

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ
ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ
ΞΗΡΙΑ ΑΛΜΥΡΟΥ**

υπό

ΜΑΡΙΑ ΚΟΛΛΑΪΤΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2021

UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Diploma Thesis

**SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN
AREAS WITH WATER SCARCITY PHENOMENA: THE CASE OF
XIRIA BASIN, ALMYROS**

MARIA KOLLAITI

Submitted to fulfill part of requirements for

acquisition of Diploma in

Civil Engineering

2021

© 2021 Μαρία Κολλαΐτη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Αθανάσιος Λουκάς
Αναπλ.Καθηγητής, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (ΕΔΠ), Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με τη διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτήν την προσπάθεια. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέπων Καθηγητή μου κ. Νικήτα Μυλόπουλο για την ανάθεση ενός πολύ ενδιαφέρον θέματος, καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διεκπεραίωσή του. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υπ. Διδάκτορα Αικατερίνη Λύρα, τον Υπ. Διδάκτορα Γεώργιο Τζιάτζιο και το Διδάκτορα Δρ. Παντελή Σιδηρόπουλο για την πολύτιμη βοήθειά τους, την καθοδήγησή τους, αλλά και την άριστη συνεργασία μας κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Μαρία Κολλαΐτη

ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΞΗΡΙΑ ΑΛΜΥΡΟΥ

Μαρία Κολλαΐτη

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2021

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικήτας Μυλόπουλος, Καθηγητής Βιώσιμης Διαχείρισης Υδατικών
Πόρων

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διαχείριση των υδατικών πόρων της υπολεκάνης Ξηριά, στην περιοχή Αλμυρού, σε δύο διαφορετικά σενάρια υδροδότησης, είτε με αρδευτικό νερό από τον υδροφόρο Αλμυρού, είτε με τη λειτουργία τοπικού υδρο-ταμιευτήρα, για την ικανοποίηση των απαιτήσεων που απαιτούν οι αγροτικές καλλιεργειες της περιοχής. Και για τις δύο περιπτώσεις αρδευτικού εφοδιασμού, έχουν υπολογιστεί διάφορα σενάρια άρδευσης αλλά και μερική αναδιάρθρωση των καλλιεργειών σύμφωνα με την Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) για να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος των αρδευτικών πολιτικών στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης του Ξηριά.

Περιοχή που έχει υποστεί ζητήματα υποβάθμισης των υπόγειων συστημάτων είναι η υπολεκάνη Ξηριά Αλμυρού, η οποία αποτελεί και περιοχή μελέτης. Για την επίλυση αυτών των ζητημάτων και την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων κατασκευάστηκε λιμνοδεξαμενή χωρητικότητας 3.840.000 m³. Η λιμνοδεξαμενή θα αρδεύσει μέρος των εκτάσεων των καλλιεργειών της υπολεκάνης Ξηριά ώστε να υπάρξει ανακούφιση του υδροφόρου ορίζοντα. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου της υπολεκάνης Ξηριά και της λιμνοδεξαμενής μέσω του λογισμικού WEAP (Water Evaluation And Planning Systems). Καταstrώνεται ένας αριθμός διαχειριστικών σεναρίων για την εκλογή του καταλληλότερου ως μέτρο διαχείρισης των υδατικών πόρων. Τα σενάρια ομαδοποιούνται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία δεν περιέχει τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής και χωρίζεται σε τέσσερα υποσενάρια: καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά, αλλαγή μεθόδου άρδευσης, μέθοδος ελλειματικής άρδευσης και αντικατάσταση καλλιεργειών. Η δεύτερη κατηγορία περιέχει τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής και χωρίζεται σε πέντε υποσενάρια: καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά, αλλαγή μεθόδου άρδευσης, μέθοδος ελλειματικής άρδευσης, αντικατάσταση καλλιεργειών και καλλιέργειες που προβλέπονται να αρδευτούν.

Αφού έγινε εισαγωγή και προσαρμογή των κατάλληλων δεδομένων στο πρόγραμμα WEAP, προσομοιώθηκε το κάθε υποσενάριο και προέκυψαν αποτελέσματα σχετικά με το υδατικό ισοζύγιο, την αποθηκευτικότητα του υδροφορέα και τον όγκο νερού της λιμνοδεξαμενής. Έπειτα από σύγκριση μεταξύ τους, προέκυψε ότι το ιδανικότερο υποσενάριο είναι αυτό της αντικατάστασης καλλιεργειών σύμφωνα με την Κοινή Αγροτική Πολιτική και στις δυο περιπτώσεις.

Λέξεις-κλειδιά: Λεκάνη Ξηριά, Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Αρδευτικά Έργα, WEAP

Abstract

The underlying concept of this thesis is the management of water resources of the sub-basin of Xiria, in Almyros Greece, under two different scenarios of water irrigation supply, either with irrigation water from the Almyros aquifer or irrigation water from the Almyros aquifer and the operation of a local reservoir, to fulfill the crop water demands. For both cases of water irrigation supply, various scenarios of deficit irrigation and partial restructuring of crops according to the Common Agricultural Policy (CAP), have been calculated to evaluate the impact of irrigation policies to the water budget of the Xiria basin.

The sub-basin of Xiria, is an agricultural region that has undergone degradation of groundwater systems. In order to alleviate the deficit water balance of the region and manage the water resources, a reservoir of volume 3,840,000 m³ is intended to be built in the future years. The reservoir will irrigate part of the areas with irrigated crops so that the aquifer is relieved.

The purpose of diploma thesis is to simulate the water balance of sub-basin Xiria and the reservoir with the use of the WEAP software (Water Evaluation and Planning Systems). There is a number of management scenarios for the selection of the most appropriate policy as a measure of management of water resources. The scenarios are grouped into two categories. The first category does not contain the operation of the reservoir and it is divided into four sub-scripts: crops that are actually irrigated, change of irrigation method, method of deficit irrigation and crop replacement. The second category contains the operation of the reservoir and is divided into five sub-scripts : crops that are actually irrigated, switch of irrigation method, method of deficit irrigation, crop replacement and crops that are predicted to be irrigated.

After importing and adapting the appropriate data to the WEAP program, each sub-script was simulated and results in charts of the water balance, the storage of the aquifer and the water volume of the reservoir. After comparing each other, it has emerged that the ideal sub-script, in both cases, is that of the replacement of crops according to the Common Agricultural Policy.

Key -words: *Xirias Basin., Water Resources management, Irrigation Schemes, WEAP*

Περιεχόμενα

1	Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	2
1.1	Αντικείμενο της μελέτης.....	2
1.2	Δομή εργασίας	3
1.3	Διαχείριση Υδατικών Πόρων	5
1.4	Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού	6
1.5	Οικολογική Παροχή και Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ.....	8
1.6	Ελλειμματική άρδευση και Κοινή Αγροτική Πολιτική	10
1.6.1	Ελλειμματική άρδευση.....	10
1.6.2	Κοινή Αγροτική Πολιτική.....	11
2	Κεφάλαιο 2: Περιοχή Μελέτης.....	13
2.1	Γενικά στοιχεία	13
2.1.1	Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης.....	13
2.2	Κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον	15
2.2.1	Δημογραφική κατάσταση	15
2.2.2	Αρδεύσιμες εκτάσεις	16
2.3	Υδατικό ισοζύγιο	19
2.4	Βασικά στοιχεία για την αντιμετώπιση του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου	21
2.4.1	Η Λιμνοδεξαμενή.....	21
2.4.2	Μοντέλο Επιφανειακής Υδρολογίας UTHBAL, Οικολογική Παροχή & Παροχή Λιμνοδεξαμενής.....	22
2.4.3	Υφιστάμενη κατάσταση περιβάλλοντος	25
2.5	Ελλειμματική άρδευση και Κοινή Αγροτική Πολιτική	29
2.5.1	Ελλειμματική άρδευση.....	29
2.5.2	Κοινή Αγροτική Πολιτική.....	31
3	Κεφάλαιο 3: Διαχειριστικά σενάρια υδατικών πόρων	33
3.1	Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής	33
3.1.1	Μέθοδος Thornthwaite	34
3.2	Εκτίμηση Υδατικών Αναγκών	35
3.2.1	Γεωργικές υδατικές ανάγκες.....	36
3.2.2	Ζήτηση καλλιεργειών	37
3.2.3	Αστικές υδατικές ανάγκες.....	41
3.3	Διαχειριστικά Σενάρια.....	41
3.3.1	Περίπτωση Α – Υποσενάριο 1 ^ο	41
3.3.2	Περίπτωση Α – Υποσενάριο 2 ^ο	42

3.3.3	Περίπτωση Α – Υποσενάριο 3 ^ο	43
3.3.4	Περίπτωση Α – Υποσενάριο 4 ^ο	44
3.3.5	Περίπτωση Β – Υποσενάριο 1 ^ο	48
3.3.6	Περίπτωση Β – Υποσενάριο 2 ^ο	50
3.3.7	Περίπτωση Β – Υποσενάριο 3 ^ο	50
3.3.8	Περίπτωση Β – Υποσενάριο 4 ^ο	50
3.3.9	Περίπτωση Β – Υποσενάριο 5 ^ο	51
4	Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή Διαχειριστικού Μοντέλου	54
4.1	Μοντέλο WEAP: ανάπτυξη και εφαρμογή	54
4.2	Δομή μοντέλου WEAP	55
4.3	Κατάστρωση Διαχειριστικού Μοντέλου	59
4.3.1	Εισαγωγή δεδομένων	60
4.3.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α: ΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	66
4.3.3	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ	73
5	Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα	82
5.1	Περίπτωση Α: Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής	82
5.1.1	Υποσενάριο 1 ^ο – Υφιστάμενη Κατάσταση	82
5.1.2	Υποσενάριο 2 ^ο – Αντικατάσταση Των Μεθόδων Άρδευσης	83
5.1.3	Υποσενάριο 3 ^ο – Ελλειμματική Άρδευση	85
5.1.4	Υποσενάριο 4 ^ο – Κοινή Αγροτική Πολιτική	86
5.2	Περίπτωση Β: Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής	88
5.2.1	Υποσενάριο 1 ^ο – Υφιστάμενη Κατάσταση	88
5.2.2	Υποσενάριο 2 ^ο – Αντικατάσταση των Μεθόδων Άρδευσης	91
5.2.3	Υποσενάριο 3 ^ο – Ελλειμματική Άρδευση	93
5.2.4	Υποσενάριο 4 ^ο – Κοινή Αγροτική Πολιτική	96
5.2.5	Υποσενάριο 5 ^ο – Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015)	98
5.3	Συγκριτικά αποτελέσματα σεναρίων διαχείρισης	101
5.3.1	Περίπτωση Α: Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής	101
5.3.2	Περίπτωση Β: Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής	102
6	Κεφάλαιο 6: Ανακεφαλαίωση- Συμπεράσματα	105
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Η υδρολογική λεκάνη Αλμυρού (Γεωργιάδου, 2015).....	14
Σχήμα 2.2 Υπολεκάνες Αλμυρού (Lyra et al., 2021)	14
Σχήμα 2.3 Λεκάνη Αλμυρού και υδροφόρο σύστημα και χωρική κατανομή των κύριων τύπων καλλιέργειας για το έτος 2010 (Lyra, Loukas and Sidiropoulos, An Integrated Modeling System for the Evaluation of Water Resources in Coastal Agricultural Watersheds: Application in Almyros Basin, Thessaly, Greece)	17
Σχήμα 2.4 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 1992-1999	17
Σχήμα 2.5 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2000-2009	18
Σχήμα 2.6 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2010-2017	18
Σχήμα 2.7 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2018	18
Σχήμα 2.8 Εισροές, εκροές, έλλειμμα του υδροφορέα-Υδατικό ισοζύγιο (Γεωργιάδου,2015) ...	20
Σχήμα 2.9 Τοποθεσία της υδροληψίας και της λιμνοδεξαμενής. Φαίνονται σκιασμένες και οι αρδευόμενες εκτάσεις (ΜΠΕ, 2015)	21
Σχήμα 2.10 Όγκοι και στάθμες λιμνοδεξαμενής (Λουκάς and Βασιλειάδης, 2002).....	22
Σχήμα 2.11 Μέση ετήσια παροχή λιμνοδεξαμενής Ξηριά από 1992 έως 2018	24
Σχήμα 2.12 Καμπύλη όγκου- υψομέτρου της λιμνοδεξαμενής Ξηριά	25
Σχήμα 2.13 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την υπολεκάνη Ξηριά από Οκτώβριο 1991 έως Σεπτέμβριο 2018 (Lyra et al., 2021).....	26
Σχήμα 2.14 Μέσα μηνιαία ύψη βροχής για την υπολεκάνη Ξηριά από Σεπτέμβριο 1992 έως Οκτώβριο 2018	27
Σχήμα 2.15 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία από 1992 έως 2018 (Lyra et al, 2021).....	27
Σχήμα 2.16 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για 1992 έως 2018 (Lyra et al., 2021).....	28
Σχήμα 2.17 Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια για 1992 έως 2018 (Lyra et al., 2021)	28
Σχήμα 3.1 Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολεκάνης Ξηριά από 1992 έως 2018 (Lyra, 2021).....	35
Σχήμα 3.2 Τιμές δείκτη Kc κατά τα στάδια ανάπτυξης του φυτού (FAO 1998).....	37
Σχήμα 3.3 Απώλειες κατά τη διανομή και τη μεταφορά (Γεωργιάδου, 2015)	39
Σχήμα 3.4 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 1 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018.....	42
Σχήμα 3.5 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 2 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018.....	43

