



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία με τίτλο:
«Μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης
απορροής Ταυρωνίτη»
Τοπάλογλου Αγγελική

Επιβλέπων :

Καθηγητής Νικολαΐδης Νικόλαος

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος

Επίκουρος Καθηγητής Παρανυχιανάκης Νικόλαος

Χανιά, 2018

Ψυχῆσιν θάνατος ὕδωρ γενέσθαι,

ὕδατι δὲ θάνατος γῆν γενέσθαι,

ἐκ γῆς δὲ ὕδωρ γίνεται,

ἐξ ὕδατος δὲ ψυχή.

-*Ἡράκλειτος*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Νικολαΐδη Νικόλαο για την συνεχή καθοδήγησή του και να εκφράσω την αμέριστη εκτίμηση μου στο πρόσωπό του. Τους καθηγητές κ. Καρατζά Γεώργιο και κ. Παρανυχιανάκη Νικόλαο, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και για το χρόνο που αφιέρωσαν. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτωρ, Σοφία Νεραντζάκη για την άψογη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε όποτε την χρειάστηκα, ακόμη και υπό αντίξοες συνθήκες.

Επίσης, ευχαριστώ τις φίλες μου στα Χανιά και ιδιαίτερα την συγκάτοικο και φίλη μου, για τη βοήθεια και για τις όμορφες στιγμές που μου χάρισαν κατά τη διάρκεια των φοιτητικών σπουδών μου αλλά και την συναισθηματική υποστήριξη που μου προσέφεραν τα χρόνια που ήμασταν μαζί.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την απεριόριστη αγάπη και ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Γρηγόρη και Ευαγγελία, στον αδελφό μου Κλεόβουλο και στη γιαγιά μου Αγγελική, για την οικονομική και ηθική στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις υδρολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Ταυρωνίτη. Η περιοχή μελέτης, καταλαμβάνει 132 km², εκτείνεται στο δυτικό τμήμα της νήσου της Κρήτης και υπάγεται στην Περιφερειακή Ενότητα Χανίων. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τον χείμαρρο Ταυρωνίτη ο οποίος εκβάλλει στο Κρητικό πέλαγος, και τους τρεις παραποτάμους του Ντεριανό, Σεμπρενιώτη και Ρουματιανό. Για τη προσομοίωση της υδρολογίας της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το ημι-κατανεμημένο μοντέλο Soil and Water Assessment Tool (2012), στο περιβάλλον του ArcGIS. Με τη μοντελοποίηση, της λεκάνης απορροής, δημιουργήθηκαν 7 υπολεκάνες και 40 μονάδες απόκρισης (HRUs). Έπειτα από χειροκίνητη βαθμονόμηση, των υπολεκάνων του Σεμπρενιώτη και Ρουματιανού, βρέθηκε η ετήσια παροχή κάθε ποταμού, που για τον Ταυρωνίτη ανέρχεται στα 63.43 εκ. m³/year. Για τον Σεμπρενιώτη, η απορροή ανέρχεται στα 13.91 εκ. m³/year, για τον Ρουματιανό στα 10.98 εκ. m³/year και τέλος για τον Ντεριανό στα 37.65 εκ. m³/year. Η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ελέγχθηκε με τη χρήση στατιστικών δεικτών, όπως οι NSE,RSR,PBIAS.

Στο δεύτερο τμήμα, μελετήθηκε με τη χρήση ενός υδρολογικού ισοζυγίου, στο Microsoft Office Excel, η λειτουργία των προτεινόμενων φραγμάτων Σεμπρενιώτη και Ντεριανού, στην περιοχή Παπαδιανών και Βουκολιών. Ως στόχος της κατασκευής των δύο φραγμάτων τέθηκε η κάλυψη των αναγκών της περιοχής σε νερό και η προσπάθεια αυτονόμησης της. Τα δεδομένα παροχής και εξατμισοδιαπνοής εισήχθησαν, από τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο του SWAT. Τα μετεωρολογικά στοιχεία που αφορούν σε ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας και κατακρήμνισης, πάρθηκαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Ταυρωνίτη, Ζυμβραγού και Παλαιών Ρουμάτων. Τέλος, τα ποσοστά ζήτησης άρδευσης και ύδρευσης ανά μήνα του έτους, υπολογίστηκαν, βάσει της εμπειρίας του Οργανισμού Ανάπτυξης Κρήτης.

Τα διαχειριστικά σενάρια που υλοποιήθηκαν, για τον κάθε ποταμό, προέκυψαν από τις ετήσιες ανάγκες της περιοχής που ανέρχονται περίπου στα 13 εκ. m³, αλλά και από την μελέτη που συστάθηκε από την εταιρεία ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ, Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε, το 1992. Πιο αναλυτικά, για τον Ντεριανό εξετάστηκε η κατασκευή φράγματος σχεδιαστικού όγκου 18 εκ. m³, με στόχο την απόληψη ετησίως 18 εκ. m³ και 14 εκ. m³. Το πρώτο σενάριο εμφάνισε μεγαλύτερα ποσοστά αστοχίας που αγγίζουν το 15% για τους φθινοπωρινούς μήνες και το 7% για τους καλοκαιρινούς, ενώ το δεύτερο κρίνεται επιτυχές, με αντίστοιχα ποσοστά 7% και 3%. Αντίστοιχα για το φράγμα Σεμπρενιώτη των 7 εκ. m³, το σενάριο απόληψης κρίνεται προβληματικό με ποσοστά αστοχίας που αγγίζουν το 30% για το φθινόπωρο και 10% για το καλοκαίρι, ενώ αυτό της απόληψης 5 εκ. m³, περισσότερο αποτελεσματικό, καθώς τα αντίστοιχα ποσοστά αστοχίας είναι εμφανώς μικρότερα, με τιμές 7% και 3% αντίστοιχα. Τέλος, για την δημιουργία φράγματος μεγίστου όγκου 40 εκ. m³, στην περιοχή του Ντεριανού, με τη συμβολή του Σεμπρενιώτη, παρατηρούνται εξαιρετικά ποσοστά ευστοχίας, με μόλις το 3% των φθινοπωρινών και το 1.4 % των καλοκαιρινών μηνών να εντοπίζεται αστοχία, αν και η περιοχή στην παρούσα φάση θα μπορούσε να αυτονομηθεί και με μικρότερου όγκου φράγματα.

Abstract

This diploma thesis examines the hydrological processes taking place in the Tavronitis river basin. The study area, occupies 132 km² and extends to the western part of the island of Crete and it is part of the Regional Unit of Chania. More specifically, it includes the stream of Tavronitis, which flows into the Cretan Sea, and the three tributaries Derianos, Sebreniotis and Roumatianos. The semi-distributed Soil and Water Assessment Tool (2012) was used in the ArcGIS environment, to simulate the hydrology of the study area. With the modeling of the catchment, 7 sub-basins and 40 hydrologic units of response (HRUs) were created. After the manual calibration of the subbasins of Sebreniotis and Roumatianos, the calibration was extended to Derianos and the annual runoff for Tavronitis was determined to be 63.43 million m³ / year. For Sebreniotis, the runoff was 13.91 million m³ / year, for Roumatianos 10.98 million m³ / year and finally for Derianos 37.65 million m³ / year. The performance of the model was tested using statistical indexes, such as NSE, RSR, PBIAS.

In the second part, the performance of the proposed Sebreniotis and Derianos reservoirs in the area of Papadiana and Voukolies, with the use of a water balance, in Microsoft Office Excel was studied. The aim of the construction of the two dams is to meet the water needs of the area and extend irrigation to a higher elevation zone. Run-off and evapotranspiration data were input from the SWAT model results. The meteorological data on daily temperatures and precipitation were taken from the Tavronitis, Zimvragou and Palea Roumata meteorological stations. Finally, the demand for irrigation and water supply per month of the year was calculated based on the experience of the Development Organization of Crete.

The management scenarios implemented for each river, resulted from the annual needs of the area of approximately 13 million m³, as well as from the study created by the company HYDROSYSTEMA, Consulting Engineers Ltd. in 1992. More specifically, for Derianos, the construction of a design volume barrier of 18 million m³, with the aim of obtaining annually 18 million m³ and 14 million m³ was examined. The first scenario showed higher failure rates which attain the percentage of 15% for autumn months and 7% for the summer months, while the second scenario was more successful, with corresponding rates of 7% and 3%. Respectively, for the Sebreniotis dam, the scenario of 7 million m³, is considered problematic with failure rates that reach 30% for the autumn and 10% for the summer months, while the 5 million m³ one, is more effective while the percentages of failure appear to be lower, with corresponding values of 7% and 3%. Finally, for the creation of a reservoir of a maximum volume of 40 million m³, in the area of Derianos, with the contribution of Sebreniotis, there are excellent rates of accuracy, while failure is located only in the 3% of autumn and 1.4% of summer months, although the area at this stage could be autonomous with dams of a smaller volume.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
1.Εισαγωγή-Ανάλυση του Προβλήματος	10
1.1 Το νερό γενικά.....	10
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	12
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	13
2.1 Γενικά.....	13
2.2 Περιβαλλοντικά μοντέλα	14
2.3 Υδρολογικά μοντέλα	15
2.3.1 Γενικά-Ορισμοί	15
2.3.2 Κατηγορίες Μοντέλων.....	18
2.4 Βαθμονόμηση και Επαλήθευση Υδρολογικού Μοντέλου	22
2.4.1 Ορισμός Βαθμονόμησης	22
2.4.2 Είδη Βαθμονόμησης.....	22
2.4.3 Ορισμός Επαλήθευσης.....	25
2.5 Το Μοντέλο SWAT	26
2.5.1 Το SWAT γενικά.....	26
2.5.2 Δεδομένα Εισόδου	27
2.5.3 Δεδομένα Εξόδου	27
2.5.4 Μεθοδολογία Μοντέλου.....	27
2.5.5 Υδρολογικός κύκλος στο SWAT	28
2.5.6 Υδρολογικό ισοζύγιο	30
2.5.7 Διαχειριστικές πρακτικές	30
2.6 Φράγματα.....	31
2.6.1 Γενικά.....	31
2.6.2 Τύποι φραγμάτων	31
2.6.3 Υδρολογικός σχεδιασμός φραγμάτων	33
2.6.4 Επιπτώσεις των φραγμάτων	34
2.7 Κλιματική αλλαγή.....	36
2.7.1 Γενικά.....	36
2.7.2 Η συμφωνία των Παρισίων για την Κλιματική Αλλαγή.....	37
2.7.3 Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος- IPCC.....	38

3. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης.....	40
3.1.1 Περιγραφή λεκάνης απορροής ποταμού Ταυρωνίτη	40
3.1.2 Περιγραφή τοποθεσίας έδρασης φραγμάτων Ντεριανού και Σεμπρενιώτη	42
3.2 Γεωμορφολογία.....	42
3.3 Γεωλογία.....	43
3.4 Σεισμικότητα	45
3.5 Υδρολογία.....	45
3.6 Υδρολογική κατάσταση	46
3.7 Χρήσεις γης.....	47
3.8 Κλιματικά στοιχεία περιοχής.....	48
3.9 Φυσικό Περιβάλλον	51
3.10 Μελέτες για την περιοχή.....	54
4. Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου	56
4.1 Λογισμικό-Εισαγωγή δεδομένων	56
4.2 Βαθμονόμηση μοντέλου	60
4.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μοντελοποίησης	63
4.4 Αποτελέσματα μοντελοποίησης	66
4.4.1 Μοντελοποίηση Σεμπρενιώτη	66
4.4.2 Μοντελοποίηση Ρουματιανού	70
4.4.3 Μοντελοποίηση Ντεριανού και Εκβολών Ταυρωνίτη	72
4.4.4 Τελικά Αποτελέσματα Μοντελοποίησης	74
4.4.5 Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Ταυρωνίτη.....	74
5. Προσομοίωση Ταμιευτήρων	78
5.1 Εισαγωγή	78
5.3 Ανάλυση παραμέτρων ισοζυγίου.....	81
5.4 Ανάπτυξη σεναρίων	87
5.4.1 Ανάπτυξη σεναρίων Ντεριανού	87
5.4.2 Ανάπτυξη σεναρίων Σεμπρενιώτη	89
5.5 Αποτελέσματα σεναρίων	92
5.5.1 Αποτελέσματα σεναρίων Ντεριανού	92
5.5.2 Αποτελέσματα σεναρίων Σεμπρενιώτη	95
6. Συμπεράσματα- Προτάσεις.....	98
7. Βιβλιογραφία.....	100
7.1 Διεθνής βιβλιογραφία.....	100

7.2 Ελληνική βιβλιογραφία	103
7.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	105

1.Εισαγωγή-Ανάλυση του Προβλήματος

1.1 Το νερό γενικά

Το νερό είναι ένας φυσικός πόρος που έχει μεγάλη σημασία γιατί είναι από τους βασικούς παράγοντες για τη ζωή και την ανάπτυξη. Προκύπτει από την χημική ένωση των μορίων υδρογόνου και οξυγόνου και διαθέτει τέτοια δομή που το κάνουν ξεχωριστό και πολύ σημαντικό για τον πλανήτη μας. Το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό του νερού που βρίσκεται στη φύση αποτελεί το θαλασσινό νερό και ανέρχεται στο 97,39% του συνολικού, ενώ ακολουθούν οι πάγοι με ποσοστό 2,01%, τα υπόγεια νερά με ποσοστό 0,58% και τέλος, τα επιφανειακά με ποσοστό 0,02% (Εικόνα 1.1). Το γλυκό νερό είναι της τάξεως του 2,6% και είναι ο κύριος λόγος ύπαρξης και επιβίωσης του ανθρώπινου είδους καθώς αποτελεί έως και το 65% του ανθρώπινου σώματος. Επιπλέον, αποτελεί το κύριο συστατικό και των υπόλοιπων οργανισμών του πλανήτη μας. Το 60% του βάρους ενός δέντρου αντιστοιχεί σε νερό, ενώ στα περισσότερα ζώα και φυτά το 65% είναι νερό.

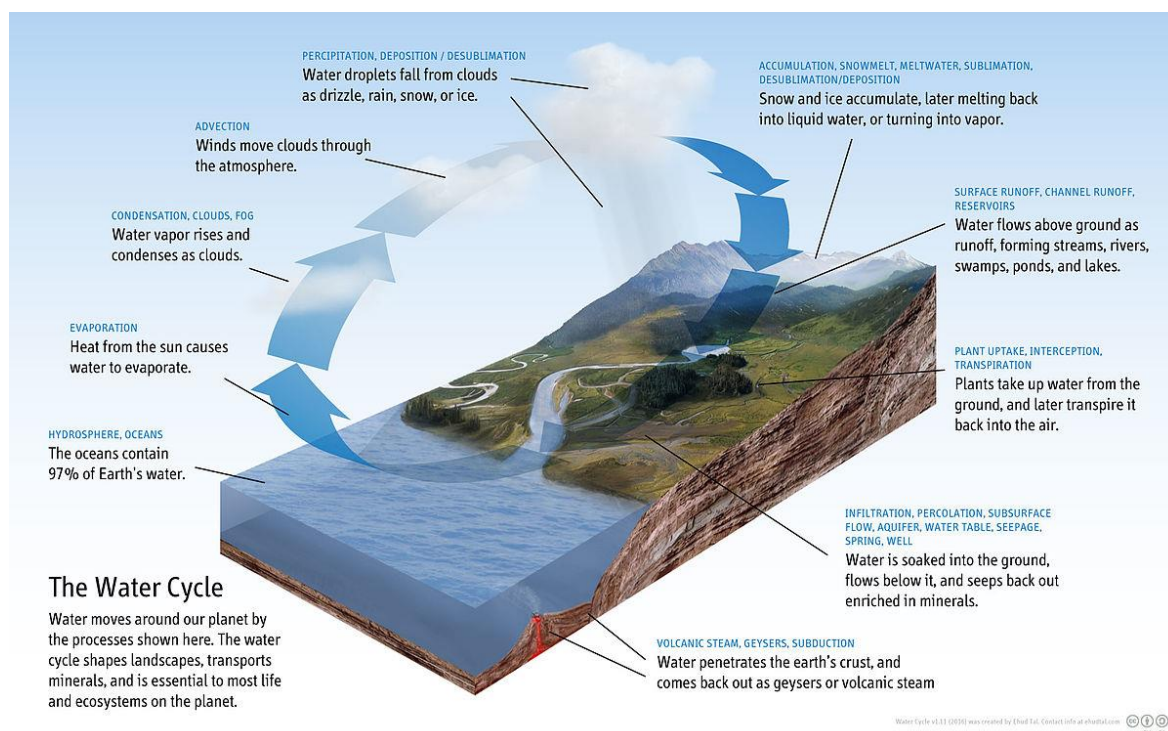
Τα τελευταία χρόνια το αγαθό αυτό βρίσκεται σε ανεπάρκεια, παρ' ότι ένας παρατηρητής που θα ατένιζε τη Γη από το διάστημα θα τη χαρακτήριζε ως «γαλάζιο πλανήτη» λόγω του άφθονου νερού που την καλύπτει. Το μεγαλύτερο πρόβλημα, έγκειται στην άνιση κατανομή του στο χώρο και τον χρόνο με αποτέλεσμα, σε μερικές περιοχές να παρατηρείται έλλειψη και σε άλλες να υπάρχει περίσσεια την οποία ο άνθρωπος δεν μπορεί να διαχειριστεί κατάλληλα και επαρκώς. Η σωστή διαχείριση λοιπόν, των αποθεμάτων νερού στην εκάστοτε περιοχή κρίνεται αρκετά κρίσιμη καθώς η ομοιόμορφη κατανομή του σε όλον τον πλανήτη δεν είναι εφικτή(<http://www.deyamp.gr/oikologia-periballon-nero/to-nero-kai-i-simasia-tou/>).

Η διαχείριση των υδάτων χρήζει άμεσων λύσεων. Για την ανεύρεση αυτών έχουν ιδρυθεί φορείς και οργανώσεις, έχουν ασχοληθεί μηχανικοί και επιστήμονες θέτοντας την ανάγκη για καθαρό νερό ως περιβαλλοντική προτεραιότητα. Οι μελέτες που λαμβάνουν χώρα διεθνώς έχουν διεπιστημονικό χαρακτήρα και βασίζονται στην αλληλεπίδραση των περιβαλλοντικών, τεχνικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών παραμέτρων που σχετίζονται με το νερό. Το κλειδί, φαίνεται πως, βρίσκεται στην ολιστική εξέταση του ζητήματος και την ανάπτυξη και προώθηση πρακτικών που αποβλέπουν σε μια συμπαγή και συνολική προσέγγιση της διαχείρισης των υδάτων (<https://www.auth.gr/units/2109>).

Τα προβλήματα που παρατηρούνται σχετικά με την ορθή διαχείριση των υδάτων αφορούν στην ποσότητα και την ποιότητα τους αλλά και στα έργα υποδομής για την προστασία τους. Τα μεγαλύτερα αποθέματα σε νερό, κυρίως επιφανειακό, εμφανίζονται στην δυτική και βόρεια Ελλάδα , ενώ οι περιοχές της Αττικής, της Θεσσαλίας, τη Πελοποννήσου και τα περισσότερα νησιά υποφέρουν από λειψυδρία. Όσον αφορά στο υπόγειο νερό, η υπερβολική ζήτηση του που οφείλεται σε πρακτικές εντατικής ανάπτυξης αγροτικών καλλιεργειών αλλά και στο φαινόμενο υφαλμύρισης στα νησιά, οδηγούν στην υποβάθμιση των υπόγειων υδροφορέων. Τα προβλήματα εντείνονται κατά τους θερινούς μήνες και χάριν στον τουρισμό, με αποτέλεσμα το υδατικό ισοζύγιο να εμφανίζεται ελλειμματικό. Επιπλέον, σχετικά με τις υπάρχουσες υποδομές για τη διαχείριση των υδάτων, το μεγαλύτερο πρόβλημα έγκειται στην έλλειψη συντονισμού μακροχρόνιου διατομεακού προγραμματισμού. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί η ελλιπής εφαρμογή ΜΠΕ (Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων) καθώς πολλά έργα κατασκευάζονται αφήνοντας ερωτήματα σχετικά με τις επιπτώσεις τους χρονικά και τοπικά και την μακροπρόθεσμη επίτευξη του στόχου τους. Τέλος, η κλιματική αλλαγή

επηρεάζει και μέλλεται να επηρεάσει ακόμη περισσότερο την διαθεσιμότητα γλυκού νερού κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου η οποία προβλέπεται να πληγεί περισσότερο και υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες ερημοποίησης κάποιων περιοχών της (Alpert et al., 2008).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας τη σημασία του περιβάλλοντος και την ανάγκη προστασίας των υδάτων, εξέδωσε την κοινοτική οδηγία-πλαίσιο για τα νερά 2000/60/EK με την οποία θεσπίστηκε το κατάλληλο πλαίσιο για την προστασία των εσωτερικών, των επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων νερών σε όλη την περιφέρεια της Κοινότητας. Στόχος της οδηγίας είναι να δοθεί η κατεύθυνση για ενιαία διαχείριση και να καθιερωθεί η αρχή της αειφορίας. Αξίζει να σημειωθεί πως είναι η πρώτη φορά που εισάγεται νομοθετικά η έννοια της λεκάνης απορροής (river basin) και τα κράτη μέλη υποχρεώνονται να ορίσουν υδατικά διαμερίσματα που χαρακτηρίζονται ως περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού με στόχο την διενέργεια προτάσεων σε αυτές ώστε να κατασταλεί η υποβάθμιση και να επιτευχθεί η «καλή κατάσταση» των υδάτων (Κουτούπα-Ρεγκάκου, 2008). Η εφαρμογή και προσαρμογή εννοιολογικών μοντέλων για την προσομοίωση και εκτίμηση των υδατικών πόρων και των υδραυλικών και γεωχημικών παραμέτρων τους, κρίνεται αναγκαία σύμφωνα με την οδηγία. Το μοντέλο SWAT, ικανοποιεί άριστα τις απαιτήσεις της (Dilks et al., 2005).



Εικόνα 1.1 : Ο κύκλος του νερού (Wikipedia, Ehud Tal, 2016)

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

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 ,επιρεάζει 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).

Στον νομό Χανίων, οι ανάγκες για άρδευση στα περίχωρα του ποταμού Ταυρωνίτη καλύπτονται από τις πηγές και την Λίμνη της Αγυιάς και την πηγή Καλαμιώνα. Οι δυσκολίες όμως που εμφανίζονται κατά του καλοκαιρινούς μήνες και οφείλονται στους λόγους που αναπτύξαμε παραπάνω, οδηγούν στην ανάγκη ανεύρεσης μιας ακόμη λύσης, που θα μπορεί να προσφέρει νερό όταν οι παραπάνω πηγές ύδατος, υποφέρουν από ξηρασία. Η κατασκευή ταμιευτήρων (reservoirs) στους παραποτάμους του Ταυρωνίτη, Σεμπρενιώτη, Ρουματιανό και Ντεριανό θα βοηθούσε στην ανεξαρτητοποίηση της περιοχής σε μεγάλο βαθμό.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση της υδρορροής του ποταμού Ταυρωνίτη, συμπεριλαμβανομένων και των παραποτάμων του, με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου SWAT(Soil and Water Tool-Εργαλείο Αξιολόγησης Εδαφών και Νερού).Επιπλέον, πρόκειται να εφαρμοσθούν διάφορα διαχειριστικά σενάρια στο βαθμονομημένο μοντέλο, συμπεριλαμβανομένης της διερεύνησης των συνθηκών λειτουργίας ταμιευτήρων στους Σεμπρενιώτη, Ρουματιανό και Ντεριανό. Ως στόχος, τίθεται η εύρεση της βέλτιστης πρακτικής που θα ικανοποιεί τις ανάγκες για ύδρευση και άρδευση της υψηλής ζώνης στην περιοχή η οποία τώρα δεν αρδεύεται.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Γενικά

Η Ελλάδα στη μεγαλύτερη έκταση της είναι είτε ημίξηρη, είτε ημίυγρη με βάση την κλίμακα ξηρότητας της UNESCO, με μόνη εξαίρεση τις περιοχές δυτικά της Πίνδου που χαρακτηρίζονται ως υγρές. Περίπου το 80-85% του γλυκού νερού αποτελείται από επιφανειακά ύδατα. Η συνολική ετήσια ζήτηση νερού ισούται με 7,907 εκ. m³ και ήταν σχετικά σταθερή μέχρι την δεκαετία του '90, όπου παρουσιάστηκε μια αναθεώρηση και μια τάση για αυξημένη χρήση υπόγειων υδάτων. Ο κύριος χρήστης των υδάτων είναι ο γεωργικός τομέας (ιδιαίτερα ο αρδευτικός), ο οποίος αντιπροσωπεύει περίπου το 85% της συνολικής υδροληψίας. Η εγχώρια κατανάλωση πόσιμου νερού αντιπροσωπεύει το 11%, η κατανάλωση από τον τομέα της βιομηχανίας το 2% και η κατανάλωση από τον τομέα της ενέργειας το 1%.

Σχετικά με τη χρήση των υδάτων στην γεωργία, η Ελλάδα με έκταση 1.4 εκ. εκτάρια, 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 Environmental Performance Reviews, Greece, 2009).

Η Κρήτη διαθέτει έκταση 8,335 km² και πληθυσμό 601,131 caps (2001). Η ζήτηση για νερό στα μέσα της δεκαετίας του 2000 ήταν συνολικά 366.4 εκ. m³/year. Η οικιακή ζήτηση ανέρχόταν στα 42.3 εκατ. m³/year, η ζήτηση για αρδευτικούς σκοπούς στα 320 εκ. m³/year και τέλος η ζήτηση για βιομηχανικούς σκοπούς στα 4.1 εκ. m³/year.

2.2 Περιβαλλοντικά μοντέλα

Ως περιβαλλοντικό μοντέλο ορίζεται:

- ένα κατασκευάσμα που ποσοστοποιεί και περιγράφει ή είναι ανάλογο χημικών φυσικών ή βιολογικών φαινομένων.
- μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος.

(Νικολαΐδης Νικόλαος, 2013)

Στο φυσικό περιβάλλον λαμβάνουν χώρα πολλά φυσικά ή μη φυσικά φαινόμενα, τα οποία είναι συνδυασμός ποικίλων παραμέτρων, οι οποίες είναι αδύνατον να υπολογιστούν και να ληφθούν υπ' όψιν μόνο με τον ανθρώπινο νου.

Για την καλύτερη κατανόηση των διεργασιών του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και τις επιπτώσεις που δημιουργούνται από την ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτές, έχουν αναπτυχθεί μαθηματικά εργαλεία περιγραφής και πρόβλεψης, γνωστά ως μαθηματικά μοντέλα. Τα μαθηματικά μοντέλα παρέχουν το υπόβαθρο για την κατανόηση των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που γίνονται στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα εκτιμώντας τις επιπτώσεις από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, είναι σε θέση να προβλέψουν και να αναπαραστήσουν πιθανές αλλαγές, που μπορούν να επέλθουν, κάνοντας διάφορα σενάρια, χωρίς να επηρεάζεται και να διαταράσσεται το φυσικό οικοσύστημα (A.Ramaswami, J.Milford, M.Small et al., 2005). Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στη φύση εκφράζονται μέσω μιας μαθηματικής σχέσης η οποία συσχετίζει δεδομένα. Όσο πιο πολύπλοκες είναι οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων τόσο πιο ακριβές παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του μοντέλου και τόσο καλύτερα προσεγγίζονται οι πραγματικές συνθήκες (Schnoor, 2005)

Οι κυριότεροι λόγοι χρήσης μαθηματικών-περιβαλλοντικών μοντέλων είναι οι εξής:

- Καλύτερη κατανόηση της μεταφοράς χημικών ενώσεων με την ποσοτικοποίηση των αντιδράσεων τους, της μορφής και της μεταφοράς τους καθώς και το αποτέλεσμα αυτών.
- Βέλτιστος προσδιορισμός συγκεντρώσεων έκθεσης σε χημικές ενώσεις για τον άνθρωπο και υδρόβιους οργανισμούς, στην παράμετρο του χρόνου.
- προσδιορισμός των συνθηκών όσον αφορά σε μελλοντικά σενάρια επιβάρυνσης ή εναλλακτικές πρακτικές-τεχνικές διαχείρισης.

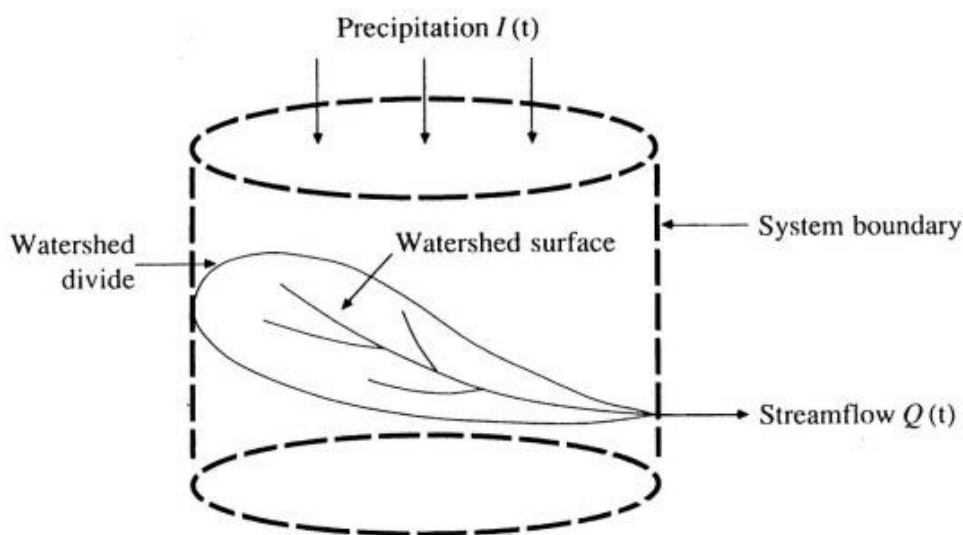
Για την περιγραφή του υδρολογικού κύκλου, την καλύτερη κατανόηση αλλά και την ακριβέστερη πρόβλεψη της παρουσίας του νερού χρησιμοποιούνται τα υδρολογικά μοντέλα.

2.3 Υδρολογικά μοντέλα

2.3.1 Γενικά-Ορισμοί

Ως υδρολογικό σύστημα ορίζουμε, απλοποιημένα, ένα σύνολο από φυσικές, χημικές και/ή βιολογικές διεργασίες οι οποίες ενεργούν σχετικά με μια ή περισσότερες μεταβλητές εισόδου (input variables) και την ή τις μετατρέπουν σε μεταβλητές εξόδου (output variables) (Dooge, 1973).

Το αντικείμενο ανάλυσης ενός υδρολογικού συστήματος είναι, να μελετηθεί η λειτουργία του συστήματος και να προβλεφθεί το αποτέλεσμα του. Ένα μοντέλο υδρολογικού συστήματος αποτελεί τη προσέγγιση ενός πραγματικού συστήματος· οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου του μοντέλου, είναι μετρήσιμες υδρολογικές παράμετροι και η δομή του αφορά στην έννοια της μεταβολής του συστήματος (Chong-yu Xu, 2002).



Εικόνα 2.1 : Ο υδροκρίτης ως υδρολογικό σύστημα (Chow et al., 1988).

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών που είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο.

Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν:

- μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημύρας όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη, όπως η εξάτμιση και η διήθηση

- τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ. μιας λεκάνης απορροής), όπου η διαδικασία διέπεται, εν μέρει από κάποιο φυσικό υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται υπόψη οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού (βροχόπτωση, παροχή κ.α.) (Εικόνα 2.1).

Στο πέρασμα των χρόνων, έχουν αναπτυχθεί και έχουν εφαρμοστεί διάφορα υπολογιστικά υδρολογικά μοντέλα για την προσομοίωση της υδρολογίας, των υπόγειων και επιφανειακών υδατικών πόρων. Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά κάποια από αυτά:

- **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) (Schnoor et al., 1984, Nikolaidis et al., 1988):
Περιγράφει επαρκώς όλους τους τύπους υδρολογικών συστημάτων σε συστήματα απορροής και αποστράγγισης
- **ANUGA**(Geoscience Australia and the Australian National University):
Υδροδυναμικό μοντέλο δύο διαστάσεων για την πρόβλεψη επιπτώσεων από υδρολογικές καταστροφές
- **TOPOFLOW** (Pecham et al., 2007):
Μελέτη φυσικών διαδικασιών σε κλιματικές αλλαγές, μη καταναμημένο μοντέλο
- **MODFLOW** (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., 1987)
- **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)

- **SWIM** (Soil and Water Integrated Model)(Krysanova et al., 1998)
- **RAINS** (Regional Air Pollution Information and Simulation) (Kamari, 1985)
- **SWAT** (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998, Neitsch et al., 2002, Gassman et al., 2007, Oeurng et al., 2011)

Η μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή του κατάλληλου υδρολογικού μοντέλου είναι η παρακάτω:

- 1.Ορισμός του προβλήματος
2. Προσδιορισμός του σκοπού
- 3.Μέλετη των διαθέσιμων δεδομένων
- 4.Καθορισμός των διαθέσιμων υπολογιστικών υποδομών
- 5.Προσδιορισμός των οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων
- 6.Επιλογή μιας συγκεκριμένης κλάσης υδρολογικών μοντέλων
- 7.Επιλογή συγκεκριμένου υδρολογικού μοντέλου από τη δεδομένη κλάση(Dooge, 1972)

Τα στάδια που ακολουθούν μετά την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου, για την ορθή ανάπτυξη του, είναι τα εξής:

- 1.Επιλογή του τρόπου προσομοίωσης (Conceptualization)
- 2.Κωδικοποίηση-Δημιουργία μοντέλου
- 3.Βαθμονόμηση μοντέλου (Calibration)
- 4.Επαλήθευση μοντέλου (Verification)
- 5.Αξιοπιστία μοντέλου (Validation)
- 6.Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity analysis)
- 7.Ανάλυση αβεβαιότητας (Uncertainty analysis)
- 8.Εφαρμογή μελλοντικών σεναρίων στο μοντέλο

Τα βήματα 3-7 είναι κρίσιμα για το συνολικό εγχείρημα καθώς, μόνον όταν ένα μοντέλο έχει βαθμονομηθεί , έχει επαληθευτεί και έχει αξιολογηθεί μπορεί να εφαρμοσθεί σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα με την εγγύηση ότι, τα δεδομένα χρησιμοποιούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και η πρόβλεψη είναι η καλύτερη δυνατή(Chong-yu Xu, 2002).

2.3.2 Κατηγορίες Μοντέλων

Τα υδρολογικά μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει των εξής χαρακτηριστικών τους:

- Χωρική κλίμακα
- Χρονική Διακριτότητα
- Μαθηματική Δομή (στοχαστική ή όχι δομή)
- Βαθμός προσέγγισης των φυσικών διεργασιών

Χωρική κλίμακα

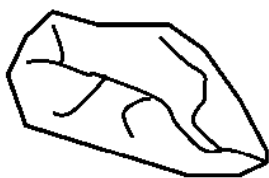
Στο εκάστοτε υδρολογικό μοντέλο, οι επιφανειακές διεργασίες προκύπτουν από τις σημειακές, με την ολοκλήρωση των υδρολογικών μεταβλητών εισόδου και εξόδου (βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή, απορροή, κατείσδυση) αλλά και των παραμέτρων που περιγράφουν τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος σε πεπερασμένη χωρική κλίμακα. Η διάκριση των υδρολογικών μοντέλων μπορεί να γίνει σε τέσσερις κατηγορίες, με βάση την χωρική τους διακριτότητα (Εικόνα 2.2) (Gupta et al., 2003) .

Αδιαμέριστα μοντέλα (lumped) Η ολοκλήρωση της χρονοσειράς φόρτισης γίνεται σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης απορροής και ενώ οι τιμές των παραμέτρων θεωρούνται κοινές. Η τιμή της απορροής που υπολογίζεται στην έξοδο της λεκάνης βασίζεται στις κύριες μεταβλητές του υδατικού ισοζυγίου.

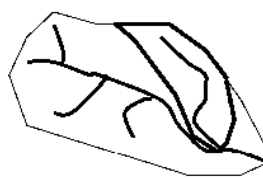
Ημι-κατανεμημένα μοντέλα (semi-distributed) Η λεκάνη απορροής διαχωρίζεται σε επιμέρους υπολεκάνες με διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Με τον όρο υπολεκάνες εννοούμε διαφορετικές χωρικές ή φυσικές ενότητες με κοινά χαρακτηριστικά, είτε υδρολογικά, είτε γεωμορφολογικά. Η απορροή στην έξοδο της λεκάνης αποτιμάται από τους υπολογισμούς που λαμβάνουν χώρα για κάθε χωρική ενότητα.

Ημι-αδιαμέριστα μοντέλα (semi-lumped) Αποτελεί την ενδιάμεση μορφή μεταξύ της αδιαμέριστης και της ημικατανεμημένης σχηματοποίησης. Θεωρούνται διακριτές χωρικές ενότητες που δέχονται διαφορετικές φορτίσεις, ενώ παράλληλα οι παράμετροι είναι κοινές (Ajami et al., 2004).

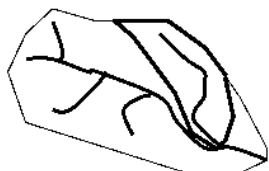
Πλήρως κατανεμημένα (distributed) Το φυσικό σύστημα διαχωρίζονται σε εξαιρετικά μικρές χωρικές ενότητες (κύτταρα) ,στις οποίες θεωρούμε ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Για τον υπολογισμό της απορροής χρησιμοποιούνται φυσικές εξισώσεις (Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, 2007).



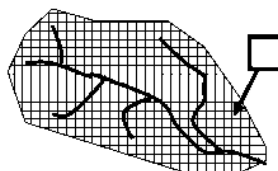
Αδιαμέριστα (lumped): Κοινές φορτίσεις και κοινές παράμετροι για όλη τη λεκάνη απορροής



Ημι-κατανεμημένα (semi-distributed): Διαφορετικές φορτίσεις και παράμετροι ανά χωρική ενότητα



Ημι-αδιαμέριστα (semi-lumped): Διαφορετικές φορτίσεις αλλά κοινές παράμετροι ανά χωρική ενότητα



Πλήρως κατανεμημένα (distributed): Κατάτμηση σε πολύ μικρές χωρικές ενότητες και χρήση φυσικών εξισώσεων

Εικόνα 2.2 : Κατηγορίες υδρολογικών μοντέλων με βάση τη χωρική κλίμακα (Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, 2007)

Χρονική διακριτότητα

Η χρονική διακριτότητα εξαρτάται από τον αντικειμενικό σκοπό του μοντέλου. Σχήματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για διαχειριστικούς σκοπούς υιοθετούν την μηνιαία ή σπανιότερα, την ημερήσια κλίμακα, ενώ τα μοντέλα πλημμυρών ή τα συνδυαστικά υδρολογικά – υδροδυναμικά μοντέλα υιοθετούν μικρότερες κλίμακες, με μέγιστη την ημερήσια.

Η μικρή χρονική κλίμακα επιβάλλει αντίστοιχα μικρή διακριτότητα των μεταβλητών εισόδου του μοντέλου. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης μετρητικής υποδομής στη λεκάνη, από καταγραφικά όργανα σε συνεχή χρόνο, όπως βροχογράφους και σταθμηγράφους. Ακόμη, στις μικρές χρονικές κλίμακες, η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών υδρολογικών χρονοσειρών είναι ιδιαίτερα δύσκολη, αφού τα δείγματα πρέπει να είναι κατάλληλα χρονισμένα, ώστε να αποτυπώνουν τους πραγματικούς χρόνους υστέρησης.

Ένα μοντέλο θεωρείται ανεξάρτητο του χρόνου όταν η σχέση των μεταβλητών εισόδου-εξόδου δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Η μορφή δηλαδή του αποτελέσματος εξόδου, εξαρτάται μόνο από τη μεταβλητή εισόδου και όχι από τη χρονική στιγμή, κατά την οποία αυτή εφαρμόζεται. Τα μοντέλα που δεν έχουν αυτή την ιδιότητα, ονομάζονται χρονο-εξαρτώμενα (Chong-yu Xu, 2002) .

Η διάκριση λοιπόν, των υδρολογικών μοντέλων μπορεί να γίνει σε δύο κατηγορίες, με βάση την χρονική τους διακριτότητα.

- **Συνεχή μοντέλα** Περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη του υδατικού ισοζυγίου μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας.
- **Μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος** Περιγράφουν μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας.

Μαθηματική δομή

Ανάλογα με τη στοχαστικότητα τους, τα μοντέλα διακρίνονται σε 2 υποκατηγορίες, τις εξής:

- **Στοχαστικά μοντέλα** Προσδιορίζουν πιθανολογικά τις υδρολογικές διεργασίες, τις οποίες αντιμετωπίζουν ως τυχαίες μεταβλητές, είτε ως μεμονωμένες είτε από κοινού. Χρησιμοποιούν μεθόδους επαγωγικής στατιστικής και ενδείκνυται για περιπτώσεις στις οποίες η πραγματοποίηση ενός υδρολογικού φαινομένου είναι ή μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη από κάθε άλλη πραγματοποίηση του ίδιου φαινομένου. Τα πιθανοτικά μοντέλα, δεν δίνουν μονοσήμαντες προγνώσεις των μεταβλητών που αναπαριστούν, αλλά ποσοτικοποιούν την αβεβαιότητα των προγνώσεων. Αναπαράγοντας τα στατιστικά μεγέθη των παρατηρημένων δειγμάτων, όχι μόνο εξασφαλίζουν στατιστική συνέπεια, αλλά διατηρούν και μια στοιχειώδη, έστω, συνέπεια με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος (Salas et al., 1980).
- **Προσδιοριστικά-Ντετερμινιστικά μοντέλα** Οι μεταβλητές των μοντέλων αυτών δεν έχουν τυχαία διακύμανση, οπότε δεν διαθέτουν και πιθανολογική κατανομή (Chong-yu Xu, 2002). Κατά τον τρόπο αυτό αποτελούν μια αξιόπιστη αναπαράσταση της συμπεριφοράς και απόκρισης του φυσικού συστήματος δίνοντας σαφή και μονοσήμαντα αποτελέσματα.

Βαθμός προσέγγισης των φυσικών διεργασιών

Οι υποκατηγορίες που προκύπτουν βάσει του βαθμού προσέγγισης των φυσικών διεργασιών αναλύονται παρακάτω.

