρχεται στον ταμιευτήρα .Επιλέχθηκε πως η μηνιαία εισερχόμενη παροχή θα ισούται με το άθροισμα της Φανερωμένης και το 20% της παροχής του Πλατύ όπως καταγράφεται στη θέση Αύλακα ,με την προϋπόθεση ότι η συνολική ετήσια ποσότητα που εκτρέπεται θα ανέρχεται στα 15.000.000 m³ .Με άλλα λόγια, εφόσον η ποσότητα ύδατος που εκτρέπεται στην διάρκεια ενός έτους φτάσει τα 15 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ,η εισερχόμενη παροχή θα ταυτίζεται με την παροχή της Φανερωμένης .Δεδομένου ότι η εκτροπή αυτή αποτελεί δαπανηρό και σημαντικό έργο ,θέσαμε υψηλούς στόχους και επιλέξαμε σαν ετήσια σταθερή απόδοση του ταμιευτήρα τα 20.000.000 m³ ύδατος. Όπως διακρίνει κανείς από το διάγραμμα 24 που ακολουθεί ,η αστοχία του σεναρίου είναι μικρή καθώς μόλις 6 από τα 39 χρόνια δεν εκπληρώνεται ο αρχικός στόχος τον 20 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων .Η αστοχία του σεναρίου αυτού εκφράζεται ως ένα ποσοστό της τάξης του 15.38% ,ποσοστό αρκετά ευνοϊκό ώστε να χαρακτηρίσουμε το σενάριο ικανοποιητικό .



Διάγραμμα 25 Απεικόνιση ελλείμματος σεναρίου εκτροπής 1

5.5.5.Σενάριο εκτροπής 2

Οι λιγοστές αστοχίες του προηγούμενου σεναρίου μας οδήγησαν στην αύξηση της ποσότητας του νερού που εκτρέπεται από τον ποταμό Πλατύ με απώτερο στόχο την εξάλειψή τους και κατ' επέκταση την βέλτιστη απόδοση του ταμιευτήρα. Σ' αυτό το σενάριο η ετήσια απόδοση παρέμεινε στα 20 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ετησίως, ωστόσο η ποσότητα που εκτρέπεται από τον ποταμό Πλατύ αυξήθηκε στα 18.000.000 m³. Οι παράμετροι υπολογίστηκαν με τον τρόπο που περιγράψαμε στο προηγούμενο σενάριο. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 25 οι ετήσιες ποσότητες απόληψης νερού παρουσιάζουν μικρή διαφορά από τις ποσότητες που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο σενάριο εκτροπής και ως εκ τούτου, τα ελλείμματα παρουσιάζουν μία μικρή βελτίωση. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η απόδοση του σεναρίου εκτροπής παραμένει αρκετά ικανοποιητική με το ποσοστό αστοχίας να κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με το προηγούμενο σενάριο. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως η εκτροπή του Πλατύ, κάτω από τις προαναφερθέντες συνθήκες, θα μπορούσε να συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην εκμετάλλευση τόσο μεγάλων ποσοτήτων για άρδευση, της τάξης των 20 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων ετησίως. Φυσικά ένας αξιοσημείωτος παράγοντας που μένει να ερευνηθεί για την υλοποίηση του σεναρίου είναι ο οικονομικός παράγοντας, καθώς επίσης και η διακύμανση που πιθανότητα θα παρουσιάζει η απόδοση του σεναρίου σε βάθος χρόνου.