Σχήμα 3.6 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 3 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018.....	44
Σχήμα 3.7 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-1999	45
Σχήμα 3.8 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 2000-2009	46
Σχήμα 3.9 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 2010-2017	46
Σχήμα 3.10 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για το έτος 2018	47
Σχήμα 3.11 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 4 ^ο υποσενάριο της 1 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018.....	48
Σχήμα 3.12 Οι εκτάσεις που αρδεύονται από τον υδροφόρο ύστερα από την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής	49
Σχήμα 3.13 Εκτάσεις αρδευόμενες από τη λιμνοδεξαμενή.....	49
Σχήμα 3.14 Οι εκτάσεις των καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή μετά την αντικατάστασή τους για τα έτη 1992-2018	51
Σχήμα 3.15 Εκτάσεις των καλλιεργειών που προβλέπονταν να αρδευτούν για τα έτη 1992-2018 (ΜΠΕ,2015).....	52
Σχήμα 3.16 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών για το 5 ^ο υποσενάριο της 2 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη	53
Σχήμα 4.1 Γραφική απεικόνιση του WEAP	56
Σχήμα 4.2 Δεδομένα του WEAP	57
Σχήμα 4.3 Αποτελέσματα του WEAP	57
Σχήμα 4.4 Περιηγητής σεναρίων του WEAP.....	58
Σχήμα 4.5 Σημειώσεις του WEAP	58
Σχήμα 4.6 Διαγραμματική απεικόνιση των υποσεναρίων	59
Σχήμα 4.7 Χρονικό βήμα στο WEAP.....	60
Σχήμα 4.8 Τύποι για κάθε υδρολογικό έτος στο περιβάλλον του WEAP.....	61
Σχήμα 4.9 Εισροές στον υδροφόρο ορίζοντα στο περιβάλλον του WEAP.....	62
Σχήμα 4.10 Απορροή χειμάρρου Ξηριά στον περιβάλλον του WEAP	63
Σχήμα 4.11 Εισροές στη λιμνοδεξαμενή Ξηριά στο περιβάλλον του WEAP	64
Σχήμα 4.12 Net evaporation στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής για τα έτη 1992- 2018.....	65

Σχήμα 4.13 Σχηματική απεικόνιση του 1 ^{ου} σεναρίου στο μοντέλο του WEAP	67
Σχήμα 4.14 Εκτάσεις καλλιεργειών στο WEAP	68
Σχήμα 4.15 Υδατικές ανάγκες στο WEAP	68
Σχήμα 4.16 Μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες.....	69
Σχήμα 4.17 Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών μετά την αλλαγή μεθόδων άρδευσης στο WEAP.....	70
Σχήμα 4.18 Μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού με τη μέθοδο της ελλειμματικής άρδευσης.....	71
Σχήμα 4.19 Αρδευτικές ανάγκες μετά την αντικατάσταση καλλιεργειών στο μοντέλο του WEAP	72
Σχήμα 4.20 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού των καλλιεργειών	72
Σχήμα 4.21 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού των αντικατεστημένων καλλιεργειών ...	73
Σχήμα 4.22 Σχηματική απεικόνιση της λιμνοδεξαμενής στο περιβάλλον του WEAP.....	74
Σχήμα 4.23 Εκτάσεις που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή στο περιβάλλον του WEAP	75
Σχήμα 4.24 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών ανά μονάδα έκτασης m ² στο περιβάλλον του WEAP.....	76
Σχήμα 4.25 Μηνιαία κατανομή αρδευτικού νερού.....	77
Σχήμα 4.26 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP	77
Σχήμα 4.27 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP	78
Σχήμα 4.28 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP	79
Σχήμα 4.29 Μηνιαία διακύμανση του νερού των αντικατεστημένων καλλιεργειών	79
Σχήμα 4.30 Σχηματική απεικόνιση του 5 ^{ου} σεναρίου.....	80
Σχήμα 4.31 Αρδευτικές ανάγκες των προβλεπόμενων καλλιεργειών στο περιβάλλον του WEAP	81
Σχήμα 4.32 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες για το σενάριο 5	81
Σχήμα 5.1 Υδατικό Ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)	82
Σχήμα 5.2 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α).....	83
Σχήμα 5.3 Υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος (2 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)	84
Σχήμα 5.4 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α).....	84

Σχήμα 5.5 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α).....	87
Σχήμα 5.6 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Α).....	87
Σχήμα 5.7 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	88
Σχήμα 5.8 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	89
Σχήμα 5.9 Μεταβολή όγκου νερού της λιμνοδεξαμενής (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	90
Σχήμα 5.10 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (1 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	90
Σχήμα 5.11 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (2 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	91
Σχήμα 5.12 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (2 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	92
Σχήμα 5.13 Μεταβολή όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (2 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	92
Σχήμα 5.14 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (2 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	93
Σχήμα 5.15 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (3 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	94
Σχήμα 5.16 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (3 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	94
Σχήμα 5.17 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (3 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	95
Σχήμα 5.18 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (3 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	95
Σχήμα 5.19 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	96
Σχήμα 5.20 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	97
Σχήμα 5.21 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	97
Σχήμα 5.22 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (4 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	98
Σχήμα 5.23 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (5 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	99
Σχήμα 5.24 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (5 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	99
Σχήμα 5.25 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (5 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	100
Σχήμα 5.26 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (5 ^ο υποσενάριο, περίπτωση Β).....	100
Σχήμα 5.27 Μεταβολή αποθηκευτικότητας για κάθε υποσενάριο.....	101
Σχήμα 5.28 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής όγκου νερού λιμνοδεξαμενής.....	103
Σχήμα 5.29 Αποθηκευτικότητα του υπόγειου υδροφορέα για το κάθε υποσενάριο.....	104

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι Υπολογισμού Οικολογικής Παροχής (Gopal, B. R. I. J., 2013).....	9
Πίνακας 2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπολεκανών (Γαϊτανόπουλος, 2014).....	15
Πίνακας 2.2 Καταγραφή πληθυσμού (ΕΛ.ΣΤΑΤ,2011).....	16
Πίνακας 2.3 Οι καλλιέργειες και οι αντίστοιχες εκτάσεις (m ²) τους στην υπολεκάνη Ξηριά (Lyra et al, 2021).....	16
Πίνακας 2.4 Εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021).....	30
Πίνακας 2.5 Συντελεστές ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021)	31
Πίνακας 3.1 Πραγματικές ώρες ημέρας για υπολεκάνη Ξηριά (1992-2018) (Lyra, 2021)	35
Πίνακας 3.2 Μηνιαία θερμοκρασία T _n για υπολεκάνη Ξηριά (1992-2018) (Lyra κ.α., 2021).....	35
Πίνακας 3.3 Μεταβολές στις καλλιέργειες σύμφωνα με την ΚΑΠ.....	45
Πίνακας 3.4 Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για το 5 ^ο υποσενάριο της 2 ^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018 (ΜΠΕ,2015).....	52
Πίνακας 4.1 Συντελεστές τύπων υδρολογικών ετών (Lyra, 2021).....	61
Πίνακας 6.1 Διαχειριστικά υποσενάρια Περίπτωσης Α –Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής Ξηρια και αντίκτυπος στο Υδατικό Ισοζύγιο	108
Πίνακας 6.2 Διαχειριστικά σενάρια Περίπτωσης Β–Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής Ξηριά και αντίκτυπος στο Υδατικό Ισοζύγιο	109

1 Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της μελέτης

Στη σύγχρονη εποχή η εντατικοποίηση των οικονομικών δραστηριοτήτων και της γεωργίας έχει προκαλέσει σημαντική ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση στους υδάτινους πόρους. Ανησυχία προκαλεί κυρίως η πτωτική τάση που παρατηρείται στα υπόγεια αποθέματα ύδατος καθώς η ανανέωση και η ανάτασή τους είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Σε πολλές περιπτώσεις είναι η μόνη πηγή ύδατος είτε λόγω έλλειψης επιφανειακών υδάτων είτε λανθασμένης εκμετάλλευσης της επιφανειακής απορροής. Έτσι, κρίνεται ύψιστης σημασίας η αντιμετώπιση και η εξάλειψη του φαινομένου αυτού και η διατήρηση της ποιότητας και της ποσότητας των εκμεταλλευόμενων υδατικών πόρων. Αυτό μπορεί να συμβεί με την εφαρμογή ειδικών μέτρων προστασίας των υδάτων, όπως είναι η εξοικονόμηση νερού, η επαναχρησιμοποίησή του ή η ανανέωση των υπόγειων υδροφόρων με τεχνητές μεθόδους καθώς και με την εφαρμογή του κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής και την Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ).

Σε παρόμοια κατάσταση βρίσκεται ο υπόγειος υδροφόρος της υδρολογικής λεκάνης του Αλμυρού και ειδικότερα της υπολεκάνης Ξηριά Αλμυρού. Λόγω της εκτεταμένης αγροτικής δραστηριότητας, της χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων και της άντλησης υπόγειων υδάτων, ο υδροφόρος ορίζοντας της υπολεκάνης έχει συνεχόμενη ποσοτική πτώση στάθμης και ποιοτική υποβάθμιση. Γι' αυτό το λόγο, κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή ενός φράγματος υδροληψίας στην κοίτη του χειμάρρου Ξηριά και μιας λιμνοδεξαμενής μέσω της οποίας θα πραγματοποιείται η άρδευση των καλλιεργειών (Υ.ΠΕ.ΘΕ.).

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση της λιμνοδεξαμενής και της υπολεκάνης Ξηριά, η οποία βρίσκεται υπό κατασκευή στην υπολεκάνη του Ξηριά Αλμυρού Βόλου. Η προσομοίωση θα γίνει για τα παρελθοντικά έτη από το 1992 έως το 2018 ώστε να προκύψει ένα αρκετά ικανοποιητικό προσεγγιστικό αποτέλεσμα. Υπολογίζεται το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής για έναν αριθμό προτεινόμενων διαχειριστικών σεναρίων. Μέσω των υποσεναρίων αυτών και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, θα επιλεγθεί η κατάλληλη πρακτική η οποία αφενός θα

έχει το μικρότερο αντίκτυπο στον υδροφόρο υπόγειο ορίζοντα της υπολεκάνης και αφετέρου θα ικανοποιεί στο μέγιστο βαθμό τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών.

Για την δημιουργία του μοντέλου και των διαχειριστικών σεναρίων γίνεται χρήση του λογισμικού WEAP (Water Evaluation and Planning) το οποίο κρίνεται κατάλληλο για προσομοιώσεις υδατικού ισοζυγίου και τη διαχείριση υδατικών πόρων. Το λογισμικό αυτό λειτουργεί με το ισοζύγιο μάζας και απαιτεί την πρόβλεψη διακύμανσης των υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών.

1.2 Δομή εργασίας

Σύμφωνα με τα αντικείμενα με τα οποία ασχολείται η παρούσα διπλωματική και τους σκοπούς στους οποίους στοχεύει, η διπλωματική χωρίζεται σε έξι (6) επιμέρους κεφάλαια τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

Το 1^ο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το εισαγωγικό κείμενο, αναφέρεται στο πρόβλημα της ποιοτικής και ποσοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων και στη σημασία διαχείρισης του υδατικού ισοζυγίου. Έτσι, αναλύεται το αντικείμενο και ο σκοπός της διπλωματικής και περιγράφεται η μεθοδολογία στην οποία θα βασιστεί. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στη διαχείριση των υδατικών πόρων και στο Σχέδιο Λεκανών Απορροής Ποταμών και ανασκόπηση στην ελλειμματική άρδευση και στην Κοινή Αγροτική Πολιτική.

Το 2^ο κεφάλαιο περιγράφει την περιοχή μελέτης και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζεται η διοικητική και γεωγραφική υπαγωγή της περιοχής μελέτης και αναλύονται οι κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες που λαμβάνουν μέρος εκεί. Γίνεται αναφορά στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και στην υφιστάμενη κατάσταση του υδατικού ισοζυγίου. Επιπροσθέτως, τονίζεται η άμεση ανάγκη για μη περαιτέρω υπερεκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και πόσο σημαντική καθίσταται η αντιμετώπιση της πτωτικής του τάσης. Το σχέδιο που προκρίθηκε για την αντιμετώπιση του εν λόγω περιβαλλοντικού προβλήματος είναι η κατασκευή της λιμνοδεξαμενής στην υπολεκάνη Ξηριά Αλμυρού. Παρατίθενται αναλυτικά όλα τα στοιχεία για το σχεδιασμό της λιμνοδεξαμενής και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Το μικροκλίμα και οι μετεωρολογικές συνιστώσες της περιοχής αποτελούν μια από τις σημαντικότερες υποενότητες καθώς από αυτά κρίνονται όλες οι μεταβλητές για το σχεδιασμό της λιμνοδεξαμενής. Έτσι, προβάλλονται και

αναλύονται τα διαγράμματα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, ανέμου, υγρασίας και ηλιοφάνειας. Τέλος, γίνεται μια εκτενής αναφορά στην μέθοδο της ελλειμματικής άρδευσης και της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής και στην προσαρμογή τους στη μελέτη.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα διαχειριστικά σενάρια, τα οποία διαχωρίζονται σε δύο κύριες περιπτώσεις υδατικών υποδομών, ανάλογα με τη λειτουργία ή μη της λιμνοδεξαμενής. Περιγράφεται η μέθοδος υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής του ταμιευτήρα. Επιπροσθέτως, γίνεται αναλυτική περιγραφή των βημάτων που απαιτούνται για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Οι υδατικές ανάγκες υπολογίζονται για κάθε διαχειριστικό υποσενάριο και περίπτωση λειτουργίας της λιμνοδεξαμενής ξεχωριστά.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας της προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου και των διαχειριστικών υποσεναρίων. Σε πρώτο στάδιο, περιγράφεται το λογισμικό W.E.A.P (Water Evaluation and Planning) και εξηγούνται οι λεπτομέρειες του περιβάλλοντος και της επιφάνειας εργασίας του. Ακολούθως, αναφέρονται τα δεδομένα εισόδου, η λειτουργία του και η δομή του. Προσδιορίζεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο λαμβάνει χώρα η μελέτη και οι μεταβλητές που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του μοντέλου. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το υφιστάμενο υδατικό ισοζύγιο, επιλέγονται τα διαχειριστικά υποσενάρια και κατηγοριοποιούνται σε δυο κατηγορίες, ανάλογα με την ύπαρξη ή μη της λιμνοδεξαμενής. Σε κάθε υποσενάριο απεικονίζεται το σχήμα πάνω στο οποίο στήνεται το πρόγραμμα W.E.A.P. και ο τρόπος δημιουργίας του μοντέλου.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την υφιστάμενη κατάσταση και τα διαχειριστικά υποσενάρια. Στο πρώτο σκέλος παρουσιάζονται τα διαγράμματα για κάθε περίπτωση και υποσενάριο τα οποία απεικονίζουν το υδατικό ισοζύγιο (εισροές, εκροές, απώλειες), τη μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα καθώς και τη μεταβολή του όγκου και της στάθμης της λιμνοδεξαμενής, όπου υπάρχουν δεδομένα. Στο δεύτερο σκέλος παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα συνδυαστικά διαγράμματα στα οποία συγκρίνονται οι μεταβλητές των υποσεναρίων, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητά τους.