- **Μοντέλα φυσικής βάσης (physically-based)** Εξορισμού, κατανεμημένα, υδρολογικά μοντέλα, καθώς αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες μικρής κλίμακας. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στους φυσικούς νόμους που σχετίζονται με την κίνηση του νερού (εξισώσεις ακόρεστης και κορεσμένης ροής), καθώς και σε ημιεμπειρικές περιοχικές σχέσεις που έχουν προκύψει μέσα από έρευνες σε πειραματικές λεκάνες. Η φυσική τους συνέπεια, θεωρείται πλήρης αλλά μόνο σε πολύ μικρή-απειροστή χωρική κλίμακα, καθώς κρίνεται αδύνατο να βρεθούν όλες οι λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις διεργασίες του κύκλου του νερού και της μεταφοράς των θρεπτικών συστατικών. Συνήθως χρησιμοποιούνται για εξειδικευμένες έρευνες σε επίπεδο λεκάνης απορροής, οι οποίες δε διαθέτουν μετρητικές υποδομές, καθώς δεν βασίζονται σε μετρήσεις παροχής και πιεζομετρίας, για την προσαρμογή των παραμέτρων τους.
- **Εννοιολογικά μοντέλα (conceptual)** Διατυπώνουν παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα που αναπαριστούν τις κύριες υδρολογικές διεργασίες στην

ελάχιστη χωρική ενότητα που υποστηρίζεται από την σχηματοποίηση (λεκάνη, υπολεκάνη). Σε αντίθεση με τα μοντέλα φυσικής βάσης, τα εννοιολογικά μοντέλα είναι απαλλαγμένα από τα προβλήματα κλίμακας, καθώς θεωρούν όγκους μέσα στους οποίους ολοκληρώνονται χωρικά αλλά και χρονικά οι μεταβλητές κατάστασης και οι ροές του συστήματος (Nash & Sutcliffe, 1970). Έχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά: Πρώτον, η δομή τους είναι καθορισμένη πριν από κάθε προσομοίωση και δεύτερον, δεν έχουν όλες οι παράμετροι του μοντέλου φυσική σημασία. Για τον λόγο αυτό, τουλάχιστον κάποιες από τις παραμέτρους του μοντέλου πρέπει να εκτιμηθούν μέσω της διαδικασίας της βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας δεδομένα πεδίου. Επίσης, βασικό χαρακτηριστικό των εννοιολογικών μοντέλων είναι το γεγονός ότι επιτρέπουν τη προσομοίωση πολύπλοκων διεργασιών με έντονη χωρική ανομοιογένεια, μέσω μικρού αριθμού παραμέτρων καθώς βασίζονται σε ένα σύνολο απλουστευτικών παραδοχών του φυσικού υδρολογικού συστήματος. Άλλωστε, “μια απλή δομή μοντέλου δεν αντιπροσωπεύει την πολυπλοκότητα της σχέσης μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής και ένα πολύπλοκο μοντέλο απαιτεί δεδομένα που δεν είναι πάντα διαθέσιμα (Wheater, 2002).

- **Μοντέλα Μαύρου Κουτιού (Black Box)** Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του είδους μοντέλων έγκειται στο γεγονός ότι περιέχουν εξισώσεις ικανές να περιγράψουν πολύπλοκα συστήματα πιο σύντομα και πιο εύκολα, όσον αφορά στον υπολογιστικό φόρτο. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται δεν αναπαριστούν τις ενδιάμεσες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, αλλά χρησιμοποιούν ως θεωρητικό υπόβαθρο διαδοχικούς μη γραμμικούς μετασχηματισμούς σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος. Στην υδρολογία ως μοντέλα μαύρου κουτιού αναφέρονται τα νευρωνικά δίκτυα, η δομή και οι παράμετροι των οποίων προκύπτουν μέσω μιας αυτοματοποιημένης προσαρμογής, βασισμένης σε γενετικούς αλγόριθμους. Επιπλέον, ένα ακόμη είδος μοντέλων μαύρου κουτιού αποτελούν τα μοντέλα γενετικού προγραμματισμού στα οποία χρησιμοποιείται και πάλι ένας γενετικός αλγόριθμος που εντοπίζει τη βέλτιστη εξίσωση ή σύστημα εξισώσεων που προκύπτει από τη σχέση φόρτισης-απόκρισης. Η διαφορά μεταξύ των νευρωνικών δικτύων και των μοντέλων γενετικού προγραμματισμού είναι ότι, στα τελευταία οι εξισώσεις είναι ορατές στον χρήστη (Α. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, 2007).

2.4 Βαθμονόμηση και Επαλήθευση Υδρολογικού Μοντέλου

2.4.1 Ορισμός Βαθμονόμησης

Για κάθε υδρολογικό μοντέλο που έχει επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί, χρησιμοποιούνται κάποιες άγνωστες παράμετροι για την αναπαράσταση φυσικών διεργασιών. Οι επονομαζόμενες παράμετροι, θα πρέπει να αποκτήσουν κάποιες αριθμητικές τιμές, πριν το υδρολογικό μοντέλο χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της απορροής. Η διαδικασία κατά την οποία, οι παράμετροι προσαρμόζονται, ώστε οι παρατηρούμενες τιμές να συμφωνούν με τις προσομοιωμένες από το μοντέλο, ονομάζεται βαθμονόμηση (Chong-yu Xu, 2002). Κάποιες παράμετροι μπορούν να καθοριστούν απευθείας αναλύοντας φυσικά ή πειραματικά δεδομένα, ενώ η πλειοψηφία αφορά σε παραμέτρους οι οποίες διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από φυσικούς και κλιματικούς παράγοντες (NOAA's National Weather Service, Hydrology Laboratory).

Ο όρος παράμετρος στην περίπτωση της διαδικασίας της βαθμονόμησης μοντέλων φυσικής βάσης, αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό, καθώς πρόκειται για σταθερές εισόδου που αναπαριστούν ιδιότητες του φυσικού συστήματος. (Ν. Μαμάσης, 2009)

Όσον αφορά στα εννοιολογικά μοντέλα, παρατηρούνται δύο είδη παραμέτρων, οι φυσικές παράμετροι (physical parameters) και οι διαδικαστικές ("process" parameters) (Sorooshian and Gupta, 1995). Οι φυσικές παράμετροι αναπαριστούν, όπως και στα μοντέλα φυσικής βάσης, μετρήσιμες ιδιότητες του υδροκρίτη. Ενώ, οι διαδικαστικές, αφορούν σε ιδιότητες που δεν είναι εφικτό να μετρηθούν, όπως το μέσο ή ενεργό βάθος της ακόρεστης ζώνης, ο συντελεστής επιφανειακής απορροής, ο συντελεστής μη γραμμικότητας φιλτραρίσματος του αποθηκευμένου υπόγειου νερού κ.ο.κ

Η μεγαλύτερη δυσκολία που πρέπει να αντιμετωπιστεί στο βήμα της βαθμονόμησης, έγκειται στο γεγονός ότι όσο τα μοντέλα εξελίσσονται στο πέρασμα του χρόνου με στόχο τη μεγαλύτερη ακρίβεια, γίνονται πιο σύνθετα, με αποτέλεσμα, τόσο μεγαλύτερος να είναι ο όγκος των παραμέτρων-σταθερών που λαμβάνουν ως είσοδο και πρέπει να προσδιοριστούν.

2.4.2 Είδη Βαθμονόμησης

Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει κυρίως με δύο τρόπους, την εμπειρική (Manual calibration) και την αυτόματη βαθμονόμηση (Automated calibration) (Gupta et al., 2000). Στις δύο αυτές μεθόδους προστίθεται και μια τρίτη η οποία είναι στην ουσία συνδυασμός των παραπάνω, η ημιαυτόματη βαθμονόμηση.

Αυτόματη βαθμονόμηση

Διατυπώνεται ένα πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού το οποίο δέχεται ως αντικειμενική συνάρτηση τη βέλτιστη σχέση μεταξύ προσομοιωμένων και παρατηρούμενων στο πεδίο τιμών, και μεταβλητές ελέγχου τις παραμέτρους εισόδου του μοντέλου. Μια αντικειμενική συνάρτηση είναι μια αριθμητική μέτρηση της διαφοράς μεταξύ των δεδομένων εξόδου του μοντέλου και των δεδομένων πεδίου της υδρολογικής λεκάνης (Schaeffli & Gupta 2007). Στην πραγματικότητα, εφαρμόζονται πολλά στάδια τα οποία περιλαμβάνουν πολλές αντικειμενικές συναρτήσεις και διαφορετικά σύνολα παραμέτρων (Hogue et al., 2000).

Χρησιμοποιούνται δηλαδή, σύνολα αλγορίθμων, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη προσομοίωση των πειραματικών τιμών. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα με τυχαίες αλλαγές στις παραμέτρους, να επιλέγει το σύνολο των παραμέτρων που έχει τα καλύτερα αποτελέσματα, βάσει ποικίλων κριτηρίων (Gupta et al., 1998). Η αυτόματη βαθμονόμηση κυρίως χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση υδροκριτών και όχι ολόκληρης λεκάνης απορροής. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής εντοπίζεται, στην αβεβαιότητα που προκύπτει λόγω πολλών ισοδύναμα καλών λύσεων και στην πλήρη εξάρτηση των αποτελεσμάτων από το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιείται.

Τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία της αυτόματης βαθμονόμησης είναι τα εξής:

1. Επιλέγονται οι παράμετροι (μεταβλητές ελέγχου), θ .
2. Επιλέγεται ένα δείγμα παρατηρήσεων ως προς τις αποκρίσεις y , για χρονικό ορίζοντα T , που θεωρείται αντιπροσωπευτικό της υδρολογικής δίαιτας του φυσικού συστήματος.
3. Διαμορφώνεται ένα βαθμωτό μέτρο προσαρμογής g μεταξύ των προσομοιωμένων, y' , και των παρατηρημένων, y , χρονοσειρών απόκρισης.
4. Ορίζεται το πεδίο αναζήτησης Θ των παραμέτρων, που κατά κανόνα δίνεται με τη μορφή άνω και κάτω ορίων τους.
5. Διατυπώνεται το πρόβλημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης:

$$\max g(\theta), \theta \in \Theta$$

6. Με εφαρμογή ενός αλγορίθμου μη γραμμικής βελτιστοποίησης, εντοπίζονται οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων, θ^* (Αθ. Λουκάς).

Εμπειρική βαθμονόμηση

Πρόκειται για μια υποκειμενική μέθοδο βαθμονόμησης “trial and error” (NOAA’s National Weather Service, Hydrology Laboratory) κατά την οποία ο χρήστης, σύμφωνα με την κρίση του, αλλάζει τις τιμές των παραμέτρων εισόδου, παρατηρώντας με ποιο τρόπο επηρεάζει κάθε μία παράμετρος τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Οι αποφάσεις σχετικά με τις τελικές τιμές των παραμέτρων παίρνονται με τη βοήθεια διαδραστικών γραφημάτων και διαφόρων δεικτών. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου, εντοπίζεται στο γεγονός ότι ο χρήστης καταφέρνει να διατηρήσει τη φυσική βάση των μοντέλων και αποκτά υδρολογική εμπειρία.

Στην Εικόνα 2.3 παρατίθενται συγκριτικά, τα χαρακτηριστικά της εμπειρικής με την αυτόματη βαθμονόμηση.

INTERACTIVE vs. AUTOMATED CALIBRATION

INTERACTIVE	AUTOMATED
• Emphasis on Component Process Representation	• Emphasis on Overall Model Fit to Data
• Requires Good Knowledge of Physical Model Basis	• Treats Model as Nonlinear Regression
• Person Intensive	• Low Personnel Requirements
• Use of a Multitude of Performance Criteria	• A Small Number of Statistical Criteria
• Less Affected by Data Quality Problems	• Sensitive to Data Quality
• Requires Well Designed Graphical Interfaces	• Requires Robust Optimization Methods
• Likely to Produce Parameter Estimates Which Would Allow Reliable Simulations of Future Events	• Likely to Produce Parameter Estimates with Uncertain Value for the Simulation of Future Events

Εικόνα 2.3 : Σύγκριση αυτόματης με εμπειρική βαθμονόμηση (NOAA's National Weather Service, Hydrology Laboratory)

Ημιαυτόματη βαθμονόμηση

Από πολλούς μελετητές θεωρείται η πλέον ορθή μέθοδος καθώς συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των παραπάνω μεθόδων. Ο χρήστης μπορεί να επέμβει στη διαδικασία της βελτιστοποίησης με τη μεταβολή των κριτηρίων και τελικώς, να τη κατευθύνει. Με αυτό τον τρόπο, διατηρείται η φυσική βάση του μοντέλου και η εγκυρότητα της προσομοίωσης, ενώ παράλληλα ο “αυτοματοποιημένος” αλγόριθμος τρέχει αναζητώντας τη βέλτιστη λύση.

Ανεξάρτητα από το ποια μέθοδο θα επιλέξει να χρησιμοποιήσει ο εκάστοτε χρήστης, για να θεωρηθεί ότι η βαθμονόμηση είναι ορθή, θα πρέπει εκτός από το να αποδοθεί φυσικό νόημα στις βελτιστοποιημένες παραμέτρους, ώστε να συμβαδίζουν με τις ιδιότητες του φυσικού συστήματος, τα αποτελέσματα του μοντέλου να είναι ικανοποιητικά για περισσότερες από μια θέσεις του ποταμού και για διάφορες είτε ξηρές είτε υγρές χρονικές φάσεις της λεκάνης απορροής (μέθοδος datasplit) (Refsgaard, 1997).

2.4.3 Ορισμός Επαλήθευσης

Με τον όρο επαλήθευση εννοείται η αξιολόγηση- έλεγχος που ακολουθεί την βαθμονόμηση με στόχο να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου είναι αντιπροσωπευτικά των πραγματικών. Όλα τα μοντέλα, είναι αναμενόμενο να αποτύχουν σε κάποιες περιπτώσεις και αυτό οφείλεται σε τρεις κύριους λόγους.

- Πιθανά λάθη στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη βαθμονόμηση.
- Δεδομένα που αφορούν σε μεμονωμένες χρονικές περιόδους κατά τις οποίες οι φυσικές-υδρολογικές διεργασίες, δεν είναι επαρκείς ώστε να προσδιοριστούν όλες οι παράμετροι.
- Ανεπαρκής ή λάθος αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών της περιοχής από το μοντέλο (Chong-yu Xu, 2002)

Συνήθως, χρησιμοποιείται ένα σύνολο δεδομένων απορροής, φόρτισης κ.τ.λ., που δεν έχει λάβει μέρος στη βαθμονόμηση και αφορά σε ένα διαφορετικό σημείο του ποταμού σε διαφορετική χρονική περίοδο. (data- splitμέθοδος)(Klemes, 1986). Ωστόσο, υπάρχουν ερευνητές που διαφωνούν με τη συγκεκριμένη μέθοδο και προτείνουν άλλους τρόπους αξιολόγησης. Η “τυφλή μέθοδος” αφορά σε μοντέλα που δεν έχουν βαθμονομηθεί και η κεντρική ιδέα της περιλαμβάνει την απευθείας σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με τις μετρήσεις πεδίου (Bevenetal., 1984 , Loague, 1990, Ewen and Parkin 1996) .

Ο κίνδυνος που εγκυμονεί όταν καταβάλλεται υπερβολική προσπάθεια να ταυτιστούν να προσομοιωμένα με τα πειραματικά δεδομένα, ονομάζεται υπερπροσαρμογή (overfitting). Αυτό που συμβαίνει σε αυτή τη περίπτωση είναι, το μοντέλο να λειτουργεί ως μαύρο κουτί, κάνοντας απλώς μαθηματικούς υπολογισμούς χωρίς κανένα φυσικό νόημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το μοντέλο να λειτουργεί τέλεια για τη περίοδο που χρησιμοποιήθηκε στη βαθμονόμηση, ενώ αδυνατεί να αποδώσει έγκυρα αποτελέσματα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ή χωρικές ενότητες.

2.5 Το Μοντέλο SWAT

2.5.1 Το SWAT γενικά

Το μοντέλο SWAT είναι ένα εργαλείο που αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Jeff Arnold για την Υπηρεσία Αγροτικών Ερευνών των ΗΠΑ, στο Texas (USDA-ARS, Agricultural Research Service) με στόχο την πρόβλεψη της επίδρασης πρακτικών διαχείρισης της γης, στα ύδατα στα εδάφη και στα φερτά θρεπτικά συστατικά, σε μεγάλες λεκάνες απορροής με βάση υδρομετεωρολογικά στοιχεία. Η ικανότητα του να προσομοιώνει πολύπλοκες λεκάνες με διαφορετικούς τύπους εδαφών και πρακτικών διαχείρισης του, το έκανε διεθνώς γνωστό (Arnold and Fohrer, 2005 , Gassman et al., 2007) .

Πρόκειται για ένα καταναμημένο υδρολογικό μοντέλο, φυσικής βάσης , συνεχούς χρόνου , το οποίο λειτουργεί με ημερήσιο βήμα. Χρησιμοποιεί έτοιμα δεδομένα και είναι υπολογιστικά ικανό να εφαρμοσθεί σε μεγάλες λεκάνες απορροής(Neitsch et al., 2005).Βασισμένο σε τοπογραφικά χαρακτηριστικά του εδάφους, τα οποία αποκτά από τοπογραφικούς χάρτες των Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας , οριοθετεί υδροκρίτες καθώς και λεκάνες απορροής και περιγράφει τη χωρική ποικιλομορφία της υδρολογικής λεκάνης, χωρίζοντας τη σε μικρότερες ενότητες, οι οποίες είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμες.

Αναπαριστά πολλαπλές διεργασίες, υδρολογικές, υδροδυναμικές καθώς και υδροχημικές σε κλίμακα υπολεκάνης ακόμη και σε βάθος χρόνου, ετκός από την περίπτωση προσομοίωσης λεπτομερών μεμονωμένων πλημμυρικών γεγονότων ημερήσιας διακριτότητας (Μπακή και Ευστρατιάδης, 2010). Το μοντέλο από το 2003 και μετά εξελίσσεται συνεχώς, διατηρώντας όμως σταθερές τις βασικές αρχές που το διέπουν. Οι διαφορές του εντοπίζονται , στην προσθήκη περισσότερο εξειδικευμένων παραμέτρων για την ακριβέστερη εκτίμηση της απορροής του ποταμού που προσομοιώνει.

Στις δυνατότητες του αξίζει να προστεθούν:

- 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).

2.5.2 Δεδομένα Εισόδου

Το μοντέλο SWAT, απαιτεί πληροφορίες σχετικά με τον καιρό, τη γεωλογία, την τοπογραφία, τη φυτοκάλυψη και τις χρήσεις γης. Τα ελάχιστα δεδομένα που απαιτούνται για να τρέξει το μοντέλο, συνήθως παρέχονται από κρατικές υπηρεσίες. Επτά από τα απαιτούμενα αρχεία εισόδου δίνονται από το μοντέλο, και είναι οι βάσεις δεδομένων ανάπτυξης φυτών, οι βάσεις μετεωρολογικών και εδαφικών στοιχείων, η βάση δεδομένων άρωσης, λιπασμάτων, παρασιτοκτόνων, και τέλος η βάση αστικών περιοχών (USDA Agricultural Research Service at the Grassland, Soil and Water Research Laboratory in Temple, Texas).

Τα συγκεκριμένα δεδομένα εισόδου που δέχεται είναι πληροφορίες που αφορούν σε:

- Εδαφική μορφολογία(ανάγλυφο)
- Χρήσεις γης
- Γεωλογική μορφολογία (τύποι εδάφους)
- Μετεωρολογικά δεδομένα (χρονοσειρές):
 - ✖ ημερήσιας βροχόπτωσης,
 - ✖ μέγιστης-ελάχιστης θερμοκρασίας,
 - ✖ σχετικής υγρασίας,
 - ✖ ταχύτητας ανέμου
 - ✖ ηλιακής ακτινοβολίας

2.5.3 Δεδομένα Εξόδου

Τα αρχεία εξόδου που προκύπτουν από το πέρας της μοντελοποίησης, ομαδοποιούνται βάσει του τύπου δεδομένων που περιλαμβάνουν. Υπάρχουν τέσσερα βασικά αρχεία εξόδου.

- Standard output file (.std)
- HRU(Hydrologic Response Units) file (.sbs)
- Αρχείο εξόδου υπολεκανών (.bsb)
- Αρχείο εξόδου κύριου καναλιού (.rch)

Άλλα αρχεία που μπορεί να δοθούν ως αποτέλεσμα της μοντελοποίησης είναι η περίληψη παρασιτοκτόνων (.pso), περίληψη ποιότητας νερού του ποταμού (Stream Water Quality Summary file) (.wqo), η περίληψη του ταμιευτήρα (Reservoir Summary file (.rsv) και αρχείο περίληψης ποιότητας υδάτων λιμνών (Lake Water Quality Summary File) (.lqo)

Τα αρχεία με αστερίσκο προσφέρονται, μόνο στη περίπτωση ύπαρξης ταμιευτήρα και λίμνης αντίστοιχα.(USDA Agricultural Research Service at the Grassland, Soil and Water Research Laboratory in Temple, Texas).

2.5.4 Μεθοδολογία Μοντέλου

Η λεκάνη απορροής που προκύπτει συνδυάζοντας τη μορφολογία της περιοχής με τα υδατορεύματα, διαχωρίζεται σε μικρότερες υπολεκάνες. Κάθε υπολεκάνη διαιρείται σε μικρότερες μονάδες HRU, στις οποίες εντοπίζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά για τη

διευκόλυνση του χρήστη. Στόχος του μοντέλου είναι να προβλέψει την υδρολογία της περιοχής και τη κίνηση των ρευμάτων με ακρίβεια σε κάθε μονάδα που έχει δημιουργηθεί.

Η διαίρεση της λεκάνης σε υδρολογικές λεκάνες απόκρισης HRU συμβαίνει για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε διαφορετικά είδη χρήσεων γης και εδάφους. Η τελική-συνολική απορροή αποτελεί το άθροισμα των επιμέρους παροχών που έχουν βρεθεί για κάθε HRU.

Το μοντέλο ελέγχει τη πραγματική κίνηση του νερού σε δύο επίπεδα, αυτή στο έδαφος, όπου αξιολογεί την ποσότητα του νερού, ιζημάτων θρεπτικών συστατικών και φυτοφαρμάκων, τα οποία τελικά καταλήγουν στο κεντρικό υδατόρευμα, και μέσα στο κανάλι.

2.5.5 Υδρολογικός κύκλος στο SWAT

Το SWAT δέχεται ημερήσιες χρονοσειρές 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 δρόμους. Είτε απορρέουν επιφανειακά, είτε διηθούνται στο έδαφος. Το ποσοστό που θα απορρεύσει τελικά καθορίζεται από τον συντελεστή απορροής που διαφέρει ανάλογα με τον τύπο εδάφους και τις χρήσεις γης. Το νερό που ρέει επιφανειακά καταλήγει σύντομα σε υδάτινους αποδέκτες(ποτάμια) συνεισφέροντας στην άμεση αύξηση της παροχής τους, προκαλώντας πλημμυρικά επεισόδια. Το υπόλοιπο νερό, που έχει διηθηθεί, ακολουθεί κατακόρυφη ή οριζόντια διαδρομή μέσα στο έδαφος σε τρεις κύριες στρώσεις.

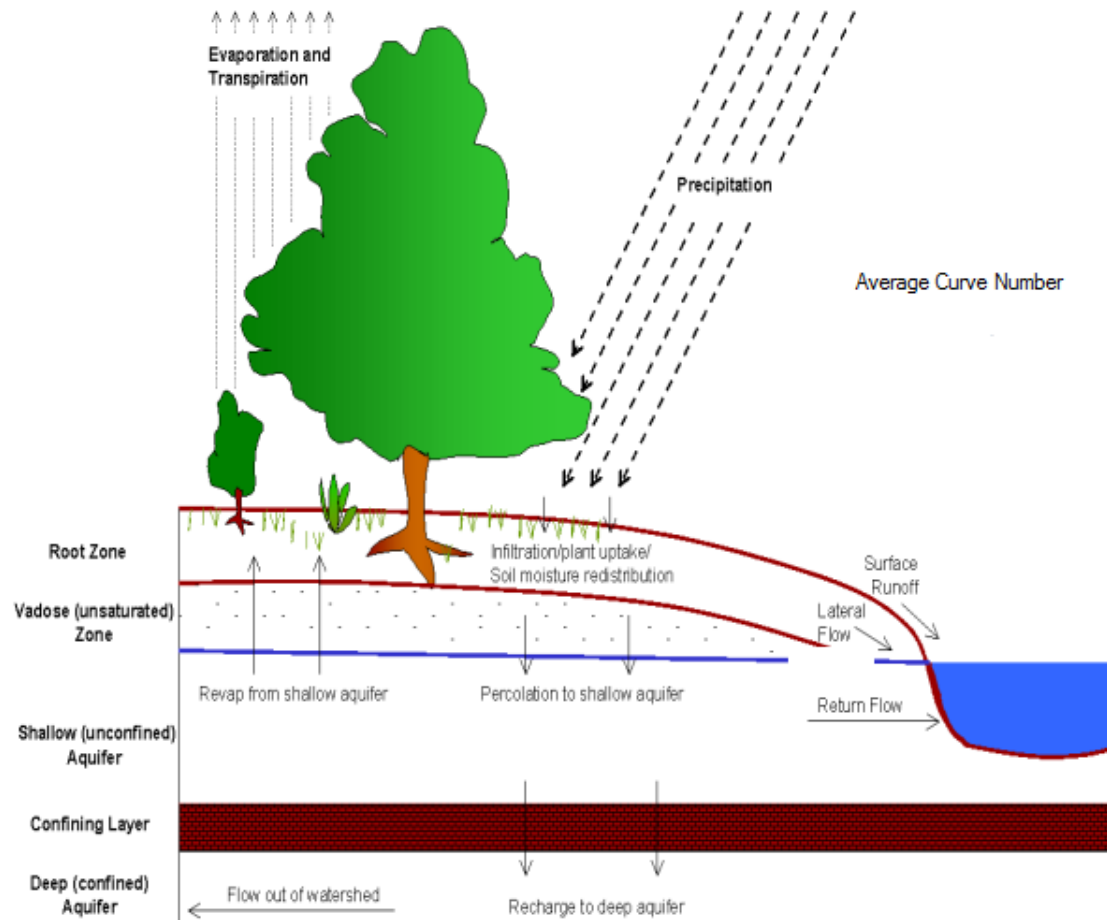
- εδαφικό προφίλ (ακόρεστη ζώνη)
- επιφανειακός-αβαθής υδροφορέας
- βαθύς υδροφορέας

Το νερό της πρώτης κατηγορίας, είτε εξατμίζεται, είτε απορροφάται από τις ρίζες των φυτών, συμμετέχει στη φωτοσύνθεση και τμήμα αυτού διαπνέεται. Επιπλέον, τμήμα του εδαφικού νερού της ακόρεστης ζώνης, συμβάλει στην υποερμική ροή (latent flow) και καταλήγει στο κανάλι

Το νερό κινείται κατακόρυφα στον αβαθή υδροφορέα, ο οποίος τροφοδοτείται από ποτάμια και λίμνες, με το φαινόμενο της διήθησης. Η αποφόρτιση του συμβαίνει με το φαινόμενο της υπόγειας ροής (return flow), με την οριζόντια δηλαδή κίνηση του νερού που τροφοδοτεί τους υδάτινους αποδέκτες, είτε με κατείσδυση του στο τελευταίο στρώμα, τον βαθύ υδροφορέα. Ταυτόχρονα, ένα μέρος του επιφανειακού υδροφορέα, κινείται κατακόρυφα και προς τα πάνω, με τη διεργασία που ονομάζεται “renaporation”, στο εδαφικό στρώμα. Το νερό που καταλήγει στον βαθύ υδροφορέα θεωρείται ότι χάνεται από το σύστημα.

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)



Εικόνα 2.4 : Ο υδρολογικός κύκλος στο SWAT(Neitsch et al., 2005)

Η εξίσωση που περιγράφει τον υδρολογικό κύκλο (Εικόνα 2.4) στο μοντέλο SWATείναι η παρακάτω.

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

Όπου,

SW_t : η τελική περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους την ημέρα t (mm H₂O)

SW_0 : η αρχική περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους την χρονική στιγμή 0 (mm H₂O)

R_{day} : η ημερήσια κατακρήμνιση την ημέρα (mm H₂O)

Q_{surf} : η ημερήσια επιφανειακή απορροή την ημέρα i(mm H₂O)

E_a : η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή την ημέρα i(mm H₂O)

W_{seep} : η ποσότητα νερού που εξέρχεται από την ζώνη ριζοστρώματος και εισέρχεται στην ζώνη vadose την ημέρα i(mm H₂O)

Q_{gw} : η υπόγεια ροή την ημέρα i (mm H₂O)

Το μοντέλο ενσωματώνει όλες τις σχετικές υδρολογικές διεργασίες εκτός από την απορροή. Αυτές περιλαμβάνουν τον κύκλο και τη μεταφορά θρεπτικών, την ανάπτυξη βλάστησης, τις χρήσεις γης, αλλά και τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο υπολεκάνης.

2.5.6 Υδρολογικό ισοζύγιο

Για την προσομοίωση του υδρολογικού ισοζυγίου τηρείται μια διαδικασία σταδιακού υπολογισμού για την κάθε μονάδα υδρολογικής απόκρισης, κατά την οποία, συνυπολογίζονται το ποσοστό βροχόπτωσης που συγκρατείται από το φύλλωμα των φυτών και των δέντρων, ο τρόπος καταμερισμού της, το νερό από το λιώσιμο του χιονιού, το νερό άρδευσης μεταξύ επιφανειακής απορροής και της διήθησης, η αναδιανομή του στο προφίλ εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή, η υπεδάφια απορροή αλλά και τέλος, η ροή που επιστρέφει από τους ρηχούς υδροφορείς. Έπειτα τα δεδομένα αυτά για την κάθε υπολεκάνη, αθροίζονται και ενσωματώνονται μέσα στο υδρογραφικό δίκτυο με στόχο, την ολιστική προσομοίωση του ποτάμιου συστήματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση των ροών των υδρολογικών μονάδων αφορούν στην προσέγγιση του κινηματικού κύματος και είναι οι εξής:

- η Μέθοδος Αποθήκευσης Μεταβλητού Ρυθμού (Williams, 1969)
- η Μέθοδος Muskingum (Neitsch et al., 2005).

Επιπλέον, αθροίζονται οι συγκεντρώσεις ή τα φορτία, των ιζημάτων, των φυτοφαρμάκων, των θρεπτικών αλλά και των βακτηρίων από όλες τις υδρολογικές μονάδες και τέλος, διοδεύονται μέσω των καναλιών, των υγροτόπων, των λιμναζόντων νερών αλλά και των ρεζερβουάρ και καταλήγουν στην έξοδο της λεκάνης απορροής.

Για τους τελικούς υπολογισμούς, σε επίπεδο λεκάνης απορροής, λαμβάνονται υπ' όψιν σημειακές πηγές ή τυχόν πιέσεις από το αστικό περιβάλλον που διαταράσσουν τον κύκλο (Gassman et al., 2007b).

2.5.7 Διαχειριστικές πρακτικές

Το μοντέλο αναπτύχθηκε για την Υπηρεσία Αγροτικών Ερευνών, αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πολλές από τις αγροτικές πρακτικές όπως, η σπορά, η λίπανση, η άροση, η άρδευση, η συγκομιδή, η βόσκηση και πολλές ακόμη, να μπορούν να προσομοιωθούν λεπτομερειακά.

2.6 Φράγματα

2.6.1 Γενικά

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)

Ο ρόλος των φραγμάτων είναι η αναρρύθμιση της ροής των ποταμών και η χρησιμοποίηση των πολύτιμων υδάτινων πόρων κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικότερο και περισσότερο ωφέλιμο. Η κατασκευή τους ξεκίνησε πριν από πολλούς αιώνες πριν ακόμα δημιουργηθούν ερωτήματα κι ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές μεταβολές που προκαλούν και τις αντιρρήσεις για τη ωφελμιστική σκοπιμότητά τους. Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάστηκαν αποσκοπούσαν κυρίως στην παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για ιχθυοκαλλιέργειες, για τουρισμό και αναψυχή. Το παλαιότερο φράγμα που αναφέρεται στην Ιστορία (4η χιλιετία π.Χ.) βρισκόταν στη Γιάβα της σημερινής Ιορδανίας και χρησίμευε για τη συλλογή πόσιμου νερού. Σήμερα, τα φράγματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το παρελθόν, έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος, αξιοποιούν τις γνώσεις της υδρολογίας και της υδρομηχανικής και το μέγεθος των επιπτώσεων άμεσων ή έμμεσων, οικονομικών ή μη οικονομικών έχει αυξηθεί (Φιλίντας Α., Πολύζος Σ., 2008).

2.6.2 Τύποι φραγμάτων

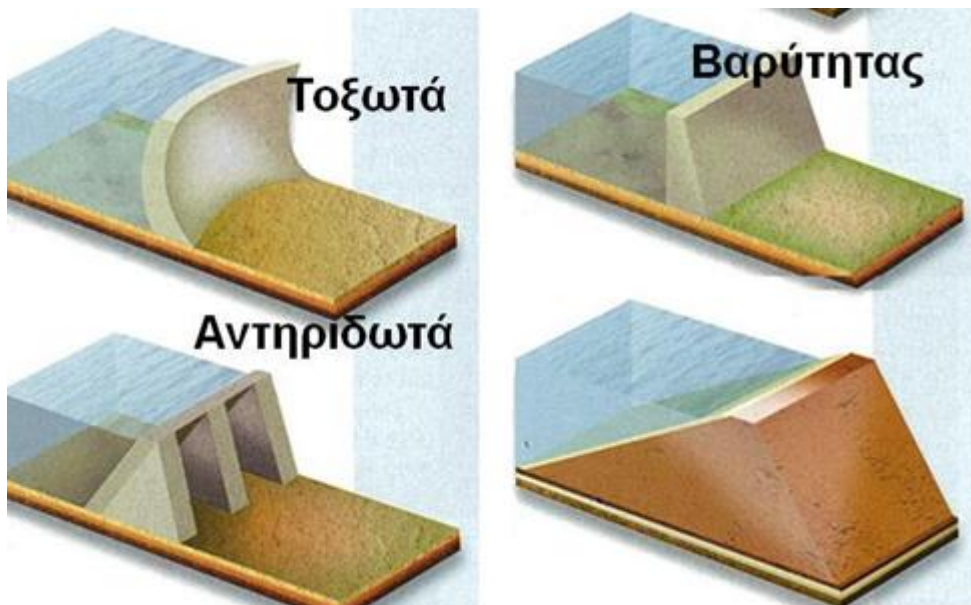
Ανάλογα με την γεωλογία, την τοπογραφία, την σεισμικότητα και την υδρογεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος αλλά και τους εκάστοτε περιβαλλοντικούς σκοπούς, επιλέγεται ο τύπος του φράγματος που θα κατασκευαστεί (Εικόνα 2.5). Οι δύο κυριότεροι τύποι φραγμάτων είναι τα Άκαμπτα φράγματα τα οποία αποτελούνται από σκυρόδεμα ή κάποιο άλλο παρόμοιο υλικό και τα Εύκαμπτα φράγματα, τα οποία διαθέτουν στεγανά υλικά κεντρικά ή ανάντη.

Οι δυο μεγάλες αυτές κατηγορίες, διαχωρίζονται σε υποκατηγορίες:

Άκαμπτα φράγματα

- **Βαρυντικά** : Συμπαγή φράγματα συμβατικού, είτε κυλινδρούμενου σκυροδέματος, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο και αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής.
- **Αντηριδωτά** : Πρόκειται για ειδική περίπτωση φράγματος βαρύτητας με μειωμένο όγκο τα οποία αποτελούνται από μια πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία φέρεται σε αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα.

- **Τοξωτά:** Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά ενίοτε και οπλισμένο, είναι δε καμπύλα στο σχεδιασμό με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%.



Εικόνα 2.5 : Τύποι Φραγμάτων (Ν. Σαμπατακάκης, Πανεπιστήμιο Πατρών)

Εύκαμπτα φράγματα

- **Χωμάτινα :** Τύπος φραγμάτων που αποτελείται από εδαφικό υλικό και ενίοτε διαθέτει πυρήνα(διαζωνισμένο φράγμα) ή κάποιο είδος γεωμεμβράνης ή ασφαλτικής μεμβράνης.
- **Λιθόρριπτα :** Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι το βραχώδες υλικό και ενίοτε διαθέτουν αργιλικό-ασφαλτικό πυρήνα, πλάκα σκυροδέματος ή γεωμεμβράνη.

Τα χωμάτινα ή λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται εκεί που οι γεωμηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων είναι χαμηλές και μπορούν αν δεχτούν καθιζήσεις κατά την κατασκευή ενώ οι σχηματισμοί θεμελίωσης τους συνήθως είναι κατώτερης ποιότητας.

Ανάλογα με τον σκοπό τους επίσης ταξινομούνται σε:

Φράγματα συγκέντρωσης νερού: συγκέντρωση νερού σε επιφανειακούς ταμιευτήρες, δηλαδή δημιουργία τεχνητών λιμνών που αποδίδονται και με τον όρο «λεκάνη κατάκλισης»

Φράγματα εκτροπής : εκτροπή της ροής του νερού είτε για παροχέτευσή του σε προκαθορισμένο χώρο ή για εκτέλεση εργασιών «εν ξηρώ» και διακρίνονται σε μόνιμα και προσωρινά.

Φράγματα ανάσχεσης : ανάσχεση της ταχύτητας ροής, δηλαδή επιβράδυνση αυτής με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφορέων, την αποφυγή ή μείωση της διάβρωσης λόγω εκδήλωσης χειμαρρικών φαινομένων.

Φράγματα ρύθμισης : ρυθμιστικά για τον έλεγχο και τη πρόληψη πλημμυρών , την ελεγχόμενη παροχέτευση νερού κτλ.(Ν. Σαμπατακάκης, Πανεπιστήμιο Πατρών)

2.6.3 Υδρολογικός σχεδιασμός φραγμάτων

Το γενικευμένο ισοζύγιο για τον σχεδιασμό ενός φράγματος με μηνιαίο χρονικό βήμα είναι το ακόλουθο.

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

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 υπερχειλίσης τον μήνα i (m^3)

Q_{irr} : η ποσότητα που χρησιμοποιείται για αρδευτικούς ή υδρευτικούς σκοπούς τον μήνα i (m^3)

Ο σχεδιασμός ενός ταμιευτήρα γίνεται με στόχο την αποθήκευση νερού κατά τους χειμερινούς-υγρούς μήνες και την απόδοση του κατά τους ξηρούς μήνες που οι ανάγκες μεγιστοποιούνται. Ο τελικός όγκος του ταμιευτήρα που θα δημιουργηθεί από την κατασκευή ενός φράγματος είναι μεγαλύτερος από τον ωφέλιμο καθώς, ένα τμήμα στον πυθμένα προορίζεται να καλυφθεί με φερτά υλικά στο πέραςμα των χρόνων. Επίσης, συνυπολογίζεται επιπλέον όγκος στο άνω τμήμα του ταμιευτήρα για την αναχαίτιση πλημμυρικών φαινομένων. Ο λόγος του συνολικού όγκου που μπορεί να αποθηκευτεί στον ταμιευτήρα προς τον συνολικό όγκο εισροής ονομάζεται βαθμός εκμετάλλευσης:

$$\alpha = \frac{V_z}{V_e} = \frac{\text{Συνολικός όγκος ζήτησης}}{\text{Συνολικός όγκος εισροής}}$$

2.6.4 Επιπτώσεις των φραγμάτων

Οι επιπτώσεις κάθε φράγματος είναι διαφορετικές και εξαρτώνται από παράγοντες όπως η δομή του φράγματος, η λειτουργία του, ο όγκος των φερτών υλών, οι γεωμορφολογικοί περιορισμοί, το κλίμα, η τοπική υδρολογία, οι ιδιότητες που αφορούν στον τοπικό διάκοσμο και γενικότερα οι διαδικασίες που ακολουθούνται. 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. Υπό αυτήν τη μορφή, αλλάζουν συγχρόνως τις θεμελιώδεις διαδικασίες για τα φυσικά οικοσυστήματα, αφού λειτουργούν ως «εμπόδια» στις διαμήκεις ανταλλαγές νερού στους ποταμούς. Με την αλλαγή του τρόπου της κατάντη ροής (δηλ. ένταση, συγχρονισμός και συχνότητα), αλλάζουν το υδατικό ίζημα και τα θρεπτικά καθεστώτα, μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του ύδατος και τη χημεία του. Οι ταμιευτήρες πλημμυρίζουν τα χερσαία οικοσυστήματα, καταστρέφοντας φυτά και αναγκάζουν μετακίνηση των ζώων. Δεδομένου ότι πολλά είδη προτιμούν τα κατώτατα σημεία κοιλάδων, η συσσώρευση νερού σε μεγάλη κλίμακα μπορεί να επηρεάσει μοναδικούς βιότοπους άγριας φύσης και να εξαφανίσει ολόκληρους πληθυσμούς απειλούμενων υπό εξαφάνιση ειδών. Οι κύριες αρνητικές επιπτώσεις αναλύονται παρακάτω.

Μεταβάλλεται η διαίτα του ποταμού κατάντη με εκτεταμένα αποτελέσματα στην τοπική υδρολογία και στα κατάντη ρέοντα ύδατα, καθώς και στη μεταφορά των φερτών υλών. Η μεταβολή αυτή μπορεί να προκαλέσει διαβρώσεις στο έδαφος και να μεταβάλλει το οικοσύστημα που προϋπήρχε στην περιοχή. Η τεχνητή φραγή, λοιπόν, των ποταμών αυξάνει το χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία του νερού, μειώνει τη θολερότητα, τροποποιεί τη θερμική στρωματοποίηση και επομένως ενισχύει συνήθως την πρωταρχική σε φυσική θέση παραγωγή, η οποία έχει επιπτώσεις στον άνθρακα και τη θρεπτική ισορροπία (Friedl, G. and Wüest, A. 2002) (McGinnis et al., 2006).

Παράλληλα, η συγκράτηση του υδάτινου όγκου εντός του ταμιευτήρα και οι μεταβολές στη ροή του ποταμού που φράσσεται και στη ποσότητα των φερτών υλών εμποδίζουν την αναπαραγωγή των ψαριών και επηρεάζουν αρνητικά την πανίδα της κατάντη περιοχής. Μεταβολές στην πανίδα της περιοχής μπορούν να προκληθούν και από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού, της περιεκτικότητας σε αλάτι και οξυγόνο (IEA 2000). Ενώ ταυτόχρονα, δημιουργούνται εμπόδια στη διέλευση των ζώων και στην «προς τα πάνω» κίνηση των ποτάμιων ψαριών κατά την περίοδο της ωοτοκίας τους. Η εκφόρτιση τοξικών ουσιών (φυτοφάρμακα, τοξικά μέταλλα κλπ) στο ποτάμιο οικοσύστημα και η συμπύκνωσή τους στην τροφική αλυσίδα μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις σε ευαίσθητα ζώα και ακόμη όλοι οι οργανισμοί που διαβιούν στο οικοσύστημα μπορεί να απεικονιστούν όταν το υδατορεύμα καταστεί ανίκανο να αυτοανακάμψει από τη ρύπανση. Επιπλέον, το υδατικό καθεστώς της περιοχής του φράγματος μπορεί να αλλάξει ως αποτέλεσμα της καταστροφής της φύσης, ενώ απροσδόκητες πλημμύρες μπορούν να εμφανιστούν και συνεπώς η βλάστηση και οι φυσικές δομές στις όχθες των ποταμών μπορούν να υποστούν καταστροφές. Εκτός των παραπάνω, η δημιουργία του ταμιευτήρα μπορεί να καλύψει αρχαιολογικούς χώρους και χώρους ιστορικής μνήμης, ενώ μπορεί να καλυφθούν χώροι με τοπογραφική, γεωλογική και αισθητική αξία (Kondolf, G.M. 1997). Αξίζει να σημειωθεί ότι, μπορεί να παρατηρηθούν μικροκλιματικές αλλαγές συσχετιζόμενες με τις αλλαγές στο ποσοστό της υγρασίας αέρα, της θερμοκρασίας αέρα (IEA 2000), των μετακινήσεων αέρα στη μεγάλη κλίμακα και τις

αλλαγές στην τοπογραφία περιοχών που προκαλείται από τη λιμνάζουσα (στάσιμη), μεγάλης κλίμακας μάζας του νερού. Τέλος, τα φράγματα σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν αυξήσεις στις ασθένειες που οφείλονται στην ύπαρξη στάσιμων νερών, όπως τύφος, τυφοειδής πυρετός, ελονοσία και χολέρα.