Διάγραμμα 26 Απεικόνιση ελλείμματος σεναρίου εκτροπής 2

6. Συμπεράσματα

- ❖ Το μοντέλο που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcSWAT, προσομοιώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την υδρολογία των λεκανών απορροής Πλατύ και Φανερωμένης . Όπως προέκυψε και κατά τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών το λογισμικό καταφέρνει και προσομοιώνει σε μεγάλο βαθμό τις παρατηρούμενες τιμές βασικής παροχής ,ενώ μικρές αποκλίσεις παρουσιάζονται σε ορισμένες «ακραίες» τιμές που έχουν καταγραφεί .Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι ακραίες αυτές τιμές μπορεί να οφείλονται είτε σε έντονα καιρικά φαινόμενα ,είτε σε λάθη κατά την καταγραφή των παρατηρούμενων παροχών .Είναι λοιπόν συνετό να τονιστεί πως η συνεχής και συστηματική παρακολούθηση ,καθώς και η ορθή καταχώριση των παρατηρούμενων τιμών διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην μοντελοποίηση και κατ'επέκταση στην εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων .
- ❖ Για τα έτη 1970-2009 και σύμφωνα με τα δεδομένα του μοντέλου ,η μέση ετήσια απορροή για την Φανερωμένη ανέρχεται στα 23.7 εκατομμύρια κυβικά μέτρα .Η ελάχιστη ετήσια απορροή που παρουσιάζει φτάνει στα 4.7 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ενώ η μέγιστη αγγίζει τα 33.8 .Η τυπική απόκλιση διασποράς των τιμών σε σχέση με τον μέσο όρο που αναφέραμε ,υπολογίζεται στα 6.3 Mm^3/year .
- ❖ Από το υδρολογικό ισοζύγιο για τα έτη 1972-1996 λάβαμε τις εξής πληροφορίες : μέση τιμή βροχόπτωσης τα 1183.6 mm/year , εξατμισοδιαπνοής 4384.9 mm/year, επιστροφή νερού στην ακόρεστη ζώνη 310.46 mm/year νερό που διήθεται 721.82 mm/year .
- ❖ Για το φράγμα της Φανερωμένης παρουσιάστηκαν τρία διαχειριστικά σενάρια, με στόχο την απόληψη 9 ,12 και 15 εκ. m^3 ετησίως. Τα δύο πρώτα σενάρια των 9 και 12 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων ετησίως παρουσίασαν σχετικά μικρά ελλείμματα ,με αποτέλεσμα η απόδοση λειτουργίας του φράγματος να κρίνεται αποτελεσματική. Ωστόσο στο τρίτο διαχειριστικό σενάριο ,όπου τέθηκε ως στόχος η ετήσια απόληψη των 15 εκ. m^3 ετησίως , η απόδοση του δεν κατάφερε να φτάσει τα επιδιωκόμενα επίπεδα και τίθενται λοιπόν καίρια ερωτήματα σχετικά με την σωστή και αποδοτική λειτουργία του φράγματος της Φανερωμένης στα πλαίσια της απαίτησης μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού για άρδευση .
- ❖ Τα επόμενα δύο σενάρια που σχεδιάστηκαν αφορούν την εκτροπή του ποταμού Πλατύ στη θέση Αύλακα ,με στόχο την καλύτερη πλήρωση του ταμιευτήρα της Φανερωμένης .Δεδομένων των τεχνικών χαρακτηριστικών του φράγματος της Φανερωμένης και κυρίως του όγκου του που ανέρχεται στα 19.67 Mm^3 ,είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς πως οι στόχοι των προηγούμενων σεναρίων δεν καταφέρνουν να ανταπεξέλθουν στις προσδοκίες κατασκευής του .Εκτρέποντας λοιπόν 15 και 18

Mm³/year από τον ποταμό Πλατύ αυξάνουμε την απαιτούμενη ποσότητα άρδευσης του σεναρίου στα 20 Mm³/year και μελετάμε τα αποτελέσματα .Τα σενάρια εκτροπής παρουσίασαν πολύ καλή απόδοση .