Στο 6^ο κεφάλαιο, περιγράφονται και σχολιάζονται τα συμπεράσματα της προσομοίωσης. Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η επιλογή ενός διαχειριστικού υποσεναρίου, το οποίο αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική πολιτική για την διαχείριση

των υδατικών πόρων της υπολεκάνης Ξηριά με γνώμονα την ανάταση του υδροφόρου ορίζοντα, καλύπτοντας τις αρδευτικές ανάγκες στο μέγιστο. Τέλος, διαμορφώνονται προτάσεις επέκτασης της διερεύνησης της διαχείρισης του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, για τη διαμόρφωση βέλτιστων στρατηγικών διαχείρισης που δύνανται να οδηγήσουν στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων.

1.3 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Ο όρος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" αναφέρεται στο σύνολο των μεθόδων και δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ορθολογική αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού, με στόχο την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό (Μυλόπουλος, 2006). Χρησιμοποιεί, δηλαδή, όλα τα διοικητικά μέτρα και τις επιστημονικές μεθόδους ώστε να επαναφέρει τα υδατικά συστήματα για την εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής εκμετάλλευσή τους βάσει των κριτηρίων και των στόχων που έχουν καθοριστεί (Serageldin, 1995). Η Διαχείριση των Υδατικών πόρων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που χρειάζεται την εμπλοκή πολλών επιστημονικών κλάδων (υδρολογία, εδαφολογία κ.α.) (Βασιλειάδης, 2017).

Οι κύριοι στόχοι της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων είναι:

- Ύπαρξη νερού για την ποσοτική και ποιοτική ικανοποίηση βιομηχανικών, αγροτικών, υδρευτικών καθώς και άλλων αναγκών.
- Προστασία από ρύπανση
- Προστασία από τα ακραία καιρικά φαινόμενα πλημμύρων, ξυρασίας, κ.α.
- Ύπαρξη καθαρού και πόσιμου νερού για άρδευση, υδροηλεκτρικά έργα, αναψυχή και για την επιβίωση της πανίδας και της χλωρίδας

Η διαφορά της Οικονομικής Θεωρίας από αυτή της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων είναι ότι στη δεύτερη το νερό παίρνει χαρακτήρα φυσικού περιβαλλοντικού αγαθού με μεταβλητότητα στο χρόνο και στο χώρο, πράγμα το οποίο το καθιστά διαφορετικό από τα άλλα οικονομικά αγαθά (Τσακίρης, 1995).

Στις 22 Δεκεμβρίου 2000 θεσπίστηκε η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) 2000/60/ΕΚ, η οποία εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα. Αυτή αφορά την προστασία των υδατικών πόρων και των υδάτινων οικοσυστημάτων και τη διαχείρισή

τους σε επίπεδο Λεκανών Απορροής Ποταμών. Ένα από τα βασικότερα εργαλεία επίλυσης του προβλήματος της υποβάθμισης της ποσότητας και της ποιότητας του νερού και της συνεχόμενης πίεσης που δέχονται τα υδατικά συστήματα, κυρίως λόγω των αγροτικών δραστηριοτήτων, αποτελεί η εφαρμογή της Οδηγίας- Πλαίσιο, η οποία έχει ως στόχο να οδηγήσει στην καλή ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδατικών συστημάτων (Κούγκολος et al., 2018).

1.4 Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού

Το έτος 2000 η Ευρωπαϊκή Ένωση ψήφισε μια καινούρια πολιτική που αφορά την αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών συστημάτων, η οποία εφαρμόζεται μέσω της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Για την υλοποίηση της Οδηγίας των Υδάτων χρειάστηκε αρχικά ο προσδιορισμός των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ελλαδικού χώρου. Αυτά αποτελούν αρμοδιότητα των αρχών που έχουν αναλάβει την κάθε περιοχή Λεκάνης Απορροής (Υδατικό Διαμέρισμα) ενώ τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής αναθεωρούνται κάθε έξι (6) χρόνια.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υ.Π.ΕΝ.), τα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών πρέπει να περιέχουν πληροφορίες για:

- Τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής δηλαδή, χάρτες επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων, χάρτες των τύπων υδατικών συστημάτων και τις συνθήκες στις οποίες βρίσκονται
- Τις συνέπειες από τον ανθρωπογενή παράγοντα όπως είναι η ρύπανση απο σημειακές και διάσπαρτες πηγές και η ποσοτική εκμετάλλευση από τις υδροληψίες
- Τις προστατευόμενες περιοχές
- Την παρακολούθηση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων και τις προστατευόμενες περιοχές
- Τους περιβαλλοντικούς στόχους για τα παραπάνω
- Τη χρήση του νερού και την κοστολόγησή του
- Την πρακτική και τα μέτρα που εφαρμόζονται για τους αντίστοιχους στόχους, όπως για την πράξη του νομοθετικού πλαισίου, την αποφυγή ρύπανσης των

υδάτων, τους περιβαλλοντικούς στόχους, την ανάκτηση του κόστους του νερού κ.α.

- Τα μέτρα για την ενημέρωση του κοινού και τις αλλαγές των σχεδίων
- Τις αρμόδιες αρχές

Η 1^η αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμού εμπειριείχε:

- Λεπτομερή ανάλυση των αλλαγών και μετατροπών από την προηγούμενη έκδοση Σχεδίου Διαχείρισης
- Αναφορά σχετικά με την πραγματοποίηση των περιβαλλοντικών στόχων σε σύγκριση με την προηγούμενη έκδοση και προσδιορισμό αυτών που δεν επιτεύχθηκαν
- Αναφορά των μέτρων και πρακτικών που δεν εφαρμόστηκαν στην προηγούμενη έκδοση και διευκρινίσεις αυτών
- Αναφορά των μέτρων που εφαρμόστηκαν πρόσθετα μετά την έκδοση του προηγούμενου Σχεδίου Διαχείρισης

Η Ελλάδα υιοθέτησε την Οδηγία 2000/60/ΕΚ μέσω του νόμου 3199/2003. Στην Ελλάδα ο νόμος 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων» αντικαθιστά το νόμο 1739/1987 που αφορά τη διαχείριση υδατικών πόρων στην Ελλάδα. Ο νόμος 3199/2002 εναρμονίζει την εθνική νομοθεσία με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ και αποτελείται από 17 άρθρα. Σκοπός του είναι η προσαρμογή στην προστασία των υδάτων σύμφωνα με την οδηγία-πλαίσιο για το νερό. Ωστόσο, δεν έχει παρατηρηθεί ικανοποιητικό αποτέλεσμα ακόμα (Τάτσης, 2007). Είναι κρίσιμο να επισημανθεί ότι στο νέο νόμο 3199/2003 θεωρείται μονάδα διαχείρισης το υδατικό διαμέρισμα, σε αντίθεση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ όπου μονάδα διαχείρισης είναι η Λεκάνη Απορροής Ποταμού. Επίσης, η αρμοδιότητα δίνεται στο Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. και κρίνεται σημαντική η συμβολή του κοινού, της τοπικής κοινωνίας και των χρηστών στη διαδικασία διαχείρισης των υδάτων (Τάτσης, 2007).

Κάποιοι από τους βασικούς σκοπούς του νόμου 3199/2003 είναι:

- Να αποτελέσει ένα καθοριστικό νομοθετικό πλαίσιο πάνω στο οποίο θα γίνει η διαχείριση των υδατικών πόρων

- Να συμβάλλει στη δημιουργία ενός σχεδιασμού διαχείρισης των υδάτων που θα έχει αντίκτυπο και μελλοντικά
- Να ικανοποιηθεί ο κύριος σκοπός της Οδηγίας 2000/60/EK στα πλαίσια της Ελλάδας

Γενικά, από την υλοποίηση των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών μπορούν να προκύψουν μόνο ευμενή αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι υδατικοί πόροι της Ελλάδας δέχονται συνεχώς υποβαθμίσεις και πιέσεις. Η υιοθέτηση και εφαρμογή θα έχει αποτελέσει βασικό θεμέλιο για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων, την προστασία και τη χρήση των υδατικών πόρων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ένας από τους κυριότερους στόχους του νόμου 3199/2003 είναι να γίνει η κατάλληλη και σωστή διαχείριση των υδατικών συστημάτων, ώστε να ικανοποιούνται οι οικολογικές λειτουργίες τους ταυτόχρονα με την παροχή των υπηρεσιών και των αναγκών του πληθυσμού (Τάτσης,2007).

1.5 Οικολογική Παροχή και Οδηγία-Πλαίσιο 2000/60/EK

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών, εκατοντάδες μελέτες πραγματοποιήθηκαν σε όλο τον κόσμο για την ανάπτυξη, εφαρμογή και προσαρμογή πολλών μεθόδων εκτίμησης οικολογικής περιβαλλοντικής ροής (EFAs) (Stalnaker and Arnette 1976, Jowett 1997, Dunbar et al. 1998, Annear et al. 2002, Arthington 2012, Hatfield et al. 2012,2013, Linsaari et al.). Η οικολογική ροή «απαιτείται για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων γλυκού νερού» και τη διαβίωση και την ευημερία των ανθρώπινων πληθυσμών που εξαρτώνται από αυτά. (Gopal, B. R. I. J., 2013). Αποτελεί τη διατήρηση ελάχιστης ροής κατάντη των φραγμάτων με σκοπό την προστασία των κατάντη οικοσυστημάτων. Η εκτίμηση των οικολογικών ή περιβαλλοντικών ροών (Environmental Flow Assessment, EFA) αφορά στις θεωρητικές ανάγκες των οικοσυστημάτων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη άλλοι περιορισμοί πέραν των φυσικών (Ευστρατιάδης κ.ά, 2015).

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/EK, αποτελεί στόχο προς επίτευξη η καλή οικολογική κατάσταση (Good Ecological Status) για όλα τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, η διατήρηση υψηλής οικολογικής κατάστασης ποτάμιων σωμάτων (High Ecological Status), και η καλή οικολογική προοπτική (Good Ecological Potential) βαρέως τροποποιημένων (heavily modified) σωμάτων, όπως ποταμοί στους οποίους έχουν εγκατασταθεί υδροηλεκτρικά έργα (Ευστρατιάδης κ.ά, 2015).

Υπάρχουν διακριτά κενά στη γνώση και την πρακτική της περιβαλλοντικής ροής σε όλες σχεδόν τις αναπτυσσόμενες χώρες, οι περισσότερες από τις οποίες δεν διαθέτουν την τεχνική και θεσμική ικανότητα να καθιερώσουν πρακτικές περιβαλλοντικής κατανομής νερού. Οι εκτιμήσεις περιβαλλοντικών ροών εξελίχθηκαν με τη συμπερίληψη πρόσθετης έρευνας (α) ενός ευρύτερου φάσματος οργανισμών και κοινοτήτων, (β) μιας λεπτομερέστερης ανάλυσης της υδρολογίας του ρέματος, (γ) της ποτάμιας γεωμορφολογίας, (δ) της ποικιλομορφίας οικοτόπων, (ε) κοινωνικοοικονομικών πτυχών και τέλος (στ) των υπηρεσιών του οικοσυστήματος. Οι Tharme και Smakhtin (2003) παρατήρησαν ότι ανεξάρτητα από τον τύπο των μεθόδων EFA, όλες έχουν σχεδιαστεί και/ή εφαρμοστεί σε ένα πλαίσιο ανεπτυγμένης χώρας. (Gopal, B. R. I. J., 2013). Οι επικρατέστερες μέθοδοι εκτίμησης της οικολογικής παροχής έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση τις θεωρητικές ανάγκες των οικοσυστημάτων και τα φυσικοποιημένα μεγέθη παροχών (Πίνακας 1.1.) (Gopal, B. R. I. J., 2013, Ευστρατιάδης κ.ά, 2015).