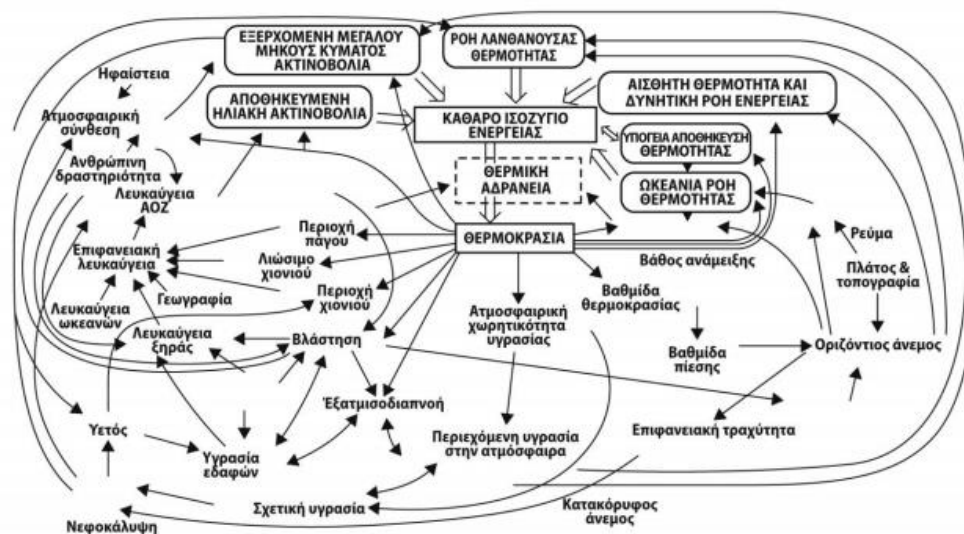
Οι θετικές επιπτώσεις από την κατασκευή φραγμάτων ξεπερνούν τις αρνητικές σε πολλές περιπτώσεις. Η συμβολή των φραγμάτων στην εθνική οικονομία είναι μεγάλη και ποικίλη, καθώς εξυπηρετούν την άρδευση, εξασφαλίζουν πόσιμο νερό, βοηθούν στον έλεγχο των πλημμυρών, εξασφαλίζουν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 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. Κάποιες από τις θετικές επιπτώσεις αναλύονται παρακάτω.

Σημαντική είναι η συμβολή τους στον έλεγχο των πλημμυρών καθώς και στη μείωση ή ακόμη και εξάλειψη των καταστροφών που προκαλούν. Ταυτόχρονα, αποτελούν έμμεσα, πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, επιτυγχάνοντας μείωση της εξάρτησης κάθε περιοχής από την ενέργεια που παράγεται από ρυπογόνες διαδικασίες (πετρέλαιο, λιθάνθρακας, κ.λπ.). Άλλα πιθανά οφέλη που μπορούν να επέλθουν στην περίπτωση που ο ταμιευτήρας ευνοεί τη δημιουργία «υδάτινων οδών» είναι και η αύξηση της τουριστικής ελκυστικότητας. Τέλος, ως σημαντικότερο όλων αυτών κρίνεται η δυνατότητα ύδρευσης οικισμών και η βελτίωση της δημόσιας υγείας λόγω της χρήσης ελεγχόμενου πόσιμου νερού αλλά και η δυνατότητα άρδευσης.

2.7 Κλιματική αλλαγή

2.7.1 Γενικά

Οι κλιματικές συνθήκες στη Γη καθορίζονται από μια συνεχή ροή ενέργειας από τον ήλιο. Η θερμική ενέργεια του ήλιου, διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης και θερμαίνει την επιφάνεια της. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία της επιφάνειας, η Γη στέλνει, υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, θερμική ενέργεια πίσω στην ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας απορροφάται από τα αέρια του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και υδρατμοί, παγιδεύοντας έτσι την ενέργεια και διατηρώντας τη μέση θερμοκρασία της Γης στους περίπου 15°C. Αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ζωής για ανθρώπους, φυτά και ζώα. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το πιο σημαντικό από τα αέρια που διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας στη Γη. Οι διεργασίες εκπομπής και απορρόφησης CO₂ που προκύπτουν στη φύση αποτελούν τον φυσικό κύκλο του αερίου και είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της ισορροπημένης συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Μέσω της αποσύνθεσης φυτών, ηφαιστειακών εκρήξεων, της αναπνοής ζωικών οργανισμών, ελευθερώνεται CO₂ στην ατμόσφαιρα το οποίο απορροφάται εκ νέου μέσω της φωτοσύνθεσης και της διάλυσης του στο νερό. Η φύση έχει προνοήσει για την σχεδόν τέλεια διατήρηση της ισορροπίας εκπεμπόμενου CO₂ και της αντίστοιχης ποσότητας που απορροφάται. Ακόμα, όμως, και μικρές αλλαγές οφειλόμενες σε ανθρώπινες δραστηριότητες είναι δυνατό να επηρεάσουν αυτήν την εύθραυστη ισορροπία.



Εικόνα 2.6 : Το κλιματικό σύστημα και οι διαδικασίες του (Dalezios et al., 2015)

Αποτέλεσμα της μετατόπισης της ισορροπίας αυτής, είναι η κλιματική αλλαγή. Η μεταβολή δηλαδή του παγκοσμίου κλίματος και οι μεταβολές στις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Η αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η υπερβολική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι ο άνθρακας και ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα. Με αυτό τον τρόπο το στρώμα των αερίων του θερμοκηπίου που καλύπτει τη Γη συγκρατεί ολοένα και περισσότερη ενέργεια η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει την μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Η ανθρώπινη παρέμβαση στον φυσικό κύκλο του CO₂ τα τελευταία 150 χρόνια έχει υπάρξει καθοριστική. Η απερίσκεπτη καύση ορυκτών καυσίμων αλλά και οι

κτηνοτροφικές δραστηριότητες που συμβάλουν στην εκπομπή μεθανίου, σε συνδυασμό με την αποψίλωση των δασών τα οποία απορροφούν τα αέρια του θερμοκηπίου, έχουν διαταράξει ανεπανόρθωτα τις ισορροπίες στον κύκλο του CO₂. Η μεγάλη ποσότητα CO₂ που πλέον συγκεντρώνεται στην ατμόσφαιρα, έχει συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, ενώ η ταχύτητα με την οποία συντελείται αυτή η αύξηση είναι σημαντικά μεγαλύτερη από οποιαδήποτε φυσική διεργασία. Το αποτέλεσμα είναι η αδυναμία των φυσικών συστημάτων να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα. Είναι σαφές πως η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας δε σημαίνει απαραίτητα πιο ζεστό κλίμα για όλους, σε όλες τις περιοχές του κόσμου. Καθώς ο πλανήτης θερμαίνεται, μεταβάλλει το κλιματικό σύστημα (Εικόνα 2.6), συμβάλλοντας στην αύξηση εμφάνισης ακραίων και απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων. Το αποτέλεσμα των μεταβολών είναι άλλες περιοχές να παρουσιάζονται πιο ζεστές, άλλες πιο κρύες, ενώ ανάλογα θα επηρεαστούν και τα επίπεδα υγρασίας του πλανήτη –άλλοτε δημιουργώντας συνθήκες ξηρασίας, ενώ άλλοτε υπερβολικά μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης.

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. Η μέση θερμοκρασιακή αύξηση στην Ευρώπη τα τελευταία 100 χρόνια είναι περίπου +0.95°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. 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).

Οι δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής οφείλουν να εμπεριέχουν μία αλλαγή του υφιστάμενου αναπτυξιακού μοντέλου, προς την κατεύθυνση μιας βιώσιμης, πράσινης οικονομίας χαμηλών ή και μηδενικών εκπομπών άνθρακα με τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας. Η ανάπτυξη του μοντέλου αυτού θα πρέπει να στηριχθεί στον οριζόντιο συντονισμό των πολιτικών μετριασμού αλλά και προσαρμογής, στους τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας, της γεωργικής παραγωγής και σε πολλούς άλλους. Το κόστος του περιορισμού των εκπομπών και της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή μπορεί να φαίνεται αρχικά υψηλό, αλλά είναι πολύ χαμηλό σε σύγκριση με το κόστος που θα αναγκαστεί η κοινωνία να καταβάλει λόγω απραξίας

2.7.2 Η συμφωνία των Παρισίων για την Κλιματική Αλλαγή

Η επιστημονική κοινότητα θεωρεί ότι μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή θα προκαλέσει πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο για επικίνδυνες και πιθανώς καταστροφικές αλλαγές στο περιβάλλον του πλανήτη. Για τον λόγο αυτό, η διεθνής κοινότητα έχει αναγνωρίσει την ανάγκη διατήρησης της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από 2°C (https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el).

Η συμφωνία των Παρισίων για την Κλιματική Αλλαγή σηματοδοτεί την επικύρωση της συνειδητοποίησης από τη παγκόσμια κοινότητα ότι πρέπει να ενεργήσει για την

αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Πρόκειται για μια παγκόσμια συμφωνία που επιτεύχθηκε στις 12 Δεκεμβρίου 2015 στο Παρίσι. Η συμφωνία αποτελεί ένα σχέδιο δράσης για τη συγκράτηση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη «αρκετά κάτω» από τους 2°C και καλύπτει την περίοδο από το 2020. Τέθηκε σε εφαρμογή στις 4 Νοεμβρίου του 2016 και φέρει τις υπογραφές 195 χωρών.

Τα κύρια στοιχεία της Συμφωνίας των Παρισίων είναι τα εξής:

- μακροπρόθεσμος στόχος: οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να συγκρατήσουν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη αρκετά κάτω από τους 2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και να συνεχίσουν τις προσπάθειες να την περιορίσουν στον 1,5°C
- συνεισφορές: πριν και κατά τη διάσκεψη των Παρισίων, οι χώρες υπέβαλαν ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια δράσης για το κλίμα με στόχο τη μείωση των εκπομπών τους
- φιλοδοξία: οι κυβερνήσεις συμφώνησαν να γνωστοποιούν ανά 5ετία τις συνεισφορές τους με σκοπό τον καθορισμό πιο φιλόδοξων στόχων
- διαφάνεια: δέχθηκαν επίσης να γνωστοποιούν μεταξύ τους και στο κοινό την πρόοδό τους προς την επίτευξη των στόχων τους, με σκοπό την εξασφάλιση διαφάνειας και εποπτείας
- αλληλεγγύη: η ΕΕ και άλλες ανεπτυγμένες χώρες θα εξακολουθήσουν να παρέχουν χρηματοδότηση για το κλίμα, προκειμένου να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες τόσο να μειώσουν τις εκπομπές όσο και να θωρακιστούν έναντι των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

(<http://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/timeline/>)

2.7.3 Διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος- 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. Ο σκοπός της επιτροπής συνοψίζεται στην αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί επίσης τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων.

Η επιτροπή αποτελεί ένα διακυβερνητικό σώμα, ανοιχτό σε όλες τις χώρες μέλη της Παγκόσμιας Μετεωρολογικής Οργάνωσης και του Προγράμματος για το Περιβάλλον του ΟΗΕ. Οι δραστηριότητες της επιτροπής χρηματοδοτούνται από εθελοντικές συνεισφορές των κυβερνήσεων, ενώ πρόσθετη οικονομική στήριξη παρέχουν η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ.

Μέχρι το 2017 έχουν δημοσιευτεί πέντε εκθέσεις (1990, 1995, 2001, 2007 και 2014) από τον IPCC, σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται και τις πιθανές επιπτώσεις τους. Οι εκθέσεις της IPCC αποτελούν σημείο αναφοράς για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις ειδικών ερευνητών.

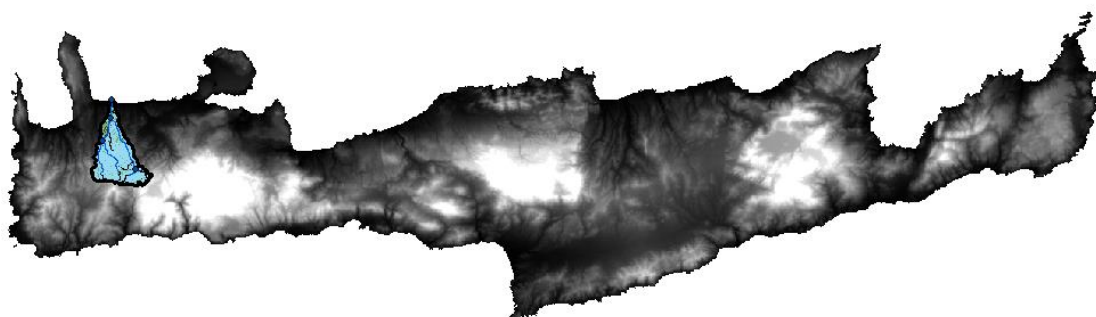
Τα βασικότερα σημεία της τελευταίας έκθεσης που έχει δημοσιευτεί συνοψίζονται παρακάτω.

- 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 $1.30\text{C} \pm 0.110\text{C}$ σε σχέση με την χρονική περίοδο 1850-1899 (Had CRUT 3; 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 ανθρώπινος παράγοντας έχει προσδιοριστεί ότι επηρέασε σημαντικά στις αλλαγές τόσο της παγκόσμιας όσο και της τοπικής βροχόπτωσης, κυρίως τον 20ο αιώνα (Zhang et al., 2007).
- 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

3. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

3.1.1 Περιγραφή λεκάνης απορροής ποταμού Ταυρωνίτη

Η περιοχή ενδιαφέροντος αφορά στην έκταση που εσωκλείεται από τα νοητά όρια που ορίζουν την λεκάνη απορροής του ποταμού Ταυρωνίτη και των παραποτάμων του (Εικόνα 3.1). Πρόκειται για περιοχή που βρίσκεται 20 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης Χανίων και οριοθετείται με συντεταγμένες γεωγραφικού πλάτους μεταξύ $35^{\circ} 19' 12''$ και $35^{\circ} 32' 05''$ και γεωγραφικού μήκος $23^{\circ} 44' 54''$ και $24^{\circ} 01' 05''$. Αν και πρόκειται για εποχιακό ρέμα, η παρουσία του ποταμού είναι σημαντική για την περιοχή καθώς επηρεάζει καταλυτικά το υδατικό δυναμικό του Ν. Χανίων. Η έκταση της λεκάνης ανέρχεται στα 131 km^2 , αν παρομοιαστεί με ισοσκελές τρίγωνο με κορυφή τις εκβολές, ή 173 km^2 αν ληφθούν υπ' όψιν οι βόρειες παράκτιες περιοχές όπου υπάρχουν υδρογεωτρήσεις.

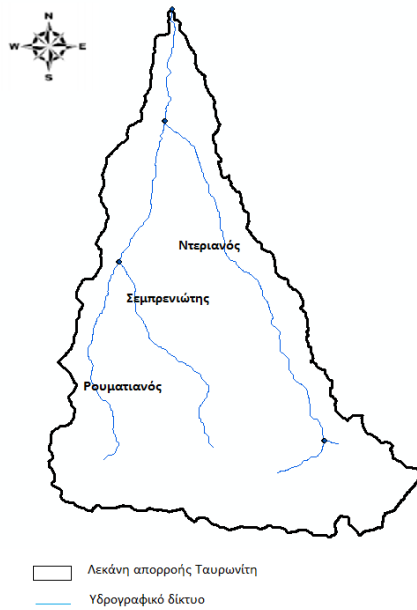


Εικόνα 3.1 : Η τοποθεσία της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη

Όπως παρατηρείται και παρακάτω, οι πηγές του ποταμού βρίσκονται στα Λευκά Όρη (1400 malt.) ενώ οι εκβολές του στα βόρεια του νομού, στο Κρητικό πέλαγος. Στο υδρολογικό δίκτυο του Ταυρωνίτη ανήκουν τρεις παραπόταμοι με τις υπολεκάνες που δημιουργούνται (Εικόνα 3.2).

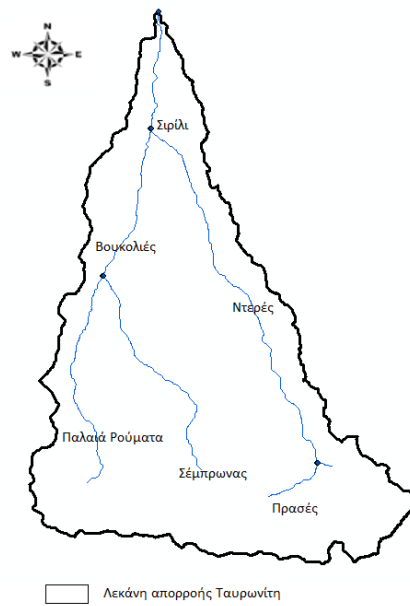
- Ο ποταμός Σεμπερενιώτης ο οποίος πηγάζει από το χωριό Σέμπρωνας και η λεκάνη του με έκταση περί τα 22 km^2 .
- Ο ποταμός Ρουματιανός ο οποίος πηγάζει από το χωριό Παλαιά Ρούματα και η λεκάνη του με έκταση περί τα 28 km^2 .
- Ο ποταμός Ντεριανός ο οποίος πηγάζει από το χωριό Πρασές και η λεκάνη του με έκταση περί τα 57 km^2 .

Οι παραπόταμοι Σεμπερενιώτης και Ρουματιανός συναντιούνται στο χωριό Βουκολιές σχηματίζοντας την κύρια κοίτη του ποταμού Ταυρωνίτη, ενώ πιο κάτω, στο χωριό Συρίλι, λίγο πάνω από την παραλιακή εθνική οδό, εκφορτίζεται ο ποταμός Ντεριανός (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.2 : Λεκάνη Απορροής Ταυρωνίτη

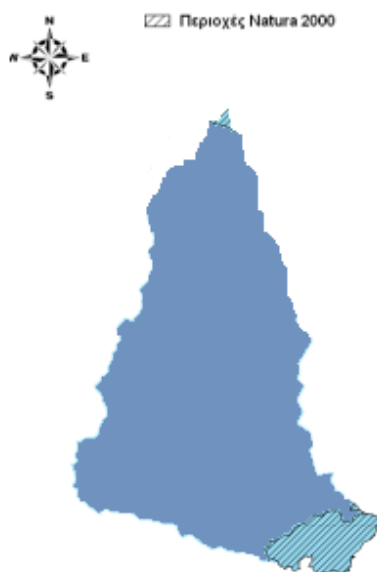
(Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)



Εικόνα 3.3 : Σημαντικοί οικισμοί περιοχής

(Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)

Στις εκβολές του ποταμού Ταυρωνίτη, σχηματίζεται δέλτα το οποίο φιλοξενεί πολλά είδη αποδημητικών πουλιών συμβάλλοντας στον εμπλουτισμό της πανίδας της περιοχής. Αξίζει, επιπλέον, να σημειωθεί ότι το νοτιοανατολικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής βρίσκεται υπό καθεστώς προστασίας καθώς υπάγεται, στις περιοχές Natura 2000 (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4 : Περιοχές Natura στην Λεκάνη Απορροής Ταυρωνίτη (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)

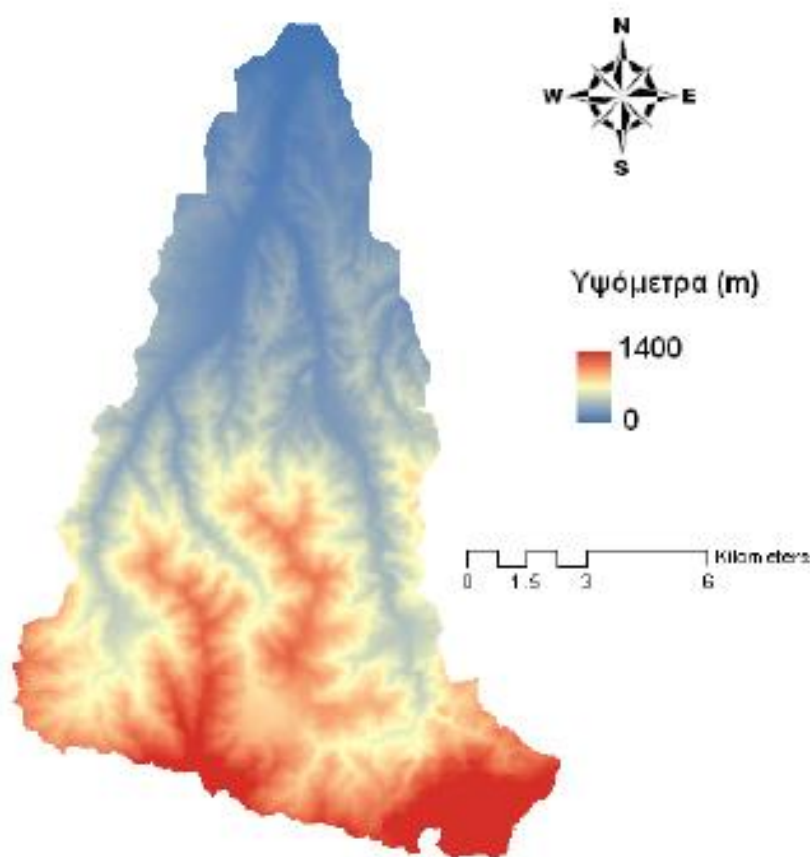
3.1.2 Περιγραφή τοποθεσίας έδρασης φραγμάτων Ντεριανού και Σεμπρενιώτη

Στη θέση του φράγματος του Ντεριανού, η μορφολογία της περιοχής είναι λοφώδης έως ημιορεινή, η κοιλάδα είναι σχετικά ανοιχτή με εύρος στη βάση περίπου 500 m, ενώ χαρακτηριστικό είναι το φυσικό στένωμα που δημιουργείται από δύο αντερείσματα δεξιά και αριστερά του προτεινόμενου φράγματος. Στα δεξιά, διαμορφώνεται στενός επιμήκης λόφος (ράχη) πλάτους 285 m, ενώ το υψόμετρο του ανέρχεται στα 205 m. Το αριστερό αντέρεισμα, αποτελεί και αυτό άκρο ενός επιμήκους λόφου, μεγαλύτερου πλάτους από το δεξί, που φτάνει τα 600 m, με ύψος περί των 300 m. Και τα δυο αντερείσματα αποτελούνται από άκαμπτα σκληρά χαλαζιτικά και έυκαμπτα σχιστοφυή-φυλλώδη πετρώματα. Πάνω στους φυλλίτες και χαλαζίτες κάθονται αδρομερείς ποτάμιες αποθέσεις που αποτελούνται από χαλαζιτικές κροκάλες και χαλίκια με μικρή συμμετοχή άμμου.

Για τον Σεμπρενιώτη, μελετήθηκε η κατασκευή φράγματος με σκοπό τη σύλληψη και την εκτροπή των υδάτων του προς τον ταμιευτήρα του Ντεριανού μέσω σήραγγας. Η περιοχή έδρασης του φράγματος αποτελεί ουσιαστικά μια λεβητοειδή ως φαραγγοειδή κοιλάδα, είναι ημιορεινή ως ορεινή με ισχυρές κλίσεις φυσικών πρανών και γεωλογικά δομείται από ένα σύστημα φυλλιτών-χαλαζιτών, πάνω στο οποίο υπάρχει ένα παχύ στρώμα αδρομερών ποτάμιων αποθέσεων. Στη κοίτη εμφανίζεται μια αναβαθμίδα η οποία αποτελείται από κροκάλες, χαλίκια και ελάχιστη άμμο, ενώ στα αριστερά του προτεινόμενου φράγματος εντοπίζεται και μια παλιότερη, μάλλον διλουβιακή αναβαθμίδα. Τα φυσικά αντερείσματα που υπάρχουν, επεκτείνονται σε μεγάλη απόσταση και ύψος, που φτάνει έως και τα 450 m. (Μελέτη Φραγμάτων στον Χείμαρρο Ταυρωνίτη Ν. Χανίων, Β. Παρασχοΐδης, 1991)

3.2 Γεωμορφολογία

Σχετικά με τη γεωμορφολογία της περιοχής, όπως φαίνεται και από την εικόνα που παρατίθεται (Εικόνα 3.5), στην περιοχή της λεκάνης απορροής το υψόμετρο κυμαίνεται μεταξύ των 1400 m και των 0 m. Το μεγαλύτερο υψόμετρο συναντάται στη νότια περιοχή, όπου βρίσκονται οι πρόποδες των Λευκών Ορέων, ενώ το χαμηλότερο υψόμετρο απαντάται στο βόρειο τμήμα όπου και εκβάλει ο ποταμός Ταυρωνίτης. Το νότιο τμήμα θεωρείται ορεινό που χαρακτηρίζεται από αραιό υδρογραφικό δίκτυο με βαθιές χαραδρώσεις, ενώ, το ενδιάμεσο τμήμα είναι ημιορεινό και λοφώδες με πυκνότερο υδρογραφικό δίκτυο και πιο πλούσια βλάστηση. Τέλος, το βόρειο τμήμα είναι πεδινό με πλούσια βλάστηση και υδροφορία (Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τη λεκάνη απορροής του Ποταμού Ταυρωνίτη, Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012 Χανιά). Τα παραπάνω έχουν ως φυσική συνέπεια τη συγκέντρωση του συνόλου σχεδόν των δραστηριοτήτων και κατ' επέκταση του πληθυσμού στη βόρεια ζώνη. Το νότιο και κεντρικό τμήμα ήταν και εξακολουθούν να είναι υποβαθμισμένα και οικιστικά στάσιμα. Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, η μορφολογική εικόνα της λεκάνης απορροής είναι αποτέλεσμα αποσάθρωσης, διάβρωσης και μεταφοράς, και όχι τεκτονικών παραγόντων, πράγμα που ευνοεί τη κατασκευή έργων χωρίς φόβο παραμόρφωσης από τεκτονικές διεργασίες.



Εικόνα 3.5 : Μορφολογικός Χάρτης Λεκάνης Απορροής Ταυρωνίτη (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)

3.3 Γεωλογία

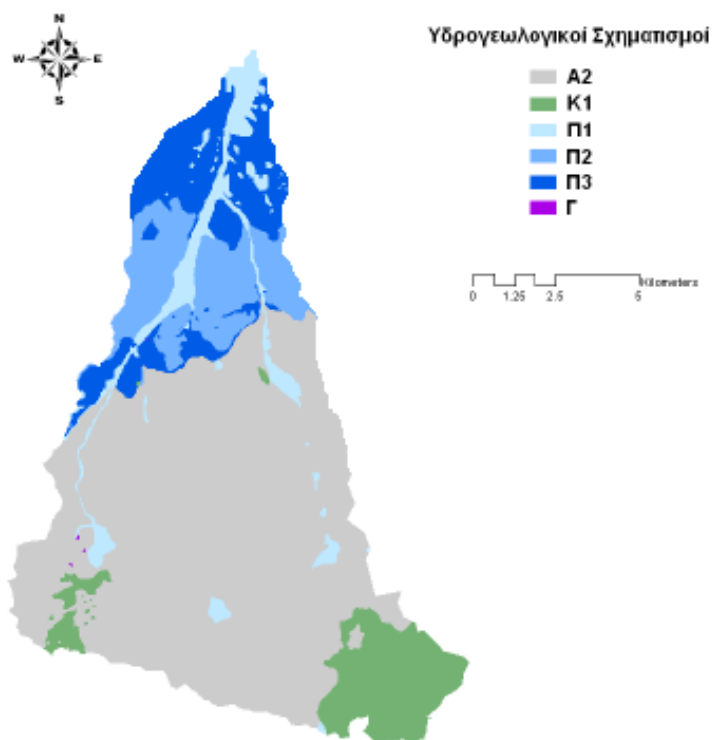
Όσον αφορά στη γεωλογική-τεκτονική δομή της Κρήτης, θα μπορούσαμε να τη χαρακτηρίσουμε σύνθετη και περίπλοκη καθώς αποτελείται από τρεις γενικές κατηγορίες σχηματισμών,

- ένα αυθόχθονο σύστημα στο οποίο τοποθετούνται οι σχηματισμοί των πλακωδών ασβεστόλιθων
- ένα αλλόχθονο σύστημα που βρίσκεται πάνω στο αυθόχθονο και που αποτελείται από σχηματισμούς όπου εναλλάσσονται φυλλίτες, χαλαζίτες, ραουβάκες και γραφιτικοί σχιστόλιθοι έντονα τεκτονισμένοι και τέλος,
- κάποιες νεώτερες μεταλλικές αποθέσεις του Νεογενούς και Τεταρτογενούς.

Η διάκριση των λιθολογικών σχηματισμών σε αυτές τις τρεις κατηγορίες, κρίνεται ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς όλοι οι σχηματισμοί μοιάζουν μεταξύ τους και διαθέτουν κοινά χαρακτηριστικά (Μελέτη Φραγμάτων στο Χείμαρρο Ταυρωνίτη Ν. Χανίων, Παρασχούδης, 1991).

Πιο αναλυτικά, στην λεκάνη απορροής συναντώνται έξι είδη διαφορετικών σχηματισμών οι οποίοι αναλύονται παρακάτω (Εικόνα 3.6).

Στο μεγαλύτερο τμήμα της έκτασης που καταλαμβάνει η λεκάνη συναντώνται, φυλλιτικοί χαλαζητικοί σχηματισμοί, οι οποίοι καλύπτονται από αλλούβια υλικά τεταρτογενών αναβαθμίδων μικρής έκτασης και πάχους. Αυτοί οι σχηματισμοί πρακτικά είναι αδιαπέρατοι ή χαρακτηρίζονται από εκλεκτική κυκλοφορία μικρής ή και πολύ μικρής διαπερατότητας (A2). Σε ένα τμήμα ανάντη, περί των 14 km², εντοπίζονται σχηματισμοί υψηλής έως μέτριας διαπερατότητας, κυρίως ανθρακικοί (K1). Κατάντη του ποταμού, στο βόρειο κομμάτι της λεκάνης απορροής, σε έκταση 28 km², σχηματίζονται μάργες. Πρόκειται για νεογενείς κοκκώδεις σχηματισμούς από αποθέσεις, μικρής έως και πολύ μικρής υδροδιαπερατότητας (Π3). Επιπλέον, μια επιφάνεια περίπου 20.8 km², καλύπτεται από αποθέσεις μέτριας έως μικρής διαπερατότητας, κυρίως κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που φιλοξενούν επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου έως και μικρού δυναμικού (Π2). Παράλληλα, στην περιοχή που οριοθετείται από την κοίτη του ποταμού, μέχρι και το ύψος των Βουκολιών και του Ντεριανού, συναντώνται ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και τεταρτογενείς αποθέσεις αναβαθμίδων και σύγχρονων αλλούβιων σχηματισμών σε έκταση περίπου 17.5 km² (Π1). Στις νεογενείς αποθέσεις επίσης συναντώνται στρώματα και παρεμβολές γύψων (Γ) ικανού πάχους. Οι ενστρώσεις αυτές καθιστούν τις υδροφορίες που αναπτύσσονται στους σχηματισμούς αυτούς, ποιοτικά υποβαθμισμένες εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας σε θειικά άλατα (Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Χανίων, 1996).



Εικόνα 3.6 : Υδρογεωλογικοί Σχηματισμοί Λεκάνης Απορροής Ταυρωνίτη (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)

3.4 Σεισμικότητα

Γενικά η Κρήτη βρίσκεται πάνω στη καμπή του Ελληνικού Τόξου, με το νότιο κομμάτι της να αποτελεί την εξωτερική πλευρά του Τόξου, τη λεγόμενη Ελληνική Τάφρο.

Η θέση του νησιού, πάνω στο σημείο όπου συγκρούονται η Ευρασιατική με την Αφρικανική πλάκα, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλων ρηγμάτων σε αυτό και έντονη σεισμική δραστηριότητα, πρωτίστως στη θάλασσα αλλά και στον κορμό του. Τα σημαντικότερα επίκεντρα εντοπίζονται μεταξύ της Κρήτης και της νήσου της Γάβδου και δυτικά των δυτικών ακτών της. Στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Κρήτης, σύμφωνα με στοιχεία έχει παρατηρηθεί συσχέτιση των σεισμικών εστιών με τα ρήγματα, ενώ στο ηπειρωτικό κομμάτι, η συσχέτιση αυτή εκλείπει. Μπορούμε λοιπόν, να συμπεράνουμε ότι τα ρήγματα που βρίσκονται πάνω στο νησί είναι αβαθή και περιορίζονται στα ιζηματογενή πετρώματα του φλοιού της γης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, κατά κύριο λόγο, στο δυτικό τμήμα τα Κρήτης, να συναντούμε επιφανειακούς σεισμούς με μικρό εστιακό βάθος. Ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει σημειωθεί στην περιοχή του Νομού Χανίων, ήταν το 1910, με μέγεθος 6.9 της κλίμακας Richter.

3.5 Υδρολογία

Στην περιοχή της λεκάνης του Ταυρωνίτη εντοπίζονται 55 σημεία εμφάνισης νερού. Από αυτά, 16 αφορούν σε γεωτρήσεις, 38 σε πηγάδια και μόνο το 1 σε πηγή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, πολλά από τα πηγάδια κατά την ξηρή περίοδο στερεύουν. Από μετρήσεις στάθμης που έχουν πραγματοποιηθεί, συντάχθηκαν πιεζομετρικοί χάρτες διακύμανσης υπόγειας στάθμης μέσα από τους οποίους διαπιστώθηκε ότι, η υπόγεια αποστράγγιση της λεκάνης γίνεται προς βορρά, ενώ η κλίση της υπόγειας πιεζομετρίας δεν είναι ίδια κατά μήκος της πεδινής ζώνης. Στο τμήμα μεταξύ του οικισμού Συριλίου και της παραλιακής ζώνης είναι περίπου 0.5 %, στο τμήμα μεταξύ των Ντεριανών και Βουκολιών είναι περίπου 1.1% ενώ, στο ανάντη τμήμα ανέρχεται στο 1.7%. Με βάση τις παρατηρήσεις της ετήσιας διακύμανσης της υπόγειας στάθμης παρατηρείται ότι στο κατάντη τμήμα (Σιρίνη – Ταυρωνίτη) έχουμε πτώση της στάθμης περί τα 5 m μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου, στο τμήμα (Σιρίλη – Βουκολιές) κατά 2-5 m και τέλος στο τμήμα ανάντη των Βουκολιών 0-1 m (Υπουργείο Γεωργίας, 2001; Καλημέρη, 2004) .

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται κάποιες μορφομετρικοί παράμετροι του ποταμού Ταυρωνίτη και των παραποτάμων του Σεμπρενιώτη, Ρουματιανού και Ντεριανού, αλλά και οι παράμετροι του ποταμού Κερίτη της γειτονικής υδρολογικής λεκάνης, για σύγκριση. (Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τη λεκάνη απορροής του Ποταμού Ταυρωνίτη, Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012 Χανιά).

Πίνακας 3.1: Μορφομετρικοί παράμετροι Ταυρωνίτη και παραποτάμων (Kouli et al., 2007)

	Ταυρωνίτης	Σεμπρενιώτης	Ρουματιανός	Ντεριανός
Έκταση (km ²)	130.87	22.44	27.78	56.64
Ολικός Αριθμός Ρευμάτων	2312	483	511	1042
Ολικό Μήκος Ρευμάτων (km)	511.38	92.58	109.26	229.53
Μήκος Λεκανών (km)	23.7	11.55	9.95	20.99

3.6 Υδρολογική κατάσταση

Το υδατικό δυναμικό της περιοχής εκτιμάται περίπου στα 65 εκατομμύρια m^3 ετησίως. Επιπλέον, οι ανάγκες της περιοχής σε ύδρευση και άρδευση ανέρχονται στα 3.5 εκατομμύρια m^3 και 5 εκατομμύρια m^3 αντίστοιχα τον χρόνο και προέρχονται από την πηγή Καλαμιώνα και την λίμνη της Αγιάς. Στην περιοχή έχουν εκπονηθεί κάποια υδραυλικά έργα, με σημαντικότερα αυτά της υδρομάστευσης του Ντεριανού για κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και άρδευσης του Δήμου Πλατανιά, της υδρομάστευσης Σεμπρενιώτη για ύδρευση των Βουκολιών, υδρομάστευση του Ρουματιανού από τον σύνδεσμο Κολυμβαρίου και την υδρομάστευση ΟΑΔΥΚ μετά τη συμβολή Ρουματιανού και Σεμπρενιώτη για άρδευση. Επιπλέον, έχουν γίνει κάποιες γεωτρήσεις για άρδευση με ικανότητα 40-100 m^3/hr , αλλά και κάποιες μικρότερες ιδιωτικές με δυνατότητα 20-30 m^3/hr . Τέλος, υπολογίζεται πως στην περιοχή υφίστανται περίπου 100 πηγάδια.

Συγκεκριμένα, τα ποσά των απολήψεων από υδραυλικά έργα για τη περιοχή του Ταυρωνίτη είναι τα παρακάτω,

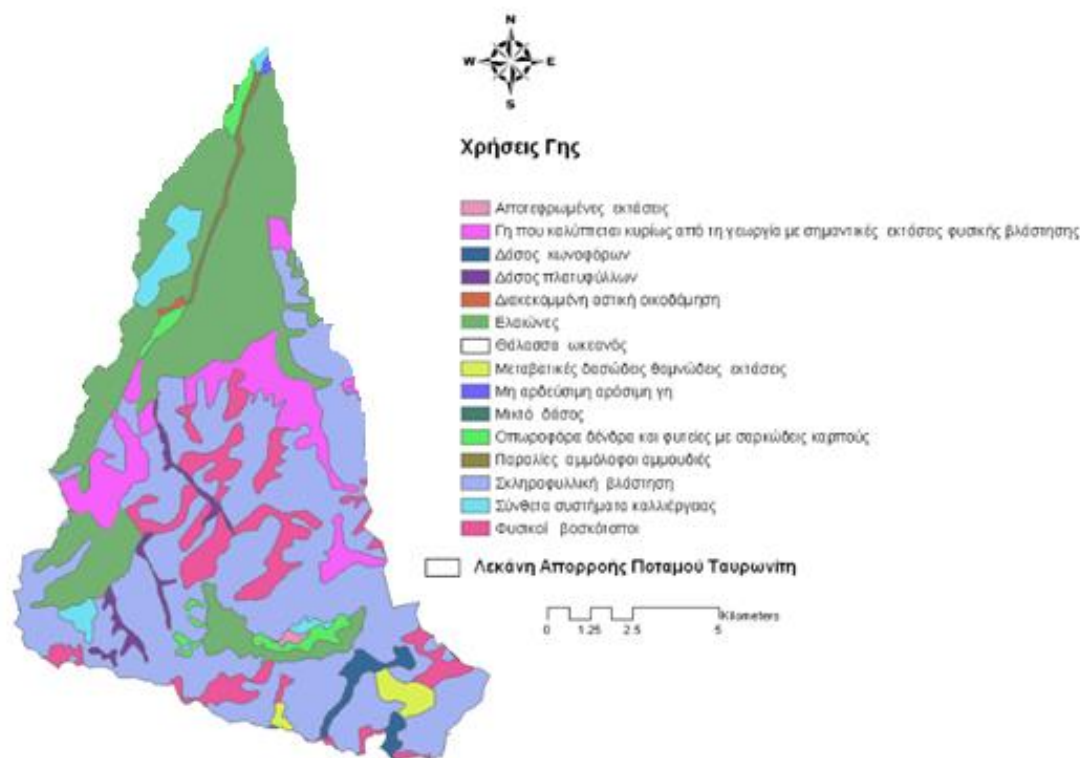
- Για τον Σεμπρενιώτη : 100 m^3/hr ή 2400 m^3/day
- Για τον Ντεριανό : 100 m^3/hr ή 2400 m^3/day
- Για τον Ρουματιανό : 20.83 m^3/hr ή 500 m^3/day
- Απόληψη από την υπολεκάνη που δημιουργείται μετά τη συμβολή Σεμπρενιώτη-Ρουματιανού : 68.5 m^3/hr ή 1644 m^3/day
- Απόληψη μέσω γεωτρήσεων και πηγαδιών από την πεδιάδα του Ταυρωνίτη στην υπολεκάνη πριν τις εκβολές:
 - α) 50 m^3/hr για κάθε γεώτρηση κατά τους χειμερινούς μήνες, δηλαδή συνολικά 300 m^3/hr ή 4 500 m^3/day και
 - β) 90 m^3/hr κατά τους θερινούς μήνες, δηλαδή συνολικά 540 m^3/hr ή 8 100 m^3/day

Για την πεδιάδα του Ταυρωνίτη θεωρούμε πως λειτουργούν κατά μέσο όρο 6 γεωτρήσεις, που δουλεύουν 15 ώρες τη μέρα, για 30 μέρες το μήνα.

Οι συνολικές απολήψεις υπολογίζονται στα 4-5 εκ m^3 τον χρόνο, ενώ οι ανάγκες της περιοχής καλύπτονται με 12.5-13.5 εκ m^3 τον χρόνο.

3.7 Χρήσεις γης

Σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας αλλά και τη βάση δεδομένων Corine 2000 στην περιοχή μελέτης απαντώνται 15 διαφορετικά είδη χρήσεων γης, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω (Εικόνα 3.7) (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2000).



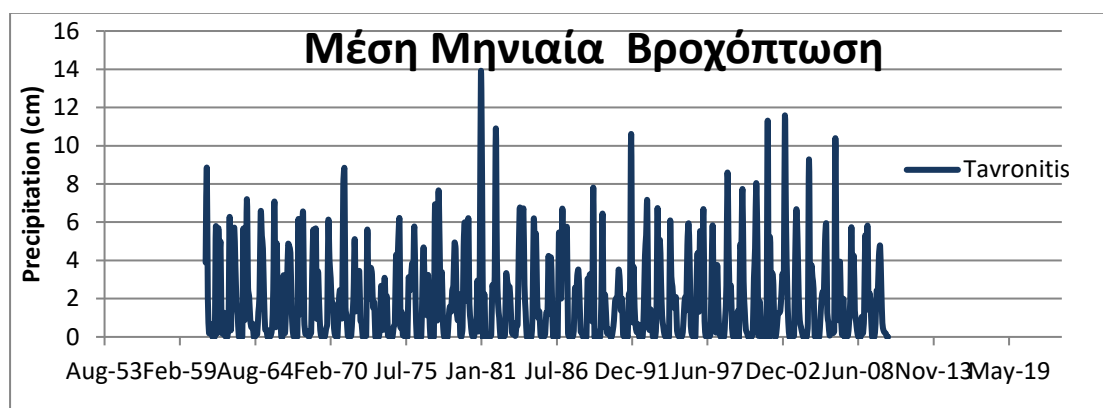
Εικόνα 3.7 : Χάρτης Χρήσεων Γης Λεκάνης Απορροής Ταυρωνίτη (Νικολαΐδης και Καρατζάς, 2012)

Περιοχές με σκληρόφυλλη βλάστηση διαθέτουν το μεγαλύτερο από τα ποσοστά (37.3%) και καταλαμβάνουν μια έκταση περί των 65 km². Ακολουθούν οι ελαιώνες, με ποσοστό 33.25% και έκταση 57.64 km². Επιπλέον, υπάρχουν εκτάσεις που συνολικά ανέρχονται στα 16.22 km², καλύπτονται κυρίως από τη γεωργία και έχουν σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης με ποσοστό 9.3% . Άλλες περιοχές που χρησιμοποιούνται για γεωργικούς σκοπούς είναι, οι περιοχές με καρποφόρα δέντρα με ποσοστό 3.1% και έκταση 5.37 km², οι σύνθετες πρότυπες καλλιέργειες που καταλαμβάνουν έκταση 8.7 km² και διαθέτουν ποσοστό 5%. Επιπλέον, συναντώνται, δασικές εκτάσεις και λιβάδια που συνολικά ανέρχονται στα 16.72 km². Συγκεκριμένα, δασώδεις εκτάσεις με εμβαδόν 1.64 km² και ποσοστό 0.94%, δάσος κωνοφόρων με 1.11% και έκταση 1.93 km², φυσικά λιβάδια με έκταση 12.5 km² και ποσοστό που αγγίζει το 7.23% , μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη εμβαδού 0.65 km², που αντιστοιχίζεται σε ποσοστό 0.37% των συνολικών χρήσεων γης. Τέλος, συναντάται και αστικό περιβάλλον που καλύπτει το 0.16% των χρήσεων γης, με επιφάνεια 0.28 km².