- ❖ Συμπερασματικά την μικρότερη αστοχία άρα και την καλύτερη απόδοση , την εντοπίζουμε στο πρώτο σενάριο σταθερής απόδοσης 9 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων το χρόνο.Επιπροσθέτως αξίζει να σημειωθεί πως και τα σενάρια εκτροπής παρουσίασαν σημαντική ανταπόκριση στους στόχους που τέθηκαν .
- ❖ Όπως παρατηρήθηκε σε γενικά πλαίσια , το φράγμα ανταποκρίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό μέχρι και τους καλοκαιρινούς μήνες. Μετά το πέρας του καλοκαιριού όπως είναι αναμενόμενο υπάρχει αύξηση της ζήτησης ενώ ταυτόχρονα οι εισροές μειώνονται λόγω των ελάχιστων βροχοπτώσεων του καλοκαιριού .Κρίνεται επομένως απολύτως λογικό το γεγονός ότι οι περισσότερες αστοχίες παρουσιάζονται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες .
- ❖ Είναι εξαιρετικά σημαντικό, να ληφθούν υπ' όψιν τα οικονομικά κριτήρια για το εκάστοτε υποψήφιο υδραυλικό έργο, ώστε να διερευνηθεί αν η κατασκευή του αποβεί ωφέλιμη ή όχι. Ένα μεγάλο έργο ,όπως αυτό που προβλέπεται για την εκτροπή του Πλατύ ,σίγουρα κρίνεται δαπανηρό ,ωστόσο ο χρόνος ζωής του θεωρητικά είναι μεγαλύτερος από ένα μικρότερο έργο εκτροπής μικρότερης ποσότητας ύδατος .
- ❖ Σε κάθε περίπτωση πρέπει να σχεδιάζονται διαχειριστικά σενάρια και να μελετάμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν, ούτως ώστε να διερευνούμε την απόδοση που θα μας δώσει η κατασκευή του εκάστοτε υδραυλικού έργου .Ωστόσο είναι ανάγκη να σημειωθεί πως σε τέτοιου τύπου διαχειριστικά σενάρια θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται προβλέψεις κλιματικών αλλαγών για την περιοχή κατασκευής του έργου. Στην περίπτωση εκτροπής του Πλατύ θα πρέπει να συνυπολογίσουμε την αύξηση της θερμοκρασίας και την πιθανή μείωση των βροχοπτώσεων ,όπως έχουν προβλεφθεί .Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε μία πιο αντιπροσωπευτική εικόνα σχετικά με την απόδοση του ταμιευτήρα στο μέλλον και κατά πόσο θα μπορούσε να συνεισφέρει ένα υδραυλικό έργο εκτροπής .

Η έλλειψη νερού και η μη αποδοτική διαχείριση των υπαρχόντων ποσοτήτων, είναι ένα ζήτημα που βασανίζει την τοπική κοινότητα της Μεσσαράς και κυρίως τους αγρότες της περιοχής . Στόχος είναι η εξεύρεση λύσεων για τη διατήρηση και αναβάθμιση της λίμνης της Φανερωμένης αλλά και η προστασία του βιοτόπου που έχει δημιουργηθεί. Μην ξεχνάμε ότι όπως ήδη έχουμε αναφέρει η άρδευση της μεγαλύτερης ποσότητας οπωροκηπευτικών του νησιού βασίζονται στη σωστή κι αποδοτική λειτουργία του φράγματος της

Φανερωμένης .Αναγκαία λοιπόν κρίνεται η κατά το δυνατόν πλήρωση του ταμιευτήρα και η μάστευση της απαιτούμενης ποσότητας νερού. Η αναβάθμιση παράλληλα των γεωργικών μεθόδων, και η επιλογή λιγότερο υδροβόρων καλλιεργειών , με στόχο την μείωση των εποχιακών διαφορών στη ζήτηση νερού θα μπορούσαν να συνεισφέρουν σημαντικά στην εξομάλυνση του προβλήματος .Άλλες σημαντικές λύσεις αποτελούν η διαχείριση των υδατικών πόρων με το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα και η εξέταση λειτουργίας του συστήματος των έργων υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

7.Βιβλιογραφία

7.1 Διεθνής βιβλιογραφία

1. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment: Part I: Model development. J. American Water Resources Assoc. 34 (1), 73-89.
2. Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, E.J., (1980). ANSWERS-a model for watershed planning. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 23,938-944
3. Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle Jr., J.L., Jobes, T.H., Donigan Jr., A.S., 2001. User's Manual for Hydrological Simulation Program-FORTRAN, HSPF, Version 12. User's manual. AQUA TERRA Consultants, Mountain View, California, USA, 873 pp.
4. Boyle, D. P., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models,: Combining the strengths of manual and automatic methods. Water Resources Research, 36(12), 3663–3674
- Bobba, A.G., Lam, D.C.L., 1990. Hydrological modeling of acidified Canadian watersheds. Ecological Modelling 50, 5-32.
5. Brohan, P., Kennedy, J. J., Harris, I., Tett, S. F. B., & Jones, P. D. (2006). Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes,: A new data set from 1850. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 111(12), 1–21
6. Chandler, R., & Wheeler, H. (2002). Analysis of rainfall variability using generalized linear models,: A case study from the west of Ireland. Water Resources Research, 38(10), 674–689.
7. Chen, C.W., Gherini, S.A., Dean, J.D., Hudson, R.J.M., Goldstein, R.A., 1984. Hydrologic analysis of acid and alkaline lakes. Water Resour. Res. 20, 1875-1882.
8. Chong – yu, X., (2002). Hydrologic Models, Uppsala University, Sweden.
9. Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from 1948 to 2004. Journal of Climate, 22(10), 2773–2792.
10. Demetriou, C., Punthakey, J.F., 1998. Evaluating sustainable groundwater management options using the MIKE-SHE integrated hydrogeological modelling package. Environmental Modelling & Software 14, (2-3), 129-140.
11. Engel, B., Storm, D., White, M., Arnold, J., Arabi, M., 2007. A Hydrologic / Water Quality Model Application Protocol. Journal of the American Water Resources Association 43 (5), 1223-1236.
12. Fantechi, R., Peter, D., Balabanis, P., Rubio, J.L., 1995. Desertification in a European context: Physical and socio-economic aspects, Final Report EUR 15415 EN 635 pp., European Commission, Brussels.