Πίνακας 1.1 Μέθοδοι υπολογισμού οικολογικής παροχής (Gopal, B. R. I. J., 2013, Ευστρατιάδης κ.ά, 2015)

Οργάνωση	Κατηγοριοποίηση μεθόδων	Υποκατηγορία	Παραδείγματα
IUCN (Dyson et al. 2003)	Μέθοδοι	Πίνακες αναζήτησης	Υδρολογικοί (π.χ. Δείκτης Q95)
			Οικολογικοί (π.χ. Μέθοδος Tennant)
		Αναλύσεις γραφείου	Υδρολογικές (π.χ. Μέθοδος Richter)
			Υδραυλικές (π.χ. Μέθοδος Βρεχόμενης Περιμέτρου)
			Οικολογικές
		Λειτουργικές αναλύσεις	BBM, Expert Panel Assessment
			Μέθοδος, Μεθοδολογία Συγκριτικής Αξιολόγησης
	Μοντελοποίηση οικοτόπων	PHABSIM	
	Προσεγγίσεις	Προσέγγιση ομάδας ειδικών	
		Προσέγγιση των ενδιαφερομένων (ειδικών και μη)	
Πλαίσια	IFIM, DRIFT		
World Bank (King and Brown 2003)	Προσεγγιστικές προσεγγίσεις	Μέθοδοι Υδρολογικού Δείκτη	Μέθοδος Tennant
		Μέθοδοι Υδραυλικής Αξιολόγησης	Μέθοδος βρεχόμενης περιμέτρου
		Επιτροπές εμπειρογνομώνων	

		Ολιστικές Προσεγγίσεις	BBM
		Διαδραστικές προσεγγίσεις	IFIM, DRIFT
IWMI (Tharme 2003)		Μέθοδοι υδρολογικού δείκτη	Μέθοδος Tennant
		Υδραυλικές μέθοδοι αξιολόγησης	Μέθοδος Βρεχόμενης Περιμέτρου
		Μεθοδολογίες προσομοίωσης οικοτόπου	IFIM
		Ολιστικές μεθοδολογίες	BBM, DRIFT, Ομάδες εμπειρογνομόνων, Μεθοδολογία συγκριτικής αξιολόγησης

Στην Ελλάδα ως οικολογική παροχή κατά το πλείστον λαμβάνεται (α) η μέση παροχή του ξηρότερου μήνα, (β) η μέση θερινή παροχή, (γ) η ελάχιστη παροχή μιας χαμηλής περιόδου επαναφοράς (π.χ. 5 ετών), οι οποίες προκύπτουν από στατιστική ανάλυση μηνιαίων δειγμάτων. (Ευστρατιάδης κ.ά, 2015).

1.6 Ελλειμματική άρδευση και Κοινή Αγροτική Πολιτική

1.6.1 Ελλειμματική άρδευση

Η ελλειμματική άρδευση ορίζεται ως μια τεχνική άρδευσης κατά την οποία η άρδευση της καλλιέργειας διακόπτεται για ένα μέρος ή ολόκληρη την περίοδο της ανάπτυξης χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή. Αποτελεί μια καλή πρακτική όσον αφορά τη διαχείριση του νερού και δεν προκαλεί μεταβολές στην απόδοση της καλλιέργειας αρκεί να εφαρμοστεί σε στάδιο ανάπτυξης κατά το οποίο η καλλιέργεια δε θα επηρεάζεται σημαντικά από την έλλειψη νερού (FAO, 2002). Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της γίνεται με τη μελέτη της αποδοτικότητας χρήσης νερού.

Η μεγαλύτερη θετική επίδραση που έχει η τεχνική της ελλειμματικής άρδευσης είναι, η αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού. Οι καλλιέργειες επιτυγχάνουν καλύτερο ποιοτικό αποτέλεσμα, ισοσταθμίζοντας έτσι τη μείωση παραγωγής (Cui et al, 2008; Hueso and Cuevas, 2008). Επιπλέον, συμβάλλει στη μείωση των μυκήτων και των παθογόνων μικροοργανισμών καθώς υπάρχει λιγότερη υγρασία γύρω από την καλλιέργεια (Cicogna et al., 2005). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι είναι ένας καλός τρόπος για τον έλεγχο της λίπανσης αφού εισάγονται λιγότερα θρεπτικά συστατικά και άρα υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα λιπαντικής ουσίας στο έδαφος (Garabet et al., 1998). Τέλος, με τη μέθοδο της ελλειμματικής άρδευσης το νερό που αποθηκεύεται (σε σχέση με

την κανονική άρδευση) μπορεί να καλύψει την άρδευση επιπλέον εκτάσεων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη νερού και δεν ικανοποιούνται όλες οι υδατικές απαιτήσεις (Kirkorir et al., 2001).

1.6.2 Κοινή Αγροτική Πολιτική

Η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) αποτελεί ένα νομοθετικό πλαίσιο το οποίο πραγματεύεται νόμους σχετικούς με τη γεωργία και τα παράγωγά της, όπως είναι η επιλογή, η ποιότητα και η διακίνηση των προϊόντων, η κοστολόγηση, η εδαφική χρήση και η απασχόληση με τη γεωργία. Στοχεύει στη σωστή διαχείριση και το σωστό έλεγχο της γεωργίας καθώς και για τις δίκαιες συναλλαγές μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών. Θεσπίστηκε το 1962 από την Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) με κύριο στόχο την ταυτόχρονη ικανοποίηση των καταναλωτών (σε ποιότητα και τιμές των προϊόντων) και των παραγωγών (εξασφάλιση καλού βιοτικού επιπέδου). Στην πορεία των χρόνων η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) προσαρμοζόταν κάθε φορά στις γεωργικές και κοινωνικές ανάγκες. Τα τελευταία χρόνια βασικός στόχος της είναι η προστασία των φυσικών και υδατικών πόρων στα πλαίσια της γεωργίας. Η ελληνική γεωργική δραστηριότητα ακολουθεί την Κοινή Αγροτική Πολιτική με αποτέλεσμα οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτή να έχει άμεσο αντίκτυπο στην οικονομία, της γεωργικές περιοχές, την απασχόληση κ.α. (Πάππου Μαρία et al., 2016). Στην Ελλάδα, η εφαρμογή της πέρασε από πολλά στάδια και τελικά κατέληξε να έχει ως στόχο την βοήθεια σε νέους γεωργούς προσφέροντάς τους κονδύλια για την ένταξή τους στο επάγγελμα αυξάνοντας τον ανταγωνισμό, τη σωστή χρήση και ποιοτική βελτίωση των οικοσυστημάτων, τη γνωστοποίηση νέων τεχνολογιών και καινοτομιών, την αποδοτικότητα της καλλιέργειας και την προώθηση του επαγγέλματος (Καρατζόγλου, 2017).

Η εφαρμογή την Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) σήμερα, έχει ως στόχο (Καρατζόγλου, 2017):

- τη μεγιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής
- την εξασφάλιση ενός αξιοπρεπούς βιοτικού επιπέδου για τους εργαζόμενους στη γεωργία
- το συνεχή ανεφοδιασμό της αγοράς και την διασφάλιση προσιτών τιμών για τους αγοραστές και καταναλωτές

- τη σταθεροποίηση των αγορών των προϊόντων
- την προστασία του αγροτικού περιβάλλοντος και των υδατικών πόρων

ενώ παράλληλα, βασικές αρχές την Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) είναι (Πάππου Μαρία et al., 2016). :

- η ύπαρξη κοινής κατευθυντήριας γραμμής στην Ε.Ε. με την ίδια κοστολόγηση στα προϊόντα και ίδιες συνθήκες ανταγωνισμού
- η εξασφάλιση προβαδίσματος στην κοινοτική αγορά με σκοπό τη σταθερότητα στα εισοδήματα των εργαζομένων στη γεωργία
- οι δαπάνες της ΚΑΠ να ισοσταθμίζονται από τους πόρους της και όχι από το κάθε κράτος ξεχωριστά

2 Κεφάλαιο 2: Περιοχή Μελέτης

2.1 Γενικά στοιχεία

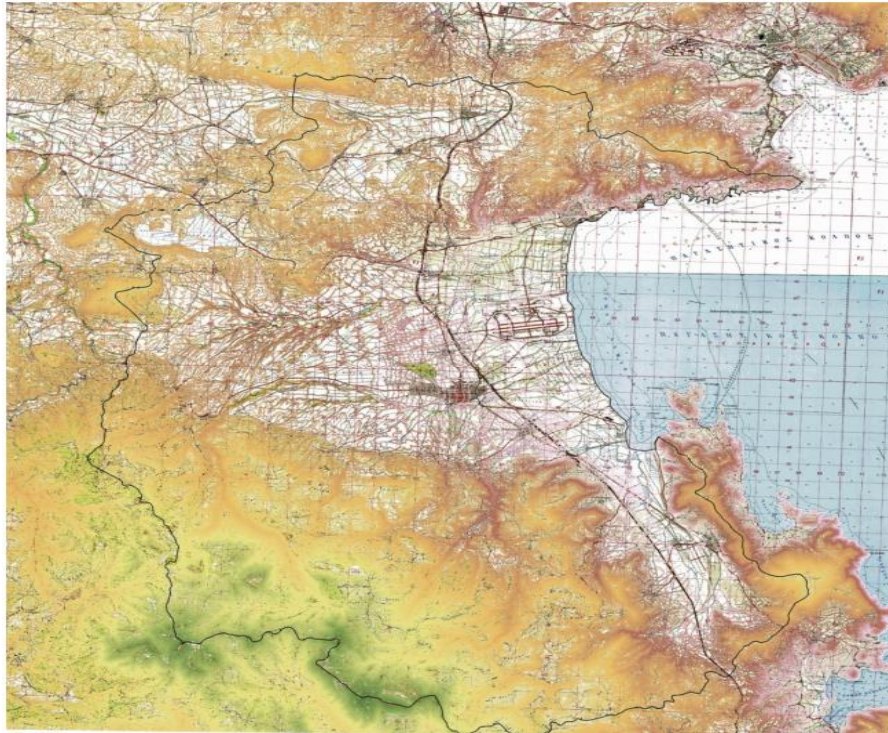
2.1.1 Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης

Η υδρολογική λεκάνη του Ξηριά είναι μια υπολεκάνη της συνολικής λεκάνης του Αλμυρού, της οποίας η έκταση καταλαμβάνει τρία δημοτικά διαμερίσματα της Μαγνησίας και ανήκει στην περιφέρεια Θεσσαλίας (Γαϊτανόπουλος, 2014)

Η Περιφέρεια Θεσσαλίας αποτελεί το 11% της έκτασης της Ελλάδας. Η Περιφέρεια Θεσσαλίας είναι όμορος με τη Μακεδονία στα βόρεια, την Ήπειρο στα δυτικά, τη Στερεά Ελλάδα στα νότια και περιβάλλεται από το Αιγαίο Πέλαγος στα ανατολικά. Επίσης, έχει στην έκτασή της το Θεσσαλικό κάμπο ο οποίος αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδιάδα της χώρας. Διαχίζεται από τον Πηνειό ποταμό και υψώνεται η μεγαλύτερη βουνοκορφή, ο Μύτικας (+2.917m) (Γαϊτανόπουλος, 2014)

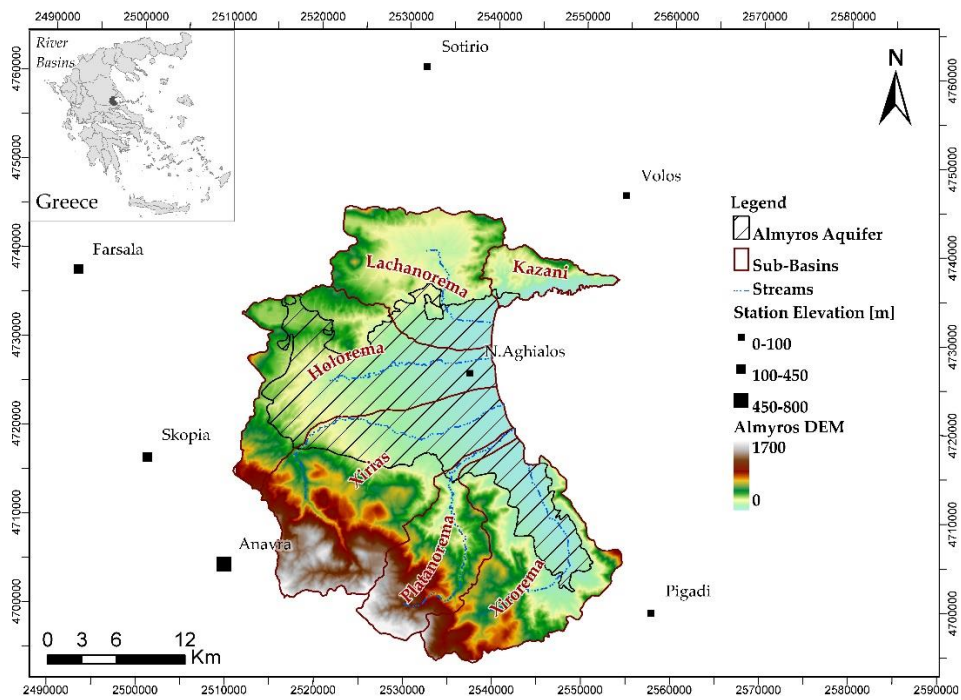
Στα νοτιοανατολικά της Θεσσαλίας βρίσκεται ο νομός Μαγνησίας, στον οποίο ανήκει και το υπό μελέτη έργο. Σε αυτόν υπόκεινται οι Σποράδες και το ηπειρωτικό τμήμα. Περιβάλλεται από το Αιγαίο στα ανατολικά, τον Παγασητικό κόλπο στα νοτιοανατολικά και γειτονεύει με το Νομό Λαρίσης στα βορειοδυτικά και το Νομό Φθιώτιδος στα νοτιοδυτικά (Γαϊτανόπουλος, 2014).