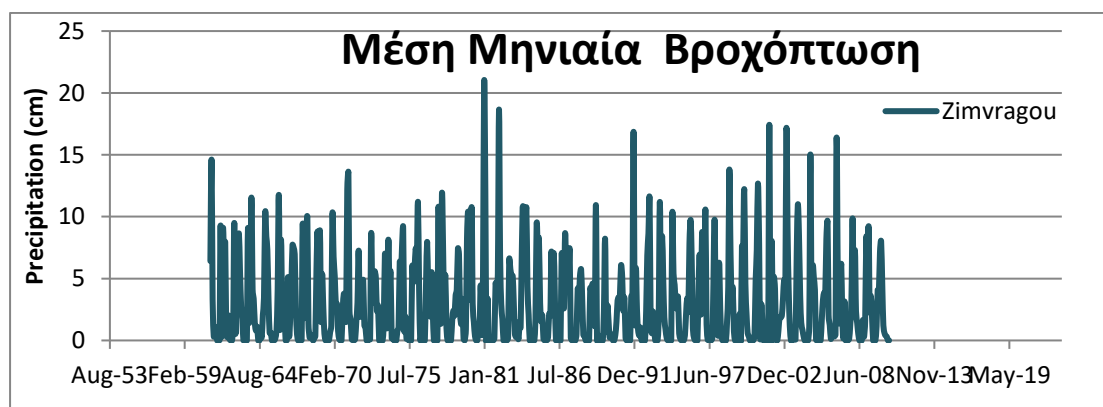
3.8 Κλιματικά στοιχεία περιοχής

Σύμφωνα με δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τον μετεωρολογικούς σταθμούς του Νομού Χανίων, το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό και ιδιαίτερα ξηροθερμικό.

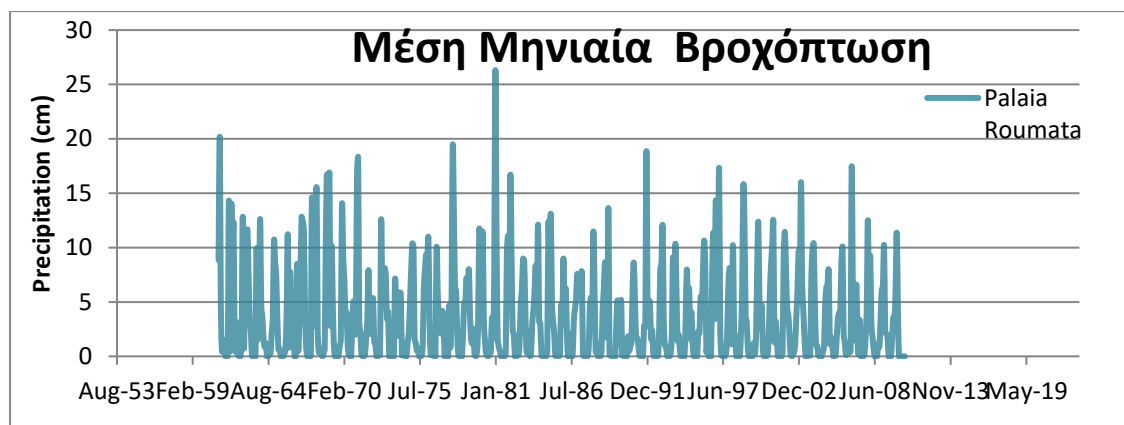
Στο μεγαλύτερο ποσοστό του έτους, που αγγίζει το 70%, επικρατεί ηλιοφάνεια με ελάχιστες βροχοπτώσεις, οι οποίες κυρίως προκαλούνται κατά τους χειμερινούς μήνες ή την άνοιξη (Διάγραμμα 3.1-3.6). Ο χειμώνας ξεκινά περίπου, στα μέσα Νοεμβρίου και διαρκεί ως και τον Μάρτιο. Η άνοιξη διαρκεί, ελάχιστα, έως και τον Μάιο, όπου και ξεκινά το καλοκαίρι το οποίο κρατά μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου. Οι βροχοπτώσεις, κατά τους θερινούς μήνες είναι ελάχιστες έως και ανύπαρκτες. Αντίστοιχα, οι χιονοπτώσεις και ο παγετός αποτελούν ακραίο και εξαιρετικά σπάνιο φαινόμενο τους χειμερινούς μήνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ολικός παγετός δεν εμφανίζεται ποτέ, ωστόσο ελάχιστα, η θερμοκρασία πέφτει υπό του μηδενός, κυρίως σε μεγάλα υψόμετρα (Διάγραμμα 3.7-3.8). Οι άνεμοι που επικρατούν είναι μέσης έντασης και δυτικών-βορειοδυτικών διευθύνσεων, ενώ συχνά απαντώνται υψηλά ποσοστά υγρασίας, κυρίως λόγω της εγγύτητας στη θαλάσσια μάζα.



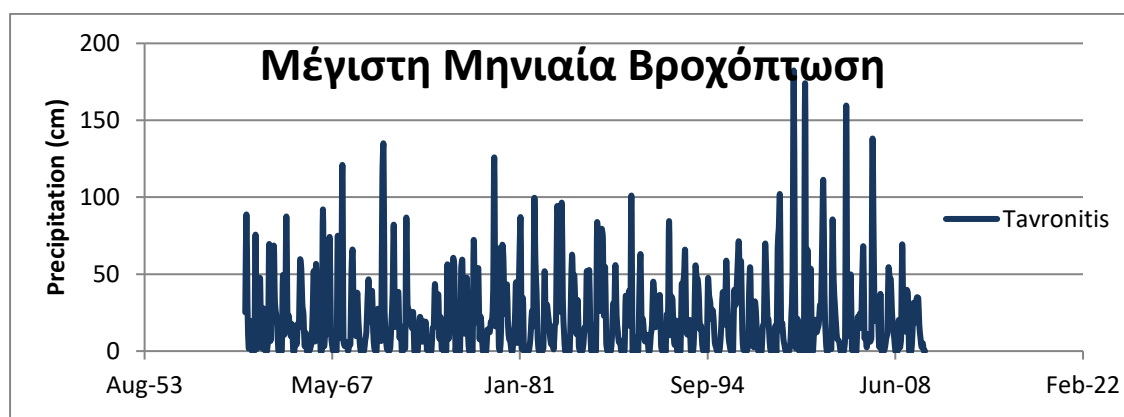
Διάγραμμα 3.1 : Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό του Ταυρωνίτη



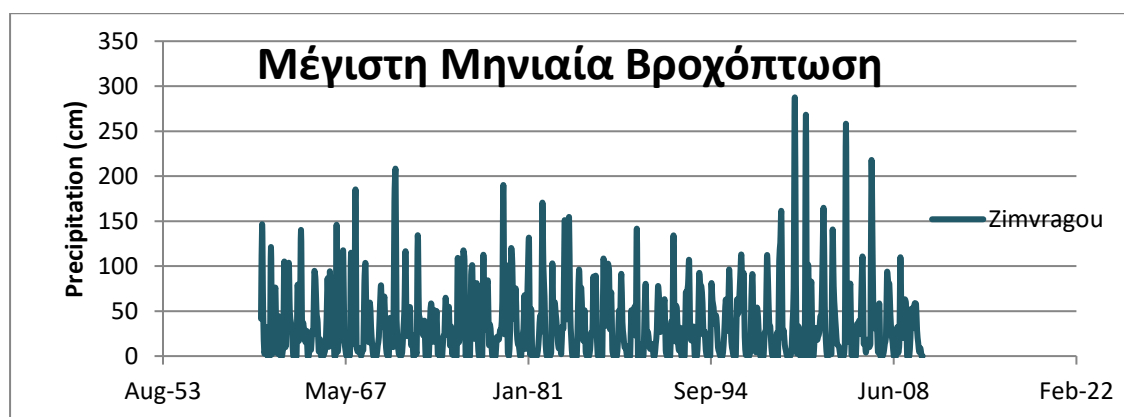
Διάγραμμα 3.2 : Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό Ζυμβραγού



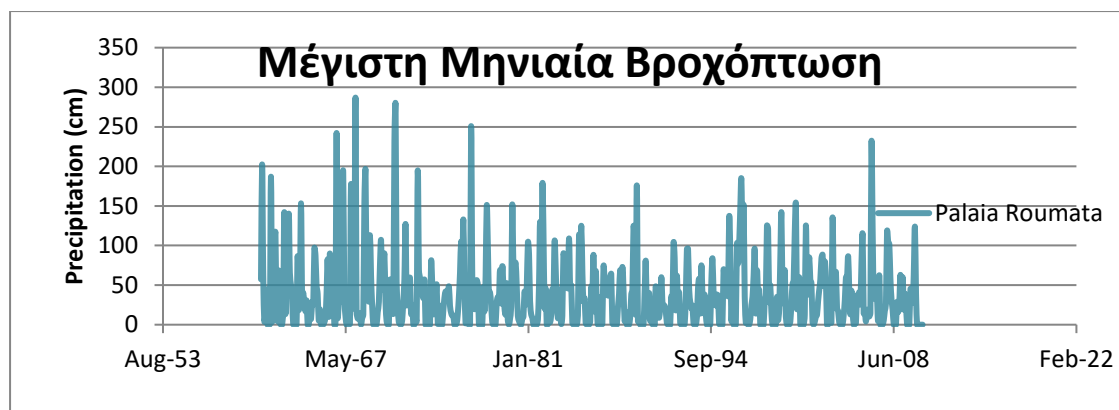
Διάγραμμα 3.3 : Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό Παλαιών Ρουμάτων



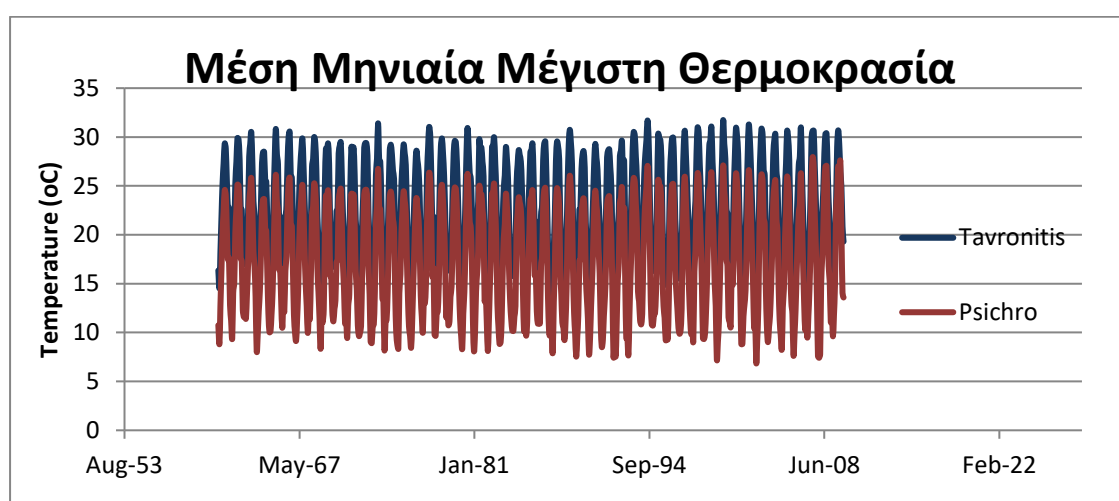
Διάγραμμα 3.4 : Μέγιστη Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό Ταυρωνίτη



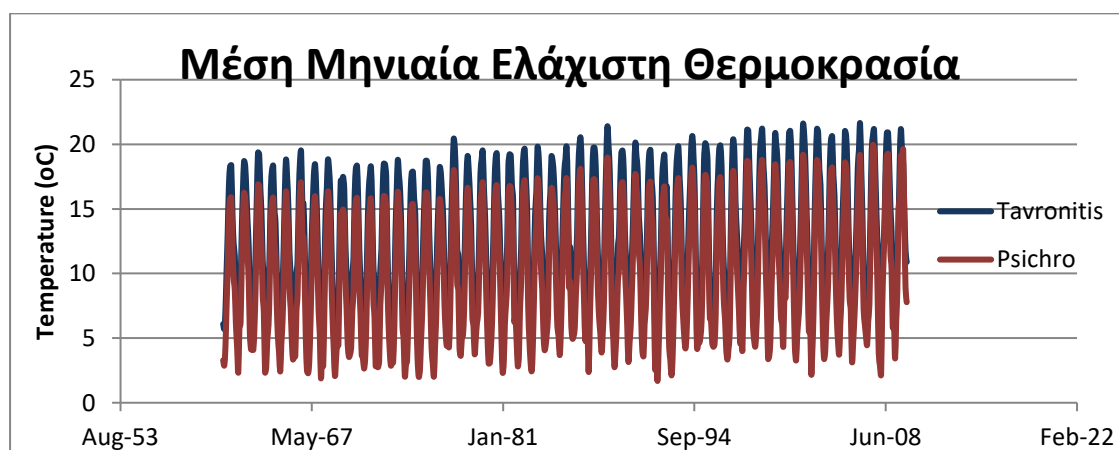
Διάγραμμα 3.5 : Μέγιστη Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό Ζυμβραγού



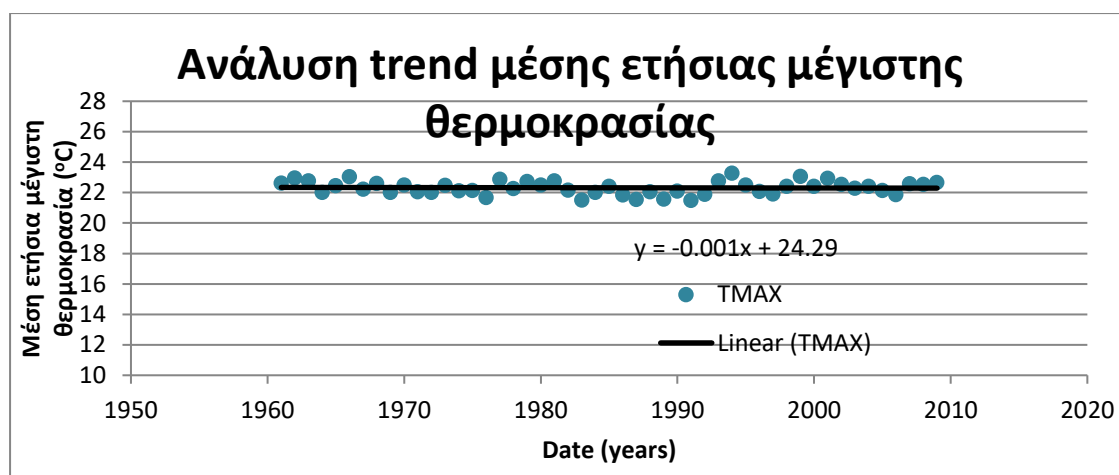
Διάγραμμα 3.6 : Μέγιστη Μηνιαία Βροχόπτωση τα έτη 1961-2009 από τον σταθμό Παλαιών Ρουμάτων



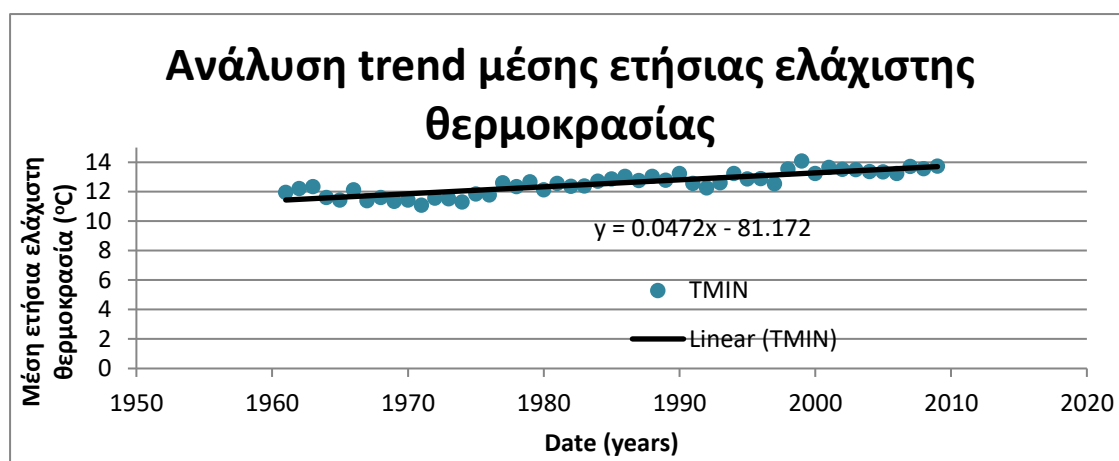
Διάγραμμα 3.7: Μέση Μηνιαία Μέγιστη Θερμοκρασία τα έτη 1961-2009 από τους σταθμούς Ταυρωνίτη-Ψυχρού



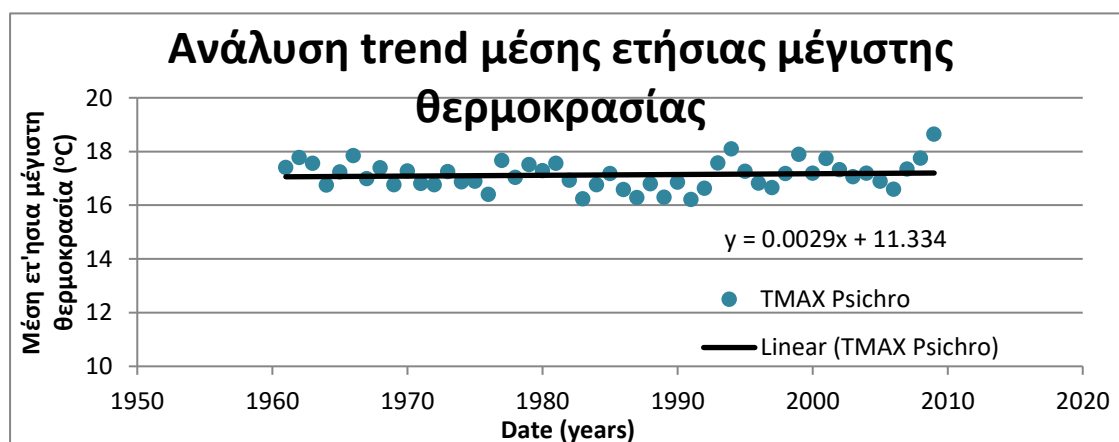
Διάγραμμα 3.8: Μέση Μηνιαία Ελάχιστη Θερμοκρασία τα έτη 1961-2009 από τους σταθμούς Ταυρωνίτη-Ψυχρού



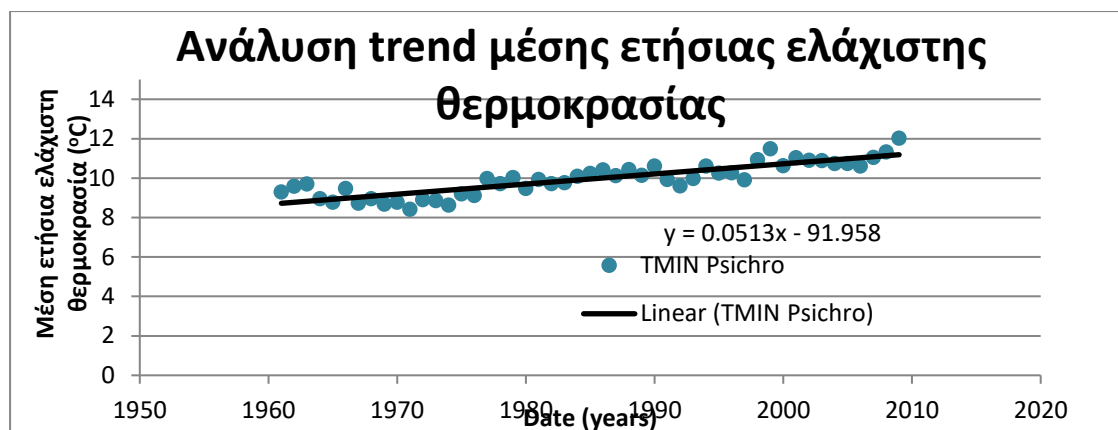
Διάγραμμα 3.9 : Ανάλυση γραμμικής τάσης των μέσων ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιών (1961-2009) για τον σταθμό του Ταυρωνίτη



Διάγραμμα 3.10 : Ανάλυση γραμμικής τάσης των μέσων ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών (1961-2009) για τον σταθμό του Ταυρωνίτη



Διάγραμμα 3.11 : Ανάλυση γραμμικής τάσης των μέσων ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιών (1961-2009) για τον σταθμό στο Ψυχρό



Διάγραμμα 3.12 : Ανάλυση γραμμικής τάσης των μέσων ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών (1961-2009) για τον σταθμό στο Ψυχρό

Όπως φαίνεται παραπάνω, για τον σταθμό του Ταυρωνίτη (Διάγραμμα 3.9), παρατηρούμε μια σχετικά σταθερή τιμή μέγιστης θερμοκρασίας, περίπου στους 22 °C. Η κλίση της γραμμής τάσης είναι πολύ κοντά στο μηδέν, με τιμή -0.001, με αποτέλεσμα η γραμμή να προκύπτει οριζόντια δίνοντας μας το δικαίωμα, να μιλάμε για σταθερή μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία τα τελευταία περίπου 40 με 50 χρόνια. Όσον αφορά στην μέση ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία (Διάγραμμα 3.10), παρατηρούμε μια αύξηση περίπου 2°C από το 1961 έως το 2009 που ισοδυναμεί με αύξηση περίπου 0.5°C ανά δεκαετία!

Όσον αφορά στη μέση ετήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία για τον σταθμό του Ψυχρού, οι παραπάνω παρατηρήσεις ενισχύονται. Η τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας διατηρείται σχετικά σταθερή- σχεδόν οριζόντια γραμμή τάσης με κλίση 0.002- ενώ εντοπίζεται αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας περί των 2-2.5°C από το 1961 μέχρι το 2009.

Η κλίση της γραμμής τάσης για την ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία, και για τους δύο σταθμούς, έχει τιμή περίπου 0.05, δηλαδή, παρατηρείται αύξηση 0.05 °C ανά έτος. Είναι φανερό, λοιπόν, η τάση μείωσης του ετήσιου θερμομετρικού εύρους ανάμεσα στην μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής.

3.9 Φυσικό Περιβάλλον

Στην υδρολογική λεκάνη του Ταυρωνίτη υπάρχουν δυο μικρές περιοχές Natura 2000. Η μία βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού σε πλάτος 300-500 μέτρα από την ακτή, στην παραλία του Μάλεμε, ενώ η δεύτερη βρίσκεται στις νοτιοανατολικές παρυφές της λεκάνης, στην περιοχή των Λευκών Ορέων.

Όσον αφορά στη χλωρίδα της περιοχής, το ορεινό τμήμα της λεκάνης έχει βαθιές χαραδρώσεις με ελάχιστη βλάστηση, κυρίως θάμνους και κωνοφόρα δέντρα. Στο ημιορεινό τμήμα, οι κλίσεις εξακολουθούν να είναι απότομες και κυριαρχεί η σκληρόφυλλη βλάστηση, τα κωνοφόρα δέντρα και τα φυσικά λιβάδια αγρωστωδών. Κυρίαρχα είναι τα κυπαρίσσια, τα πεύκα, οι σφένδαμοι, τα πλατάνια, τα πουρνάρια και τέλος οι αριές. Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, συναντώνται μεγάλες πεδινές εκτάσεις οι οποίες καλλιεργούνται και διαθέτουν πλούσια φυσική βλάστηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκβολές του ποταμού χαρακτηρίζονται ως σταθερό οικοσύστημα, και χρήζουν ελέγχου ποιότητας περιβάλλοντος αλλά και συντήρησης. Σύμφωνα με σχετική μελέτη που έχει γίνει στο Πολυτεχνείο Κρήτης οι όχθες του ποταμού, κυρίως στο τμήμα κατάντη του εθνικού δρόμου, έχουν διαταραχθεί, κάτι το οποίο οφείλεται στη καταστροφή του φυσικού συστήματος αμμοθινών και στην αμμοληψία από τον άνθρωπο (Synolakis et al., 2008).

Σχετικά με τη πανίδα της περιοχής, τα είδη που συναντώνται αφορούν κυρίως σε μικρόσωμα ζώα. Τα θηλαστικά που έχουν εντοπιστεί είναι, σκαντζόχοιροι, λαγοί, κουνάβια, ποντικοί και αρουραίοι, ενώ το παραλιακό τμήμα της λεκάνης, το επισκέπτεται και η *caretta caretta*. Από τα ερπετά και αμφίβια, τα πιο αξιόλογα είναι η δενδρογαλιά, η οχέντρα, το νερόφιδο, το αγιόφιδο, το λιακόνι, η πράσινη σαύρα των βαλκανίων, το σαμιαμίδι, η ποταμοχελώνα, ο λιμνοβάτραχος δυτικής Ελλάδας και Κρήτης, και ο δενδροβάτραχος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι στο θαλάσσιο τμήμα της λεκάνης έχει εντοπιστεί το χέλι. Από ορνιθολογικής άποψης η λεκάνη παρουσιάζει ενδιαφέρον, με τις εκβολές του ποταμού να φιλοξενούν σημαντικά είδη μεταναστευτικών πουλιών, όπως το μεκατσίνι, ο μαυρολαίμης, ο μαυροσκούφης και ο μαυρότριγγας. Στην ευρύτερη περιοχή μεταξύ των ειδών που έχουν καταγραφεί είναι και τα πουλιά: σταυραετός, φιδαιτός, σφηκιάρης, τσίφτης, μαυροπετρίτης, μαυροκιρκίνεζο, θαλασσοσφυριχτής, πετριτριλίδα, σταχτοτσικνιάς, μικροτσικνιάς, κιστικόλη, μαυρολαίμης, τρυποφράχτης, αρτέμης, κορμοράνος, ακτίτης, ψευτοσηδόνι και άλλα (Καλημέρη Μ., 2004; Καρπουτζάκη, 2010; http://ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=180).

3.10 Μελέτες για την περιοχή

Η πρώτη μελέτη που εκπονήθηκε για τη δημιουργία φράγματος στην περιοχή του Ταυρωνίτη, έλαβε χώρα το 1960, με τις πρώτες σκέψεις να εκφράζονται ήδη από το 1959. Η μελέτη με τίτλο «Προμελέτη Αξιοποίησης Πεδιάδων Κερίτη-Ταυρωνίτη Χανίων» , υλοποιήθηκε από τον Α.Χατζιδάκη και εμπεριείχε και μια μελέτη για τη κατασκευή φράγματος χωρητικότητας 5 εκ. κυβικών μέτρων νερού, στην περιοχή Νεροτριβή. Δύο χρόνια αργότερα, το 1962, πραγματοποιήθηκε και μια γεωλογική μελέτη για το φράγμα στον Ταυρωνίτη από τους Σ.Σκουνάκη και Ι.Φραγκοπούλου.

Το 1991, εκπονήθηκε η 1^η συμπληρωματική σύμβαση, της «Μελέτης Φραγμάτων στον χειμάρρο Ταυρωνίτη του Νομού Χανίων» από τον Ειδικό Συνεργάτη του Αναδόχου της μελέτης, «ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑ, Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε» , κ. Βασίλειο Παρασχούδη. Η μελέτη αυτή προέβλεπε την κατασκευή τριών φραγμάτων. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η κατασκευή ενός μεγάλου ταμιευτήρα στον ποταμό Ντεριανό, όπου θα κατέλληγαν νερά από τις γειτονικές λεκάνες απορροής του Ταυρωνίτη και του Ρουματιανού μέσω δύο μικρότερων φραγμάτων εκτροπής στις θέσεις αυτές και ενός δικτύου σιράγγων.

Τον Μάιο του 1992, συστάθηκε μία τελική μελέτη για το Υπουργείο Γεωργίας με τίτλο «ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΤΑΥΡΩΝΙΤΗ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ» από την ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ. Η μελέτη αυτή, αφορά στη δημιουργία δύο φραγμάτων, ένα μικρό στον ποταμό Σεμπρενιώτη και ένα αρκετά μεγαλύτερο στον Ντεριανό. Η θέση του φράγματος επί του χειμάρρου Ντεριανού ορίζεται περίπου 300 μέτρα ανάντη του οικισμού Παπαδιανά, περίπου 20 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά των Χανίων σε ευθύγραμμη απόσταση, ενώ το φράγμα επί του χειμάρρου Σεμπρενιώτη, ορίστηκε σε θέση περίπου 5 χιλιόμετρα νότια του οικισμού Βουκολιές και 24 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά των Χανίων σε ευθύγραμμη απόσταση. Κάποια βασικά χαρακτηριστικά των δύο φραγμάτων παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2 : Χαρακτηριστικά φραγμάτων Σεμπρενιώτη και Ντεριανού (Υδροσύστημα, Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Μελέτη 1992)

	Φράγμα Σεμπρενιώτη	Φράγμα Ντεριανού
Τύπος	Υπερπηδητό φράγμα από σκληρό επίχωμα (ισχνότατο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα)	Υπερπηδητό φράγμα από σκληρό επίχωμα (ισχνότατο κυλινδρούμενο σκυρόδεμα)
Μέγιστος όγκος	5 εκ.	40 εκ.
Μέγιστο ύψος από θεμελίωση	76 m	114 m
Μέγιστο ύψος από φυσικό έδαφος	68 m	106 m
Μήκος στέψεως	265 m	385 m
Στάθμη στέψεως υπερχειλιστού	+336.0	+336.0
Μήκος στέψεως υπερχειλιστού	40 m	60 m
Κλίσεις πρανών φράγματος	1 κατ : 0.9 οριζ	1 κατ : 0.9 οριζ
Ανάντη μανδύας στεγανότητας	13500 m ²	31000 m ²
Ανάπτυγμα κατακόρυφης επιφάνειας διφράγματος τσιμεντενέσεων	26000 m ²	42000 m ²

Επιπλέον, το 2012, ο κ. Νικολαΐδης Νικόλαος και ο κ. Καρατζάς Γεώργιος συνυπέγραψαν τεχνική έκθεση με τίτλο «Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Ταυρωνίτη». Η παρούσα έκθεση είχε ως δέκτη τον Οργανισμό Ανάπτυξης Δυτικής Κρήτης (ΟΑΔΥΚ) και πρότεινε μια σειρά ενεργειών στην περιοχή της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη. Οι προτάσεις που συμπεριλήφθηκαν παρουσιάζονται περιληπτικά παρακάτω:

- Πληρέστερη παρακολούθηση και δημιουργία βάσης δεδομένων μέσω ενός δικτύου συνεχούς τηλεμετρικής παρακολούθησης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων της λεκάνης, που θα συντελέσει στην άμεση λήψη αποφάσεων για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής και στην βιώσιμη αγροτική ανάπτυξη.
- Μείωση των σημειακών και μη-σημειακών πηγών ρύπανσης. Σημειακές πηγές ρύπανσης αποτελούν τα ελαιουργεία και τα αστικά λύματα οικισμών. Ενώ για τις μη-σημειακές προτάθηκε, η μείωση λιπασμάτων, η δημιουργία οργανωμένων κτηνοτροφικών ζωνών, η βιολογική γεωργία, η ανάπτυξη εναλλακτικών καλλιεργητικών πρακτικών που μειώνουν τη διάβρωση κ.α.
- Συντονισμένη αντιμετώπιση πλημμυρών και λειψυδρίας μέσω της ανάπτυξης πλημμυρικής προστασίας και εκπόνηση διαχειριστικού σχεδίου για την αντιμετώπιση ξηρών περιόδων
- Και τέλος, δημιουργία φραγμάτων στον Σεμπρενιώτη και στον Ντεριανό με μέγιστο όγκο 7 εκ. και 18 εκ. m³, ή αλλιώς κατασκευή μικρών ανασχετικών φραγμάτων (8-12 σε κάθε ποταμό) για την μείωση της διάβρωσης που προκαλείται από τους ποταμούς.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί, πως το 2017 η Περιφέρεια Κρήτης / ΠΕ Χανίων προγραμματίσει την εκτέλεση ερευνητικού προγράμματος με στόχο τη διαμόρφωση ενός Στρατηγικού Σχεδίου αξιοποίησης των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής του Ταυρωνίτη ποταμού στην Περιφερειακή Ενότητα Χανίων, με βάση τις απαιτήσεις της σύγχρονης νομοθεσίας και των διεθνών πρακτικών.

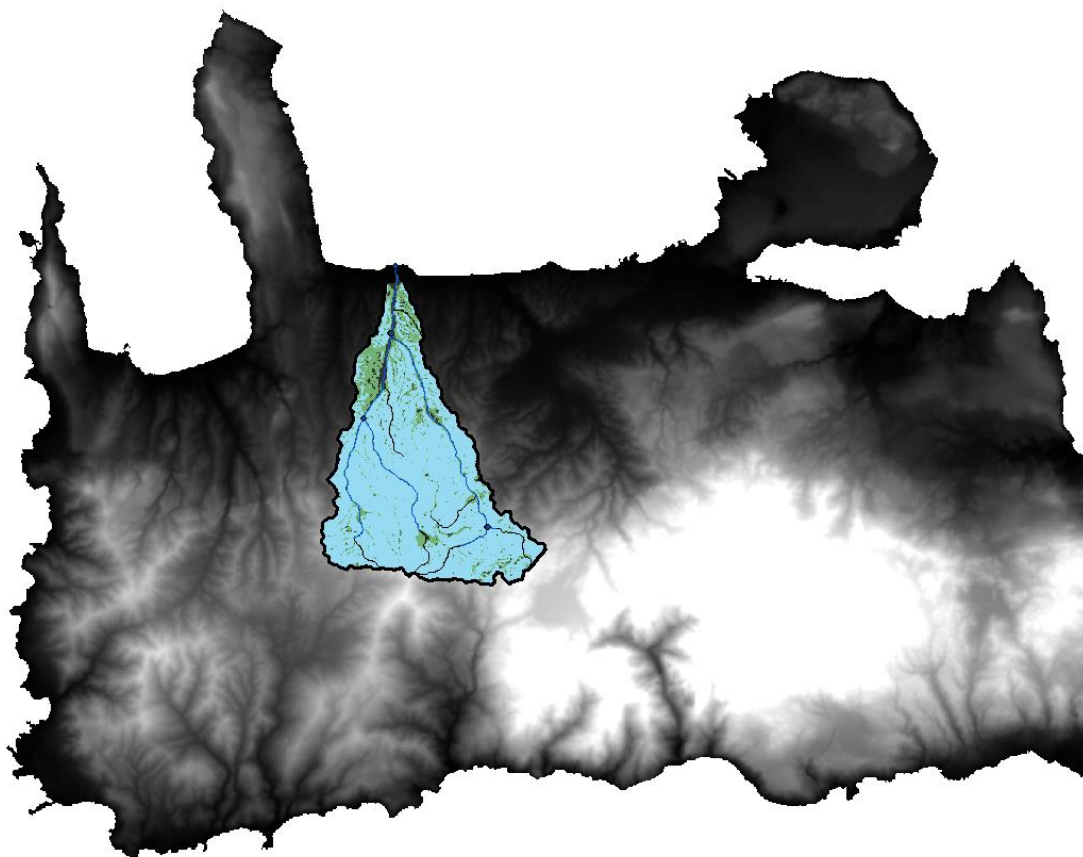
Στο πλαίσιο του προγράμματος τέθηκε σαν στόχος η συλλογή και η αξιοποίηση νέων υδρομετεωρολογικών δεδομένων και η επικαιροποίηση υπαρχουσών μελετών αξιοποίησης του επιφανειακού υδατικού δυναμικού της περιοχής, η εκτίμηση των συνολικών επιπτώσεων από την λειτουργία των έργων επιφανειακής ταμίευσης και ο έλεγχος της απόδοσης του συστήματος των έργων σε μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες, σε συνθήκες αβεβαιότητας και με συνυπολογισμό των αναμενόμενων κλιματικών και άλλων αλλαγών.

Το Σχέδιο Δράσης με τίτλο, «ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΑΥΡΩΝΙΤΗ» ανέλαβε ως φορέας υλοποίησης, το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και ειδικότερα, το Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

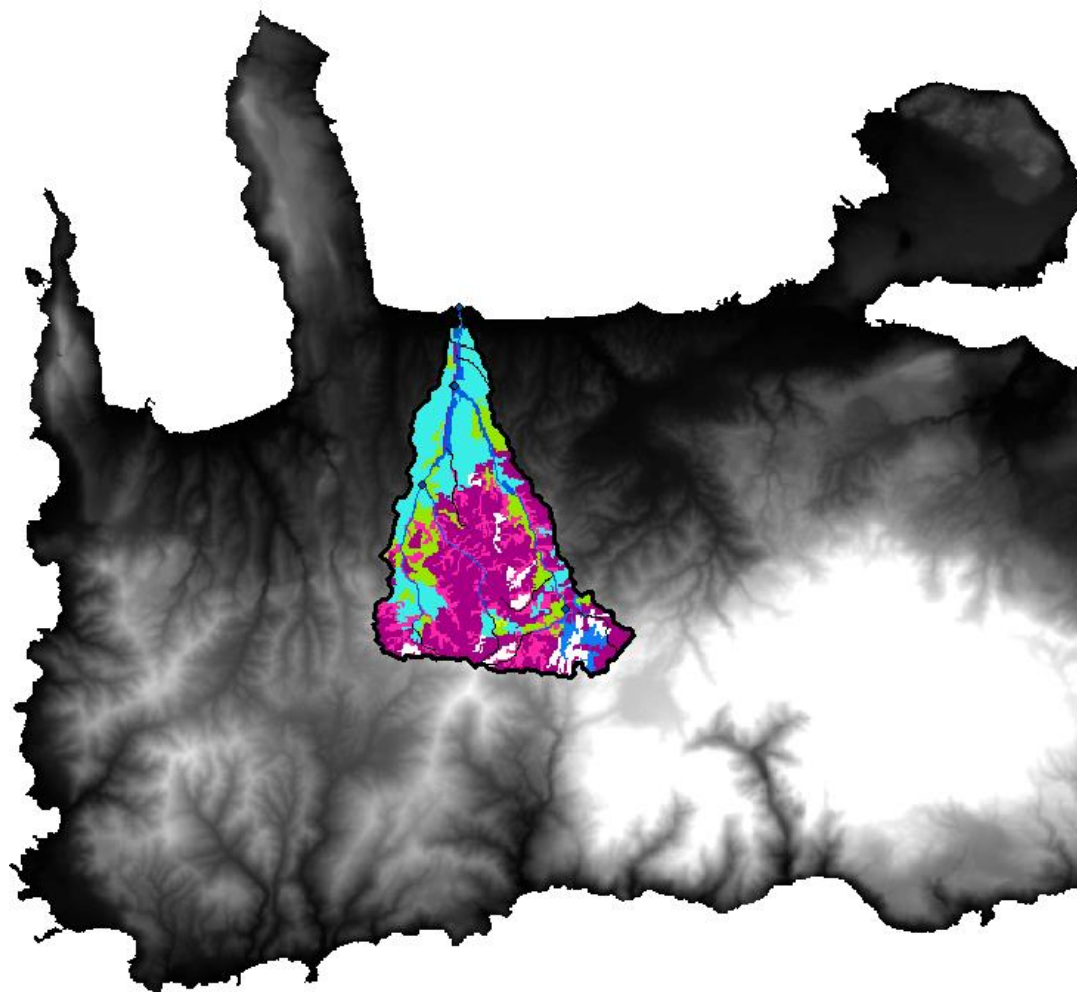
4. Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου

4.1 Λογισμικό-Εισαγωγή δεδομένων

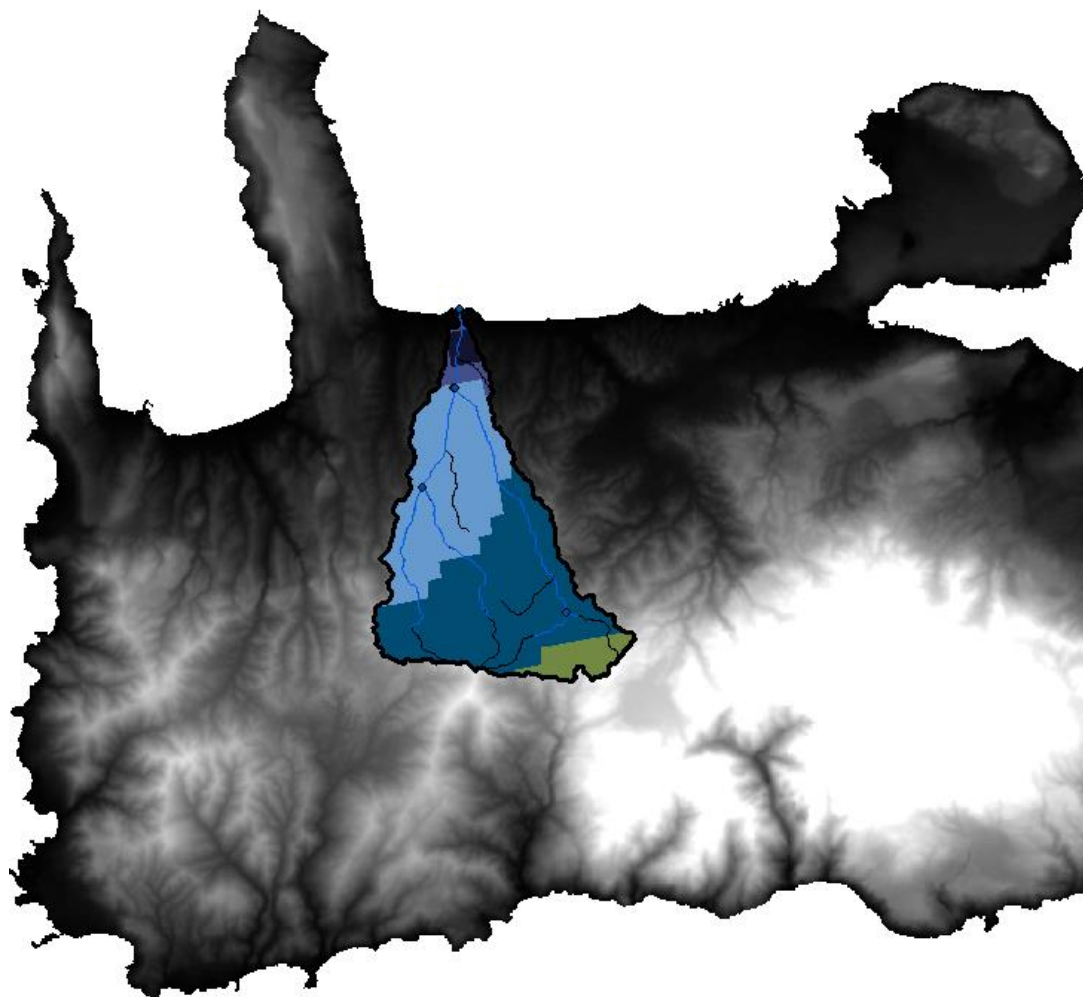
Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το ArcMap 10, Service Pack 5(Build 4400) και το SWAT 2012.10_015. Το πρώτο βήμα που έγινε αφορά στην εισαγωγή του τοπογραφικού χάρτη, του εδαφολογικού χάρτη (Εικόνα 4.3) και του χάρτη χρήσεων γης (Εικόνα 4.2) και είχε ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό της λεκάνης σε έως και 3 διαφορετικά εύρη κλίσεων(0-5, 5-15 και 15-9999) (Εικόνα 4.1), αλλά και τον διαχωρισμό της λεκάνης σε υπολεκάνες και HRUS. Με τον όρο HRUs εννοούμε χωρικές ενότητες, με τον ίδιο τύπο εδάφους, χρήσεων γης και κλίσης, που αποτελούν μια υπολογιστική μονάδα, η οποία θεωρείται ομοιογενής από υδρολογικής άποψης παρά την εδαφική αλλαγή.