13. Friedman, R., Ansell, C.S., Diamond, S., Haimes, Y.Y., 1984. The use of models for water resources management, planning and policy. *Water Resour. Res.* 20, 793-802.
14. Gassman, P.W., Reyes, M., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007a. SWAT peer-reviewed literature: a review. *Proceedings. Third International SWAT Conference, 13-15 July 2005, Zurich, Switzerland*
Golden Software Inc., (1989). *Surfer Version 4 Reference Manual*,: Golden Software Inc., Golden, Colorado
15. Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007b. The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASAE* 50 (4), 1211–1250.
16. Golden Software Inc., 1989. *Surfer Version 4 Reference Manual*: Golden Software Inc., Golden, Colorado, 534 p.
17. Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G., & Tsanis, I. K. (2011). Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*, 409(1–2)
18. Gupta, H.V., Sorooshian, S., Yapo, P.O., 1999. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering* 4 (2), 135-143
19. . Johanson, R.C., Imhoff, J.C., Davis, H.H., 1980. *Users' Manual for the Hydrologic Simulation Program-Fortran (HSPF) version No. 5.0*, EPA-600/9-80-105, US EPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
20. Krause, P., & Boyle, D. P. (2005). Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances In Geosciences*, 5(89), 89–97.
21. Kundzewicz, Z.W., M. Parry, W. Cramer, J.I. Holten, Z. Kaczmarek, P. Martens, R.J. Nicholls, M. Oquist, M.D.A Rounsevell and J. Szolgay, 2001: Europe. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds.,Cambridge University Press, Cambridge, 641-692
22. Lam, D.C.L., Bobba, A.G., Jeffries, D.S., Craig, D., 1988. Modeling stream chemistry for the Turkey Lakes watershed: comparison with 1981-1984 data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 72-80.
23. Lambert, F. H., Stott, P. A., Allen, M. R., & Palmer, M. A. (2004). Detection and attribution of changes in 20th century land precipitation. *Geophysical Research Letters*, 31(10).

24. McKee TB, Doeksen NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration on time scales. Proceedings of the 8 th Conference of Applied Climatology. American Meteorology Society: Anaheim, CA, Boston MA; 179–184, 17–22 January
25. Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J. C. J., Lang, H., ... Wilke, K. (2001). Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resource Management in the Rhine River Basin. *Climatic Change*, 49, 105–128.
26. Mimikou, M. a. (2013). Assessment of Climate Change Impacts in Greece,: A General Overview. *American Journal of Climate Change*, 2(March), 46–56.
27. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE* 50 (3), 885-900.
28. Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10 (3), 282-290.
29. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., 2002. Soil and Water Assessment Tool. User's Manual. Version 2000. Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas, GSWRL Report 02-02, Blackland Research and Extension Center, Temple, Texas, BRC Report 02-06, 412pp.
30. Neitsch, S. ., Arnold, J. ., Kiniry, J. ., & Williams, J. . (2011). Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute, 1–647.
31. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory; Agricultural Research Service 808 East Blackland Road; Temple, Texas 76502; Blackland Research Center; Texas Agricultural Experiment Station 720 East Blackland Road; Temple, Texas 76502, USA.
32. Nikolaidis, N.P., Rajaram, H., Schnoor, J.L., Georgankakos, K.P., 1988. A generalized soft water acidification model. *Water Resources Res.* 24, 1983-96.
33. F. Olivera ,S. Koka ,M. Valenzuela ,A. Agraval , H. Cho , J. Choi, Srinivasan (2006): ArcGIS-SWAT: a geodata model and GIS interface for SWAT
34. Refsgaard, J.C., 1997. Parametrisation, calibration and validation of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology* 198 (1-4), 69-97.