Η Δημοτική Ενότητα Αλμυρού ανήκει στα νοτιοδυτικά της Μαγνησίας και σε αυτήν βρίσκεται η περιοχή μελέτης. Στο βόρειο τμήμα της γειτονεύει με το Δήμο Νέας Αγχιάλου, Πολυδάμαντα και Φερών, με τη Δημοτική Ενότητα Ναρθακίου και τη Δημοτική Ενότητα Ανάβρας στο δυτικό τμήμα, με τη Δημοτική Ενότητα Εχιναίων στα νότια και με τον Παγασητικό Κόλπο στο βορειοανατολικό τμήμα. Η συνολική έκταση της λεκάνης Αλμυρού είναι περίπου 856 km² με περίμετρο 164,7km και μέσο υψόμετρο 374m. (Σχήμα 2.1) (Γεωργιάδου, 2015).



Σχήμα 2.1 Η υδρολογική λεκάνη Αλμυρού (Γεωργιάδου, 2015)

Ο Αλμυρός λόγω της ποικιλομορφίας του χωρίζεται σε έξι υδρολογικές υπολεκάνες των οποίων οι ονομασίες προέρχονται από την ονομασία των ρεμάτων που καταλήγουν στον Παγασητικό Κόλπο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Υπολεκάνες Αλμυρού (Lyra et al., 2021)

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι έξι υπολεκάνες καθώς και τα χαρακτηριστικά τους (περίμετρος, έκταση, υδρολογική τάξη).

Πίνακας 2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπολεκανών (Γαϊτανόπουλος, 2014)

Υπολεκάνη	Έκταση (km²)	Περίμετρος (km)	Υδρολογική τάξη
Καζάνι	35	33,4	4η
Λαχανόρεμα	107	54,4	6η
Χολόρεμα	209,5	79,5	5η
Ξηριάς	192	77	5η
Πλατανόρεμα	120	60	5η
Ξηρόρεμα	148,5	63,5	5η

Η υπολεκάνη του Ξηριά που αποτελεί και την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας βρίσκεται στο δήμο Αλμυρού και είναι η δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση υπολεκάνη. Βρίσκεται κεντρικά της περιοχής και εξαπλώνεται στα βόρεια του όρους Όρθρυς.

2.2 Κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον

2.2.1 Δημογραφική κατάσταση

Η υπό μελέτη περιοχή, στην οποία θα πραγματοποιηθεί το έργο, ανήκει την δημοτική κοινότητα Αλμυρού (Δήμος Αλμυρού) του Νομού Μαγνησίας.

Σύμφωνα με το Ν. 3852/2010 «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης - Πρόγραμμα Καλλικράτης» και την καταμέτρηση πληθυσμού της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής, ΕΛ. ΣΤΑΤ. το 2011, ο Δήμος Αλμυρού μετράται με 18.614 κατοίκους και εκτείνεται σε 909,79 km². Πιο συγκεκριμένα, χωρίζεται σε τέσσερις (4) Δημοτικές Ενότητες: Ανάβρας, Αλμυρού, Πτελεού και Σούρπης. Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στη Δημοτική Ενότητα Αλμυρού. Αυτή χωρίζεται σε έξι (6) Τοπικές Κοινότητες και δυο (2) Δημοτικές Κοινότητες. Το έργο βρίσκεται εντός των Δημοτικών Κοινοτήτων Αλμυρού και Ευξεινουπόλεως.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο Πίνακας 2.2 του καταγραφόμενου πληθυσμού ανά τοπική και δημοτική κοινότητα του Δήμου Αλμυρού σύμφωνα με την ΕΛ.ΣΤΑΤ το 2011.

Πίνακας 2.2 Καταγραφή πληθυσμού (ΕΛ.ΣΤΑΤ,2011)

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ/ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (2011)
Δ.Κ. Αλμυρού	8.220
Δ.Κ. Ευξεινουπόλεως	2.293
Τ.Κ. Ανθότοπου	159
Τ.Κ. Κοκκωτών	180
Τ.Κ. Κροκίου	860
Τ.Κ. Κωφών	196
Τ.Κ. Πλατάνου	684
Τ.Κ. Φυλακής	86
ΣΥΝΟΛΟ	12.678

2.2.2 Αρδεύσιμες εκτάσεις

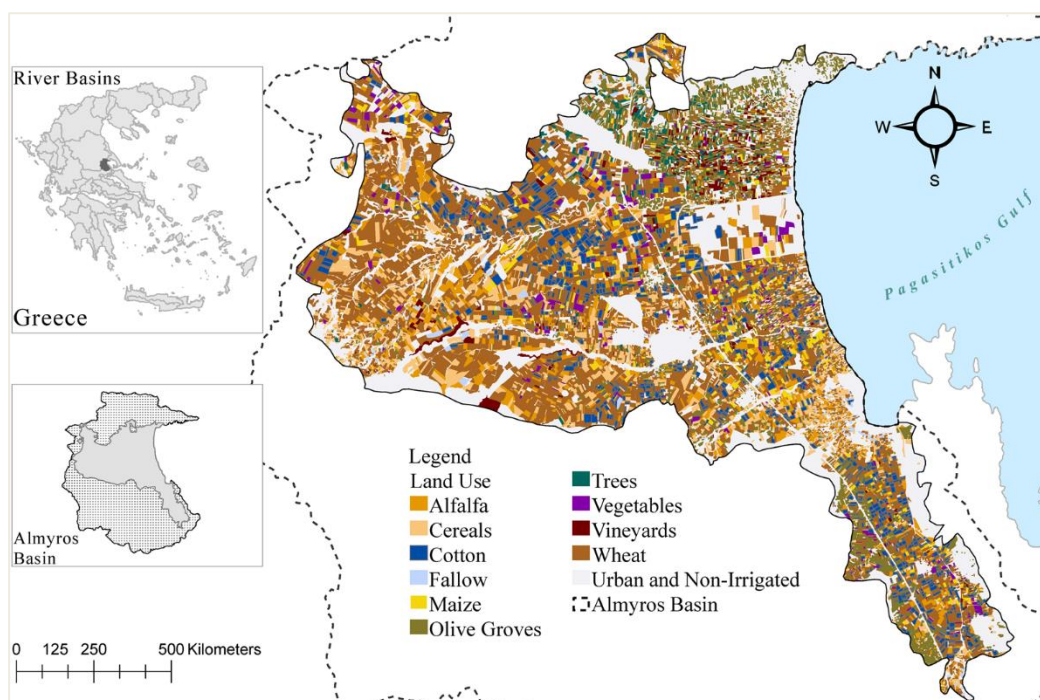
Η κύρια χρήση γης στη λεκάνη του Αλμυρού και, ειδικότερα, στην υπολεκάνη του Ξηριά είναι η αγροτική και σε μικρότερο βαθμό η αστική, υπεραστική και η ακαλλιέργητη γη. Συνεπώς, βασική πηγή της τοπικής οικονομίας αποτελεί η αγροτική απασχόληση. Η παρούσα εργασία διερευνά το αρδευτικό καθεστώς στην περιοχή μελέτης υπό το πρίσμα κατασκευής της λιμνοδεξαμενής

Η καλλιεργούμενη γη καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της υπολεκάνης. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα επικρατεί η φυσική βλάστηση (δάση και θαμνώδης γη). Οι περιοχές οι οποίες καλλιεργούνται με ένα συγκεκριμένο τύπο καλλιέργειας έχουν παραχωρηθεί από την Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.) και έχουν ομαδοποιηθεί σε εννέα (9) διαφορετικούς τύπους καλλιεργειών.

Η έκταση που καταλαμβάνει κάθε μια από τις εννέα (9) διαφορετικές καλλιέργειες μεταβάλλεται κάθε έτος από το 1992 έως το 2018. Οι καλλιέργειες και οι αντίστοιχες εκτάσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3. ενώ η χωρική κατανομή τους στο Σχήμα 2.3.

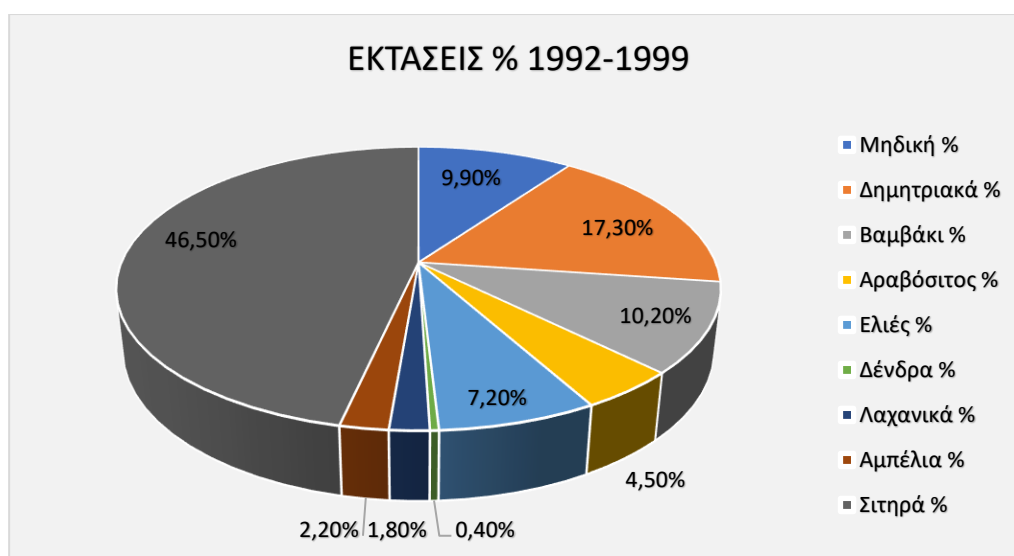
Πίνακας 2.3 Οι καλλιέργειες και οι αντίστοιχες εκτάσεις (m²) τους στην υπολεκάνη Ξηριά (Lyra et al, 2021)

ΕΤΟΣ	ΜΗΔΙΚΗ	ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	ΕΛΙΕΣ	ΔΕΝΤΡΑ	ΛΑΧΑΝΙΚΑ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΣΙΤΑΡΙ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ (m ²)
1991	5518956,6	9625409,8	5687742,9	2498210	4014543,9	249408,4	1018097	1218884,9	25896526,6	55727780,0
2000	5553329,6	9516205,4	5687388,3	2498210,1	3985360,6	247918,5	1017448,5	672946,1	25819466	54998273,2
2010	5567945,8	8648239,4	5687742,9	2498210,1	4014543,9	249408,4	1018097	1218884,9	25896526,3	54799598,6
2018	12672512,2	19093543,2	5208070	1310341,5	5336498,1	459214,6	3965827,9	1812325,4	6995657,2	56853990,2

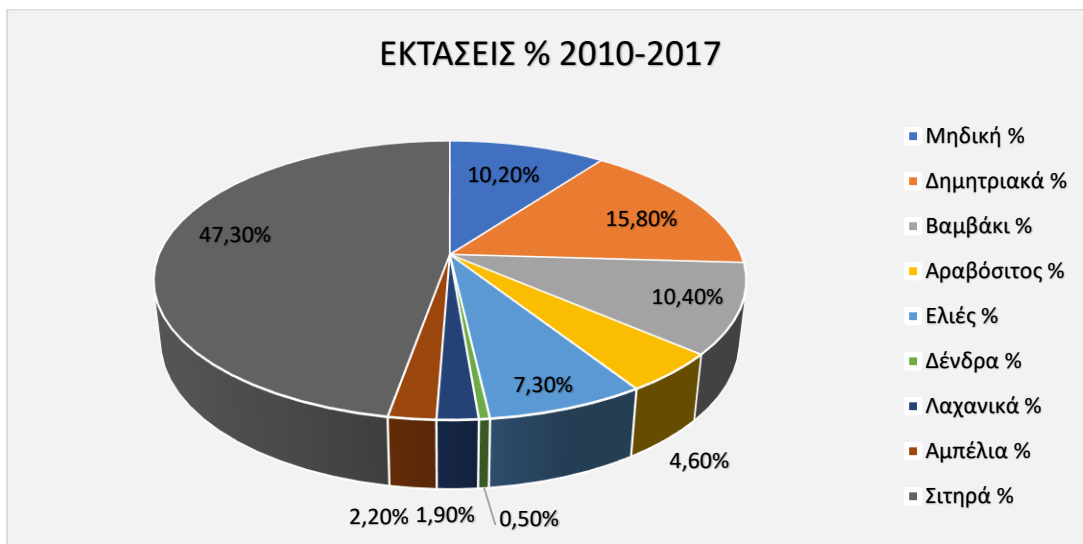


Σχήμα 2.3 Λεκάνη Αλμυρού και υδροφόρο σύστημα και χωρική κατανομή των κύριων τύπων καλλιεργειας για το έτος 2010 (Lyra, Loukas and Sidiropoulos, *An Integrated Modeling System for the Evaluation of Water Resources in Coastal Agricultural Watersheds: Application in Almyros Basin, Thessaly, Greece*)

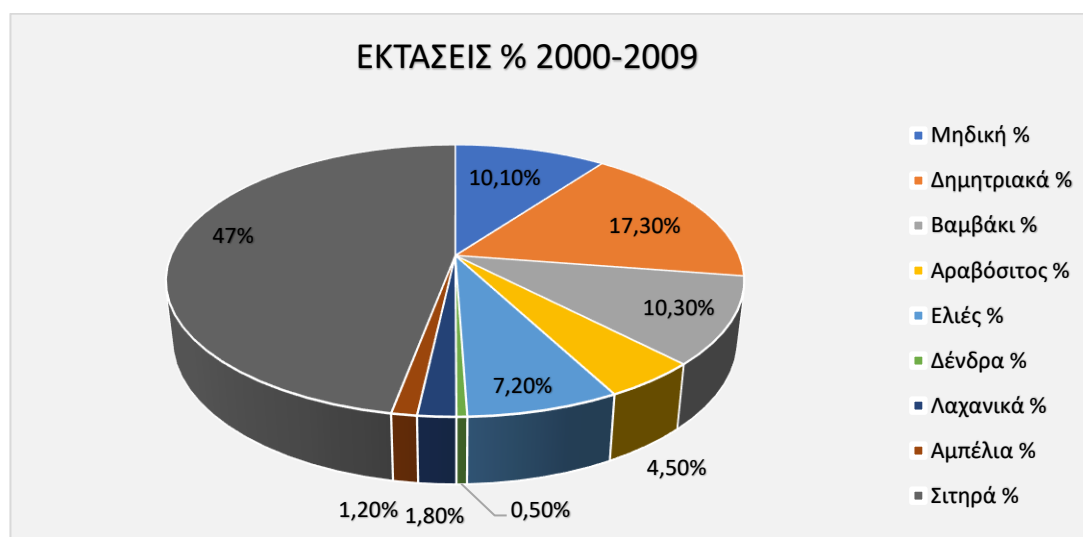
Στα Σχήματα 2.4, 2.5, 2.6 και 2.7 εμφανίζεται οι ποσοστιαία κατανομή των εκτάσεων των καλλιεργειών στην υπολεκάνη του Ξηριά τη χρονική περίοδο 1992 έως 2018 ύστερα από κατάλληλη επεργασία.