Εικόνα 4.1 : Χάρτης κλίσεων γης της λεκάνης απορροής



Εικόνα 4.2 : Χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης απορροής (Δεδομένα από το CORINE 2000)



Εικόνα 4.3 : Εδαφολογικός χάρτης της λεκάνης απορροής του Ταυρωνίτη

Σε δεύτερο επίπεδο, εισήχθησαν τα κλιματικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων αυτών για την μέση και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία και την ημερήσια βροχόπτωση. Σύμφωνα με αυτά, το λογισμικό υπολόγισε την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία και τον άνεμο. Τα κλιματικά στοιχεία, είτε μπορούν να εισαχθούν από τη βάση που διαθέτει το ίδιο το πρόγραμμα είτε από τον χειριστή, βάσει δεδομένων που έχει συλλέξει για την υπό μελέτη περιοχή (Gassman et al., 2007).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τους παρακάτω μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής:

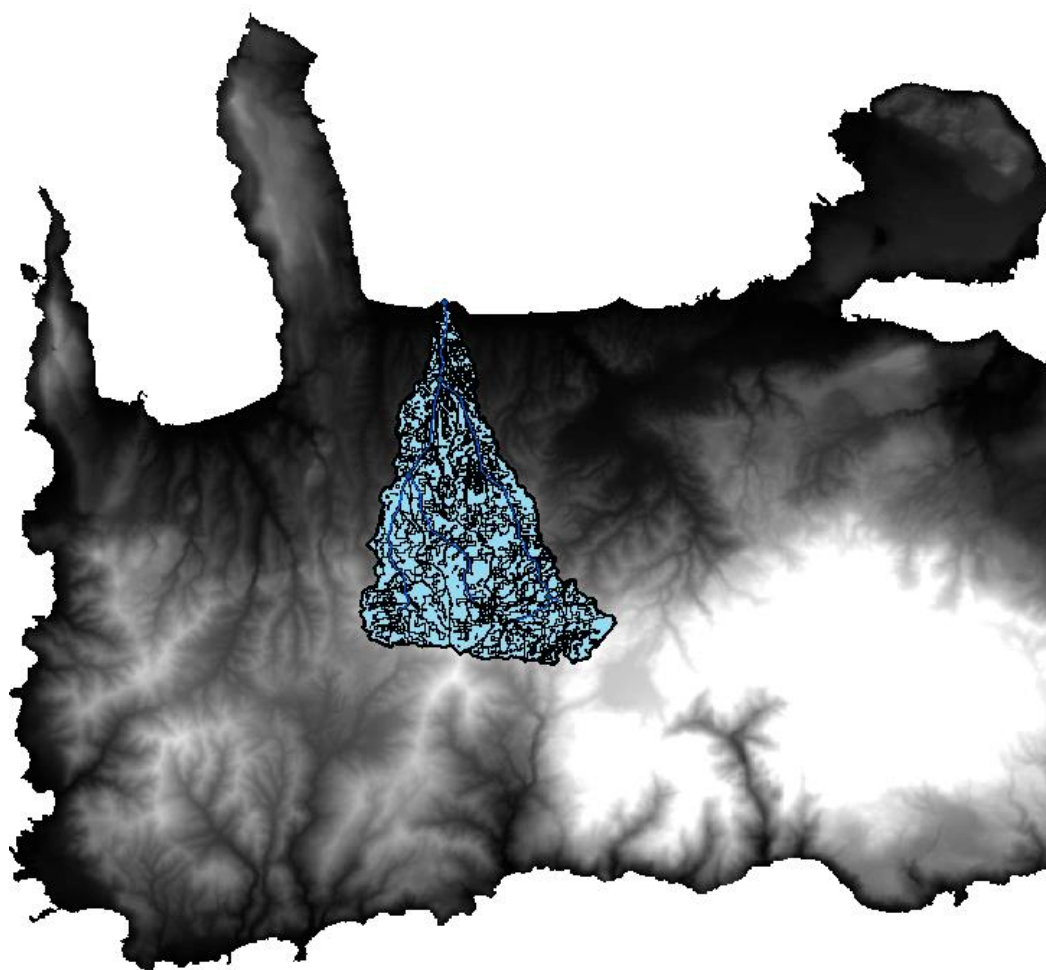
- Σταθμός Ταυρωνίτη
- Σταθμός Ζυμβραγού
- Σταθμός Παλαιά Ρούματα

Η έκταση που μοντελοποιήθηκε ανέρχεται περίπου στα 132.42 km² και οι υπολεκάνες που προέκυψαν είναι 7 στον αριθμό (Εικόνα 4.5). Συγκεκριμένα η έκταση της κάθε υπολεκάνης αναφέρεται παρακάτω (Πίνακας 4.1).

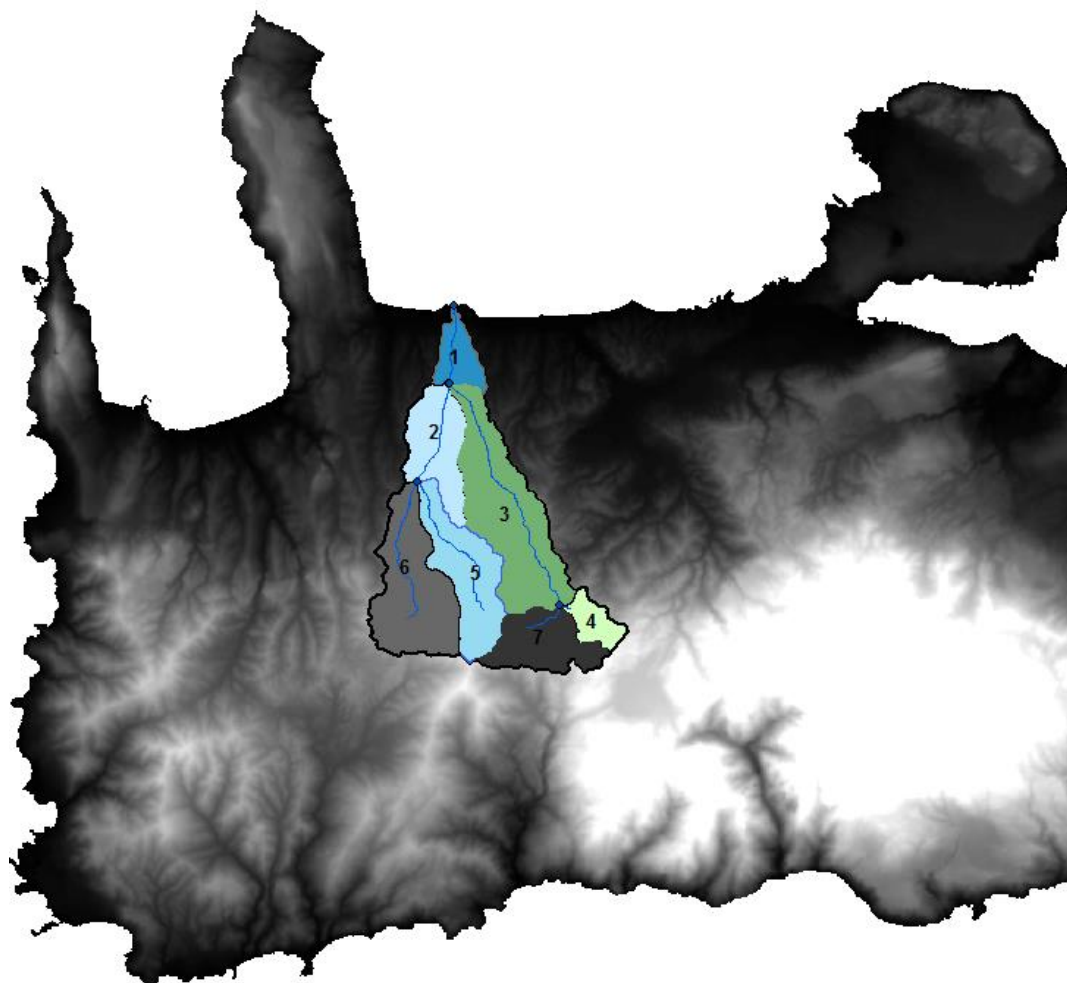
Πίνακας 4.1 : Επιφάνεια Υπολεκανών

No. Υπολεκάνης	Area (km ²)
1	7.0925
2	17.181
3	36.783
4	5.6562
5	22.063
6	28.483
7	15.163
Σύνολο λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη	132.422

Επιπλέον, τα HRU που προέκυψαν είναι 40 και παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4 : Η πλήρης κατανομή των HRU μετά την κατηγοριοποίηση του SWAT



Εικόνα 4.5: Προσδιορισμός των υπολεκάνών της λεκάνης

4.2 Βαθμονόμηση μοντέλου

Στόχος της βαθμονόμησης είναι η επίτευξη σύγκλισης μεταξύ των πειραματικών δεδομένων πεδίου και των προβλέψεων από το λογισμικό του SWAT. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η βαθμονόμηση έγινε χειροκίνητα, μεταβάλλοντας μία μεταβλητή κάθε φορά, με τη γνωστή διαδικασία, trial and error process. Να σημειωθεί πως πρόκειται για μια χρονοβόρα διαδικασία, παρ' όλα αυτά είναι αρκετά αποτελεσματική και δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της μεταβολής των πιο ευαίσθητων και αβέβαιων παραμέτρων (Engel et al., 2007).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής, έπειτα από τη μεταβολή μιας παραμέτρου, ακολουθούσε η εγγραφή της εκάστοτε αλλαγής στη βάση δεδομένων εισόδου του λογισμικού, το πρόγραμμα έτρεχε για τις χρονικές περιόδους που είχαν επιλεγεί, τυπώνοντας αποτελέσματα, στη βάση δεδομένων εξόδου. Τα αποτελέσματα, βρίσκονται είτε σε ημερήσιο, είτε σε μηνιαίο, είτε σε ετήσιο βήμα, ανάλογα με τη κρίση του χρήστη. Τελικά, οι

προβλέψεις για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συγκρίνονταν μέσω στατιστικών δεικτών και γραφημάτων με τις μετρήσεις πεδίου. Η διαδικασία συνεχιζόταν με συνεχείς επαναξιολογήσεις, μέχρι τα αποτελέσματα να είναι ικανοποιητικά. Για τις περιπτώσεις που, η αλλαγή μιας παραμέτρου, επιδείκνυε τους δείκτες, η παράμετρος που είχε μεταβληθεί, επέστρεφε στην προηγούμενη τιμή της.

Για τον Σεμπρενιώτη, χρησιμοποιήθηκαν τα υδρολογικά έτη από το 1995 έως και το 2001. Ενώ,

Για τον Ρουματιανό, χρησιμοποιήθηκαν τα υδρολογικά έτη από το 1999 έως και το 2004.

Τα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης που φιλοξενεί τον Σεμπρενιώτη είναι τα εξής:

Υπολεκάνη 5

Χρήσεις γης: κωδικός FRSD (forest-deciduous): δάσος φυλλοβόλων δέντρων

κωδικός RNGB (range-brush): λιβάδι, βοσκοτόπι

Κλίσεις εδάφους : εύρος 15-9999

Ενώ τα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης που φιλοξενεί τον Ρουματιανό :

Υπολεκάνη 6

Χρήσεις γης: κωδικός FRSD (forest-deciduous): δάσος φυλλοβόλων δέντρων

κωδικός RNGB (range-brush): λιβάδι, βοσκοτόπι

κωδικός SWHT (spring wheat): σιτάρι

κωδικός OLIV (olive): ελιές

Κλίσεις εδάφους : εύρος 15-9999

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2) δίνονται λεπτομερώς οι παράμετροι που μεταβλήθηκαν και οι τιμές που πήραν για την βαθμονόμηση της παροχής του κάθε παραποτάμου.

Πίνακας 4.2 : Παράμετροι που τροποποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση Σεμπρενιώτη και Ρουματιανού

				Σεμπρενιώτ ης	Ρουματιανός
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων	Παράμετρος	Περιγραφή Παραμέτρου	Έυρος στο SWAT	Τιμή	Τιμή
Soils(.sol)	SOL_Z	Depth from soil surface to bottom of layer (mm)	0-3500	100, 1000	500,1000
Soils(.sol)	SOL_AWC	Available water capacity in soil layer (mm H ₂ O/ mm soil)	0-1	0.4, 0.1	0.42 , 0.4
Soils(.sol)	SOL_K	Saturated hydraulic conductivity	0-2000	5, 5.26	5,6

		(mm/hr)			
Subbasin(.sub)	TLAPS	Temperature lapse rate(°C/km)	0-50	-5.7	-5.7
Subbasin(.sub)	CH_K1	Effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium (mm/hr)	0-300	0	0
Subbasin(.sub)	CH_N1	Manning's n value for the tributary channel	0.01-30	30	30
HRU(.hru)	OV_N	Manning's n value for overland flow	0.01-30	30	30
HRU(.hru)	LAT_TIME	Lateral flow travel time (days)		0	15
HRU(.hru)	SLSOIL	Slope length for lateral sub-surface flow (m)	0-150	0	0
HRU(.hru)	CANMX	Maximum canopy storage (mm)	0-100	15	20
HRU(.hru)	ESCO	Soil evaporation compensation factor	0-1	0.5	0.5
HRU(.hru)	EPCO	Plant uptake compensation factor	0-1	1	1
HRU(.hru)	SURLAG	Surface runoff lag coefficient	0-24	2	2
Routing(.rte)	CH_N2	Manning's n value for the main channel	-0.01-0.3	0.014	0.3
Routing(.rte)	CH_K2	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (mm/hr)	0-300	0	0
Groundwater(.gw)	GW_DELAY	Groundwater delay (days)	0-500	40	30
Groundwater(.gw)	ALPHA_BF	Baseflow alpha factor(days)	0-1	0.6	0.9
Groundwater(.gw)	GWQMIN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm H ₂ O)	0-5000	2000	3000
Groundwater(.gw)	GW-REVAP	Groundwater revap coefficient	0.02-0-2	0.2	0.2
Groundwater(.gw)	REVAPMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer for revap or percolation to the deep aquifer to occur (mm H ₂ O)	0-1000	0	20
Groundwater(.gw)	RCHRG_DP	Deep aquifer percolation fraction	0-1	0.2	0.05
Management(.mgt)	CN2	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	35-98	45	35
Basin(.bsn)	SMFMX	Melt factor for snow on June 21 (mm H ₂ O/ °C-day)	0-10	2	2
Basin(.bsn)	SMFMN	Melt factor for snow on December 21 (mm H ₂ O/ °C-day)	0-10	2	2

4.3 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων μοντελοποίησης

Για να επιτευχθεί η χρήση περιβαλλοντικών μοντέλων αποτελεσματικά, είναι ζωτικής σημασίας να εδραιωθεί ένα επαρκές επίπεδο εμπιστευτικότητας όσον αφορά στη λειτουργία τους. Οι τεχνικές που έχουν εξελιχθεί, ποικίλλουν ανάμεσα σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως αριθμητικοί δείκτες, γραφικές ή ποιοτικές μέθοδοι κ.ο.κ. (Neil D. Bennett et al., 2012). Στη παρούσα διπλωματική εργασία, για να αξιολογηθεί η ευκυρότητα της μοντελοποίησης και των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι στατιστικοί δείκτες, κοινώς αποδεκτοί, όπως ο δείκτης NSE (δείκτης αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe Efficiency), η ποσοστιαία απόκλιση (Percent BIAS-PBIAS), ο λόγος του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square-RMSE) και τέλος, ο λόγος του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προς την τυπική απόκλιση των μετρήσεων (Root Mean Square Error-Standard deviation of measured data Ratio-RSR).

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

- Δείκτης NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency)

Ο δείκτης αυτός, συγκρίνει τη λειτουργικότητα και την εγκυρότητα του μοντέλου με ένα αντίστοιχο μοντέλο που χρησιμοποιεί το μέσο των παρατηρούμενων δεδομένων, ως πρόβλεψη. Αποτελεί λοιπόν, μια κανονικοποιημένη στατιστική έκφραση που εκτιμά την σύγκλιση της προσομοιωμένης με την παρατηρούμενη χρονοσειρά (Nash and Sutcliffe, 1970).

Οι τιμές του μοντέλου κυμαίνονται από $-\infty$ έως και τη μονάδα. Βέλτιστη τιμή είναι η μονάδα, και επιτυγχάνεται όταν οι τιμές του μοντέλου ταυτίζονται απόλυτα με τις παρατηρούμενες τιμές. Η μηδενική τιμή αλλά και οι αρνητικές, υποδεικνύουν κακή μοντελοποίηση.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

Όπου,

Y_i^{sim} : η προσομοιωμένη χρονοσειρά

Y_i^{obs} : η παρατηρούμενη χρονοσειρά

Y^{mean} : αριθμητικός μέσος όρος της παρατηρούμενης χρονοσειράς

n : το μήκος της χρονοσειράς

- Δείκτης PBIAS

Ο δείκτης PBIAS μετρά την τάση των προσομοιωμένων τιμών να είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις αντίστοιχες παρατηρούμενες και ταυτόχρονα προσδιορίζει τη μικρή αποδοτικότητα καθώς και την προγνωστική ικανότητα του μοντέλου (Gupta et al., 1999). Η βέλτιστη τιμή του δείκτη είναι το 0, οι τιμές οι οποίες είναι κοντά στο 0 προσδίδουν επιτυχή και ακριβή προσομοίωση σε αντίθεση με τις τιμές οι οποίες είναι μεγαλύτερες από αυτό υποδηλώνοντας ότι το μοντέλο έχει την τάση να υποεκτιμά τις πραγματικές τιμές των μεταβλητών, ενώ οι αρνητικές το αντίστροφο (Gupta et al., 1999). Το μοντέλο για να θεωρηθεί βαθμονομημένο πρέπει η απόλυτη τιμή του δείκτη να είναι μικρότερη του 25 % (Moriassi et al., 2007) .

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \cdot 100}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}} \right]$$

Όπου,

Y_i^{sim} : η προσομοιωμένη χρονοσειρά

Y_i^{obs} : η παρατηρούμενη χρονοσειρά

n : το μήκος της χρονοσειράς

- Δείκτης RMSE και RSR

Ο δείκτης RMSE ή αλλιώς το μέσο υπολειμματικό σφάλμα, αποτελεί έναν από τους πιο συνηθισμένους στατιστικούς δείκτες, με τιμές που εξαρτώνται όμως, από την κλίμακα των μεγεθών στα οποία αναφέρεται. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές που προκύπτουν τόσο αποδοτικότερη κρίνεται η μοντελοποίηση (Moriassi et al., 2007).

Ο δείκτης RSR, υπολογίζει ουσιαστικά τη τετραγωνική ρίζα της τιμής που προκύπτει αν αφαιρεθεί ο δείκτης NSE από τη μονάδα. Οι τιμές που λαμβάνει, ποικίλλουν μεταξύ του μηδενός, το οποίο υποδεικνύει, μηδενική απόκλιση άρα και άριστη μοντελοποίηση, έως και μιας μεγάλης θετικής τιμής ή οποία εκφράζει την έντονη απόκλιση μεταξύ των παρατηρούμενων δεδομένων και των προσομοιωμένων. Για να είναι αποδεκτή η μοντελοποίηση, η τιμή του RSR πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση του 0.7.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right]$$

Όπου,

Y_i^{sim} : η προσομοιωμένη χρονοσειρά

Y_i^{obs} : η παρατηρούμενη χρονοσειρά

Y^{mean} : αριθμητικός μέσος όρος της παρατηρούμενης χρονοσειράς

n : το μήκος της χρονοσειράς

Τα αποδεκτά όρια των δεικτών που αναφέρθηκαν, συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.3.

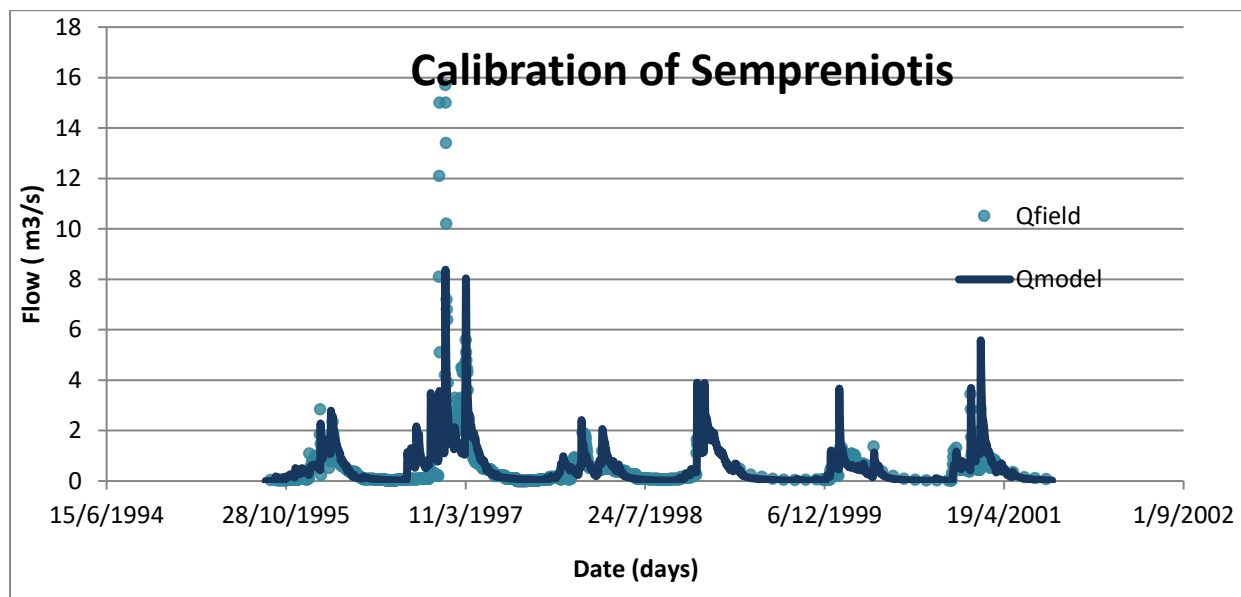
Πίνακας 4.3 : Όρια των δεικτών RSR, NSE και PBIAS

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS
Very Good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.60 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.65 < NSE \leq 0.50$	$\pm 15 \leq PBIAS \pm 25$
Unsatisfactory	$0.70 < RSR$	$NSE < 0.50$	$\pm 25 \leq PBIAS$

4.4 Αποτελέσματα μοντελοποίησης

4.4.1 Μοντελοποίηση Σεμπρενιώτη

Όπως έχει αναφερθεί για την βαθμονόμηση του Σεμπρενιώτη χρησιμοποιήθηκαν τα υδρολογικά έτη από το 1995 έως και το 2001 (Διάγραμμα 4.1). Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το αποτέλεσμα της βαθμονόμησης και μπορεί να συγκριθεί η προσομοιωμένη με την παρατηρούμενη χρονοσειρά.



Διάγραμμα 4.1 : Βαθμονόμηση Σεμπρενιώτη

Οι τιμές των δεικτών όπως προκύπτουν στον Πίνακα 4.4:

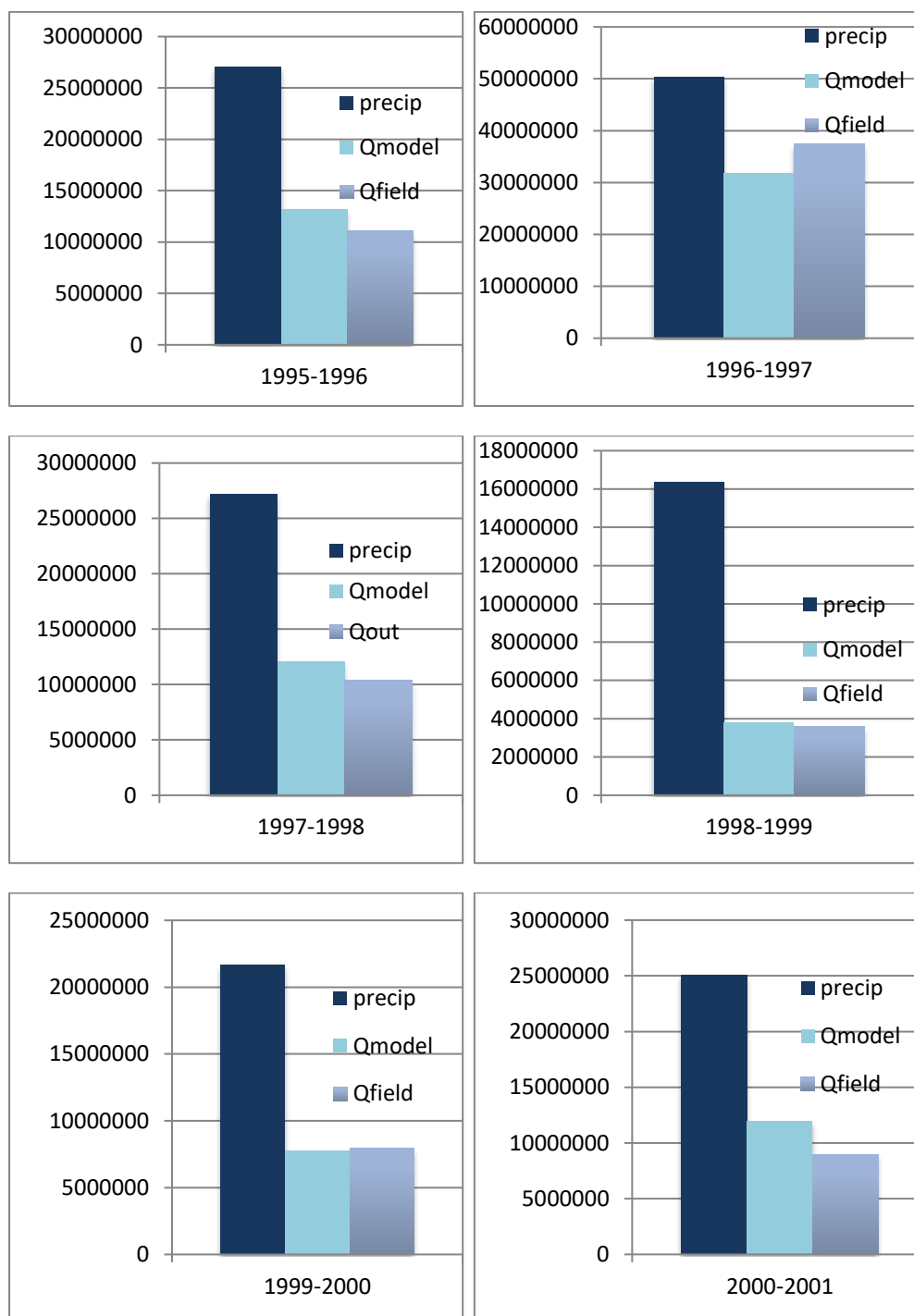
Πίνακας 4.4 : Τιμές δεικτών από τη βαθμονόμηση Σεμπρενιώτη

Δείκτες		
NSE	0.55	Satisfactory
PBIAS	-3.49	Very Good
RSR	0.67	Satisfactory

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 4.1) φαίνεται ότι οι προσομοιωμένες τιμές ακολουθούν κατά βάση τις παρατηρούμενες με κάποιες μικρές αποκλίσεις, με σημαντικότερες αυτές που λαμβάνουν χώρα τους τελευταίους μήνες του 1996. Τα σημεία αυτά, αφορούν στον Σεπτέμβριο του 1996 όπου βλέπουμε μια αύξηση της προσομοιωμένης παροχής, ενώ η παρατηρούμενη παροχή είναι ελάχιστη έως και μηδενική. Το δεύτερο σημείο της αστοχίας, συναντάται στα τέλη του Δεκεμβρίου του 1996 και στα μέσα του Ιανουαρίου του 1997, όπου εντοπίζονται δύο ακραίες παροχές, οι οποίες δεν έχουν προβλεφθεί κατά τη μοντελοποίηση. Τέλος, για το υδρολογικό έτος, του 2000-2001, βλέπουμε πως οι προβλέψεις του μοντέλου είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από τις τιμές του πεδίου. Ο μέσος όρος της

προσομοιωμένης παροχής για το χρονικό διάστημα που χρησιμοποιήθηκε για τη βαθμονόμηση είναι $0.509 \text{ m}^3/\text{s}$.

Το ισοζύγιο που προέκυψε για κάθε χρόνο φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.



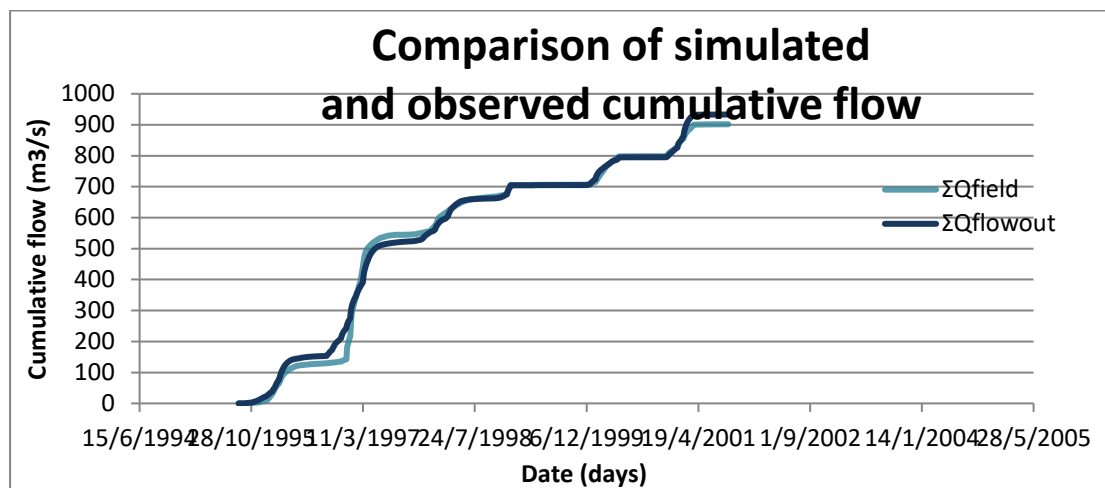
Διάγραμμα 4.2 : Ισοζύγιο μάζας από τη μοντελοποίηση του Σεμπρενιώτη για τα έτη 1995-2001

Η διαφορά που εντοπίζεται μεταξύ της στήλης της παροχής και της βροχόπτωσης οφείλεται στους μηχανισμούς εξατμισοδιαπνοής, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο στα υδρολογικά μοντέλα (Διάγραμμα 4.2). Το βασικό ισοζύγιο μάζας ή όγκου με τον οποίο λειτουργεί το υδρολογικό μοντέλο είναι :

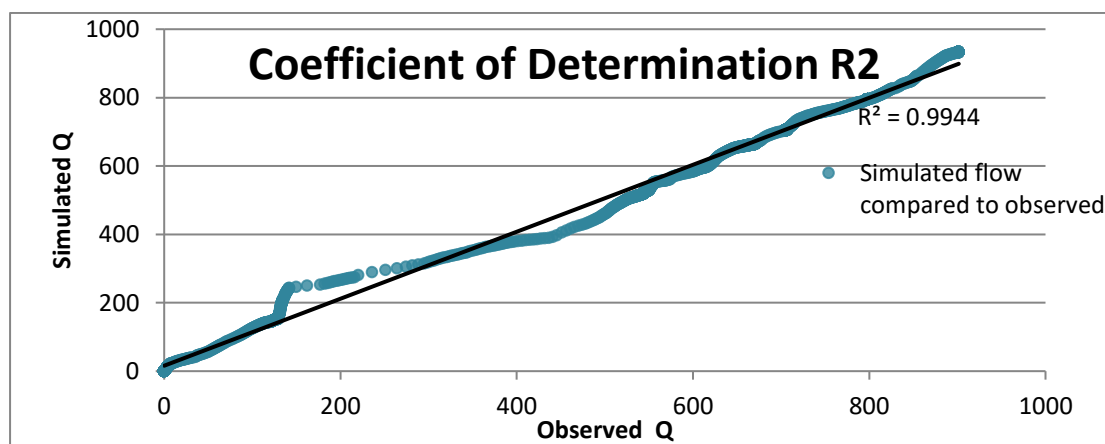
$$P = ET + Q$$

Δηλαδή, το νερό των κατακρημνίσεων σχεδόν ισούται με το άθροισμα του νερού που συμμετέχει στην εξατμισοδιαπνοή και στην παροχή του ποταμού.

Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται κατά το υδρολογικό έτος 1998-1999. Να σημειωθεί πως για το έτος αυτό, υπάρχουν ολόκληρες χρονικές περιόδους, για τις οποίες λείπουν μετρήσεις πεδίου με αποτέλεσμα να καθιστάται σχετικά αβέβαιη η μοντελοποίηση, και γιαυτό και εντοπίζεται η τόσο μεγάλη διαφορά μεταξύ παροχών και βροχόπτωσης.



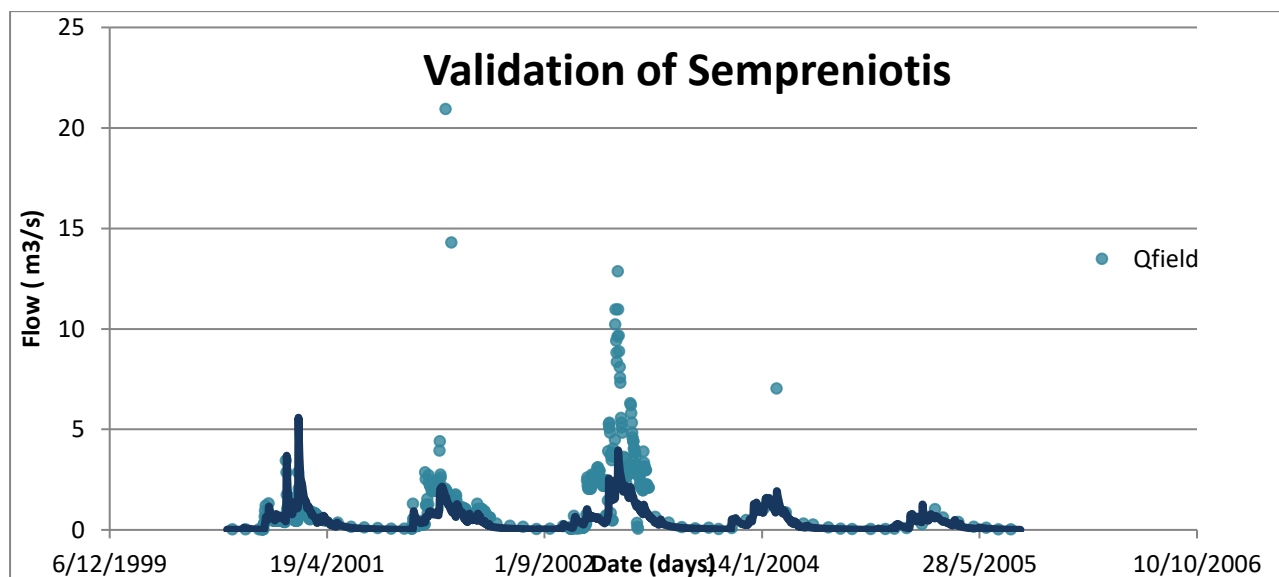
Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση αθροιστικής παρατηρούμενης παροχής με την αθροιστική προσομοιωμένη



Διάγραμμα 4.4 : Συντελεστής R^2 από τη σύγκριση παρατηρούμενης με τη προσομοιωμένη παροχή

Από την παραπάνω καμπύλη (Διάγραμμα 4.3), μπορούμε να συγκρίνουμε τις αθροιστικές παροχές του μοντέλου, με αυτές του πεδίου. Παρατηρούμε αρκετά καλή σύγκλιση, σε όλο το μήκος τους, ιδιαίτερα κατά τα έτη 1998 έως 2001 καθώς και 1995-1996. Μια ελάχιστη απόκλιση παρατηρείται το έτος 1996-1997 και από το 2001 και έπειτα. Η μεγαλύτερη απόκλιση που εντοπίζεται είναι της τάξεως περίπου των 50 m³/s. Επιπλέον, από τη γραμμικοποίηση μεταξύ της παρατηρούμενης αθροιστικής παροχής με την προσομοιωμένη αθροιστική παροχή (Διάγραμμα 4.4), βρίσκουμε $R^2 = 0.994$. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , μετρά το ποσοστό διακύμανσης της προσομοιωμένης παροχής που εξηγείται από την

παρατηρούμενη παροχή. Το εύρος τιμών του είναι μεταξύ 0(καθόλου καλή εφαρμογή) και 1 (τέλεια εφαρμογή), με κοινώς αποδεκτές τις τιμές που είναι μεγαλύτερες του 0.5 (Santhi et al., 2001).



Διάγραμμα 4.5 : Επαλήθευση μοντελοποίησης του ποταμού Σεμπρενιώτη για τα έτη 2000-2005

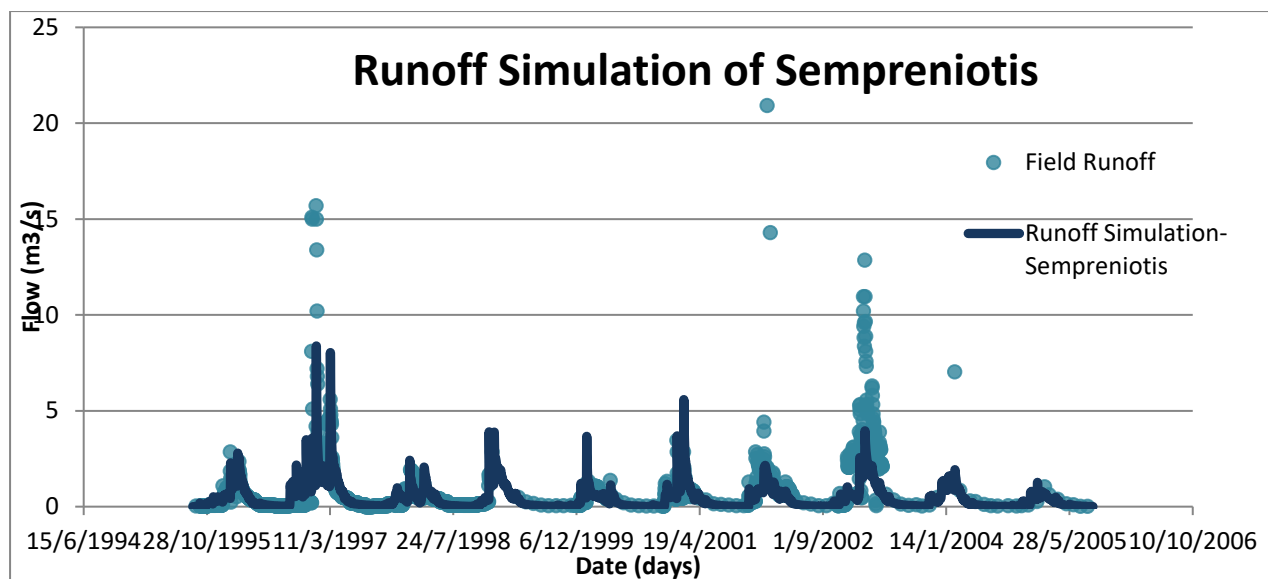
Το στάδιο της επαλήθευσης είναι μια διαδικασία μέσα από την οποία αποδεικνύεται ότι το μοντέλο είναι ικανό να πραγματοποιήσει επαρκώς αξιόπιστες προβλέψεις, για τους στόχους που έχουν τεθεί στα πλαίσια του εκάστοτε project που εκπονείται (Refsgaard, 1997). Εκτελείται σε διαφορετική χρονική περίοδο από το στάδιο της βαθμονόμησης, ακριβώς για να ελέγξει την προσομοιωτική ικανότητα του μοντέλου σε διαφορετική χρονική περίοδο, ώστε να εξακριβωθεί η αξιοπιστία του ως προς μια μακροσκοπική χρήση (Διάγραμμα 4.5).

Οι τιμές των δεικτών όπως προκύπτουν στον Πίνακα 4.5:

Πίνακας 4.5 : Τιμές δεικτών από την επαλήθευση Σεμπρενιώτη

Δείκτες		
NSE	0.17	Unsatisfactory
PBIAS	43.68	Unsatisfactory
RSR	0.91	Unsatisfactory

Παρατηρούμε ότι οι δείκτες δεν είναι ικανοποιητικοί και αυτό συμβαίνει κυρίως εξαιτίας της ύπαρξης προβληματικών δεδομένων βροχοπτώσεων μη αντιπροσωπευτικών για την λεκάνη. Συγκεκριμένα, εντοπίζεται μεγάλη απόκλιση μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών κατά το υδρολογικό έτος 2002-2003, όπου οι κορυφές δεν έχουν καταφέρει σε καμία περίπτωση να προσομοιωθούν, σε αντίθεση με τη βασική ροή. Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά στη βασική ροή (baseflow) παρατηρούμε ότι τα δεδομένα φαίνονται να έχουν προσομοιωθεί ικανοποιητικά. Όσον αφορά στις κορυφές (peaks), φαίνεται πως το μοντέλο δεν καταφέρνει να δώσει ικανοποιητικές τιμές τους μήνες των έντονων βροχοπτώσεων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το φθινόπωρο-χειμώνα του 2002. Κατά τα υδρολογικά έτη από τα τέλη του 2003 έως το 2005 παρατηρούμε ένα εξαιρετικό fitting της καμπύλης προσομοίωσης στη καμπύλη των παρατηρούμενων τιμών.

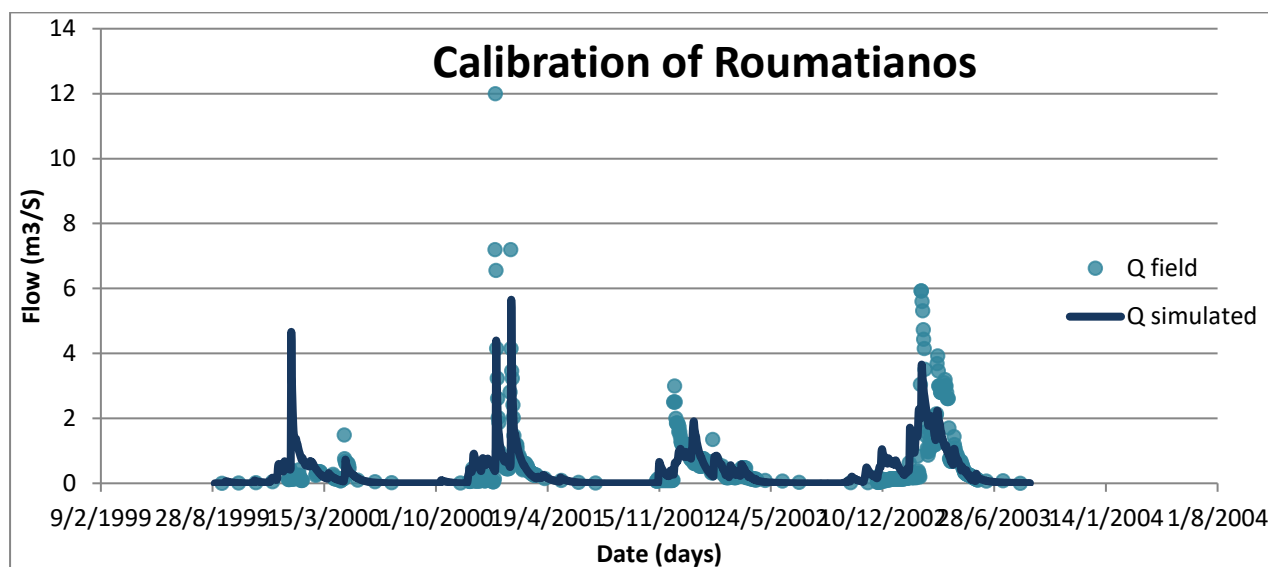


Διάγραμμα 4.6 : Μοντελοποίηση της παροχής του Σεμπρενιώτη τα έτη 1995-2005

Παρατηρούμε ότι η προσομοίωση είναι πολύ κοντά στην πραγματική απορροή. Η μεγαλύτερη αστοχία εμφανίζεται κατά το υδρολογικό έτος 2002-2003, όπου παρότι η βασική ροή φαίνεται να είναι πολύ κοντά στην παρατηρούμενη οι κορυφές εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση (Διάγραμμα 4.6).