35. Rijsberman, FR (2004). The Water Challenge. In: D Lomborg. Global Crises, Global Solutions (Cambridge University Press, Cambridge, in press)
36. Schnoor, J.L., Palmer, W.D., Jr & Glass, G.E., 1984. Modeling impacts of acid precipitation for northeastern Minnesota. In Modeling of Total Acid Precipitation Impact, ed. J. L. Schnoor. Butterworth, Boston, MA, 155-73
37. Spence, C., Bos, E., & Chipara, M. (n.d.). Editado por Megan Dyson, , Ger Bergkamp and John Scanlon.V, E. S. P. B., & Bobba, A. G. (1990). Ecological Modellin~ 50 (1990) 5-32, 50(July 1988), 5-32.
38. Suen J.-P., 2011. Determining the ecological flow regime for existing reservoir operation. Water Resources Management, 25, 817-835
39. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D, Anderson, W.P., 1987. AGNPS – a nonpoint- source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 44 (2), 169-173.
40. Zhang, Z., S. Wang, G. Sun, S.G. McNulty, H. Zhang, J. Li, M. Zhang, E. Klaghofer, and P. Strauss, 2008. Evaluation of the MIKE SHE Model for Application in the Loess Plateau, China. Journal of the American Water Resources Association 44:1108-1120.
41. Wu H, Hayes MJ, Weiss A, Hu Q. 2001. An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score. International Journal of Climatology 21: 745-758