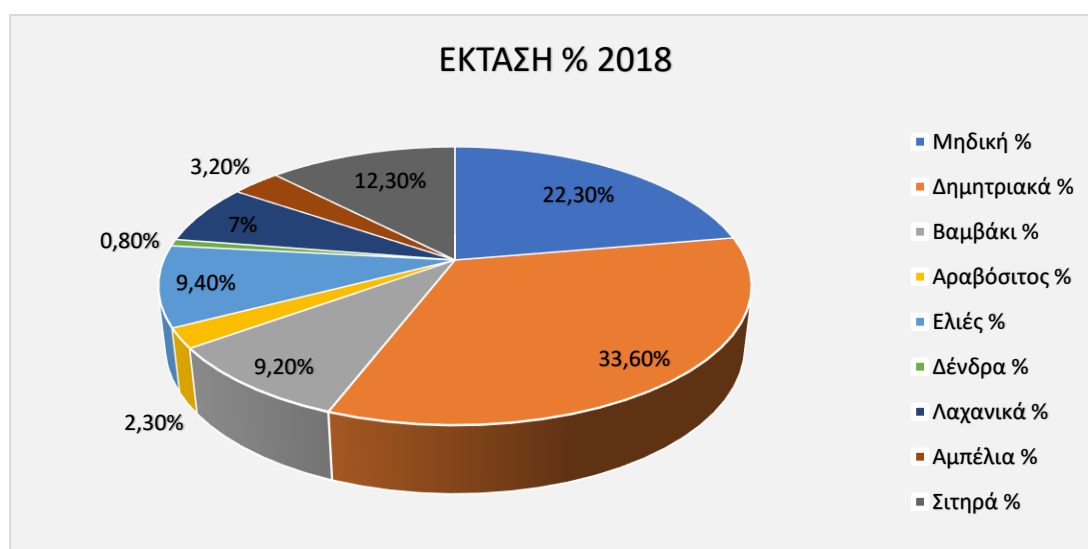
Σχήμα 2.4 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 1992-1999



Σχήμα 2.5 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2000-2009



Σχήμα 2.6 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2010-2017



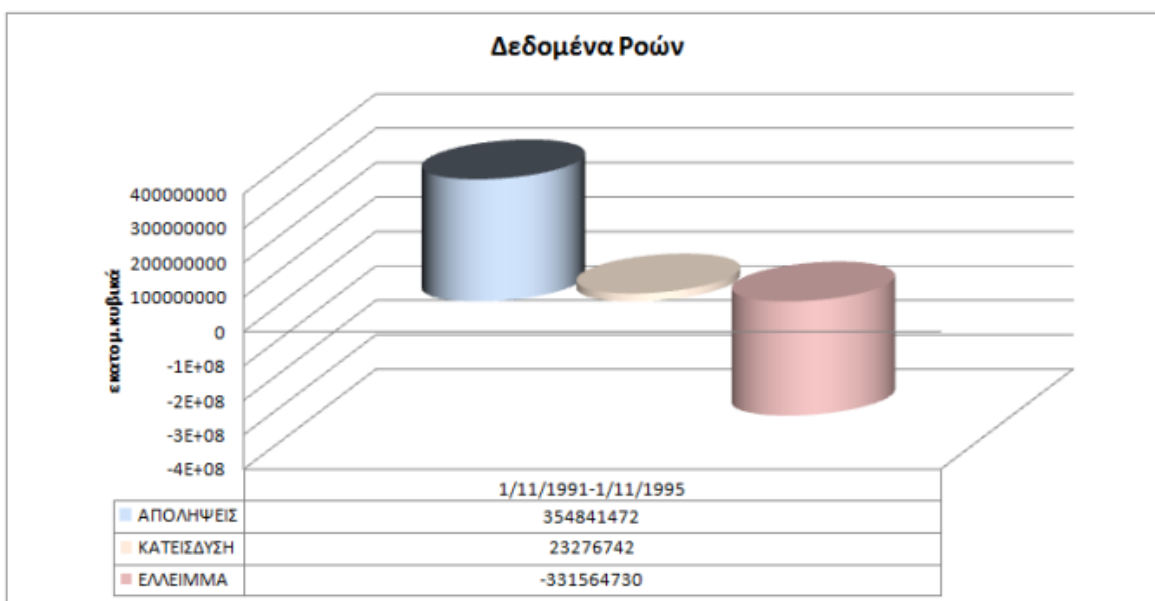
Σχήμα 2.7 Ποσοστιαία κατανομή εκτάσεων για τη χρονική περίοδο 2018

2.3 Υδατικό ισοζύγιο

Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα τροφοδοσίας νερού στις αρδευόμενες περιοχές καθώς και κύρια αιτία ελαχιστοποίησης της ποσότητας και ποιότητας των υδάτων στα υπόγεια συστήματα είναι οι πρακτικές άρδευσης και λίπανσης σε ημίξηρες περιοχές (Fernández García κ.α.2020; Lyra κ.α. 2021). Σε παράκτια συστήματα ύδρευσης, η υπεράντληση νερού, η απουσία υποδομής δεξαμενών για τα επιφανειακά ύδατα και η υπερβολική χρήση αζώτου για την ταχεία ανάπτυξη των καλλιεργειών προκαλούν συνήθως την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα που χαρακτηρίζεται από φτωχή ποσότητα και ποιότητα, τη ρύπανση από νιτρικά και την εισροή θαλασσινού νερού (Lyra κ.α., 2021).

Σύμφωνα, λοιπόν, με το Ελληνικό Υπουργείο Περιβάλλοντος πολλές παράκτιες περιοχές παρουσιάζουν ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα, μόλυνση με χλωριόντα και νιτρικά άλατα και διείσδυση θαλασσινού νερού στα υπόγεια ύδατα. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων βρίσκονται στη Μακεδονία (λεκάνη ποταμού Αξιού, λεκάνη ποταμού Γάλικου), στη Χαλκιδική (λεκάνη απορροής Μουδανίων, λεκάνη ποταμού Χαβριά), στη Κεντρική Ελλάδα (λεκάνη απορροής Σπερχειού, λεκάνη ποταμού Βοιωτικού Κηφισού), στην Πελοπόννησο (Πεδιάδα Άργους, λεκάνη ποταμού Πηνειού), στα ελληνικά νησιά (Κρήτη) και στη Θεσσαλία στη λεκάνη του Αλμυρού στην οποία βρίσκεται και η υπό μελέτη περιοχή (Lyra κ.α., 2021).

Στην υπολεκάνη του Ξηριά εντοπίζεται ποσοτική πτώση στάθμης και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων με διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο. Αυτό οφείλεται στη εντατική γεωργική δραστηριότητα που συμβαίνει στην περιοχή καθώς και από τον κορεσμό γεωτρήσεων υπόγειου νερού το οποίο επιβεβαιώνεται από την υποβάθμιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Σύμφωνα με τη μεταπτυχιακή διατριβή της Γεωργιάδου (2015), το υδατικό ισοζύγιο της υπολεκάνης Ξηριά στην υφιστάμενη κατάσταση είναι ελλειμματικό και οι καλλιέργειες δεν παίρνουν όλα τα απαραίτητα συστατικά για την επιβίωσή τους, αφού υπάρχει έλλειψη ανανεώσιμων υδατικών πόρων. (Σχήμα 2.8)



Σχήμα 2.8 Εισροές, εκροές, έλλειμμα του υδροφορέα-Υδατικό ισοζύγιο (Γεωργιάδου,2015)

Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην υπολεκάνη του Ξηριά αρδεύονται πλήρως από γεωτρήσεις στα υπόγεια ύδατα. Η υδροδότηση στα αστικά κέντρα γίνεται επίσης από γεωτρήσεις των υπόγειων υδάτων. Ωστόσο, ο όγκος παροχής νερού στην πόλη δεν είναι τόσο μεγάλος όσο στις καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα, η μέση ετήσια παροχή νερού στη γεωργία είναι $29,7 \text{ hm}^3$ ενώ στην αστική χρήση $1,8 \text{ hm}^3$ (Lyra κ.α., 2015).

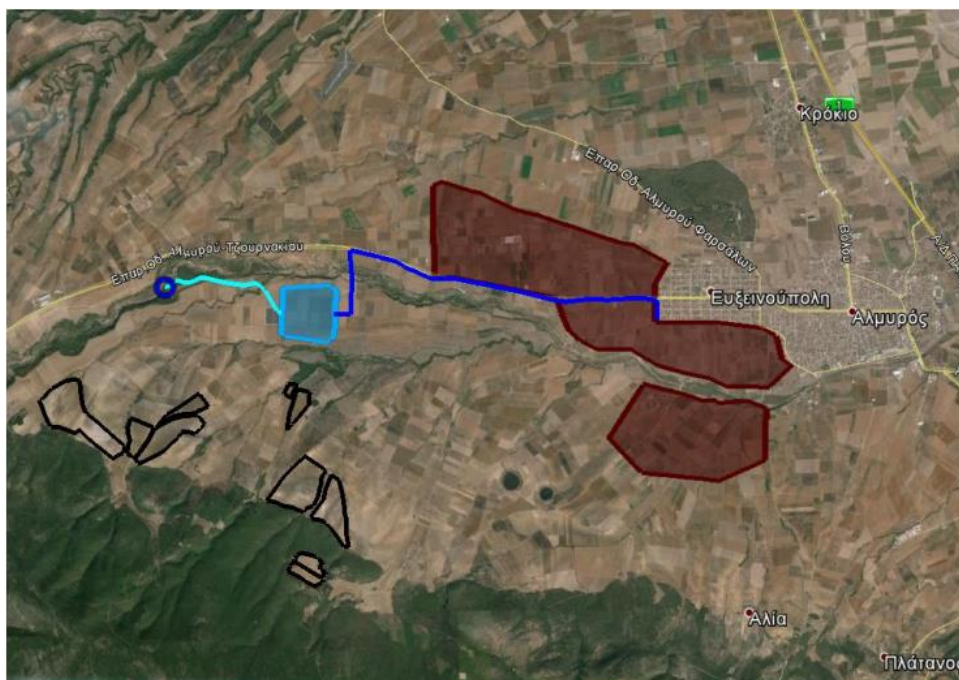
Ο όγκος παροχής αγροτικού νερού εξαρτάται από τις υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών στην υπολεκάνη του Ξηριά. Πάνω από τα $2/3$ της περιοχής είναι μόνιμες αγροτικές εκτάσεις που αρδεύονται από γεωτρήσεις με ιδιωτικά πηγάδια. Ο αριθμός των πηγαδιών έχει εκτιμηθεί περίπου στα 2044 πηγάδια σε όλη τη λεκάνη του Αλμυρού. Η αύξηση της απαίτησης νερού στα αστικά κέντρα τους καλοκαιρινούς μήνες ικανοποιείται από αντλήσεις υπόγειων υδάτων από γειτονικά υδατικά συστήματα που δεν επηρεάζουν το υδροφόρο σύστημα του Αλμυρού και από δεξαμενές νερού που διατηρούν πλεόνασμα της υπόγειας άντλησης σε περιόδους χαμηλής κατανάλωσης (Lyra κ.α.,2015).

Στην περίπτωση συνεχόμενου ελλείμματος και υποβάθμισης της ποσότητας και ποιότητας των υδάτων υπάρχει κίνδυνος εξαφάνισης των υδατικών πόρων και κατ' επέκταση μη βιωσιμότητας της γεωργίας.