4.4.2 Μοντελοποίηση Ρουματιανού

Για την μοντελοποίηση της λεκάνης απορροής του Ρουματιανού έγινε μια προσπάθεια βαθμονόμησης (Διάγραμμα 4.7). Παρ'όλα αυτά, υπήρχε μεγάλο πρόβλημα όσον αφορά στα βροχομετρικά δεδομένα και τις χρονοσειρές που προέκυψαν. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι παρά την ύπαρξη βροχόπτωσης, οι μετρήσεις της παροχής εμφανίζουν μια αύξηση. Η βαθμονόμηση λοιπόν που επιχειρήθηκε για τα υδρολογικά έτη από το 1999 μέχρι το 2003, δεν ήταν εφικτό να ολοκληρωθεί. Ένα δείγμα της, το οποίο είναι ατελές, φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



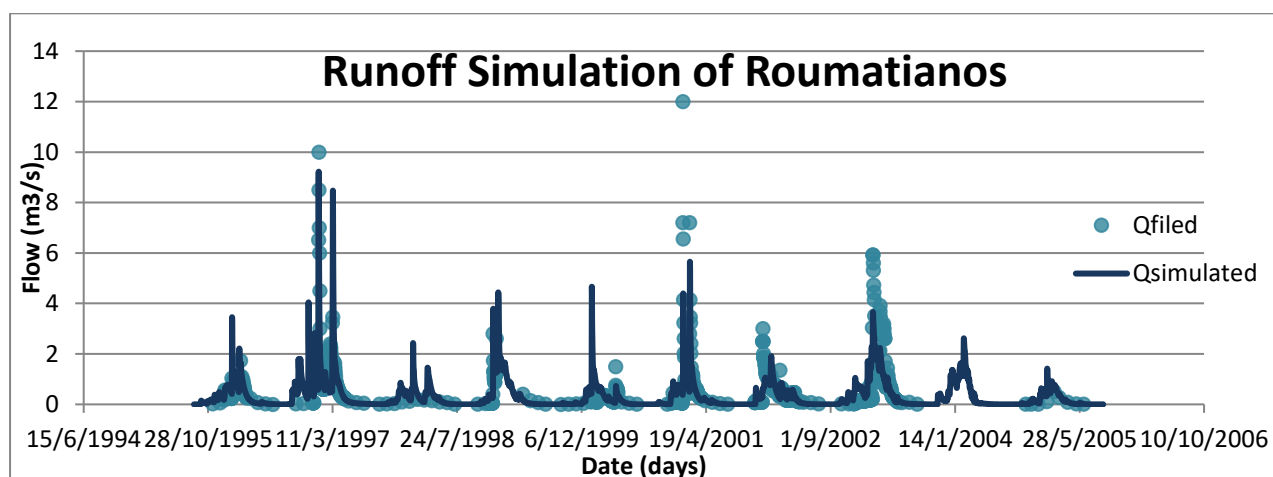
Διάγραμμα 4.7 : Βαθμονόμηση Ρουματιανού

Παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις είναι μεγάλες ιδιαίτερα για τα υδρολογικά έτη από το 2001 έως και το 2003. Η συνολική μοντελοποίηση του ποταμού του Ρουματιανού φαίνεται στο παρακάτω γράφημα. Καθώς, επίσης φαίνονται και οι ελλείψεις που υπάρχουν στις χρονοσειρές των δεδομένων πεδίου. Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι, τα δεδομένα πεδίου που διαθέτουμε αφορούν κυρίως στη βασική ροή(baseflow), ενώ τα δεδομένα για τις κορυφές (peaks) είναι ελάχιστα. Συγκεκριμένα για το υδρολογικό έτος 1999-2000 δεν υπάρχουν καθόλου δεδομένα πεδίου που να αντιστοιχίζονται σε κορυφές στο διάγραμμα.

Πίνακας 4.6 : Τιμές δεικτών από τη βαθμονόμηση Ρουματιανού

Δείκτες		
NSE	0.33	Unsatisfactory
PBIAS	6.21	Very good
RSR	0.81	Unsatisfactory

Συγκεκριμένα ο δείκτης PBIAS, διαθέτει την ικανότητα να υποδεικνύει με σαφήνεια την ανεπαρκή απόδοση ενός μοντέλου (Gupta et al.,1999). Αξίζει να σημειωθεί λοιπόν πως έχει τόσο καλή τιμή (Πίνακας 4.6).



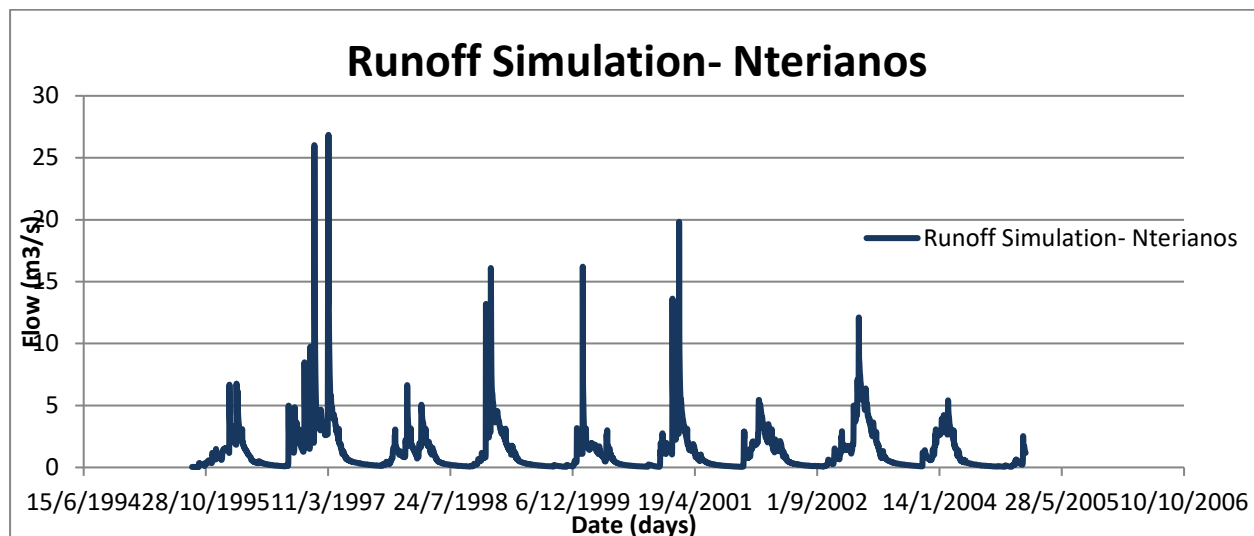
Διάγραμμα 4.8 : Μοντελοποίηση της παροχής του Ρουματιανού τα έτη 1995-2005

Για τη συνολική προσομοίωση της παροχής του Ρουματιανού από το 1995 μέχρι το 2005 (Διάγραμμα 4.8), παρατηρούμε ότι η βασική ροή έχει προσομοιωθεί με ευστοχία στην πλειοψηφία. Οι διαφορές που εντοπίζονται αφορούν στις ακραίες τιμές, με αποτέλεσμα κυρίως τα έτη 2001 με 2003, να έχει γίνει μια υποεκτίμηση στην παροχή.

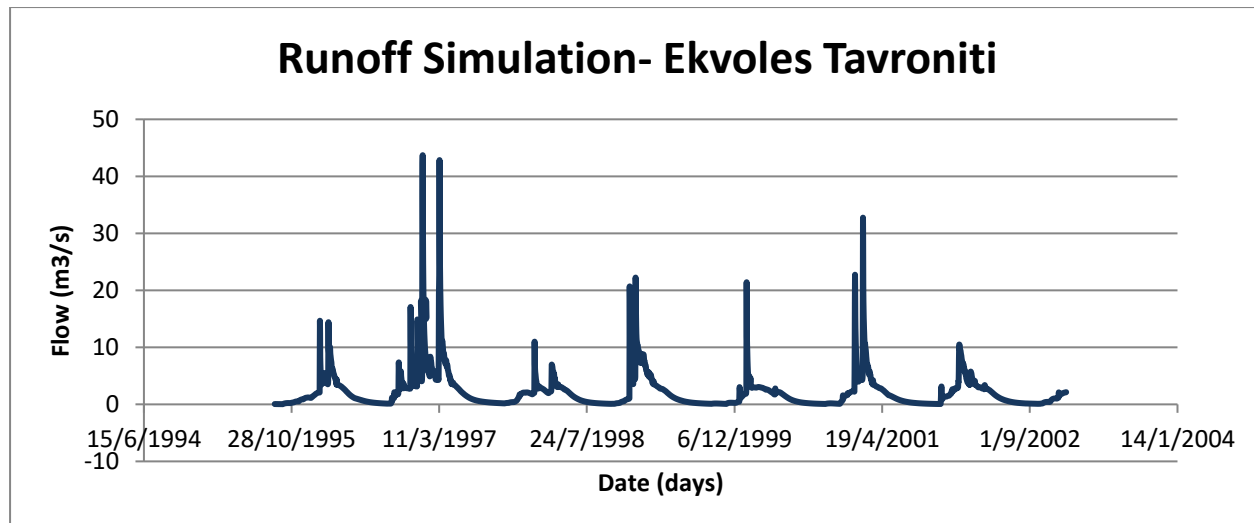
Είναι σημαντικό να τονιστεί, και για τον Ρουματιανό αλλά και για τον Σεμπρενιώτη, ότι οι μετρήσεις πεδίου προκύπτουν από μετρήσεις στις οποίες συμμετείχαν άνθρωποι. Έτσι λοιπόν, για τις ημέρες που διαθέτουμε δεδομένα πεδίου με ακραίες τιμές παροχής, θα πρέπει να συλλογιστούμε και την δυσκολία ή τον κίνδυνο που εγκυμονεί το να ληφθεί μια μέτρηση, άρα και το σφάλμα που μπορεί να εμπεριέχεται σε αυτήν.

4.4.3 Μοντελοποίηση Ντεριανού και Εκβολών Ταυρωνίτη

Έχοντας βαθμονομήσει τις υπολεκάνες του Σεμπρενιώτη και του Ρουματιανού, προχωράμε στη μοντελοποίηση του Ντεριανού (Διάγραμμα 4.9) και των εκβολών του Ταυρωνίτη (Διάγραμμα 4.10) όπως φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα.



Διάγραμμα 4.9 : Μοντελοποίηση της παροχής του Ντεριανού τα έτη 1995-2005



Διάγραμμα 4.10 : Μοντελοποίηση της παροχής των εκβολών του Ταυρωνίτη τα έτη 1995-2005

Ο Ντεριανός αλλά και συνολικά ο Ταυρωνίτης μετά τη συμβολή του Ρουματιανού, του Σεμπρενιώτη και του Ντεριανού, δε διαθέτουν μετρήσεις πεδίου με αποτέλεσμα να κρίνεται δυσκολότερη η σωστή μοντελοποίηση της υδρολογίας των υπολεκανών τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, αφορά στην μεταφορά των παραμέτρων από τις λεκάνες που βαθμονομήθηκαν για τα κοινά HRUs. Το αποτέλεσμα είναι αυτό που φαίνεται λεπτομερειακά στα παραπάνω διαγράμματα.

Όσον αφορά στον Ντεριανό, παρατηρούμε ότι το μοντέλο που προκύπτει από την προσομοίωση της παροχής του μοιάζει αρκετά με αυτό του Ρουματιανού και του Σεμπρενιώτη, και αυτό οφείλεται στα κοινά τους HRUs. Η σημαντικότερη διαφορά τους εντοπίζεται στις ακραίες τιμές και αυτό γιατί ο Ντεριανός διαθέτει πολύ μεγαλύτερο δυναμικό από τους δυο προηγούμενους χειμάρρους, σε βαθμό τέτοιο ώστε η τελική ετήσια παροχή του να εμφανίζεται σχεδόν τριπλάσια.

Σχετικά με τις εκβολές του Ταυρωνίτη, αυτό που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι ότι εξαιτίας των αλλούβιων εδαφών της υπολεκάνης, μεγάλο τμήμα της απορροής χάνεται από το σύστημα. Για να επιτευχθεί η ενσωμάτωση αυτής της ιδιότητας του εδάφους στο μοντέλο, έγινε χρήση της παραμέτρου της υδραυλικής αγωγιμότητας (CH_K2) του κυρίως καναλιού σε συνδυασμό με τη χρήση της παραμέτρου των απωλειών από μεταφορά (TRNSRCH). Οι τιμές που εισήχθησαν στις δυο αυτές παραμέτρους δίνονται στον Πίνακα 4.7:

Πίνακας 4.7 : Παράμετροι που τροποποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση των εκβολών Ταυρωνίτη

				Υπολεκάνη 1 Ταυρωνίτη
Πίνακας εισαγωγής δεδομένων	Παράμετρος	Περιγραφή Παραμέτρου	Έυρος στο SWAT	Τιμή
Routing(.rte)	CH_K2	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (mm/hr)	0-300	150
Basin(.bsn)	TRNSRCH	Transmission losses from the reach	0-1	0.15

Επιπλέον, τα υδραυλικά έργα απόληψης νερού από τα κανάλια αλλά και από τη πεδιάδα του Ταυρωνίτη, αποτελούν σημαντική παράμετρο για την τελική μορφή του μοντέλου. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι μαστεύονται 4,802,560 m³ νερού κάθε έτος, τα οποία προκύπτουν από:

- τον Σεμπρενιώτη : 100 m³/hr ή 2400 m³/day
- τον Ντεριανό : 100 m³/hr ή 2400 m³/day
- τον Ρουματιανό : 20.83 m³/hr ή 500 m³/day
- τη συμβολή Σεμπρενιώτη-Ρουματιανού : 68.5 m³/hr ή 1644 m³/day
- την πεδιάδα του Ταυρωνίτη στην υπολεκάνη πριν τις εκβολές:
 - α) 50 m³/hr για κάθε γεώτρηση κατά τους χειμερινούς μήνες, δηλαδή συνολικά 300 m³/hr ή 4 500 m³/day και
 - β) 90 m³/hr κατά τους θερινούς μήνες, δηλαδή συνολικά 540 m³/hr ή 8 100 m³/day

Για την πεδιάδα του Ταυρωνίτη θεωρούμε πως λειτουργούν κατά μέσο όρο 6 γεωτρήσεις, που δουλεύουν 15 ώρες τη μέρα, για 30 μέρες το μήνα, 6 μήνες τον χρόνο (χειμώνα-καλοκαίρι).

4.4.4 Τελικά Αποτελέσματα Μοντελοποίησης

Για τα έτη από το 1995 έως και το 2005, στο σημείο που εκφορτίζεται ο ποταμός Ταυρωνίτης στη θάλασσα, υπολογίζεται μέση ετήσια παροχή που ανέρχεται στα 63.43 εκ. $m^3/year$. Για τον Σεμπρενιώτη, η απορροή ανέρχεται στα 13.91 εκ. $m^3/year$, για τον Ρουματιανό στα 10.98 εκ. $m^3/year$ και τέλος για τον Ντεριανό στα 37.65 εκ. $m^3/year$. Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη διακύμανση παροχής στον ποταμό Ταυρωνίτη, ο οποίος για το 1995-2005, εμφανίζει ελάχιστη παροχή το 1995-1996 με 25.11 εκ. $m^3/year$, ενώ τη μέγιστη το 1997-1998 με περίπου 109 εκ. $m^3/year$. Επιπλέον, για τη περίοδο αυτή, η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται στα 165.46 εκ. $m^3/year$. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο συντελεστής απορροής να έχει τιμή 0.38, η απορροή δηλαδή αποτελεί το 38% της ετήσιας βροχόπτωσης. Άλλοι βασικοί λόγοι που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 4.8):

Πίνακας 4.8 : Λόγοι υδρολογικού ισοζυγίου (1995-2005)

Water Balance Ratios (1995-2005)	
Baseflow/Total Flow	0.87
Percolation/Precipitation	0.45
Deep Recharge/Precipitation	0.07
ET/Precipitation	0.33
(ET+ Revap)/Precipitation	0.52

Σε γενικές γραμμές η προσομοίωση της λεκάνης ήταν ικανοποιητική για τις χαμηλές παροχές, ενώ για τις υψηλές το μοντέλο τείνει να δώσει μικρότερες παροχές από αυτές που ήταν μετρημένες. Το γεγονός ότι υπήρχαν λίγες συνεχείς μετρήσεις αλλά και το ότι δεν υπάρχει καταγραφή για τον τρόπο και τις συνθήκες μέτρησης, δεν μας επιτρέπει να εξάγουμε περεταίρω συμπεράσματα. Για την καλύτερη μοντελοποίηση της περιοχής και τη δημιουργία αξιόπιστου διαχειριστικού μοντέλου πρέπει να εγκατασταθούν μόνιμοι σταθμοί μέτρησης σε ολόκληρη τη λεκάνη.

4.4.5 Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης Ταυρωνίτη

Το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο που προκύπτει για κάθε ποταμό, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.9). Ο Σεμπρενιώτης, ο Ρουματιανός και οι εκβολές του Ταυρωνίτη καταλαμβάνουν από μια υπολεκάνη. Αυτό δεν ισχύει όμως και για τον Ντεριανό, ο οποίος εκτείνεται στις υπολεκάνες, 3,4 και 7, με το μεγαλύτερο μέρος του να βρίσκεται στην υπολεκάνη 3 ενώ τις πηγές του να βρίσκονται στις υπολεκάνες 4 και 7.

Πίνακας 4.9 : Υδρολογικό ισοζύγιο (1995-2005)

	ΣΕΜΠΡΕΝΙΩΤΗΣ (subbasin 5)	ΡΟΥΜΑΤΙΑΝΟΣ (subbasin 6)	ΝΤΕΡΙΑΝΟΣ (subbasin 3,4,7)	ΕΚΒΟΛΕΣ (subbasin 1)
Flow out (εκ. $m^3/year$)	13.91	10.98	37.65	63.43
PRECIP (εκ. $m^3/year$)	28.03	36.19	73.17	4.75
ET(εκ. $m^3/year$)	7.58	14.37	20.43	2.29

PERC(εκ.μ³/year)	11.96	13.57	34.92	1.64
Surface Runoff(εκ.μ³/year³)	1.28	1.00	3.6	0.81
Groundwater Q(εκ.μ³/year)	3.38	1.74	11.61	0.80
Lateral Q(εκ.μ³/year)	7.39	7.81	14.76	0.06

Το ετήσιο ισοζύγιο ολόκληρης της λεκάνης απορροής του ποταμού Ταυρωνίτη (Εικόνα 4.6) είναι το εξής:

$$\Delta S = P - (Q_{sur} + Q_{lat} + Q_{return} + ET + Revap + Q_{deep}) = 1250 - (60 + 235 + 182 + 409 + 247 + 88) = 29 \text{ mm}$$

Όπου,

P : η βροχόπτωση (precipitation) (mm)

Q_{sur} : η επιφανειακή απορροή (surface runoff) (mm)

Q_{lat} : η πλευρική ροή στο κανάλι (lateral flow) (mm)

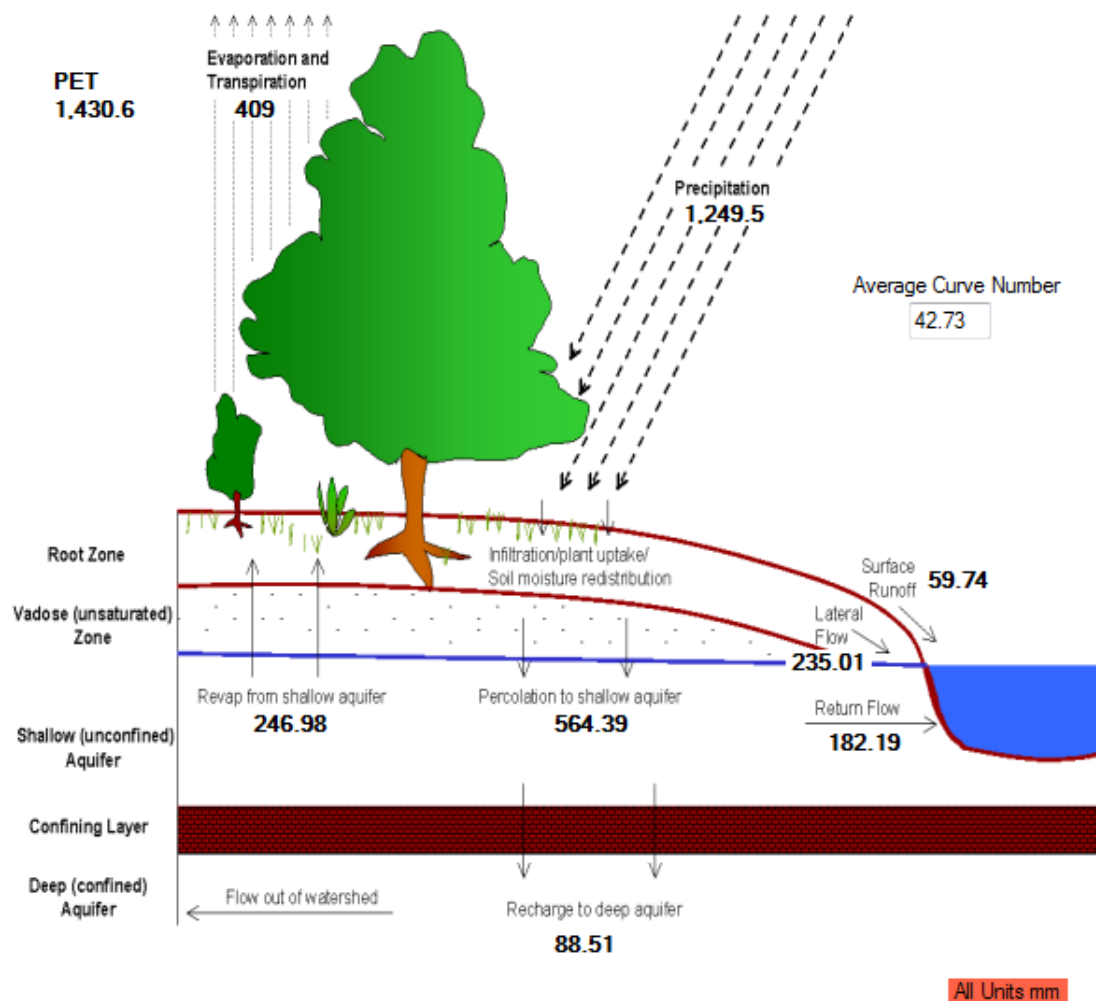
Q_{return} : η συμβολή του ρηχού υδροφορέα στο κανάλι (shallow aquifer) (mm)

ET : η εξατμισοδιαπνοή (mm)

$Revap$: η επιστροφή νερού στην ακόρεστη ζώνη (vadose zone) (mm)

$ET+Revap$: η ετήσια πρόσληψη νερού από τα φυτά (mm)

Q_{deep} : το νερό που χάνεται στον βαθύ υδροφορέα (deep aquifer) (mm)



Εικόνα 4.6 : Υδρολογικό ισοζύγιο από το SWAT της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη τα έτη 1995-2005

Πίνακας 4.10: Υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη τα έτη 1995-2009

	AVG Μέσος όρος σε mm/year	MAX Μέγιστη τιμή σε mm/year	MIN Ελάχιστη τιμή σε mm/year	STDEV Τυπική απόκλιση σε mm/year
Εξατμισοδιαπνοή	381.20	578.72	209.64	93.25
Βροχόπτωση	1123.33	1984.20	326.60	388.80
Διήθηση	501.61	1146.16	63.86	242.91
Επιφανειακή Απορροή	60.16	272.70	0	60.40
Συμβολή Ρηχού Υδροφορέα στο κανάλι	174.24	559.13	0	132.52
Παράλληλη Απορροή στην Επιφανειακή	187.55	494.97	2.97	128.31

Στον Πίνακα 4 .10, διατίθενται κάποιες τιμές που αφορούν σε χαρακτηριστικές ποσότητες νερού στο υδρολογικό σύστημα του Ταυρωνίτη. Οι τιμές είναι από τα έτη 1995 έως 2009 και προέρχονται από όλες τις υπολεκάνες με στόχο να δοθεί έμφαση στις μεταξύ τους διαφορές. Παρατηρούμε λοιπόν ότι, η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση εμφανίζεται στην παράμετρο της βροχόπτωσης με τιμή σχεδόν 389 mm/year, τη στιγμή που η ελάχιστη τιμή της είναι 326.6 mm/year. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί την ύπαρξη μεγάλων αποκλίσεων, που οφείλονται στο μικροκλίμα κάθε περιοχής αλλά, τονίζει και τη διαφορά μεταξύ υγρών και ξηρών ετών. Επιπλέον, μεγάλη τυπική απόκλιση παρατηρούμε στη διήθηση, η οποία εμφανίζει μέγιστη τιμή 1146 mm/year, ενώ ελάχιστη σχεδόν 64 mm/year. Αυτό, κυρίως οφείλεται στα χαρακτηριστικά του εδάφους από περιοχή σε περιοχή αλλά και στη ποσότητα της βροχής που έπεσε, από χρόνο σε χρόνο. Όσον αφορά στην εξατμισοδιαπνοή και την επιφανειακή απορροή παρατηρούμε τις μικρότερες αποκλίσεις, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι λιγότερο σημαντικές.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, πριν προχωρήσει κάποιο μεγάλο υδραυλικό έργο στην περιοχή, θα πρέπει να υπάρξει πιο σωστή και πιο συστηματική οργάνωση σχετικά με την παρακολούθηση της λεκάνης. Είναι κρίσιμης σημασίας, η εγκατάσταση ενός δικτύου παρακολούθησης για την απόκτηση μιας ισχυρής βάσης δεδομένων πεδίου, που θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα μοντελοποίησης και θα συμβάλει στην εξαγωγή πιο βάσιμων συμπερασμάτων.

5. Προσομοίωση Ταμιευτήρων

5.1 Εισαγωγή

Τα προτεινόμενα φράγματα Ντεριανού και Σεμπρενιώτη εδράζονται σε τοποθεσίες κοντινές του οικισμού Παπαδιανών και Βουκολιών, αντίστοιχα. Σκοπός της κατασκευής των δύο φραγμάτων είναι η κάλυψη των αναγκών της περιοχής σε νερό, αποθηκεύοντας το κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση το καλοκαίρι.

Παρακάτω, θα εξετάσουμε τα σενάρια κατασκευής φράγματος στο Ντεριανό με όγκο ταμιευτήρα αρχικά 18 εκ. m³ και έπειτα 40 εκ. m³. Αντίστοιχα, για τον Σεμπρενιώτη, εξετάζεται η περίπτωση δημιουργίας φράγματος όγκου 7 εκ. m³ και 5 εκ. m³.

Ντεριανός

1^ο Σενάριο

V_{\max} : 18,000,000 m³

V_{\min} : 2,500,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 18,000,000 m³

2^ο Σενάριο

V_{\max} : 18,000,000 m³

V_{\min} : 2,500,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 14,000,000 m³

3^ο Σενάριο, Μελέτη 1992

V_{\max} : 40,000,000 m³

V_{\min} : 2,500,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 24, 000, 000 m³

Σεμπρενιώτης

1^ο Σενάριο

V_{\max} : 7,000,000 m³

V_{\min} : 1,000,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 7,000,000 m³

2^ο Σενάριο

V_{\max} : 7,000,000 m³

V_{\min} : 1,000,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 5,000,000 m³

3^ο Σενάριο, Μελέτη 1992

V_{\max} : 5,000,000 m³

V_{\min} : 1,000,000 m³

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 3,000,000 m³

Η προσομοίωση του κάθε φράγματος πραγματοποιήθηκε στο Excel, Microsoft Office. Τα δεδομένα που εισήχθησαν, παρουσιάζονται παρακάτω :

- Υδρολογικά δεδομένα που προέκυψαν από το SWAT
 1. Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET) σε mm
 2. Εισροή ανά μήνα σε m³/month
 3. Κατακρήμνιση (PRECIP) σε mm
- Όγκοι λειτουργίας ταμιευτήρα V_{\max} και V_{\min} σε m³
- Μηνιαίο ποσοστό ύδρευσης και άρδευσης
- Οικολογική παροχή (Qeco) σε m³/month

Με το excel υπολογίζονται τα εξής:

- Όγκος ανά μήνα στον ταμιευτήρα σε m³/month
- Εξερχόμενη Παροχή ανά μήνα σε m³/month
- Ζήτηση Ύδρευσης και Άρδευσης ανά μήνα σε m³/month
- Παρεχόμενη ποσότητα άρδευσης ανά μήνα (Qirr final) σε m³/month
- Ποσότητα άρδευσης που απαιτείται ανά μήνα (Qirr απαιτ) σε m³/month
- Ποσοστό αστοχίας ως προς την ποσότητα νερού που παρέχεται για άρδευση σε σχέση με αυτή που ζητείται (Failure%)
- Ποσότητα νερού αστοχίας μεταξύ του απαιτούμενου για άρδευση με του παρεχόμενου για άρδευση (deficit) σε m³/month

5.2 Μηνιαίο ισοζύγιο

Το βασικό ισοζύγιο που χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση κάθε φράγματος (Εικόνα 5.1) είναι αυτό που παρουσιάζεται παρακάτω.

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

Όπου,

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

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

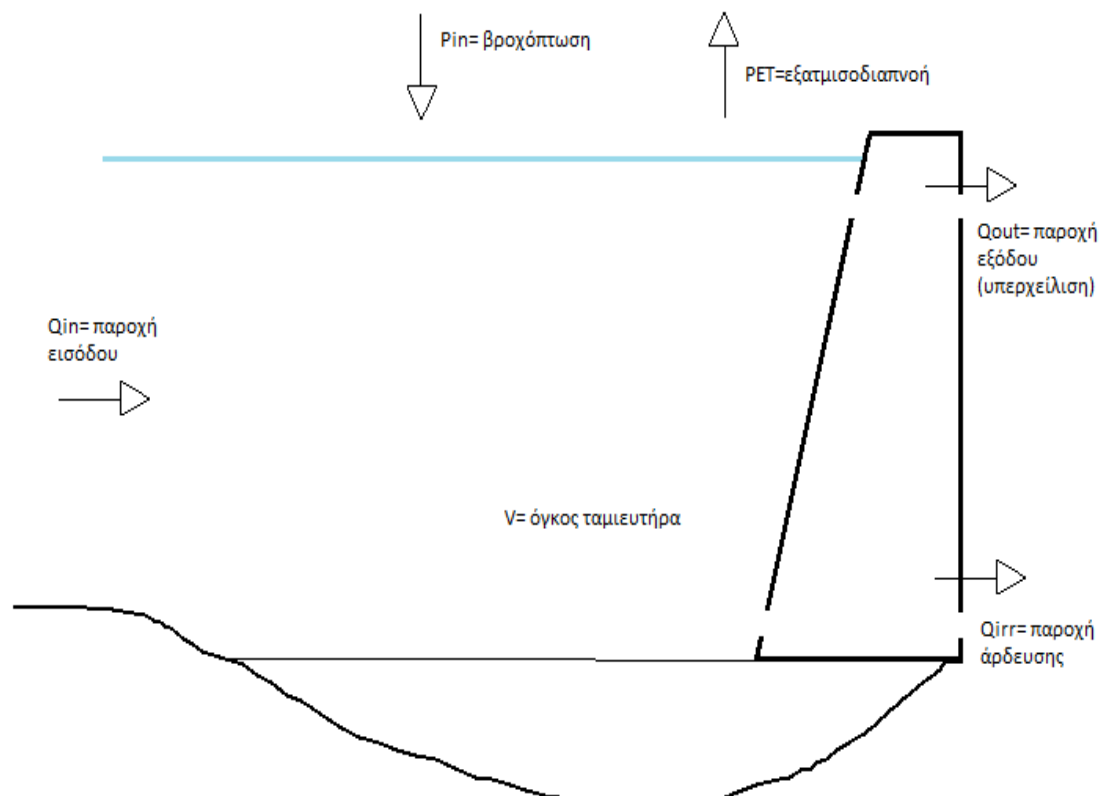
A : η επιφάνεια του φράγματος, (m^2)

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)



Εικόνα 5.1 : Απεικόνιση ισοζυγίου ταμιευτήρα

5.3 Ανάλυση παραμέτρων ισοζυγίου

Όγκος φράγματος

Για την επιλογή του όγκου ενός φράγματος είναι απαραίτητη η γνώση των υδρολογικών στοιχείων της περιοχής, έτσι ώστε μέσω της επεξεργασίας των παραμέτρων αυτών, όπως των μηνιαίων και ετήσιων βροχοπτώσεων, μετρήσεων παροχών ή και στοιχείων εξάτμισης, να επιτευχθεί η βέλτιστη διαστασιολόγηση του όγκου φράγματος και των συναφών του υδραυλικών χαρακτηριστικών, όπως του ύψους στέψης, μήκους υπερχειλίσσης κ.α. 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).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αξιολόγηση των δυο φραγμάτων στους ποταμούς Ντεριανό και Σεμπρενιώτη. Σύμφωνα με τη μελέτη που εκπονήθηκε το 1992 από την εταιρεία «ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών» για το Υπουργείο Γεωργίας, ο μέγιστος όγκος πλήρωσης για κάθε φράγμα είναι ο παρακάτω:

Ντεριανός : $V_{max} = 40,000,000 \text{ m}^3$

Σεμπρενιώτης : $V_{max} = 5,000,000 \text{ m}^3$

Σύμφωνα με το «Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Ταυρωνίτη» που κατατέθηκε στη περιφέρεια Χανίων από τους Καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Νικολαΐδη και κ. Καρατζά, δύο φράγματα όγκου 18 εκ. m^3 και 7 εκ. m^3 , θα ήταν αρκετά για να εξασφαλιστούν οι ανάγκες της περιοχής για νερό.

Ντεριανός : $V_{max} = 18,000,000 \text{ m}^3$

Σεμπρενιώτης : $V_{max} = 7,000,000 \text{ m}^3$

Επιπλέον, κρίνεται άκρως απαραίτητος ο καθορισμός μιας τιμής ελάχιστου όγκου, έτσι ώστε ο ταμιευτήρας να μην εκκενώνεται σε καμία χρονική περίοδο. Η αποστράγγιση του ταμιευτήρα θα έχει ως αποτέλεσμα την οξείδωση των ιζημάτων που υπάρχουν στον πάτο του ταμιευτήρα, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα τόσο στην οσμή, όσο και στη γεύση του νερού.

Για τον Ντεριανό επιλέχθηκε η εξής τιμή ελάχιστου όγκου,

Ντεριανός : $V_{min} = 2,500,000 \text{ m}^3$

Αντίστοιχα για τον Σεμπρενιώτη,

Σεμπρενιώτης : $V_{min} = 1,000,000 \text{ m}^3$

Εισερχόμενη παροχή

Είναι ουσιαστικά η απορροή του ποταμού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα, και δίνεται ως έξοδος του λογισμικού του SWAT, από τη μοντελοποίηση της υδρολογίας των υπολεκανών, που έχει προηγηθεί.

Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

Εξάτμιση είναι το φαινόμενο κατά το ποίο τα μόρια ενός σώματος μεταφέρονται από την υγρή φάση στην αέρια. Διαπνοή είναι η διεργασία μέσω της οποίας, τα φυτά προσλαμβάνουν το νερό για την ανάπτυξη τους 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 σταθμούς του Ταυρωνίτη, Ζυμβραγού και Παλαιών Ρουμάτων, που υπάρχουν κοντά στην περιοχή μελέτης, την χρονική περίοδο από το 1961 έως και το 2009. Για την προσομοίωση του ταμιευτήρα, τα χιλιοστά βροχής που διαθέτουμε από τους σταθμούς, πολλαπλασιάζονται με την μέγιστη επιφάνεια του φράγματος για να υπολογιστεί ο όγκος του νερού της βροχόπτωσης.

Επιφάνεια Ταμιευτήρα

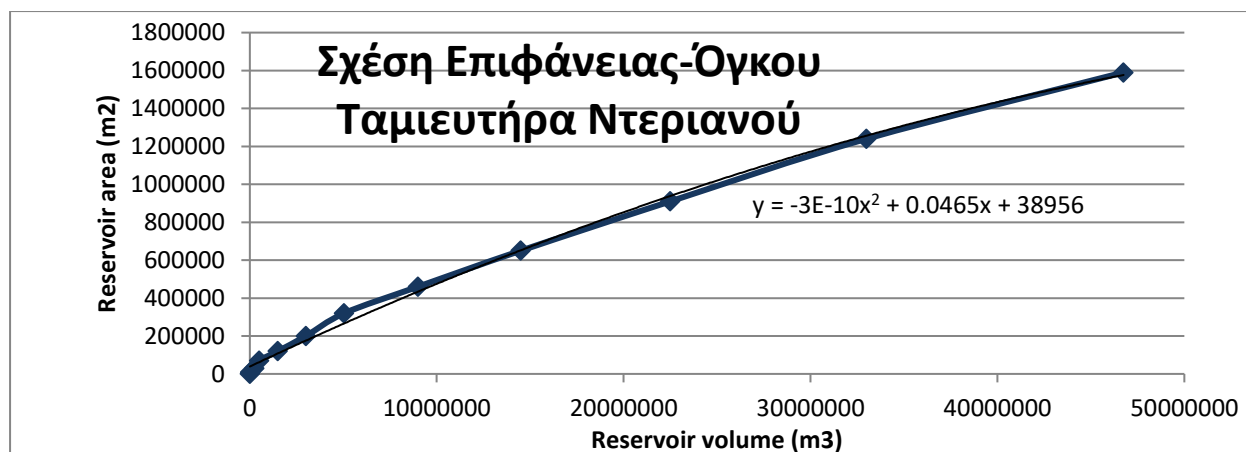
Η επιφάνεια που καταλαμβάνει ο ταμιευτήρας είναι σημαντική για τον υπολογισμό, της εξατμισοδιαπνοής και της βροχόπτωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Σε ένα φράγμα λοιπόν, η επιφάνεια έχει την ιδιότητα να μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος του. Σε όλες τις μελέτες που αφορούν στη κατασκευή φραγμάτων εμπεριέχονται καμπύλες που καθορίζουν τις σχέσεις αυτές, μεταξύ ύψους- επιφάνειας και ύψους-όγκου. Για τον προσδιορισμό της σχέσης επιφάνειας-όγκου χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω γραφήματα από τη μελέτη κατασκευής του 1992 και διατίθενται στο Παράρτημα.

Για τον Ντεριανό (Διάγραμμα 5.1)

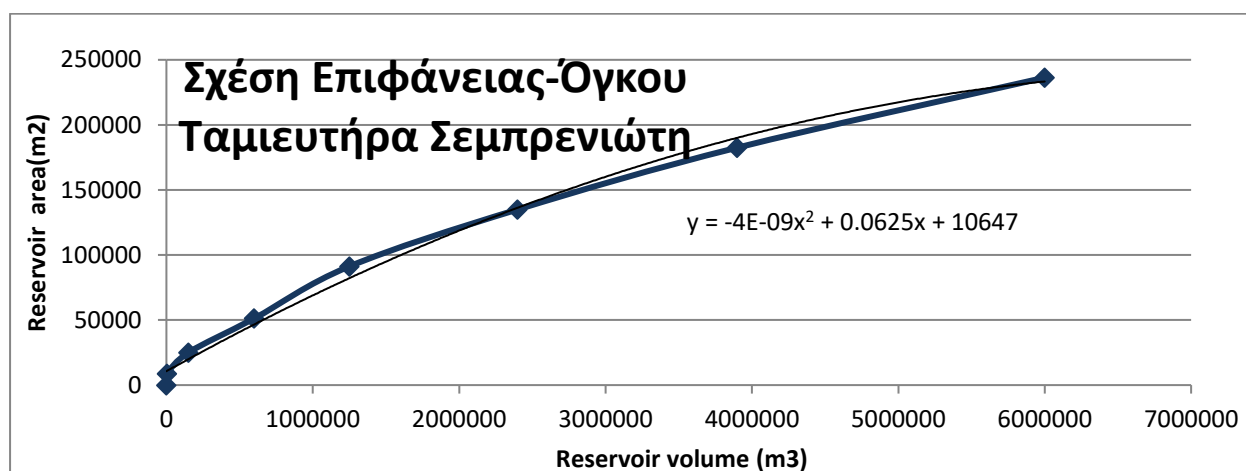
$$A(m^2) = -0.0000000003 \cdot V^2 + 0.046 \cdot V + 38956$$

Για τον Σεμπρενιώτη (Διάγραμμα 5.2)

$$A(m^2) = -0.0000000004 \cdot V^2 + 0.062 \cdot V + 10647$$



Διάγραμμα 5.1 : Σχέση Επιφάνειας –Όγκου Ταμιευτήρα Ντεριανού (ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών, Μάρτιος 1992)



Διάγραμμα 5.2 : Σχέση Επιφάνειας –Όγκου Ταμιευτήρα Σεμπρενιώτη (ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών, Μάρτιος 1992)

Οι πίνακες με τα δεδομένα επιφάνειας, όγκου και υψομέτρου που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των καμπυλών, παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 5.1, Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.1 : Δεδομένα Υψομέτρου, Επιφάνειας και Όγκου Φράγματος Ντεριανού (ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών, Μάρτιος 1992)

Φράγμα Ντεριανού				
Elevation	V (hm ³)	V(m ³)	A(km ²)	A(m ²)
230	0	0	0	0
240	0.025	25000	0.01	10000
250	0.25	250000	0.03	30000
260	0.5	500000	0.07	70000
270	1.5	1500000	0.12	120000
280	3	3000000	0.2	200000
290	5.05	5050000	0.32	320000
300	9	9000000	0.46	460000
310	14.5	14500000	0.65	650000
320	22.5	22500000	0.91	910000
330	33	33000000	1.24	1240000
340	46.75	46750000	1.59	1590000

Πίνακας 5.2 : Δεδομένα Υψομέτρου, Επιφάνειας και Όγκου Φράγματος Σεμπρενιώτη (ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ, Μελέτη Συμβούλων Μηχανικών, Μάρτιος 1992)

Φράγμα Σεμπρενιώτη				
Elevation	V (hm ³)	V(m ³)	A(km ²)	A(m ²)
270	0	0	0	0
280	0.005	5000	0.00875	8750
290	0.15	150000	0.025	25000
300	0.6	600000	0.05125	51250
310	1.25	1250000	0.09125	91250
320	2.4	2400000	0.135	135000
330	3.9	3900000	0.1825	182500
340	6	6000000	0.2363	236300

- Για το φράγμα των 18 εκ. m³, του Ντεριανού, ως μέγιστη επιφάνεια επιλέχθηκε $A_{max} = 600\ 000\ m^2$, ενώ αντίστοιχα για το φράγμα του Σεμπρενιώτη με όγκο 7 εκ. m³, $A_{max} = 225\ 000\ m^2$.
- Για το φράγμα των 40 εκ. m³, του Ντεριανού, ως μέγιστη επιφάνεια επιλέχθηκε $A_{max} = 1\ 400\ 000\ m^2$, ενώ αντίστοιχα για το φράγμα του Σεμπρενιώτη με όγκο 5 εκ. m³, $A_{max} = 212\ 500\ m^2$.