7.2 Ελληνική βιβλιογραφία

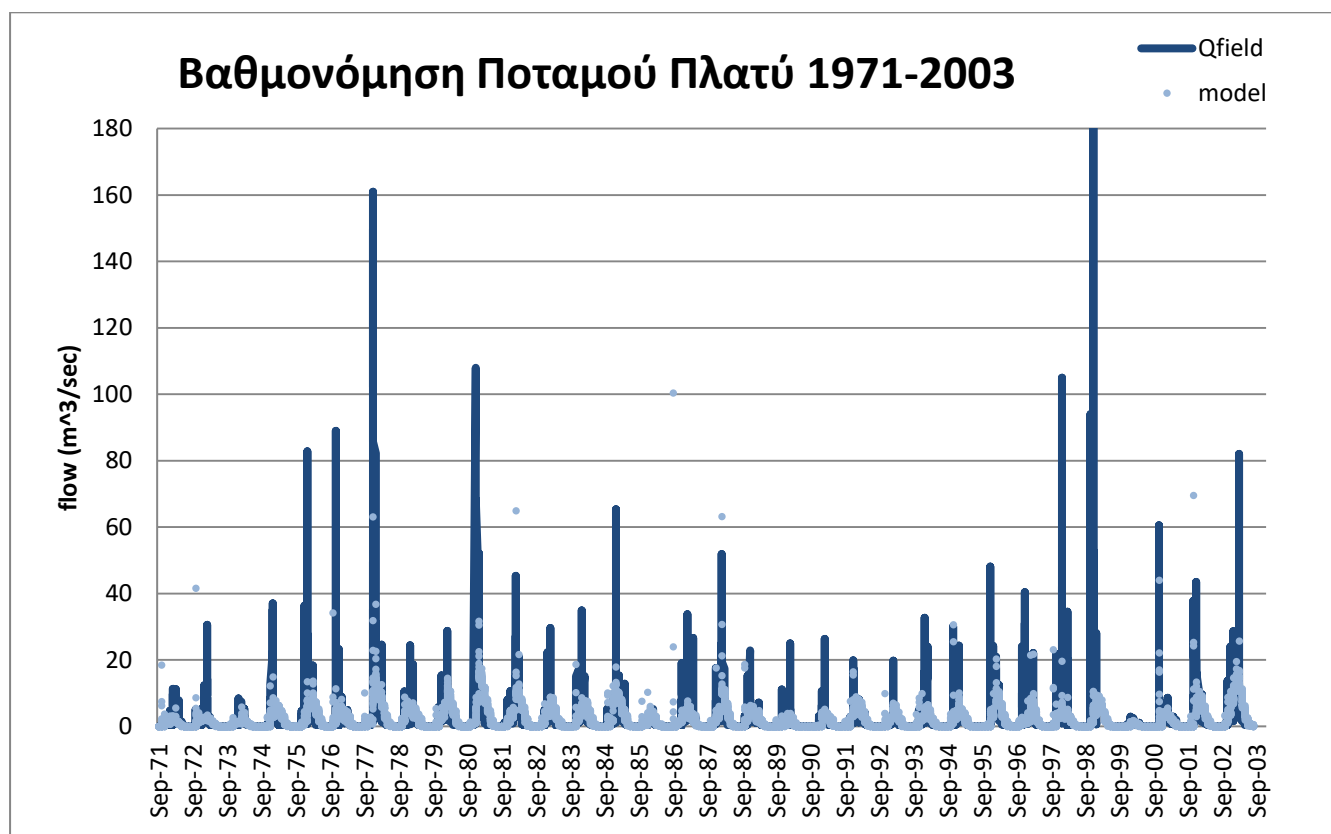
1. Ανδρέας Ευστρατιάδης ,Σπύρος Μίχας & Δημήτρης Δερματάς ,*Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα*
2. Επιχειρησιακό πρόγραμμα Δήμου Ηρακλείου 2015-2019 Ά Φάση Στρατηγικός Σχεδιασμός -Ιούλιος 2015
3. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ε.Ε.,(2000). Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα Νερά
4. Ευστρατιάδης, Α., (2008)*Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*, Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα
5. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Διεύθυνσης Υδρογεωλογίας. 2009. Καταγραφή κα αποτίμηση των υδρογεωλογικών χαρακτήρων των υπογείων νερών και των υδροφόρων συστημάτων της χώρας, Μελέτη υδροφόρων συστημάτων Ν. Κρήτης. Πηγές, Καρστικοί, Προσχωματικοί Υδροφόροι. Ποιοτική καταγραφή (Υ.Δ. 13): Αθήνα
6. Καλημέρη Μ., (2004), *Ποιοτικός έλεγχος υδάτων των ποταμών Κουιάρη και Ταυρωνίτη*, ΤΕΙ Κρήτης, Χανιά
7. Κουτούπα – Ρεγκάκου, Ε., 2008. *Δίκαιο του Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Σάκκουλα, Αθήνα.
8. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, (1999). *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Τεχνική Υδρολογία
9. Λουκάς Αθανάσιος, Σημειώσεις μαθήματος , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
10. Μαμάσης, Ν., Ι. Ναλμπάντης, και Δ. Κουτσογιάννης, (1992), *Διερεύνηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών Μόρνου και Βοιωτικού Κηφισού-Υλίκης, Ύδρευση της Αθήνας*, Αθήνα, Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδας, Πανελλήνιος Σύλλογος Χημικών Μηχανικών, Σύνδεσμος Ελληνικών Γραφείων Μελετών
11. Μιμίκου, Μ.Α., (2006). *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*. Γ' έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
12. Μπαλτάς Ε., Σημειώσεις, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

13. Νικολαΐδης, Ν., (2013). *Εφαρμογές σε Περιβαλλοντικά Μοντέλα*, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά
14. Οικονόμου Αθανάσιος ,Παππαλέξης Δημήτριος (2013) ,*Διαχείριση Ξηρασιών –Η έμμομη ξηρασία των ετών 1987-1994*
15. Παρασκούδης Β., 1991. *Μελέτη Φραγμάτων στο χείμαρρο Ταυρωνίτη Ν. Χανίων*, Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών
16. Περιφέρεια Κρήτης, Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης, Τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων της Κρήτης, Φάση Α – Στάδιο Α.2.3 : Επεξεργασία και Διαχείριση Υδρογεωλογικών Δεδομένων», Αθήνα, Δεκέμβριος 2000
17. Προχωρημένη Υδρολογία, (2009), Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Παρουσίαση: *Υδρολογικά μοντέλα και εφαρμογές*, Αθήνα
18. Τσακίρης, Γ., 1995. *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
19. ΥΠΕΚΑ , *Σχέδιο διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης GR13*
20. Φιλίντας Αγ . , Σερ.Πολύζος *Φράγματα ,λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*