2.4 Βασικά στοιχεία για την αντιμετώπιση του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου

2.4.1 Η Λιμνοδεξαμενή

Η λιμνοδεξαμενή στην υπολεκάνη του Ξηριά Αλμυρού θα κατασκευαστεί με στόχο την κάλυψη της ζήτησης των αρδευόμενων καλλιεργειών στην περιοχή από τη συλλογή των απορροών του χειμάρρου Ξηριά καθώς και την ανάταση του υπόγειου υδροφορέα σε μακροχρόνιο ορίζοντα, ο οποίος υποβαθμίζεται συνεχώς λόγω της υπερεκμετάλλευσης που υπόκειται από την εντατική γεωργική δραστηριότητα. Παρ'όλο που το έργο δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα και είναι υπό κατασκευή, η προτεινόμενη και τελική τοποθεσία του είναι πλησίον των πόλεων της Ευξεινούπολης και του Αλμυρού όπως και φαίνεται στο Σχήμα 2.9.



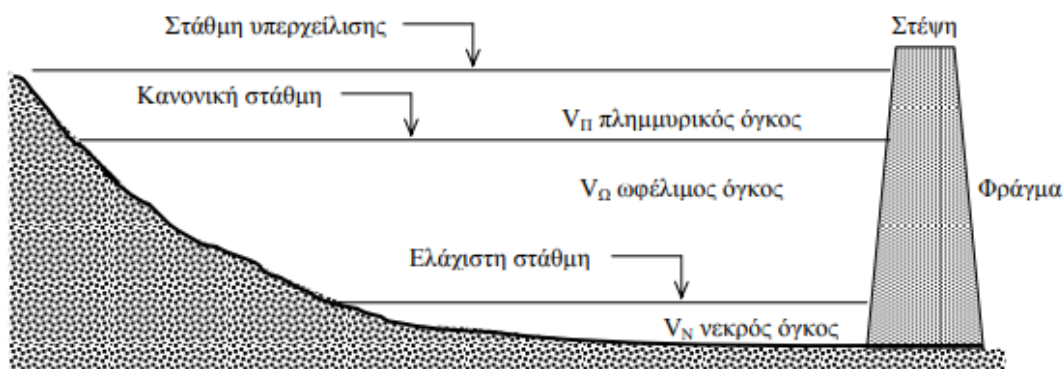
Σχήμα 2.9 Τοποθεσία της υδροληψίας και της λιμνοδεξαμενής. Φαίνονται σκιασμένες και οι αρδευόμενες εκτάσεις (ΜΠΕ, 2015)

Η λιμνοδεξαμενή προβλέπεται να αρδεύει περίπου 6.400 στρέμματα έκτασης με συνολικές ετήσιες απαιτήσεις σε νερό $3,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ (ΜΠΕ, 2015). Ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείται κυρίως για τις καλλιέργειες είναι ο καταιονισμός και η στάγδην άρδευση.

Η λιμνοδεξαμενή έχει σχήμα ισοσκελούς τραπεζίου με 640 m και 600m βάσεις μήκους και 620m σκέλη μήκους. Η κλίση στην περιοχή αυτή είναι 4%. Η διαφορά ύψους

μεταξύ του υψηλότερου σημείου του τεχνητού τοιχώματος της λιμνοδεξαμενής και του εδάφους είναι 17,75m. Μια μεμβράνη θα στεγανώσει την επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής. Ο συνολικός αποθηκευτικός χώρος (μικτός όγκος) της θα είναι $3.824.000\text{m}^3$ και η Ανώτατη Στάθμη Ύδατος θα βρίσκεται σε υψόμετρο +177m αφήνοντας, δηλαδή, 1,00m περιθώριο από τη στέψη του αναχώματος (+178m). Η υπερχειλίση της λιμνοδεξαμενής γίνεται σε υψόμετρο +177,25m, 0,75m χαμηλότερα της στέψης αναχώματος, δεδομένου ότι η Ανώτατη Στάθμη Ύδατος είναι 1,00m (ΜΠΕ, 2015).

Η υδροληψία, η οποία καθορίζει την ελάχιστη στάθμη, θα συμβαίνει στο χαμηλότερο σημείο της λιμνοδεξαμενής. Από τον ίδιο αγωγό θα γίνεται και η εκκένωση. Έτσι, ο νεκρός όγκος της λιμνοδεξαμενής, στον οποίο αποθηκεύονται τα φερτά υλικά, είναι μηδενικός. Ο ωφέλιμος όγκος, ο οποίος ορίζεται ανάμεσα στην ελάχιστη στάθμη και τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας, ισούται με τη χωρητικότητα της λιμνοδεξαμενής και το υψόμετρο του ύψους υπερχειλίσης είναι 1,00m ψηλότερα από το υψόμετρο της μέγιστης στάθμης λειτουργίας (Σχήμα 2.10).



Σχήμα 2.10 Όγκοι και στάθμες λιμνοδεξαμενής (Λουκάς and Βασιλειάδης, 2002)

2.4.2 Μοντέλο Επιφανειακής Υδρολογίας UTHBAL, Οικολογική Παροχή & Παροχή Λιμνοδεξαμενής

Το UTHBAL είναι ένα μοντέλο επιφανειακής υδρολογίας που μπορεί να προσομοιώσει την επιφανειακή απορροή και την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων, που αναπτύχθηκε από τους Loukas et al. (2007). Το UTHBAL χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου μηνιαίες χρονικές σειρές βροχόπτωσης, μέσης θερμοκρασίας και πιθανής εξατμισοδιαπνοής. Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου διαχωρίζει τη συνολική βροχόπτωση σε βροχοπτώσεις και χιονόπτωση και υπολογίζει το χιόνι και το λιώσιμό του. Το μοντέλο διαιρεί τη συνολική απορροή σε τρία συστατικά: την επιφανειακή απορροή, τη διαρροή και την απορροή βάσης χρησιμοποιώντας μηχανισμό υγρασίας εδάφους. Η πρώτη

προτεραιότητα του μοντέλου είναι να εκπληρώσει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η απόδοση του μοντέλου είναι λεκάνη απορροής, πραγματική εξατμισοδιαπνοή, επαναφόρτιση υπόγειων υδάτων και υγρασία του εδάφους. Το μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί ως ένα ημικαταναμημένο και πλήρως καταναμημένο μοντέλο ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα. Το μοντέλο περιέχει έξι παραμέτρους που υπολογίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης, με βάση τις μηνιαίες παρατηρήσεις επιφανειακής απορροής. Αυτά είναι: η παράμετρος του μηνιαίου συντελεστή ρυθμού τήξης, C_m , ο συντελεστής της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, α , ο συντελεστής της αλληλεπίδρασης β , ο συντελεστής της βασικής ροής, γ , ο συντελεστής επαναφόρτισης των υπόγειων υδάτων, K , και ο curve number (CN)(USDA). Στη μελέτη της Λεκάνης Αλμυρού και της υπολεκάνης Ξηριά, το μοντέλο επιφανειακής υδρολογίας (UTHBAL) έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της μηνιαίας επιφανειακής απορροής (Lyra et al.,2021). Το μοντέλο UTHBAL έχει εφαρμοστεί ως ένα ημικαταναμημένο μοντέλο που προσομοιώνει τις επιφανειακές υδρολογικές διεργασίες των έξι υπο-λεκανών της λεκάνης απορροής Αλμυρού από τον Οκτώβριο του 1991 έως τον Σεπτέμβριο του 2018. Για την εκτίμηση των τοπικών βροχοπτώσεων, η μέθοδος κλίσης τροποποιήθηκε με τη μέθοδο Thiessen. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν στη διαδικασία είναι: Πολλαπλασιασμός της χρονικής σειράς βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό με την αντίστοιχη αναλογία πολυγώνου Thiessen μιας υπο-λεκάνης. Η τοπική κατακρήμνιση του Thiessen, PTH, θεωρείται στο μέσο υψόμετρο της υπολεκάνης. Η διόρθωση της εκτίμησης της μέσης τοπικής κατακρήμνισης πραγματοποιείται με τη μηνιαία βαθμίδα κατακρήμνισης ολόκληρης της λεκάνης(Lyra et al.,2021). Η μείωση του μέσου υψόμετρου της υπολεκάνης, Y_b , από το υψόμετρο κάθε σταθμού, Y_{st} , ισούται με τη διαφορά τους, D_h :

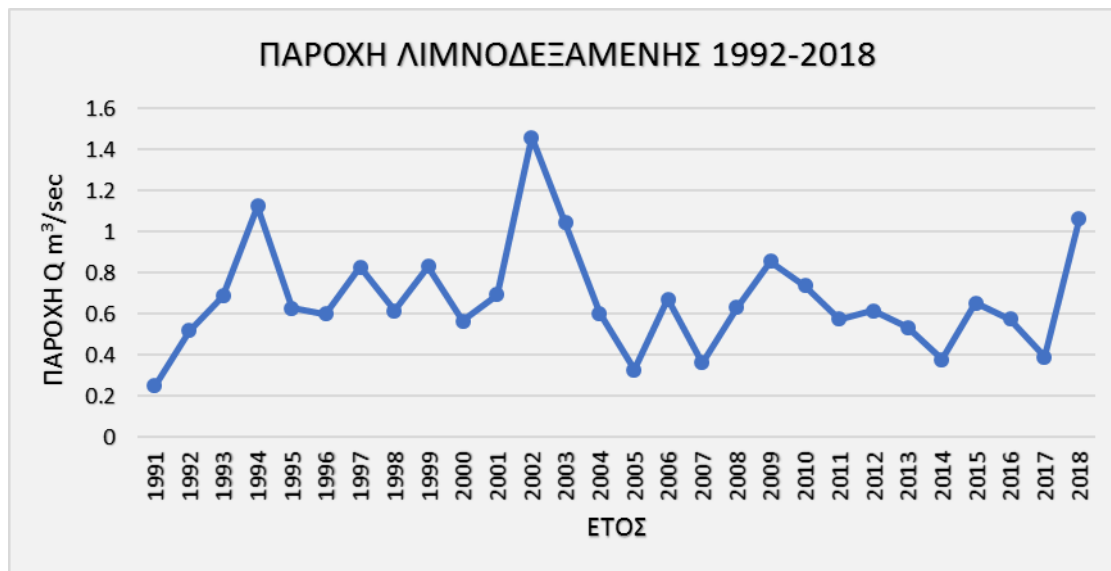
$$dh = \Sigma(Y_b - Y_{st}) [m] \quad (2.1)$$

Η διορθωμένη τοπική κατακρήμνιση, P_b , που αποδίδεται στο μέσο υψόμετρο κάθε υπολεκάνης δίδεται από την εξίσωση:

$$P_b = P_{th} + \beta \cdot (Y_b - Y_{st}) [mm] \quad (2.2)$$

Η εκτίμηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας υπολογίστηκε με τη μέθοδο κλίσης και η πιθανή εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thornthwaite. Το μοντέλο UTHBAL έχει εφαρμοστεί με επιτυχία, βαθμονομημένο και επικυρωμένο σε διάφορες μεσογειακές περιοχές, όπως η Κρήτη, η Κύπρος, ο Νέστος / η λεκάνη της Θεσσαλίας, η Θεσσαλία αλλά και στις γειτονικές περιοχές της λεκάνης του ποταμού Πηνειού και της λεκάνης Κάρλα (Lyra et al.,2021).

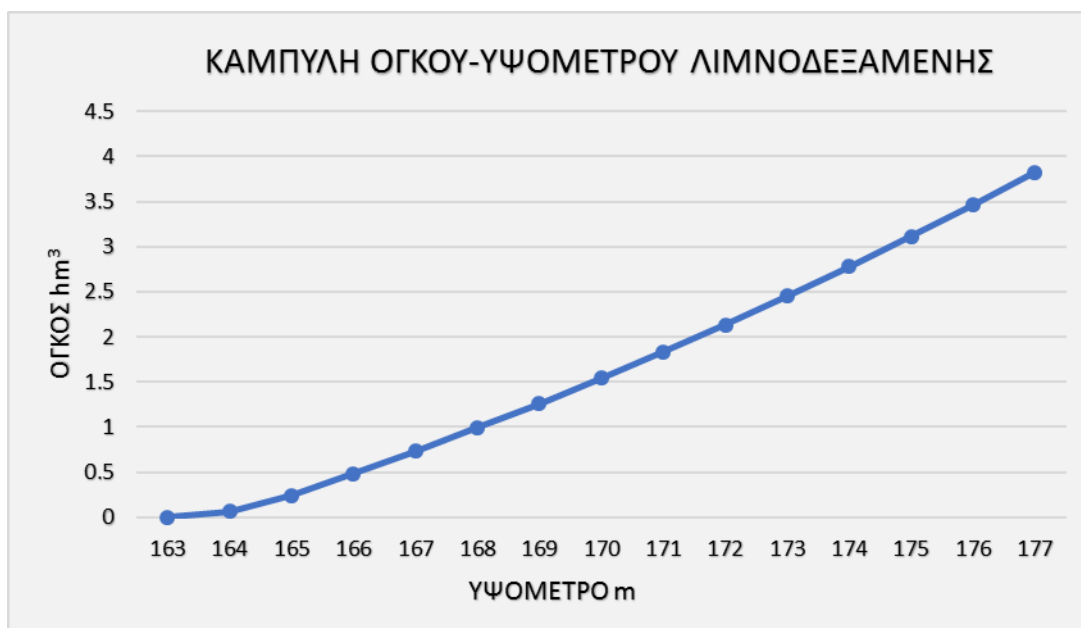
Ο όγκος νερού προς απόληψη από το ρέμα του Ξηριά αρκεί για την ικανοποίηση του όγκου της λιμνοδεξαμενής. Σύμφωνα με τη Lyra et al. (2021) και ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, η μέση ετήσια παροχή της λιμνοδεξαμενής φαίνεται στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11 Μέση ετήσια παροχή λιμνοδεξαμενής Ξηριά από 1992 έως 2018

Σχετικά με την οικολογική παροχή, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου θα εξασφαλίζεται οικολογική παροχή ίση με το 10% της απορροής του χειμάρρου Ξηριά (ΜΠΕ, 2015). Η μέση τιμή οικολογικής παροχής για τα έτη 1992-2018 ανέρχεται στα 0,076 m³/sec.