Υπερχείλιση- Οικολογική παροχή

Ως οικολογική παροχή ορίζουμε την ποσότητα ύδατος που διατίθεται ως απορροή εξόδου, από έναν ταμιευτήρα για την αποκατάσταση και συντήρηση των διεργασιών που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα. Το όφελος από την ύπαρξη οικολογικής παροχής

είναι, η διατήρηση των υδρόβιων οικοσυστημάτων, όταν η ανθρώπινη παρέμβαση οδηγεί στη ραγδαία μεταβολή της υδρολογικής ροής, όπως στην περίπτωση κατασκευής ενός φράγματος. Για τον καθορισμό της τιμής της οικολογικής παροχής Q_{eco} , υπολογίστηκε το γινόμενο του μέσου όρου των παροχών των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου με τον συντελεστή 0.3 (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός Οικολογικής Παροχής φραγμάτων Ντεριανού και Σεμπρενιώτη

	Φράγμα Ντεριανού	Φράγμα Σεμπρενιώτη
Έτος	Μέσος Όρος τιμών μοντέλου (m^3/s)	Μέσος Όρος τιμών πεδίου (m^3/s)
1996	0.2354	0.0598
1997	0.3480	0.0989
1998	0.2553	0.1422
1999	0.1764	0.1000
2000	0.1913	0.1133
2001	0.2270	0.1133
2002	0.1690	0.1287
2003	0.4032	0.1833
2004	0.1458	0.0713
Μέσος όρος :	0.2390	0.1123
Μέσος όρος · 0.3:	0.0717	0.0337

Όσον αφορά στην παροχή υπερχειλίσης, τμήμα του νερού που βρίσκεται σε περίσσεια, σε σχέση με τον μέγιστο όγκο που έχει καθοριστεί, υπερχειλίζει και οδηγείται έξω από τον ταμιευτήρα και κατάντη του φράγματος. Η υπερχειλίση, αποκτά διαφορετικές τιμές, ανάλογα με την περίοδο στην οποία λαμβάνει χώρα. Το χειμώνα κάτω από ορισμένες συνθήκες που πρέπει να πληρούνται, επιτρέπεται μεγαλύτερη ποσότητα υπερχειλίσης από αυτή που έχει καθοριστεί, έτσι ώστε να διατηρούνται οι ισορροπίες εντός του φράγματος αλλά και να προσομοιώνονται καλύτερα οι αυξομειώσεις της παροχής του ποταμού, που θα υπήρχαν υπό φυσικές συνθήκες, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

Απαιτούμενη ετήσια ποσότητα απόληψης

Σύμφωνα με τον μέγιστο όγκο του φράγματος που μπορεί να κατασκευαστεί στην περιοχή, το δυναμικό του ποταμού αλλά και τις ανάγκες για άρδευση και ύδρευση της περιοχής, καθορίζεται μια ετήσια ποσότητα απόληψης από τον ταμιευτήρα. Οι μηνιαίοι συντελεστές κατανομής της ζήτησης για την άρδευση και την ύδρευση δίνονται στο Παράρτημα. Στην παρούσα εργασία, αξιολογήθηκαν δυο σενάρια συνολικής ποσότητας απόληψης σε κάθε φράγμα. Επιπλέον, αξιολογήθηκε, σε ένα τρίτο σενάριο η πρόταση της μελέτης του 1992.

Ντεριανός

1^ο Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 18,000,000 m^3

Ποσότητα άρδευσης: 16,000,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 2,000,000 m³

2° Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 14,000,000 m³

Ποσότητα άρδευσης: 12,500,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 1,500,000 m³

3° Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 24,000,000 m³

Ποσότητα άρδευσης: 22,000,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 2,000,000 m³

Σεμπρενιώτης

1° Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 7,000,000 m³

Ποσότητα άρδευσης: 6,000,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 1,000,000 m³

2° Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 5,000,000 m³

Ποσότητα άρδευσης: 4,500,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 500,000 m³

3° Σενάριο

Συνολική ποσότητα άρδευσης-ύδρευσης: 3,000,000 m³

Ποσότητα άρδευσης: 2,500,000 m³

Ποσότητα ύδρευσης: 500,000 m³

5.4 Ανάπτυξη σεναρίων

Για όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τις χρονολογίες από το 1985 έως και το 2009. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η επιλογή των ετών δεν ήταν τυχαία και λήφθηκαν υπ' όψιν δύο κριτήρια για την τελική απόφαση. Η κεντρική ιδέα ήταν να ελεγχθεί ο τρόπος λειτουργίας των φραγμάτων σε συνθήκες χρονικά κοντινές του σήμερα, για να μπορεί να υπάρξει ένα μέτρο σύγκρισης, καθώς δυστυχώς σημερινά δεδομένα δεν υπάρχουν. Δεύτερο κριτήριο, το οποίο συντέλεσε και στην επιλογή ετών, πριν το 1990, ήταν οι συνθήκες ξηρασίας που επικράτησαν κατά τα τελευταία έτη της δεκαετίας του '80, με στόχο να αξιολογηθεί η λειτουργία των φραγμάτων σε αυτές τις ακραίες συνθήκες, μιας και λόγω της κλιματικής αλλαγής, τα ξηρά έτη πληθαίνουν.

5.4.1 Ανάπτυξη σεναρίων Ντεριανού

1^ο Σενάριο

Σε αυτό το σενάριο τέθηκε ως στόχος η σταθερή απόδοση 18,000,000 m³ νερού ετησίως στις γύρω περιοχές, σύμφωνα με την Τεχνική Έκθεση των Νικολαΐδη-Καρατζά. Από αυτά, τα 16,000,000 m³ νερού θα χρησιμοποιούνται για άρδευση, ενώ 2,000,000 m³ θα χρησιμοποιούνται για την ύδρευση των οικισμών που φιλοξενούνται στην περιοχή (Εικόνα 5.2).

Κάνοντας λοιπόν, χρήση του ισοζυγίου που αναλύθηκε παραπάνω υπολογίστηκε ο όγκος του φράγματος στις αντίστοιχες τιμές εισερχόμενης παροχής, βροχόπτωσης, εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής για κάθε μήνα και αξιολογήθηκε ο τρόπος λειτουργίας και η επίτευξη του στόχου που τέθηκε αρχικά.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
V	Qin/month	P*A	PET*A	Qout(m3/month)	Qirr final	(%) Failure	deficit	METABAITEI		Qirr απαιτ	Qeco/month
0	213,373	3,900	86,131	0	0			Qeco(m3/s)	Vmax(m3)	1.85336E+06	185846.4
2,500,000	1,000,115	87,120	61,262	0	0			0.0717	18000000	687930.0725	192041.28
3,235,183	1,074,125	55,440	50,641	185,846	0			Vmin(m3)		157894.7368	185846.4
6,157,424	3,133,728	167,340	28,891	192,041	157,895	0		2500000		157894.7368	192041.28
9,434,259	3,562,272	82,800	18,302	192,041	157,895	0				157894.7368	192041.28
14,968,917	5,789,146	105,240	28,376	173,457	157,895	0				157894.7368	173456.64
18,000,000	3,776,544	47,400	54,557	633,041	105,263	0			Σ.Υδρευσης(m3/year)	105263.1579	192041.28
18,000,000	1,333,325	0	82,871	498,484	751,969	0			2000000	751969.2136	185846.4
16,480,019	963,956	38,100	75,880	192,041	2,254,117	0			Σ.Αρδευσης(m3/year)	2254116.536	192041.28
13,046,856	509,328	8,160	109,220	185,846	3,655,584	0			16000000	3655584.326	185846.4
8,781,560	303,195	0	130,316	192,041	4,246,134	0			Σ.ολικό Απαιτούμενο	4246133.818	192041.28
4,842,510	186,792	600	120,721	192,041	3,813,679	0			18000000	3813679.347	192041.28
3,166,027	390,096	57,900	85,269	185,846	1,853,364	0			(%)Υδρευση	1853364.043	185846.4
3,309,666	1,007,346	80,820	64,555	192,041	687,930	0			0.111111111	687930.0725	192041.28
5,456,573	2,434,666	95,280	39,298	185,846	157,895	0			(%)Αρδευση	157894.7368	185846.4
8,234,496	3,013,200	140,700	26,041	192,041	157,895	0			0.888888889	157894.7368	192041.28
13,590,055	5,613,926	120,360	28,791	192,041	157,895	0			Wet Season Parameters	157894.7368	192041.28
18,000,000	6,086,707	112,080	28,403	1,602,544	157,895	0			Qout	10%	157894.7368
18,000,000	8,380,714	109,260	46,993	8,337,717	105,263	0			Qstorage	90%	105263.1579
18,000,000	5,435,424	137,760	64,052	4,757,162	751,969	0					751969.2136
18,000,000	4,491,677	3,120	76,040	2,164,640	2,254,117	0					2254116.536
15,244,461	1,190,765	0	104,873	185,846	3,655,584	0					3655584.326
11,386,827	706,026	0	125,486	192,041	4,246,134	0					4246133.818
7,734,347	473,005	0	119,765	192,041	3,813,679	0					3813679.347
5,919,531	320,371	0	95,976	185,846	1,853,364	0					1853364.043
5,219,870	240,815	13,680	74,185	192,041	687,930	0					687930.0725
5,645,109	727,834	85,620	44,474	185,846	157,895	0					157894.7368
7,577,630	2,212,091	100,620	30,253	192,041	157,895	0					157894.7368
9,589,138	2,316,816	79,140	34,512	192,041	157,895	0					157894.7368
13,707,911	4,279,565	199,980	29,420	173,457	157,895	0					157894.7368
18,000,000	9,034,243	115,320	45,510	4,706,701	105,263	0					105263.1579
18,000,000	3,973,536	8,100	73,880	3,155,786	751,969	0					751969.2136
16,851,535	1,366,788	21,720	90,815	192,041	2,254,117	0					2254116.536

Εικόνα 5.2 : Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 1 για τον Ντεριανό

2^ο Σενάριο

Λόγω της όχι απόλυτα ικανοποιητικής απόδοσης του πρώτου σεναρίου, στο δεύτερο σενάριο τέθηκε λίγο μικρότερος στόχος. Ο στόχος αυτός προσδιορίζεται από την προσπάθεια απόληψης 14,000,000 m³ νερού ετησίως εκ των οποίων τα 12,500,000 m³ προορίζονται για

την άρδευση των γειτονικών καλλιεργούμενων εκτάσεων, ενώ το υπόλοιπο 1,500,000 m³ θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες για πόσιμο νερό (Εικόνα 5.3).

Με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε στο Microsoft Office, για την πραγματοποίηση του προηγούμενου σεναρίου, υλοποιήθηκε και αυτό, δίνοντας αρκετά καλύτερα αποτελέσματα και εμφανίζοντας ένα μόνο έλλειμμα, στις αρχές της δεκαετίας του '90, λόγω της ξηρασίας των προηγούμενων ετών.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
V	Qin/month	P*A	PET*A	Qout(m3/mo n)	Qirr final	(%) Failure	deficit	METABAHTES		Qirr απαι
0	213,373	3,900	86,131	0	0			Qeco(m3/s)	Vmax(m3)	1.44136E+06
2,500,000	1,000,115	87,120	61,262	0	0			0.0717	18000000	532511.1586
3,274,657	1,074,125	55,440	50,641	185,846	0			Vmin(m3)		118421.0526
6,236,372	3,133,728	167,340	28,891	192,041	0			2500000		118421.0526
9,552,680	3,562,272	82,800	18,302	192,041	118,421	0				118421.0526
15,126,812	5,789,146	105,240	28,376	173,457	118,421	0	0			118421.0526
18,000,000	3,776,544	47,400	54,557	817,252	78,947	0	0		Σ. Ύδρευσης(m3/year)	78947.36842
18,000,000	1,333,325	0	82,871	667,912	582,542	0	0		1500000	582541.7376
16,978,041	963,956	38,100	75,880	192,041	1,756,094	0	0		Σ. Αρδευσης(m3/year)	1756094.333
14,349,472	509,328	8,160	109,220	185,846	2,850,991	0	0		12500000	2850991.044
11,019,596	303,195	0	130,316	192,041	3,310,713	0	0		Σ. ολικό Απαιτούμενο	3310713.098
7,921,367	186,792	600	120,721	192,041	2,972,858	0	0		14000000	2972858.042
6,656,886	390,096	57,900	85,269	185,846	1,441,362	0	0		(%) Ύδρευση	1441361.712
6,955,945	1,007,346	80,820	64,555	192,041	532,511	0	0		0.107142857	532511.1586
9,142,326	2,434,666	95,280	39,298	185,846	118,421	0	0		(%) Αρδευση	118421.0526
11,959,722	3,013,200	140,700	26,041	192,041	118,421	0	0		0.892857143	118421.0526
17,354,755	5,613,926	120,360	28,791	192,041	118,421	0	0	Wet Season Parameters		118421.0526
18,000,000	6,086,707	112,080	28,403	5,406,718	118,421	0	0	Qout	10%	118421.0526
18,000,000	8,380,714	109,260	46,993	8,364,033	78,947	0	0	Qstorage	90%	78947.36842
18,000,000	5,435,424	137,760	64,052	4,926,590	582,542	0	0			582541.7376
18,000,000	4,491,677	3,120	76,040	2,662,663	1,756,094	0	0			1756094.333
16,049,055	1,190,765	0	104,873	185,846	2,850,991	0	0			2850991.044
13,126,841	706,026	0	125,486	192,041	3,310,713	0	0			3310713.098
10,315,182	473,005	0	119,765	192,041	2,972,858	0	0			2972858.042
8,912,369	320,371	0	95,976	185,846	1,441,362	0	0			1441361.712
8,368,127	240,815	13,680	74,185	192,041	532,511	0	0			532511.1586

Εικόνα 5.3 : Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 2 για τον Ντεριανό

3^ο Σενάριο, Μελέτη 1992

Στο τρίτο σενάριο, ουσιαστικά εξετάσαμε τη λειτουργία του φράγματος του Ντεριανού για τον όγκο των 40,000,000 m³ που έδινε η μελέτη του 1992 ,

α) με τη συμβολή του Σεμπρενιώτη και

β) χωρίς τη συμβολή του Σεμπρενιώτη

Ως στόχος τέθηκε η ετήσια απόληψη νερού που αντιστοιχεί στο 60 % του μέγιστου όγκου σχεδιασμού του φράγματος, δηλαδή 24,000,000 m³ από τα οποία, τα 22,000,000 m³ προορίζονται για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ τα 2,000,000 m³ για την ύδρευση της περιοχής (Εικόνα 5.4).

Μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη
Τοπάλογλου Αγγελική

V	Q _{in} /month	P*A	PET*A	Q _{out} (m ³ /mo n)	Q _{irr} final	(%) Failure	deficit	Χεκτροπή	METABAHTES	Q _{irr} απαιτ
0	213.373	9.100	200.973	0	0			0	Q _{eco} (m ³ /s)	2.46943E+06
2,500,000	1,000,115	203,280	142,946	0	0			0	V _{max} (m ³)	886693.3234
3,281,056	1,113,598	129,360	118,161	185,846	0			39473.68421	V _{min} (m ³)	157894.7368
6,427,370	3,173,202	390,460	67,411	192,041	0			39473.68421	2500000	157894.7368
9,829,676	3,601,746	193,200	42,704	192,041	157,895	0		39473.68421		157894.7368
16,418,900	6,741,226	245,560	66,210	173,457	157,895	0	0	952080.0174		157894.7368
21,017,533	4,912,637	110,600	127,299	192,041	105,263	0	0	1136092.878	Σ.Υδρευσης(m ³ /year)	105263.1579
21,292,342	1,628,770	0	193,367	185,846	974,747	0	0	295444.7375	2000000	974747.1424
19,302,913	1,330,965	88,900	177,052	192,041	3,040,200	0	0	367008.3404	Σ.Αρδευσης(m ³ /year)	3040199.711
15,009,359	1,095,316	19,040	254,846	185,846	4,967,218	0	0	585987.6826	22000000	4967217.922
9,740,151	986,390	0	304,070	192,041	5,759,487	0	0	683195.2511	Σ.ολικό Απαιτούμενο	5759486.631
4,905,381	802,416	1,400	281,683	192,041	5,164,862	0	0	615624.24	24000000	5164861.733
2,885,666	699,421	135,100	198,961	185,846	2,469,428	0	0	309134.9739	(%)Υδρευση	2469428.191
2,974,521	1,129,638	188,580	150,629	192,041	886,693	0	0	122291.7094	0.083333333	886693.3234
5,235,544	2,474,139	222,320	91,694	185,846	157,895	0	0	39473.68421	(%) Αρδευση	157894.7368
8,237,799	3,084,654	328,300	60,763	192,041	157,895	0	0	71453.78021	0.916666667	157894.7368
15,413,515	7,311,990	280,840	67,179	192,041	157,895	0	0	169063.823	Wet Season Parameters	157894.7368
23,557,014	8,279,606	261,520	66,275	173,457	157,895	0	0	2192896.531	Q _{out}	157894.7368
34,612,867	11,207,868	254,940	109,651	192,041	105,263	0	0	2827154.531	Q _{storage}	105263.1579
40,000,000	7,204,160	321,440	149,456	1,014,264	974,747	0	0	176875.7		974747.1424
40,000,000	5,978,519	7,280	177,426	2,768,173	3,040,200	0	0	1486841.908		3040199.711
36,378,985	1,776,752	0	244,703	185,846	4,967,218	0	0	585987.6826		4967217.922
31,523,878	1,389,221	0	292,800	192,041	5,759,487	0	0	683195.2511		5759486.631
26,976,154	1,088,630	0	279,451	192,041	5,164,862	0	0	615624.24		5164861.733
24,726,631	629,696	0	223,944	185,846	2,469,428	0	0	309134.9739		2469428.191
23,869,826	363,107	31,920	173,097	192,041	886,693	0	0	122291.7094		886693.3234
24,389,400	767,307	199,780	103,772	185,846	157,895	0	0	39473.68421		157894.7368
26,455,217	2,251,564	234,780	70,591	192,041	157,895	0	0	39473.68421		157894.7368
28,569,694	2,360,281	184,660	80,528	192,041	157,895	0	0	43464.50021		157894.7368
34,142,382	5,506,067	466,620	68,648	550,607	157,895	0	0	1226502.455		157894.7368
40,000,000	12,273,866	269,080	106,190	6,473,875	105,263	0	0	3239623.195		105263.1579

Εικόνα 5.4: Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 3 για τον Ντεριανό

5.4.2 Ανάπτυξη σεναρίων Σεμπρενιώτη

1^ο Σενάριο

Όσον αφορά στον Σεμπρενιώτη, στο πρώτο σενάριο που αξιολογήθηκε, τέθηκε ως στόχος η συνολική ετήσια απώληση 7,000,000 m³. Πιο αναλυτικά, τα 6,000, 000 m³ αποφασίστηκε να οδηγηθούν στο δίκτυο άρδευσης για την ενίσχυσή του, ενώ το υπολειπόμενο 1,000,000 m³, θα δοθεί στο δίκτυο ύδρευσης για την κάλυψη αναγκών πόσιμου νερού της περιοχής (Εικόνα 5.5).

Το αποτέλεσμα αυτού του σεναρίου, κρίθηκε ανεπιτυχές για σειρά ετών κυρίως για τους φθινοπωρινούς μήνες, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 5.5 .

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
V	Q _{in} /month	P*A	PET*A	Q _{out} (m ³ /mo n)	Q _{irr} final	(%) Failure	deficit	METABAHTES		Q _{irr} απαιτ
0	33955.2	1.463	32.223	0	0			Q _{eco} (m ³ /s)	V _{max} (m ³)	7.21327E+05
1,000,000	413812.8	32,670	22,907	0	0			0.0337	7000000	277710.6193
1,283,518	447897.6	20,790	18,872	87,350	0			V _{min} (m ³)		78947.36842
2,488,879	1322593.92	62,753	10,776	90,262	0			1000000		78947.36842
3,722,994	1379108.16	31,050	6,834	90,262	78,947	0				78947.36842
5,760,653	2169296.64	39,465	10,628	81,527	78,947	0	0		Σ.Υδρευσης(m ³ /year)	78947.36842
6,843,968	1228849.92	17,775	20,417	122,885	52,632	0	0		1000000	52631.57895
6,835,962	412128	0	31,058	87,350	301,725	0	0		Σ.Αρδευσης(m ³ /year)	301725.2972
6,185,953	319533.12	14,288	28,536	90,262	865,031	0	0		6000000	865030.5432
4,806,661	136520.64	3,060	40,942	87,350	1,390,581	0	0		Σ.ολικό Απαιτούμενο	1390580.965
3,110,214	61174.656	0	48,744	90,262	1,618,616	0	0		7000000	1618615.971
1,539,763	21186.144	225	45,154	90,262	1,456,446	0	0		(%)Υδρευση	1456445.544
1,000,000	147070.08	21,713	31,893	87,350	589,302	18	132,025		0.142857143	721327.3058
1,027,388	389171.52	30,308	24,118	90,262	277,711	0	0		(%) Αρδευση	277710.6193
1,907,541	1025395.2	35,730	14,675	87,350	78,947	0	0		0.857142857	78947.36842
3,003,802	1222421.76	52,763	9,713	90,262	78,947	0	0		Wet Season Parameters	78947.36842
4,859,027	1990051.2	45,135	10,752	90,262	78,947	0	0		Q _{out}	78947.36842
6,974,722	2444775.68	42,030	10,636	81,527	78,947	0	0		Q _{storage}	52631.57895
7,000,000	2895350.4	40,973	17,608	2,840,805	52,632	0	0		90%	301725.2972
7,000,000	1829952	51,660	23,989	1,555,898	301,725	0	0			865030.5432
7,000,000	1603022.4	1,170	28,613	710,549	865,031	0	0			1390580.965
5,848,953	366249.6	0	39,365	90,262	1,390,581	0	0			1618615.971
4,283,972	190889.568	0	46,992	90,262	1,618,616	0	0			1456445.544
2,808,407	115947.936	0	44,806	90,262	1,456,446	0	0			721327.3058
2,031,615	67754.88	0	35,869	87,350	721,327	0	0			277710.6193
1,684,660	43604.352	5,130	27,716	90,262	277,711	0	0			78947.36842
1,818,745	284860.8	32,108	16,586	87,350	78,947	0	0			78947.36842
2,634,054	958063.68	37,733	11,278	90,262	78,947	0	0			78947.36842
3,424,172	942528.96	29,678	12,879	90,262	78,947	0	0			78947.36842
4,877,162	1549497.6	74,993	11,025	81,527	78,947	0	0			78947.36842
7,000,000	3305145.6	43,245	17,050	1,155,871	52,632	0	0			52631.57895
7,000,000	1190505.6	3,038	27,679	864,139	301,725	0	0			301725.2972
6,451.318	432561.6	8.145	34.096	90.262	865.031	0	0			865030.5432

Εικόνα 5.5 : Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 1 για τον Σεμπρενιώτη

2ο Σενάριο

Η μικρή επιτυχία του πρώτου σεναρίου οδήγησε, σε σκέψεις για ένα δεύτερο, στο οποίο, η ποσότητα απόληψης, θα ήταν μικρότερη, από την πρώτη αλλά και από τον συνολικό όγκο του προτεινόμενου φράγματος. Έτσι, τέθηκε ο στόχος μάστευσης 5,000,000 m³, με τα 4,500,000 m³ να προορίζονται για άρδευση, ενώ τα 500,000 m³ για ύδρευση (Εικόνα 5.6).

Το σενάριο αυτό, υλοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία, με μοναδική αστοχία στις αρχές της δεκαετίας του '90, και πάλι λόγω των ξηρών ετών που προηγήθηκαν.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
V	Q _{in} /month	P*A	PET*A	Q _{out} (m3/month)	Q _{irr} final	(%) Failure	deficit	METABAHTES		Q _{irr} απαιτ
0	33,955	1,463	32,223	0	0			Q _{eco} (m3/s)	V _{max} (m3)	5.14680E+05
1,000,000	413,813	32,670	22,907	0	0			0.0337	7000000	188546.1224
1,322,992	447,898	20,790	18,872	87,350	0			V _{min} (m3)		39473.68421
2,567,827	1,322,594	62,753	10,776	90,262	0			1000000		39473.68421
3,841,415	1,379,108	31,050	6,834	90,262	39,474	0				39473.68421
5,918,548	2,169,297	39,465	10,628	81,527	39,474	0				39473.68421
7,000,000	1,228,850	17,775	20,417	118,440	26,316	0			Σ. Ύδρευσης(m3/year)	26315.78947
7,000,000	412,128	0	31,058	174,513	206,557	0			500000	206557.1308
6,585,986	319,533	14,288	28,536	90,262	629,036	0			Σ. Άρδευσης(m3/year)	629036.0653
5,574,076	136,521	3,060	40,942	87,350	1,023,199	0			4500000	1023198.881
4,308,598	61,175	0	48,744	90,262	1,187,646	0			Σ.ολικό Απαιτούμενο	1187646.189
3,128,575	21,186	225	45,154	90,262	1,066,018	0			5000000	1066018.369
2,663,434	147,070	21,713	31,893	87,350	514,680	0			(%) Ύδρευση	514679.6898
2,779,987	389,172	30,308	24,118	90,262	188,546	0			0.1	188546.1224
3,699,613	1,025,395	35,730	14,675	87,350	39,474	0			(%) Άρδευση	39473.68421
4,835,348	1,222,422	52,763	9,713	90,262	39,474	0			0.9	39473.68421
6,730,047	1,990,051	45,135	10,752	90,262	39,474	0			Wet Season Parameters	39473.68421
7,000,000	2,244,776	42,030	10,636	1,966,743	39,474	0			Q _{out}	10%
7,000,000	2,895,350	40,973	17,608	2,892,399	26,316	0			Q _{storage}	90%
7,000,000	1,829,952	51,660	23,989	1,651,066	206,557	0				26315.78947
7,000,000	1,603,022	1,170	28,613	946,543	629,036	0				206557.1308
6,216,335	366,250	0	39,365	87,350	1,023,199	0				629036.0653
5,082,324	190,890	0	46,992	90,262	1,187,646	0				1023198.881
3,997,186	115,948	0	44,806	90,262	1,066,018	0				1187646.189
3,427,041	67,755	0	35,869	87,350	514,680	0				1066018.369
3,169,252	43,604	5,130	27,716	90,262	188,546	0				514679.6898
3,342,810	284,861	32,108	16,586	87,350	39,474	0				188546.1224
4,197,592	958,064	37,733	11,278	90,262	39,474	0				39473.68421
5,027,184	942,529	29,678	12,879	90,262	39,474	0				39473.68421
6,519,648	1,549,498	74,993	11,025	154,950	39,474	0				39473.68421
7,000,000	3,305,146	43,245	17,050	2,824,673	26,316	0				26315.78947
7,000,000	1,190,506	3,038	27,679	959,307	206,557	0				206557.1308

Εικόνα 5.6 : Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 2 για τον Σεμπρενιώτη

3ο Σενάριο, Μελέτη 1992

Το σενάριο αυτό ουσιαστικά χωρίστηκε σε 2 υποσενάρια, όπου στο α) έγινε αξιολόγηση της πρότασης κατασκευής φράγματος μεγίστου όγκου 5,000,000 m³. Για τη μάστευση του 60% του όγκου σχεδιασμού, για άρδευση και ύδρευση, καταλήγουμε σε όγκους, 2,500,000 m³ και 500,000 m³ αντίστοιχα, δηλαδή αθροιστικά 3,000,000 m³. Στο β) αξιοποιήθηκε η ιδέα του να δημιουργηθεί ένα φράγμα εκτροπής στον Σεμπρενιώτη, τα νερά του οποίου τελικά θα συμβάλουν στο φράγμα του Ντερριανού. Το σενάριο υλοποιήθηκε, όπως τα προηγούμενα, με τη διαφορά ότι, η ετήσια ποσότητα που κανονικά θα δεσμευόταν για ύδρευση και άρδευση, θα οδηγούνταν στον Ντερριανό, μαζί με τη παροχή υπερχειλίσσης όποτε αυτή προβλεπόταν υπό κανονικές συνθήκες να συμβεί. Ουσιαστικά, υπολογίστηκε μια οικολογική παροχή η οποία θα εξέρρεε από το φράγμα και ως παροχή εκτροπής προτάθηκε να οριστεί το άθροισμα, του νερού της υπερχειλίσσης για κάθε μήνα, μαζί με το νερό της άρδευσης-ύδρευσης. Έπειτα από διερεύνηση, αποφασίστηκε ως βέλτιστη λύση, όγκος του νερού που θα δινόταν ως παροχή εξόδου για την κάλυψη των αναγκών της περιοχής, δηλαδή τα 3,000, 000 m³ όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.7).

Μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής Ταυρωνίτη
Τοπάλογλου Αγγελική

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Qirr final	(%) Failure	deficit	Qoutfinal	Qεκτροπής	METABΛΗΤΕΣ		Qirr απαιτ	Qeco/month	Ζήτηση/Μήν	Υπόλοιπο
0			0	0	Qeco(m3/s)	Vmax(m3)	4.12002E+05	87350.4	0.103000583	0.
0			0	0	0.0337	5000000	155418.9139	90262.08	0.038854728	0.
39,474			87350.4	39473.68421	Vmin(m3)		39473.68421	87350.4	0.009868421	0.
39,474			90262.08	39473.68421	1000000		39473.68421	90262.08	0.009868421	0.
39,474	0		90262.08	39473.68421			39473.68421	90262.08	0.009868421	0.
39,474	0	0	81527.04	952080.0174			39473.68421	81527.04	0.009868421	0.
26,316	0	0	90262.08	1136092.878		Σ. Υδρευσης(m3/year)	26315.78947	90262.08	0.006578947	0.
169,427	0	0	87350.4	295444.7375		500000	169427.476	87350.4	0.042356869	0.
498,022	0	0	90262.08	498022.2028		Σ.Αρδευσης(m3/year)	498022.2028	90262.08	0.124505551	0.
804,593	0	0	87350.4	804593.2819		3500000	804593.2819	87350.4	0.20114832	0.
935,421	0	0	90262.08	935420.72		Σ.ολικό Απαιτούμενο	935420.72	90262.08	0.23385518	0.
840,821	0	0	90262.08	840821.3044		4000000	840821.3044	90262.08	0.210205326	0.
412,002	0	0	87350.4	412002.3319		(%) Υδρευση	412002.3319	87350.4	0.103000583	0.10
155,419	0	0	90262.08	155418.9139		0.125	155418.9139	90262.08	0.038854728	0.03
39,474	0	0	87350.4	39473.68421		(%) Αρδευση	39473.68421	87350.4	0.009868421	0.01
39,474	0	0	90262.08	39473.68421		0.875	39473.68421	90262.08	0.009868421	0.01
39,474	0	0	90262.08	735217.2916	Wet Season Parameters		39473.68421	90262.08	0.009868421	0.01
39,474	0	0	81527.04	2192898.553	Qout	10%	39473.68421	81527.04	0.009868421	0.01
26,316	0	0	90262.08	2827154.533	Qstorage	90%	26315.78947	90262.08	0.006578947	0.01
169,427	0	0	87350.4	1768735.7			169427.476	87350.4	0.042356869	0.01

Εικόνα 5.7 : Τμήμα του φύλλου εργασίας του σεναρίου 3 για τον Σεμπρενιώτη

5.5 Αποτελέσματα σεναρίων

5.5.1 Αποτελέσματα σεναρίων Ντεριανού

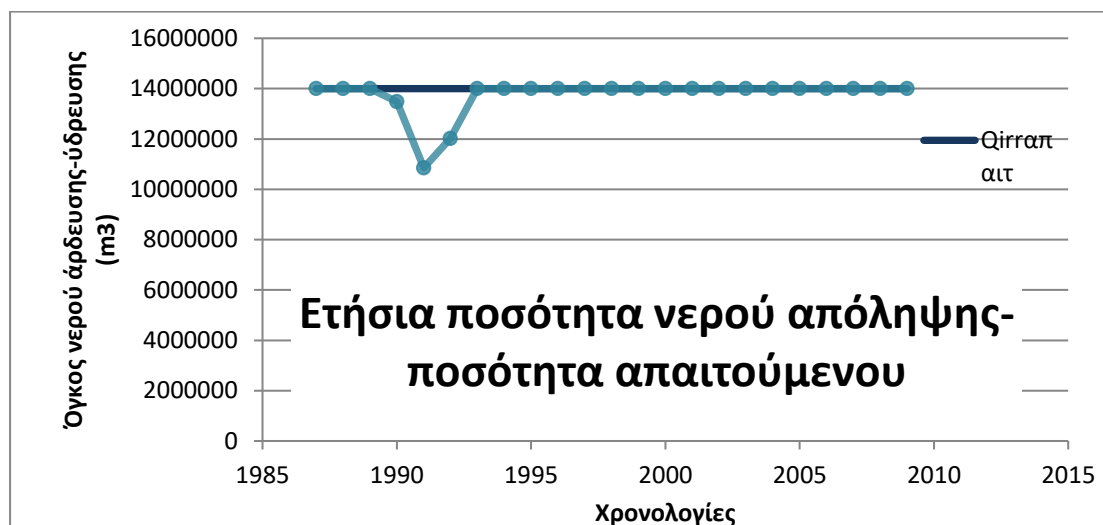
1^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.3 : Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 1 Ντεριανού με την απαιτούμενη των 18 εκ. m³

Παρατηρούμε ότι, το σενάριο κρίνεται ελλειμματικό για τα έτη λίγο πριν και μετά το 1990, λόγω των συνθηκών λειψυδρίας, καθώς και για 3 έτη ακόμη, παρουσιάζοντας αρκετά μικρότερο έλλειμμα. Τα έτη αυτά είναι το 1995, το 2005 και τέλος το 2007, όπου οι δυνατότητες του φράγματος φτάνουν περίπου μέχρι τα 16 εκ m³. Πρόκειται λοιπόν για ένα σενάριο που στους 11 από τους 72 φθινοπωρινούς μήνες και στους 5 θερινούς λειτουργίας του φράγματος δεν επιτυγχάνεται ο σκοπός του, άλλοτε με μεγαλύτερη και άλλοτε με μικρότερη απόκλιση (Διάγραμμα 5.3). Τα αποσοστά αστοχίας για τους φθινοπωρινούς μήνες αγγίζουν το 15%, για τους θερινούς το 7 % και συνολικά το 11 %.

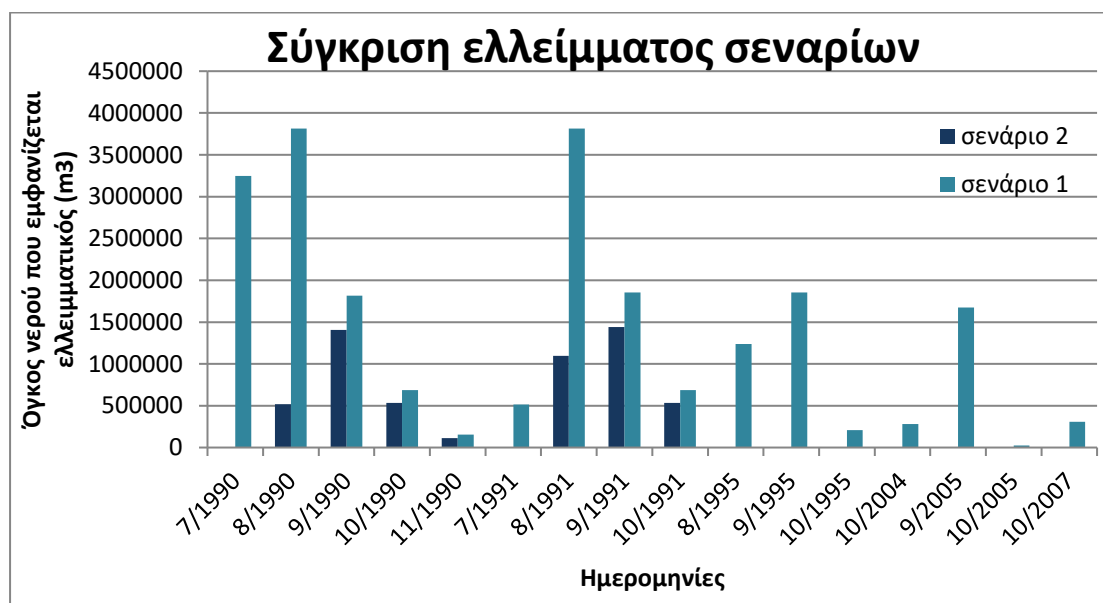
2^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.4 : Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 2 Ντεριανού με την απαιτούμενη των 14 εκ. m³

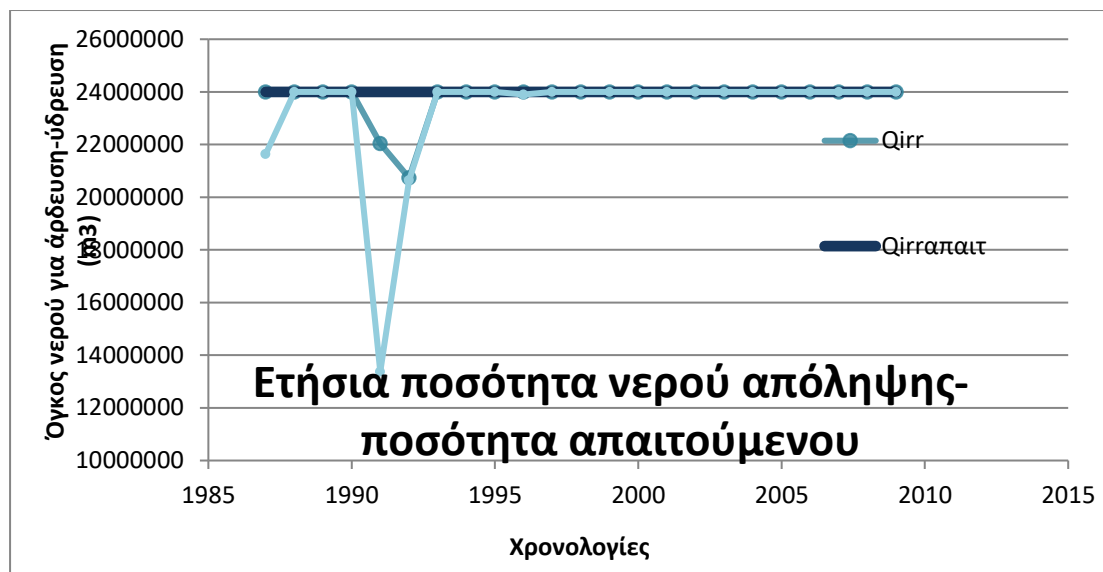
Όπως φαίνεται παραπάνω (Διάγραμμα 5.4), η μόνη περίοδος που εντοπίζεται αστοχία, είναι στις αρχές του '90, όπως και σε όλα τα σεναρία λόγω της ακραίας ξηρασίας των προηγούμενων ετών. Κατά τ' άλλα, το σενάριο είναι επιτυχές στην πλειοψηφία του, με μικρά ποσοστά αστοχίας, που προκύπτουν από την αδυναμία του φράγματος να αποδώσει το απαιτούμενο νερό τους 5 από τους 72 μήνες το φθινόπωρο, τους 2 από τους 72 καλοκαιρινούς. Οι τιμές των ποσοστών που προκύπτουν είναι 7% και 3% αντίστοιχα.

Παρακάτω παρατίθεται το γράφημα (Διάγραμμα 5.6) όπου γίνεται σύγκριση των σεναρίων για τον Ντεριανό.



Διάγραμμα 5.6 : Σύγκριση ελλείμματος σεναρίων Ντεριανού

3^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.7 : Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 3, με τη συμβολή και χωρίς τη συμβολή Σεμπρενιώτη, με την απαιτούμενη ποσότητα των 24 εκ. m³

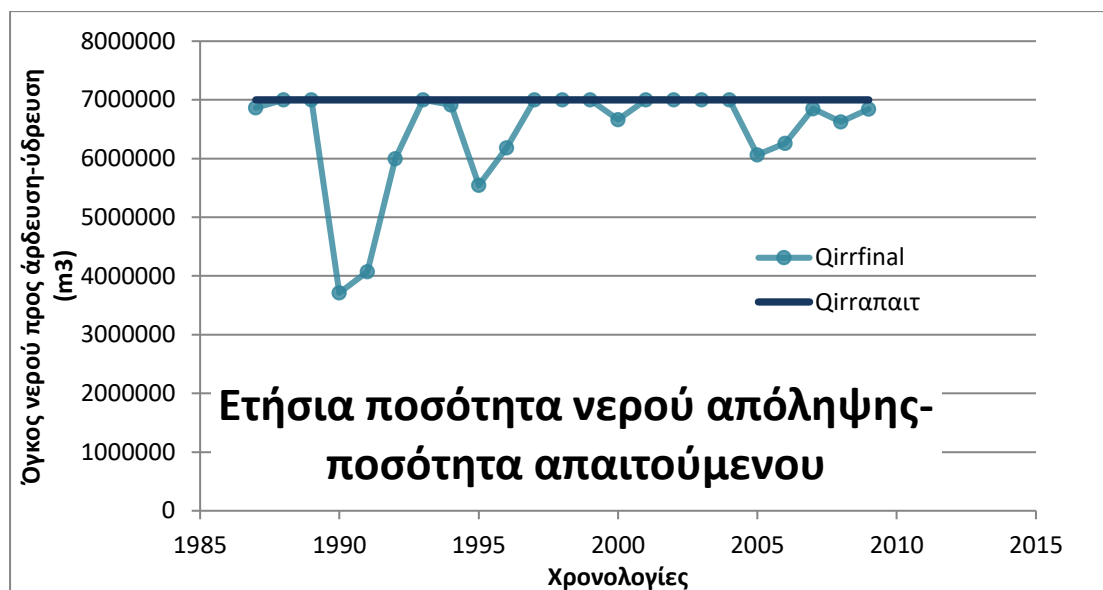
Παρατηρούμε ότι, η περίοδος που εμφανίζει αστοχία το φράγμα, είναι μετά τις περιόδους έντονης ξηρασίας. Χωρίς τη συμβολή του Σεμπρενιώτη, το έλλειμμα φτάνει τα 10-11 εκ. m³ ενώ, με τη συμβολή, το έλλειμμα αυτό μειώνεται κατά περίπου 7 εκ. m³, ένα αρκετά σημαντικό ποσό για την περιοχή. Αυτό δείχνει πως ακόμη και με τη συμβολή του Σεμπρενιώτη σε ακραίες συνθήκες, εξαιτίας της λειψυδρίας ο στόχος των 24 εκ. m³ είναι ανέφικτος. Από την άλλη, ποσοστιαία, για το σενάριο εκτροπής για τα 24 έτη λειτουργίας, αστοχία εμφανίζεται στο 3% των φθινοπωρινών μηνών και στο 1.4 % των καλοκαιρινών μηνών. Συνολικά για το φθινόπωρο και το καλοκαίρι έχουμε αστοχία 2% (Διάγραμμα 5.7). Τα αντίστοιχα ποσοστά για το σενάριο της μη εκτροπής του Σεμπρενιώτη είναι 10% για τους φθινοπωρινούς μήνες, 3% για τους καλοκαιρινούς και 6% στο σύνολο τους- καλοκαιρινοί και φθινοπωρινοί μήνες μαζί.