7.3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. http://www.ekke.gr/estia/gr_pages/F_synerg/mikra%20fragmata_yp.georgias/mikra%20fragmata.pdf
2. <http://www.deyat.gr/nero-kai-fysi>
3. http://www.medsos.gr/medsos/files/LIFE-PURE/FYLLA-PLIROFORION/FP_1.pdf
4. http://users.itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/modela09.pdf
5. <https://www.cretanbeaches.com/en/>
6. <http://emeric.ims.forth.gr/#cre1>
7. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/ARTICLES/033/%D7%C1%D1%D4%C7%D3%20%D3%C5%C9%D3%CC%C9%CA%C7%D3%20%C5%D0%C9%CA%C9%CD%C4%D5%CD%CF%D4%C7%D4%C1%D3.htm

8.Παράρτημα



Διάγραμμα 27 Βαθμονόμηση ποταμού Πλατύ με ημερήσια δεδομένα Ο.Α.ΔΥ.Κ.

Μήνας	Τελική Ζήτηση/Μήνα	Ποσοστό Ύδρευσης	Ποσοστό Άρδευσης
Σεπτέμβριος	0.103	0.105	0.103
Οκτώβριος	0.041	0.079	0.033
Νοέμβριος	0.0132	0.079	0
Δεκέμβριος	0.0132	0.079	0
Ιανουάριος	0.0132	0.079	0
Φεβρουάριος	0.0132	0.079	0
Μάρτιος	0.009	0.053	0
Απρίλιος	0.044	0.079	0.037
Μάιος	0.122	0.079	0.131
Ιούνιος	0.195	0.079	0.219
Ιούλιος	0.228	0.105	0.252
Αύγουστος	0.205	0.105	0.225

Πίνακας 5 Ποσοστά ανά μήνα ζήτησης για ύδρευση και την άρδευση βάσει της εμπειρίας του ΟΑΚ

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εύρεση του όγκου του νερού ενός ταμιευτήρα, κάθε μήνα, είναι ο παρακάτω.

if season = Wet then

if $Q_{in} \geq (2/3) * V_{max}$ or $V_{i-1} \geq 0.7 * V_{max}$ then

if $V_{i-1} + 90\%Q_{in} + Pin - PET - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} \leq V_{max}$ then

$V_i = V_{i-1} + 90\%Q_{in} + Pin - PET - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$

else $V_i = V_{max}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} > V_{max}$ then

$V_i = V_{max}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} < V_{min}$ then

if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} < V_{min}$ then

$V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - (V_{i-1} - V_{min} + Q_{in} + Pin - PET)$

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} > V_{max}$ then

$V_i = V_{max}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} < V_{min}$ then

if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} < V_{min}$ then

$V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - (V_{i-1} - V_{min} + Q_{in} + Pin - PET)$

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$

Για τον υπολογισμό παροχής υπερχείλισης-οικολογικής παροχής

if season = Wet then

if $Q_{in} \geq 2/3 \cdot V_{max}$ or $V_{i-1} \geq 0.7 \cdot V_{max}$ then

if $V_{i-1} + 90\%Q_{in} + Pin - PET - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} \leq V_{max}$ then

$$V_i = V_{i-1} + 90\%Q_{in} + Pin - PET - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$$

else $V_i = V_{max}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} > V_{max}$ then

$$V_i = V_{max}$$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} < V_{min}$ then

if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} < V_{min}$ then

$$V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - (V_{i-1} - V_{min} + Q_{in} + Pin - PET)$$

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} > V_{max}$ then

$$V_i = V_{max}$$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau} < V_{min}$ then

if $V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} < V_{min}$ then

$$V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - (V_{i-1} - V_{min} + Q_{in} + Pin - PET)$$

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + Pin - PET - Q_{eco} - Q_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$

Για τον υπολογισμό της παροχής ύδρευσης-άρδευσης του ταμιευτήρα,

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εύρεση της παροχής άρδευσης-ύδρευσης σ ένα ταμιευτήρα, κάθε μήνα, είναι ο παρακάτω.

if $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ} < V_{min}$ then

if $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - V_{min} < 0$ then

$Q_{irr-final} = 0$

else $Q_{irr} = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - V_{min}$

else $Q_{irr-final} = Q_{απαιτ}$