Επιπλέον, οι παρούσες ανάγκες της περιοχής καλύπτονται με λιγότερο από 13 εκ. m³ ετησίως. Ένα τόσο μεγάλο φράγμα, είναι σχεδόν βέβαιο, ειδικά αν συνδυαστεί με την εκτροπή του Σεμπρενιώτη, ότι θα καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες του παρόντος.

Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως σε μια πιθανή αύξηση των καλλιεργειών ή των πληθυσμών των γύρω περιοχών άρα και των αναγκών στο 50%, μέσα στις επόμενες δεκαετίες, σε συνδυασμό με μερικά διαδοχικά έτη ξηρασίας, ίσως παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα αστοχίας.

5.5.2 Αποτελέσματα σεναρίων Σεμπρενιώτη

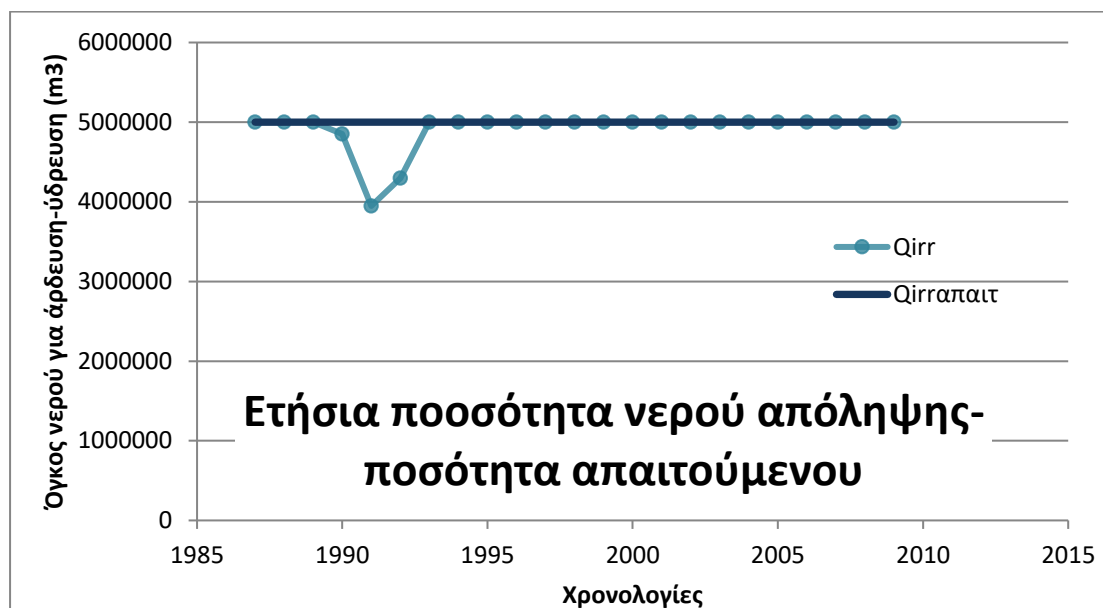
1^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.8 : Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 1 Σεμπρενιώτη με την απαιτούμενη των 7 εκ. m³

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 5.8, το πρώτο σενάριο για το φράγμα του Σεμπρενιώτη, είναι ανεπιτυχές για πολλά έτη. Το έλλειμμα που παρουσιάζεται, αντιστοιχεί το 30% των φθινοπωρινών μηνών και στο 10% των καλοκαιρινών, για όλα τα έτη λειτουργίας που προσομοιώθηκαν, υποδεικνύει ως προβληματικό τον τρόπο λειτουργίας του φράγματος, και καθιστά κρίσιμη την ανάγκη διερεύνησης περεταίρω αποτελεσματικών σεναρίων. Παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στη δεκαετία του '90 και στα τέλη της δεκαετίας του '00, με επιτυχή την πενταετία μεταξύ 2000 και 2005.

2^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.9 : Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 2 Σεμπρενιώτη με την απαιτούμενη των 5 εκ. m³

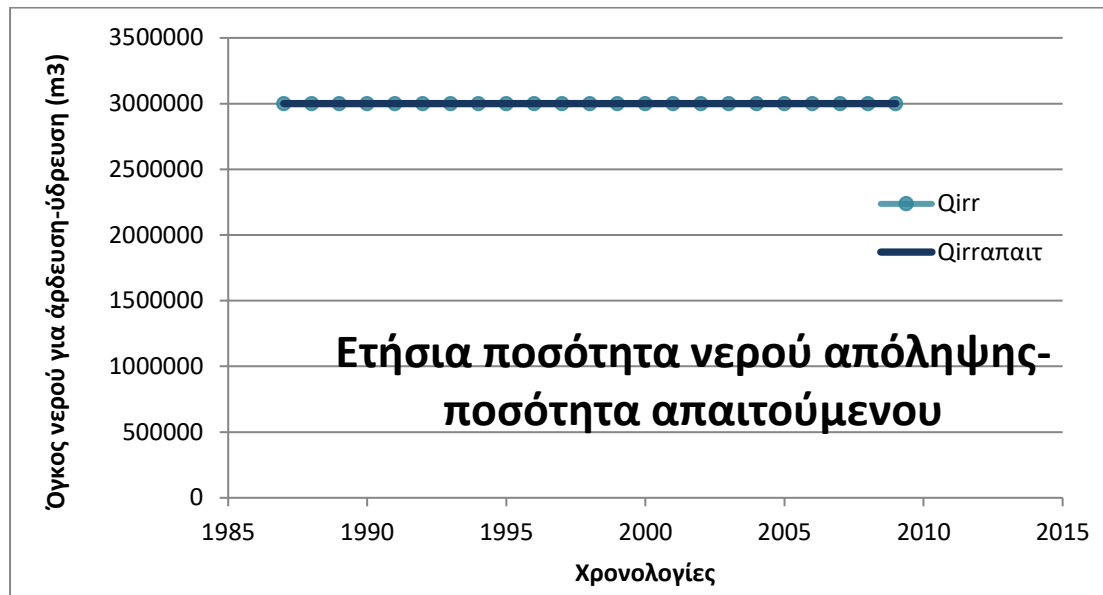
Το δεύτερο σενάριο για τον Σεμπρενιώτη, βλέπουμε πως είναι επιτυχές, αλλά και πάλι δεν ευδοκίμει σε περιόδους ακραίας ξηρασίας. Παρ' όλα αυτά, από την συνολική εικόνα κρίνεται αποτελεσματικό καθώς τα ποσοστά αστοχίας είναι εμφανώς μικρότερα, με τιμές που ανέρχονται στο 7% για τους φθινοπωρινούς μήνες και 3% για τους καλοκαιρινούς.(Διάγραμμα 5.9)



Διάγραμμα 5.10 : Σύγκριση ελλείμματος σεναρίων Σεμπρενιώτη

Στο Διάγραμμα 5.10, απεικονίζονται τα ποσά ελλείμματος των σεναρίων του Σεμπρενιώτη, για την επίτευξη, αποτελεσματικής σύγκρισης.

3^ο Σενάριο



Διάγραμμα 5.11: Σύγκριση ετήσιας ποσότητας απόληψης σεναρίου 3 Σεμπρενιώτη με την απαιτούμενη των 3 εκ. m³

Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 5.11, η λειτουργία του φράγματος του Σεμπρενιώτη, για απόληψη 3 εκ. m³, λειτουργεί ιδανικά χωρίς καμία αστοχία ακόμη και μετά από ξηρές περιόδους.

6. Συμπεράσματα- Προτάσεις

- Το μοντέλο που δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcSWAT, προσομοιώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την υδρολογία των υπολεκανών του Ταυρωνίτη. Για τις λεκάνες που βαθμονομήθηκαν, Σεμπρενιώτη και Ρουματιανό, ειδικότερα για τον πρώτο, βάσει των στατιστικών δεικτών μπορούμε να έχουμε καλύτερη εικόνα του υδρολογικού ισοζυγίου. Τα σημεία στα οποία το μοντέλο φαίνεται να παρουσιάζει αποκλίσεις αφορούν στις ακραίες τιμές παροχής. Παρ' όλα αυτά, για την μοντελοποίηση των φραγμάτων πιο σημαντική κρίνεται σωστή προσομοίωση της βασικής παροχής.
- Είναι σημαντικό να τονιστεί, πως τα συμπεράσματα εξήχθησαν, στο βαθμό που μας επιτρέπει η αβεβαιότητα των δεδομένων πεδίου. Η έλλειψη συνέχειας και αξιοπιστίας στα δεδομένα καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την εγκατάσταση ενός δικτύου συστηματικής και οργανωμένης παρακολούθησης. Με στόχο την απόκτηση μιας ισχυρής βάσης δεδομένων πεδίου, που θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα μοντελοποίησης και θα συμβάλει στην εξαγωγή πιο βάσιμων συμπερασμάτων.
- Για τα έτη από το 1995 έως το 2005, η ετήσια απορροή του Ταυρωνίτη ανέρχεται στα 63.43 εκ. m³/year. Για τον Σεμπρενιώτη, η απορροή ανέρχεται στα 13.91 εκ. m³/year, για τον Ρουματιανό στα 10.98 εκ. m³/year και τέλος για τον Ντεριανό στα 37.65 εκ. m³/year.
- Από ο υδρολογικό ισοζύγιο για τα έτη 1995-2005 έχουμε μέση τιμή βροχόπτωσης τα 1250 mm/year, εξατμισοδιαπνοής 409 mm/year, επιστροφή νερού στην ακόρεστη ζώνη 24 mm/year, ενώ διήθηση 564 mm/year και νερό που χάνεται από το σύστημα μέσω του βαθύ υδροφορέα, 89 mm/year.
- Οι ανάγκες της περιοχής, σύμφωνα με τα υπάρχοντα υδραυλικά έργα απόληψης και το δίκτυο άρδευσης και ύδρευσης που προμηθεύει με νερό από άλλες περιοχές, καλύπτονται με περίπου 13-13.5 εκ. m³/year. Οι προτάσεις που αξιολογήθηκαν συμπυκνώνονται σε δύο υδραυλικά έργα φραγμάτων, σε Ντεριανό και Σεμπρενιώτη.
- Για κάθε ποταμό υλοποιήθηκαν τρία διαχειριστικά σενάρια, που αφορούν σε σχεδιαστικούς όγκους 18 εκ. m³ με στόχο ετήσιας απόληψης 14 και 18 εκ. m³ και 40 εκ. m³ με στόχο απόληψης των 24 εκ. m³ ετησίως για τον Ντεριανό, με και χωρίς τη συμβολή του Σεμπρενιώτη. Ενώ για τον Σεμπρενιώτη τα αντίστοιχα σενάρια είναι, η κατασκευή φράγματος 7 εκ. m³ και 5 εκ. m³, με στόχο απόληψης 5-7 εκ. m³ και 3 εκ. m³ αντίστοιχα.
- Τα μεγαλύτερα ποσοστά αστοχίας για τον Ντεριανό εντοπίζονται στο σενάριο απόληψης 18 εκ. m³ από φράγμα μεγίστου όγκου 18 εκ. m³ και αντίστοιχα για τον Σεμπρενιώτη στο φράγμα των 7 εκ. m³ με στόχο τη μάζευση 7 εκ. m³, κάθε χρόνο. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό στον εκάστοτε ποταμό δεν έχει τέτοια δυναμική ώστε να μπορούν τα φράγματα να είναι μόνιμα γεμάτα, ακόμη και μετά από περιόδους ξηρασίας.
- Την μεγαλύτερη επιτυχία, στο 100%, την εντοπίζουμε στο σενάριο μάζευσης 3 εκ. m³, από το φράγμα του Σεμπρενιώτη.
- Για την συλλογή 14 εκ. m³, από το φράγμα Ντεριανού και 5 εκ. m³ από το φράγμα Σεμπρενιώτη τα ποσοστά αστοχίας είναι μικρά και αφορούν σε περιόδους που διαδέχονται έτη έντονης λειψυδρίας.

- Σε γενικές γραμμές τα φράγματα ανταποκρίνονται μέχρι και τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι αστοχίες παρατηρούνται κυρίως τους φθινοπωρινούς μήνες, καθώς εντοπίζεται αύξηση ζήτησης αλλά ταυτόχρονα οι εισροές μειώνονται λόγω των ελάχιστων βροχοπτώσεων το καλοκαίρι.
- Τέλος, από την αξιολόγηση της πρότασης της μελέτης του 1992 για τη δημιουργία φράγματος εκτροπής στον Σεμπρενιώτη και δημιουργία ενός μεγάλου φράγματος στον Ντεριανό, συμπεραίνουμε ότι, η λειτουργία των φραγμάτων κρίνεται αναγκαία για τη περίπτωση που οι ανάγκες της περιοχής σε νερό αυξηθούν μέσα στις επόμενες δεκαετίες καθώς η περιοχή δύναται να αυτονομηθεί και με έργα μικρότερης δυναμικότητας στην παρούσα φάση.
- Είναι εξαιρετικά σημαντικό, να ληφθούν υπ' όψιν τα οικονομικά κριτήρια για το εκάστοτε υποψήφιο υδραυλικό έργο, ώστε να διερευνηθεί η βέλτιστη λύση. Ένα μεγάλο φράγμα, ταυτίζεται με μεγαλύτερες δαπάνες, διαθέτει όμως μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα. Ένα μικρότερο έργο όπως η κατασκευή φραγμάτων 18 και 7 εκ. m³, που μπορεί να καλύψει τις παρούσες ανάγκες για νερό, μπορεί να διαθέτει μικρότερη αρχική δαπάνη, είναι όμως απαραίτητο να έχει προετοιμαστεί μελλοντικό σχέδιο επέκτασης.

Το ζήτημα της έλλειψης νερού ή της μη αποδοτικής διαχείρισης των υπαρχόντων ποσοτήτων, είναι ένα ζήτημα που βασανίζει την τοπική κοινότητα του Ταυρωνίτη και των γύρω περιοχών. Στόχος είναι η εξεύρεση λύσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των αποθεμάτων για την αναβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής των πολιτών. Οι προτάσεις για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι οι παρακάτω:

- Ανάλυση των δεδομένων της περιοχής και διαμόρφωση προγράμματος μετρήσεων και παρακολούθησης τόσο στις περιοχές του Σεμπρενιώτη και Ρουματιανού όσο και στον Ντεριανό και τον Ταυρωνίτη, για τους οποίους δεν υπάρχουν καθόλου δεδομένα.
- Προσομοίωση εκ νέου υδρολογικών διαδικασιών και σχεδιασμός διαχειριστικών σεναρίων.
- Προσομοίωση λειτουργίας των προτεινόμενων φραγμάτων και αξιολόγηση πιθανής διασύνδεσης με στόχο την επικαιροποίηση των μελετών που έχουν ήδη συσταθεί. Επιπλέον, μοντελοποίηση των έργων σε περίπτωση συνθηκών ακραίας αστοχίας.
- Αναβάθμιση των γεωργικών μεθόδων, και προώθηση εναλλακτικών μεθόδων καλλιέργειας, με στόχο την εξομάλυνση των εποχιακών διαφορών στη ζήτηση νερού.
- Έλεγχο για πιθανές επιπτώσεις από την κατασκευή φραγμάτων και διασφάλιση των περιοχών κατάντη.
- Διαχείριση των υδατικών πόρων με το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα.
- Εξέταση λειτουργίας του συστήματος των έργων υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

7. Βιβλιογραφία

7.1 Διεθνής βιβλιογραφία

1. Ajami, N. K., H. Gupta, T. Wagener, and S. Sorooshian, (2004): *Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system*. J. Hydrol
2. Alpert, P., Krichak, S. O., Shafir, H., Haim, D., & Osetinsky, I. (2008). Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean. *Global and Planetary Change*
3. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*
4. Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, E.J., (1980). ANSWERS-a model for watershed planning. Trans. Am. Soc. Agric. Eng.
5. Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle Jr., T.H. Jobes, and A.S. Donigian, Jr. (2001). *Hydrological Simulation Program - Fortran (HSPF)*. User's Manual for Release 12. U.S. EPA National Exposure Research Laboratory, Athens, GA, in cooperation with U.S. Geological Survey, Water Resources Division, Reston, VA
6. A.G. Bobba, D.C.L. Lam (1990) *Hydrological modelling of acidified Canadian watersheds*, Ecological Modelling
7. Chandler, R., & Wheater, H. (2002). Analysis of rainfall variability using generalized linear models,: A case study from the west of Ireland. *Water Resources Research*
8. Chen G.L., Yang L., Rowe T.C., Halligan B.D., Tewey K.M., Liu L.F. (1984). *Non-intercalative antitumor drugs interfere with the breakage reunion reaction of mammalian DNA topoisomerase II*, J. Biol. Chem.
9. Chong – yu, X., (2002). Hydrologic Models, Uppsala University, Sweden.
10. Dai, A., Qian, T., Trenberth, K. E., & Milliman, J. D. (2009). Changes in continental freshwater discharge from (1948 to 2004). *Journal of Climate*
11. Demetriou, C., Punthakey, J.F., (1998). Evaluating sustainable groundwater management options using the MIKE-SHE integrated hydrogeological modeling package. *Environmental Modelling & Software*
12. Dिल्s, C.F., Dunn, S.M., Ferrier, R.C., Srinivasan, R., Jacobs, J., Day, D., Abbaspour, K. (Eds.), (2005). Evaluation of SWAT for use in Development of a River Basin Management Plan for the Ythan Catchment, UK. 3rd International SWAT Conference, Zurich, 11-15 July
13. Dooge, (1973) *Linear theory of hydrologic systems (Technical bulletin / United States Department of Agriculture)* by Dooge J.C.I. Publisher: Agricultural Research Service, US Dept. of Agriculture
14. 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*
15. Friedl, G., J. Friedrich and B. Wehrli, (2002). *Nutrient fluxes in the lower Danube River, Danube Delta and the coastal Black Sea*, Proceedings of International Workshop on Land-Ocean Nutrient Fluxes: the Silica Cycle, ZMT, University of Bremen, Germany
16. Gamvroudis C., N.P. Nikolaidis, O. Tzoraki, V. Papadoulakis and N. Karalemas, (2015), *Water and sediment transport modeling of a large temporary river basin in Greece*, Science of The Total Environment

17. Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The soil and water assessment tool,: Historical development, applications, and future research directions
18. Gupta, H.V., Khodatalab, N., Wagener, T., Sorooshian, S., (2003). Advances in semi distributed watershed modeling. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, European Geophysical Society, American Geophysical Union, Nice
19. Harbaugh, A.W., and McDonald, M.G., (1996), *User's documentation for MODFLOW-96*, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey
20. Henrichs, T., and J. Alcamo. (2001). Europe's water stress today and in the future. In : Lehner, B., T. Henrichs, P. Doll, and J Alcamo (eds.), *Eurowasser-model-based Assessment of European water resources and hydrology in the face of global change*, Kassel World Series Report no. 5
21. Hogue, T. S., Sorooshian, S., Gupta, H., Holz, A. & Braatz, D. (2000) *A multi-step automatic calibration scheme for river forecasting models*. J. Hydrometeor
22. Klemeš, V. (1986). Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*
23. Kondolf, G.M. (1997). *Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels, Profile*, Environmental Management
24. Kouli M., Vallianatos F., Soupios P., and Alexakis D. (2007). *GIS-Based Morphometric Analysis of the Major Watersheds, Western Crete, Greece. J of Envir., Hydrology*
25. N.N. Kourgialas, G.P. Karatzas, N.P. Nikolaidis,(2010). *An integrated framework for the hydrologic simulation of a complex geomorphological river basin*,Journal of Hydrology
26. Krause, P., & Boyle, D. P. (2005). Advances in Geosciences Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances In Geosciences*
27. Krysanova, V., Müller-Wohlfeil, D.I., Becker, A.,(1998). *Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds*,Ecological Modelling
28. Kuo-Lin Hsu, H., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (1995). *Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process*. Water Resources Research
29. D.C.L. Lam, A.G. Bobba, D.S. Jeffries, D. Craig (1988) *Modeling stream chemistry in the Turkey Lakes watershed: comparison with 1981–1984 data*
30. 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. D. Moraetis, D.Efstathiou, F. Stamati, O. Tzoraki, N. P. Nikolaidis, J. L. Schnoor, K. Vozinakis, (2010). *High-frequency monitoring for the identification of hydrological and bio-geochemical processes in a Mediterranean river basin*, Journal of Hydrology
32. 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*
33. Mimikou, M. a. (2013). Assessment of Climate Change Impacts in Greece,: A General Overview. *American Journal of Climate Change*, 2(March)
34. Moriasi D. N., J. R. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R.D. Harmel, R. D., T. L. Veith, (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, ASABE
35. Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*
36. Neil D. Bennett , Barry F.W. Croke , Giorgio Guariso , Joseph H.A. Guillaume , Serena H. Hamilton , Anthony J. Jakeman , Stefano Marsili-Libelli , Lachlan T.H.

- Newham , John P. Norton a, Charles Perrin , Suzanne A. Pierce , Barbara Robson , Ralf Seppelt , Alexey A. Voinov , Brian D. Fath, Vazken Andreassian (2013). *Characterising performance of environmental models*, Elsevier
37. Neitsch, S. L., Arnold, J. C., Kiniry, J. R., Williams, J. R. & King, K. W. (2002) *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA
 38. S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, *Soil and Water Assessment Tool*, Theoretical Documentation, Version (2005), Springer, Berlin
 39. Nerantzaki, S., Giannakis, G.V., Efstathiou, D., Nikolaidis, N.P., Sibetheros, I.A., Karatzas, G.P., and Zacharias, I., (2015). Title: *Modeling Suspended Sediment Transport and Assessing the Impacts of Climate Change in a Karstic Mediterranean Watershed*, Science of the Total Environment
 40. Nikolaidis, N.P, F. Bouraoui. and G. Bidoglio, (2013), *Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed*, Journal of Hydrology
 41. Oeurng, C., Sauvage, S., Coynel, A., Maneux, E., Etchebert, H., Sánchez-Pérez J.M., (2011). *Fluvial transport of suspended sediment and organic carbon during flood events in a large agricultural catchment in southwest France*. Hydrological processes, in press
 42. Peckham, S. H., D. M. Diaz, A. Walli, G. Ruiz, L. B. Crowder, and W. J. Nichols. (2007). *Smallscale fisheries bycatch jeopardizes endangered loggerhead turtles*
 43. Ramaswami, A.; Milford, J.B.; Small, M.J (2005). *Integrated Environmental Modeling: Pollutant Transport Fate and Risk in the Environment*. Graduate-level Textbook, John Wiley Inc., New York, NY
 44. Refsgaard, J.C., 1997. Parametrisation, calibration and validation of distributed hydrological models. Journal of Hydrology
 45. Rijsberman, FR (2004). The Water Challenge. In: D Lomborg. *Global Crises, Global Solutions* (Cambridge University Press, Cambridge, in press)
 46. Salas, J.D., J.W. Delleur, V. Yevjevich and W.L. Lane, (1980) *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. 1st Edn., Water Resources Publication, Littleton, Colorado
 47. Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. a., Srinivasan, R., & Hauck, L. M. (2001). Validation of the SWAT Model on A Large River Basin With Point and Nonpoint Sources. *Journal of American Water Resources Association*
 48. Schaeffli, B., Gupta, H.V., (2007). *Do Nash values have value? Hydrological Processes*,
 49. 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
 50. Stahl, G. K., Maznevski, M., Voigt, A. & Jonsen, K. (2010). *Unraveling the effects of cultural diversity in teams: A meta-analysis of research on multicultural work groups*. Journal of International Business Studies
 51. Stott Peter A., Nathan P. Gillett, Gabriele C. Hegerl, David J. Karoly, Daithi A. Stone, Xuebin Zhang and Francis Zwiers (2010). *Detection and attribution of climate change: a regional perspective*
 52. Williams, J.R., (1969). Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. Trans. ASAE
 53. Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., & Anderson, W. P. (1989). AGNPS.: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*
 54. Zhang, Z., Wang, S., Sun, G., McNulty, S. G., Zhang, H., Li, J. Strauss, P. (2008). Evaluation of the MIKE SHE model for application in the Loess Plateau, China. *Journal of the American Water Resources Association*

7.2 Ελληνική βιβλιογραφία

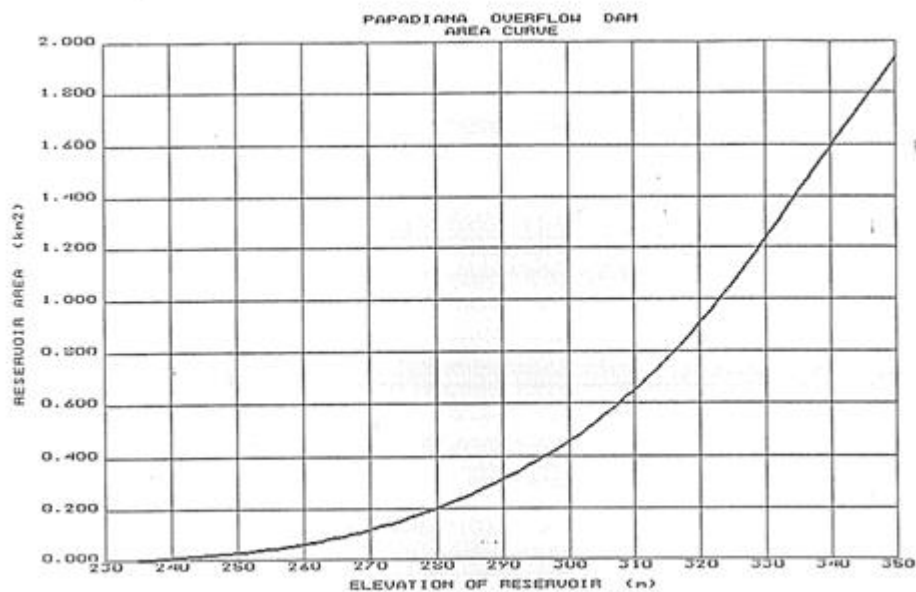
1. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο της Ε.Ε., (2000). Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα Νερά
2. Ευστρατιάδης, Α., (2008) *Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*, Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα
3. Καλημέρη Μ., (2004), *Ποιοτικός έλεγχος υδάτων των ποταμών Κοιλιάρη και Ταυρωνίτη*, ΤΕΙ Κρήτης, Χανιά
4. Κουτούπα – Ρεγκάκου, Ε., 2008. *Δίκαιο του Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Σάκκουλα, Αθήνα.
5. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, (1999). *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Τεχνική Υδρολογία
6. Λουκάς Αθανάσιος, Σημειώσεις μαθήματος , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
7. 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
8. Μιμίκου, Μ.Α., (2006). *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*. Γ' έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
9. Μπαλτάς Ε., Σημειώσεις, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
10. Νικολαΐδης, Ν., (2013). *Εφαρμογές σε Περιβαλλοντικά Μοντέλα*, Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Χανιά
11. Νικολαΐδης, Ν., Καρατζάς, Γ., (2013). *Ειδικό σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Ταυρωνίτη*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
12. Παρασχούδης Β., (1991). *Μελέτη Φραγμάτων στο χείμαρρο Ταυρωνίτη Ν. Χανίων*, Υπουργείο Γεωργίας, Διεύθυνση Τεχνικών Μελετών και Κατασκευών
13. Προχωρημένη Υδρολογία, (2009), Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Παρουσίαση: *Υδρολογικά μοντέλα και εφαρμογές*, Αθήνα
14. Σαμπατακάκης Νικόλαος,. *Φράγματα: Ταξινόμηση- Κατασκευαστικές απαιτήσεις*, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
15. Συνολάκης, Κ., Β. Βουκουβάλας, Ν. Καλλιγέρης, Σ. Φωτεινής (2008). *Διάβρωση από καταστροφή αμμοθινών και αμμοληνίες, Ταυρωνίτης*, Χανίων, ΕΕΠΦ-η Φύση
16. Τσακίρης, Γ., (1995). *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
17. Υδρο-σύστημα Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, (1993). *Οριστική μελέτη φραγμάτων λεκάνης απορροής ποταμού Ταυρωνίτη Ν. Χανίων*- Υδρολογικοί και υδραυλικοί υπολογισμοί, Αθήνα
18. Φιλίντας Α., Πολύζος Σ., (2008). *Φράγματα, λειτουργίες οικοσυστήματος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων: Λάρισα

7.3 Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

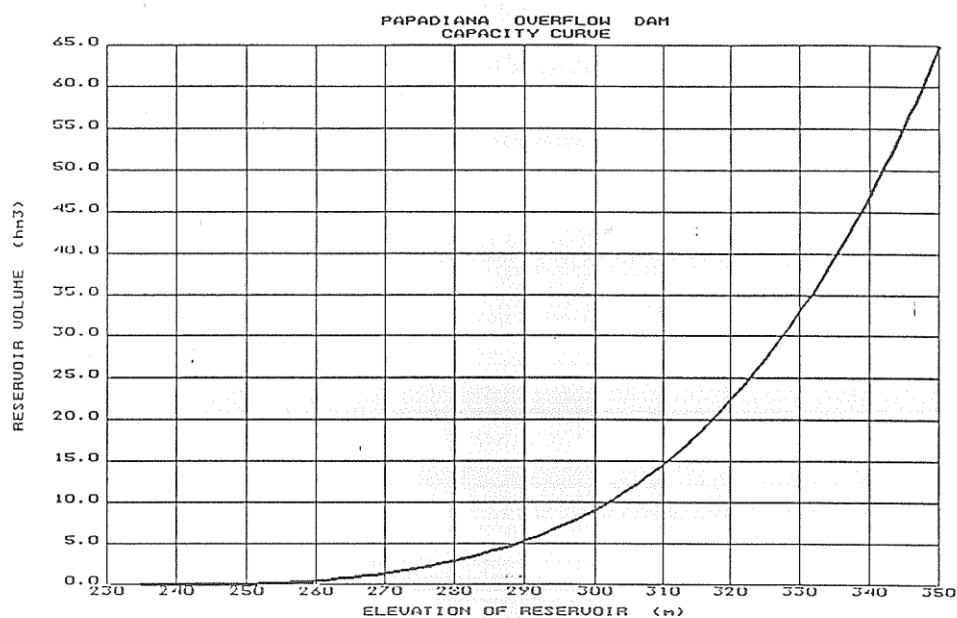
1. <http://www.deyamp.gr/oikologia-periballon-nero/to-nero-kai-i-simasia-tou/>
2. <https://www.auth.gr/units/2109>
3. <http://nomosphysis.org.gr/12259/elleimmata-kai-problimata-stin-efarmogi-tis-politikis-tis-olokliromenis-diaxeirisis-ton-udatikon-poronstin-ellada-i-periptosi-tis-limnis-koroneias-iounios-2011/>
4. <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/calb/calbmain.htm>
5. https://ec.europa.eu/clima/change/causes_el
6. <http://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/timeline/>
7. http://ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=180

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

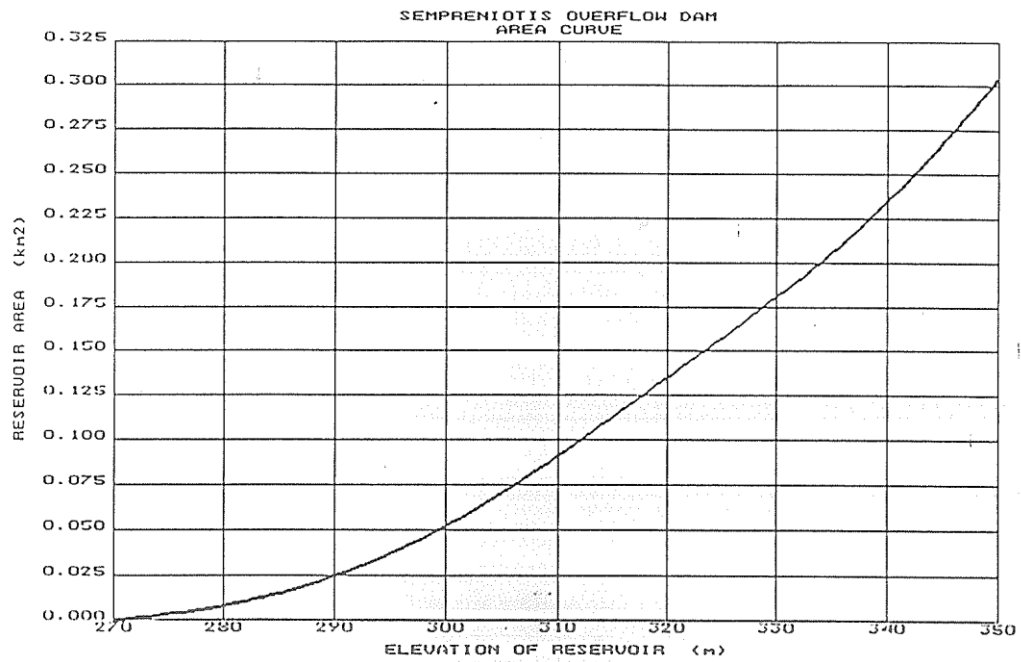
I. Εικόνες



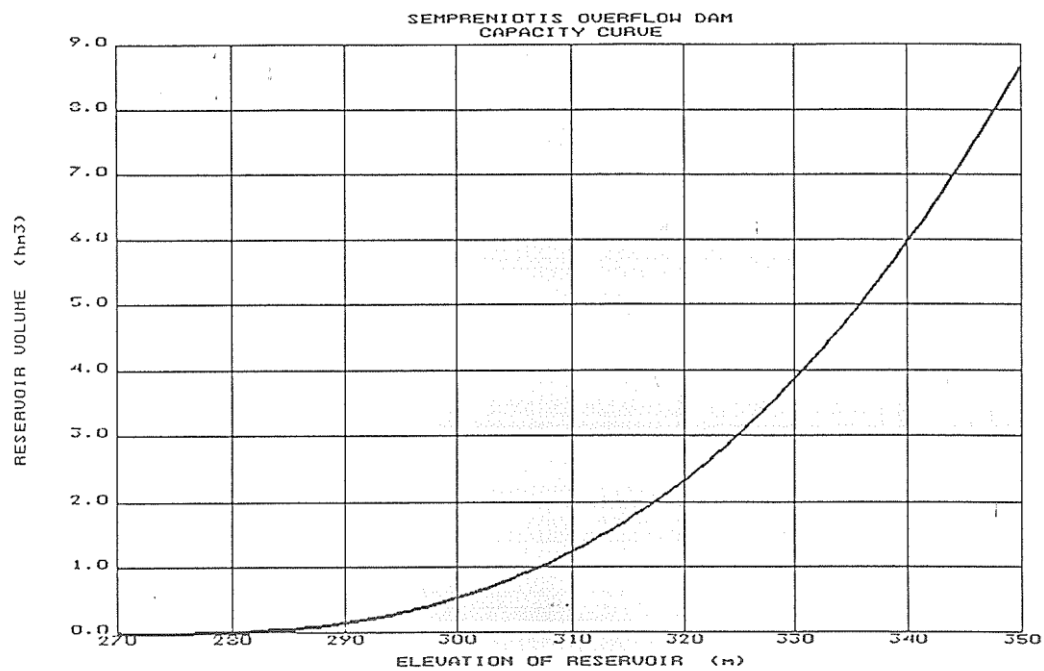
Εικόνα Π1 : Καμπύλη Επιφάνειας-Υψομέτρου Φράγματος Παπαδιανών



Εικόνα Π2 : Καμπύλη Όγκου-Υψομέτρου Φράγματος Παπαδιανών



Εικόνα Π3 : Καμπύλη Επιφάνειας-Υψομέτρου Φράγματος Σεμπρενιώτη



Εικόνα Π4 : Καμπύλη Όγκου-Υψομέτρου Φράγματος Σεμπρενιώτη

II. Αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν Για τη μοντελοποίηση των ταμιευτήρων στο Microsoft Office Excel

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

if season = Wet then

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

if $V_{i-1} + 90\% Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{απαιτ} \leq V_{max}$ then

$V_i = V_{i-1} + 90\% Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{απαιτ}$

else $V_i = V_{max}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ} > V_{max}$ then

$V_i = V_{max}$

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

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

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

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ}$

else if $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ} > V_{max}$ then

$V_i = V_{max}$

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

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

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

else $V_i = V_{min}$

else $V_i = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ}$

Θεωρούμε $\Delta V = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - Q_{απαιτ}$, που στην ουσία πρόκειται για τον όγκο του νερού που εισέρχεται και εξέρχεται από το φράγμα με οποιαδήποτε μορφή.

Για τον υπολογισμό του όγκου του ταμιευτήρα, διακρίνουμε 4 περιπτώσεις.

- Το πρώτο σενάριο εφαρμόζεται όταν οι μήνες είναι υγροί . Υγροί μήνες θεωρούνται ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος , ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος.
- Το δεύτερο σενάριο εφαρμόζεται όταν το ΔV είναι μεγαλύτερο από τον μέγιστο όγκο.
- Το τρίτο σενάριο εφαρμόζεται όταν το ΔV είναι μικρότερο από τον ελάχιστο όγκο.

- Και τέλος το τέταρτο σενάριο που καλύπτει και τις περισσότερες περιπτώσεις, εφαρμόζεται όταν το ΔV είναι ενδιάμεσα στον μέγιστο και ελάχιστο όγκο και οι μήνες δεν είναι υγροί.

Σενάριο 1- Υγροί μήνες

*A.H τιμή του όγκου γίνεται ίση με τον μέγιστο δυνατό όγκο V_{max} , όταν το ΔV (όγκος νερού που εισέρχεται και εξέρχεται από το φράγμα) είναι μεγαλύτερος από το V_{max} και όταν η παροχή νερού που εισέρχεται στο φράγμα είναι μεγαλύτερη ή ίση με τα $2/3$ του μέγιστου όγκου ή ο όγκος νερού του προηγούμενου μήνα είναι μεγαλύτερος ή ίσος από το 70% του V_{max} .
Εξαιρείται η περίπτωση όπου ισχύουν τα παραπάνω αλλά έχουμε και ότι, ο όγκος του νερού και το 90% του νερού που εισέρχεται συν το νερό της βροχόπτωσης, πλην του νερού που εξέρχεται για άρδευση, πλην την εξατμισοδιαπνοή, είναι μικρότερος ή ίσος του V_{max} . Τότε ο όγκος τελικά παίρνει την τιμή $V_{i-1} + 90\%Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{απαιτ}$.*

B.H τιμή του όγκου γίνεται ίση με τον ελάχιστο δυνατό όγκο V_{min} , όταν το ΔV (όγκος νερού που εισέρχεται και εξέρχεται από το φράγμα) είναι μικρότερο του ελάχιστου όγκου.

Γ. Όταν δεν ισχύουν τα A και B, άρα το ΔV βρίσκεται ανάμεσα στο V_{max} και V_{min} , και δεν είναι $Q_{in} \geq 2/3 \cdot V_{max}$ ή $V_{i-1} \geq 0.7 \cdot V_{max}$, τότε ο όγκος του νερού του ταμιευτήρα παίρνει την τιμή ΔV , δηλαδή γίνεται ίσος με τον όγκο του νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα, πλην του όγκου που εξέρχεται.

Σενάριο 2- ΔV είναι μεγαλύτερο από τον μέγιστο όγκο

H τιμή του όγκου γίνεται ίση με τον μέγιστο δυνατό όγκο V_{max}

Σενάριο 3- ΔV είναι μικρότερο από τον ελάχιστο όγκο

H τιμή του όγκου γίνεται ίση με τον ελάχιστο δυνατό όγκο V_{min}

Σενάριο 4- ΔV είναι ενδιάμεσα στον μέγιστο και ελάχιστο όγκο και οι μήνες δεν είναι υγροί

Ο όγκος του νερού του ταμιευτήρα παίρνει την τιμή ΔV , δηλαδή γίνεται ίσος με τον όγκο του νερού που εισέρχεται στον ταμιευτήρα, πλην του όγκου που εξέρχεται.

Τελικά ο όγκος του νερού του ταμιευτήρα μπορεί να πάρει 4 τιμές και είναι οι παρακάτω:

- $V_i = V_{max}$
- $V_i = V_{min}$
- $V_i = V_{i-1} + 90\%Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{απαιτ}$
- $V_i = \Delta V = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{απαιτ} - Q_{eco}$

Για τον υπολογισμό παροχής υπερχειλίσης-οικολογικής παροχής

if season = Wet then

if $Q_{in} \geq 23 \cdot V_{max}$ or $V_{i-1} \geq 0.7 \cdot V_{max}$ then

```

if  $V_{i-1} + 90\% Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{απαιτ}} \geq V_{\text{max}}$  then
     $Q_{\text{out}} = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{απαιτ}} - V_{\text{max}}$ 
else  $Q_{\text{out}} = 10\% Q_{in}$ 
else if  $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{eco}} - Q_{\text{απαιτ}} \geq V_{\text{max}}$  then
     $Q_{\text{out}} = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{απαιτ}} - V_{\text{max}}$ 
else if  $V_{i-1} - V_{\text{min}} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{eco}} < 0$  then
    if  $V_{i-1} - V_{\text{min}} + Q_{in} + P_{in} - PET > 0$  then
         $Q_{\text{out}} = V_{i-1} - V_{\text{min}} + Q_{in} + P_{in} - PET$ 
    else  $Q_{\text{out}} = 0$ 
else  $Q_{\text{out}} = Q_{\text{eco}}$ 

```

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

```

```

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

```

```

         $Q_{\text{irr-final}} = 0$ 

```

```

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

```

```

else  $Q_{\text{irr-final}} = Q_{\text{απαιτ}}$ 

```

Θεωρούμε $\Delta V = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{eco}} - Q_{\text{απαιτ}}$, που στην ουσία πρόκειται για τον όγκο του νερού που εισέρχεται και εξέρχεται από το φράγμα με οποιαδήποτε μορφή.

Η παροχή που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών σε άρδευση και ύδρευση είναι η $Q_{\text{απαιτ}}$. Η παροχή που θα εξέρχεται από τον ταμιευτήρα ως παροχή άρδευσης δεν είναι απαραίτητο να έχει την ίδια τιμή με την $Q_{\text{απαιτ}}$. Η παροχή αυτή μπορεί να πάρει τις εξής τρεις τιμές ανάλογα με την περίπτωση στην οποία βρισκόμαστε:

- $Q_{\text{irr}} = Q_{\text{απαιτ}}$
- $Q_{\text{irr}} = V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{\text{eco}} - V_{\text{min}}$
- $Q_{\text{irr}} = 0$

Διακρίνονται 2 περιπτώσεις:

Το πρώτο σενάριο εφαρμόζεται όταν, ΔV είναι μικρότερο του ελάχιστου δυνατού όγκου V_{min} .

Το δεύτερο σενάριο εφαρμόζεται για όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

Σενάριο 1- ΔV είναι μικρότερο από τον ελάχιστο όγκο

Α. Η τελική παροχή άρδευσης είναι ίση με μηδέν, όταν $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - V_{min}$ είναι μικρότερο του μηδενός.

Β. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η τελική παροχή άρδευσης είναι ίση με $V_{i-1} + Q_{in} + P_{in} - PET - Q_{eco} - V_{min}$.

Σενάριο 2- ΔV δεν είναι μικρότερο από τον ελάχιστο όγκο

Η τελική παροχή άρδευσης είναι ίση με την απαιτούμενη παροχή για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης και ύδρευσης της περιοχής.

III. Πίνακες

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 Π1: Ποσοστά ανά μήνα ζήτησης για ύδρευση και την άρδευση βάσει της εμπειρίας του ΟΑΚ