Είναι σημαντικό, για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής, να υπολογιστεί και να σχεδιαστεί η καμπύλη χωρητικότητας-υψομέτρου. Επιπλέον, αποτελεί δεδομένο εισόδου του λογισμικού WEAP. Η καμπύλη χωρητικότητας-υψομέτρου απεικονίζεται στο Σχήμα 2.12 (Lyra et al., 2021).



Σχήμα 2.12 Καμπύλη όγκου- υψομέτρου της λιμνοδεξαμενής Ξηριά

2.4.3 Υφιστάμενη κατάσταση περιβάλλοντος

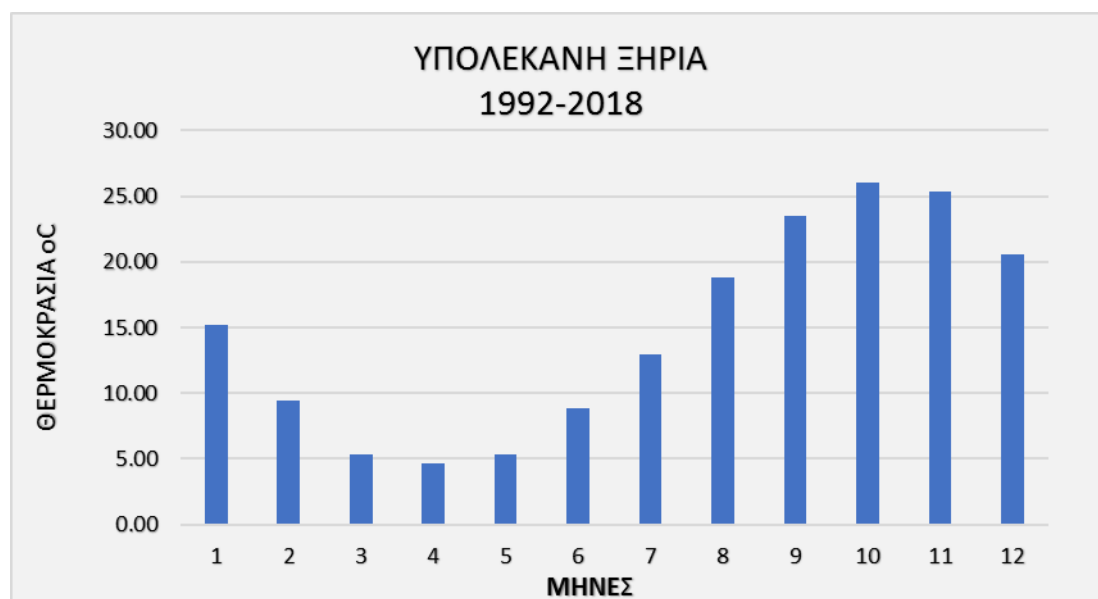
Σε αυτήν την υποενότητα καταγράφονται και αναλύονται οι παράμετροι του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης.

2.4.3.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Είναι γνωστό ότι η Ελλάδα ανήκει στις χώρες με εύκρατο Μεσογειακό κλίμα, δηλαδή βροχερούς χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια. Ειδικότερα, στις παράκτιες περιοχές, όπου υπάγεται και η υπολεκάνη του Ξηριά, παρατηρείται ξηρό προς ξηροθερμικό κλίμα με επιρροές από τη θάλασσα. Η θάλασσα στα ανατολικά επηρεάζει τις συνθήκες του ανέμου, της υγρασίας και της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η κατανομή των βροχοπτώσεων (Γεωργιάδου, 2015). Επομένως, είναι σημαντικό να αναφέρουμε την κατανομή της θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων για την περιοχή μελέτης.

Τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που συλλέχθηκαν για τα έτη 1992 έως 2018 και προέρχονται από τη διδακτορική διατριβή της Λύρα,Α. (σε εκπόνηση) και παρατηρήθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Νέας Αγχιάλου, ο οποίος είναι ο κοντινότερος σταθμός στην περιοχή μελέτης σε υψομετρική θέση +15m, αλλά και γειτονικούς μετεωρολογικούς σταθμούς στη Λεκάνη Αλμυρού.

Μετά από την αναγωγή των θερμοκρασιακών παρατηρήσεων από το μετεωρολογικό σταθμό στην υπολεκάνη του Ξηριά με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας και σύμφωνα με τη Lyra et al. (2021), προκύπτουν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (Σχήμα 2.13) για την υπολεκάνη του Ξηριά. Φαίνεται ότι η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι 14,69 °C και γίνεται η ελάχιστη μηνιαία τιμή το μήνα Ιανουάριο με 4,61 °C και μέγιστη Ιούλιο με 26,04 °C.



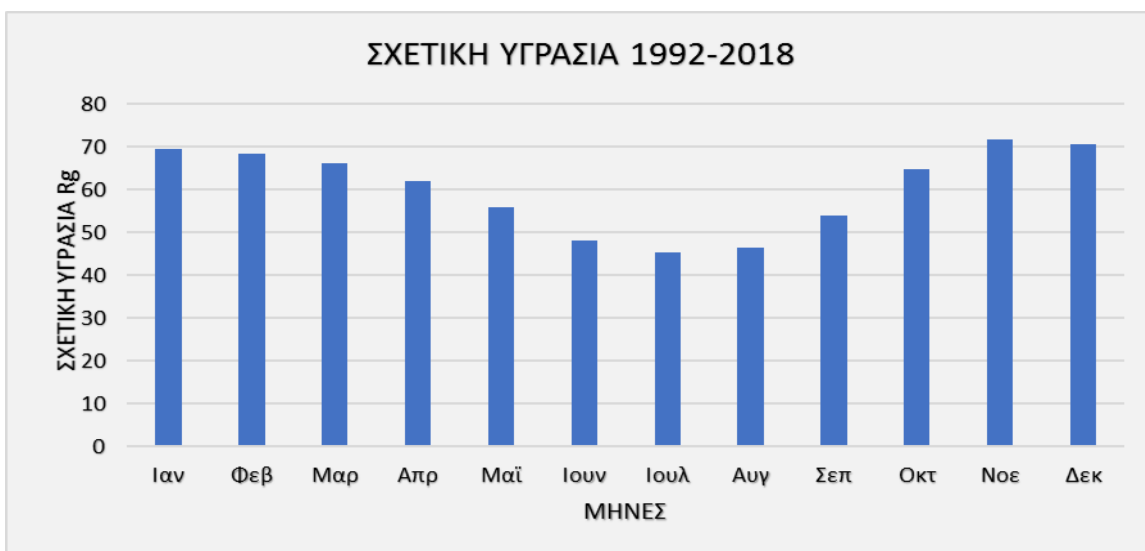
Σχήμα 2.13 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για την υπολεκάνη Ξηριά από Οκτώβριο 1991 έως Σεπτέμβριο 2018 (Lyra et al., 2021)

Ομοίως για τη βροχόπτωση, τα δεδομένα ύψη βροχής παρατηρήθηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της Νέας Αγκιάλου. Με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας και σύμφωνα με Lyra κ.α. (2021), έγινε αναγωγή των θερμοκρασιών του σταθμού στην υπολεκάνη του Ξηριά για τη χρονολογική περίοδο 1992 έως 2018. Στο Σχήμα 2.17 φαίνεται ότι ο μέσος υπερετήσιος υετός είναι 576,78 mm, με την ελάχιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση να παρατηρείται το μήνα Αύγουστο της τάξεως των 21,7 mm και τη μέγιστη 76,45 mm, η οποία παρατηρείται τον Δεκέμβριο αντίστοιχα.

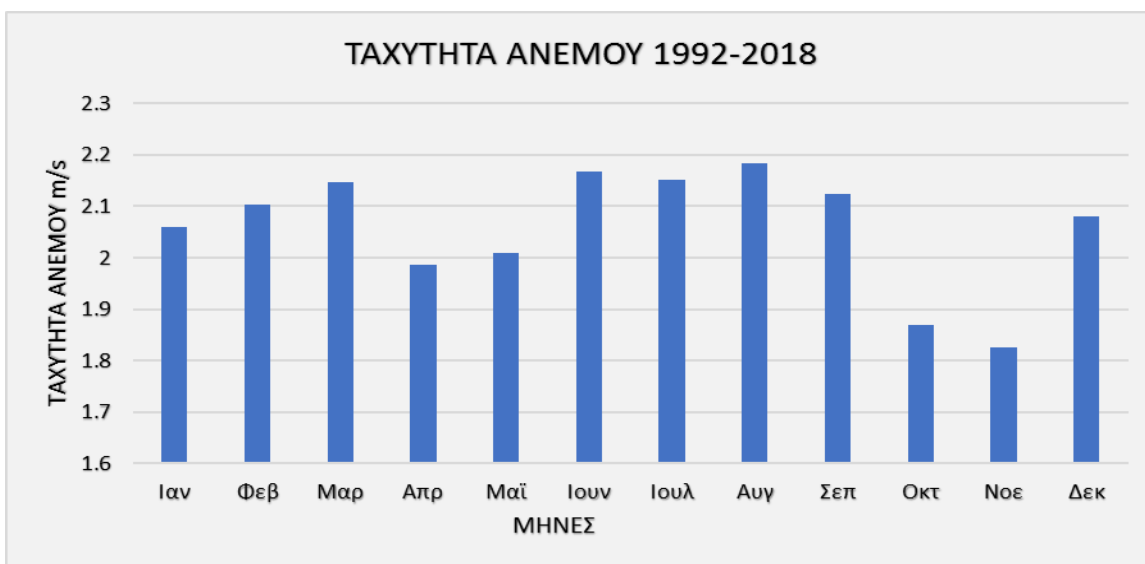


Σχήμα 2.14 Μέσα μηνιαία ύψη βροχής για την υπολεκάνη Ξηριά από Σεπτέμβριο 1992 έως Οκτώβριο 2018

Σύμφωνα με Lyra κ.α. (2021), η μέση μηνιαία σχετική υγρασία και η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζονται στα Σχήμα 2.19 και Σχήμα 2.20 αντίστοιχα. Η ελάχιστη σχετική υγρασία παρατηρείται το μήνα Ιούλιο με τιμή 45,3% και η μέγιστη το Νοέμβριο με 71,70%. Η ελάχιστη μέση ταχύτητα του ανέμου εμφανίζεται το μήνα Νοέμβριο με τιμή 1,82 m/s και η μέγιστη τον Αύγουστο με τιμή 2,18 m/s.

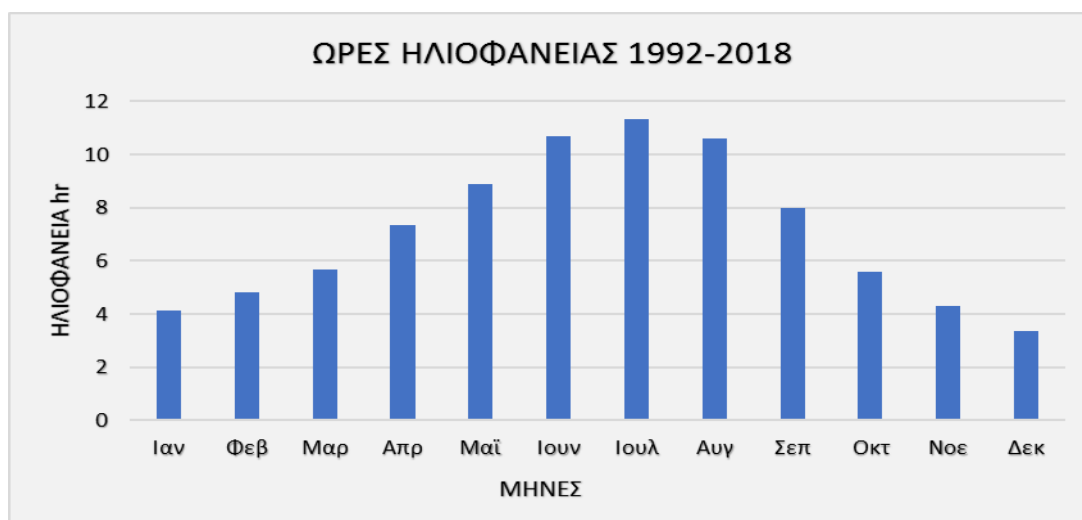


Σχήμα 2.15 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία από 1992 έως 2018 (Lyra et al, 2021)



Σχήμα 2.16 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για 1992 έως 2018 (Lyra et al., 2021)

Τέλος, για την ολοκλήρωση των κλιματικών χαρακτηριστικών αξίζει να αναφερθούν οι μέσες μηνιαίες ώρες ηλιοφάνειας για τα έτη 1992 έως 2018. Αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 2.21 (Lyra κ.α.,2021). Φαίνεται ότι η ελάχιστη τιμή ηλιοφάνειας εμφανίζεται τον Δεκέμβριο με τιμή 3,37 ώρες και η μέγιστη τον Ιούλιο με τιμή 11,32 ώρες.



Σχήμα 2.17 Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια για 1992 έως 2018 (Lyra et al., 2021)

2.4.3.2 Φυσικό περιβάλλον

Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν τυχόν προστατευόμενες περιοχές γύρω από την ενδιαφερόμενη περιοχή. Η περιοχή μελέτης δεν αποτελεί περιοχή που προστατεύεται από το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000. Ωστόσο, στα βορειοανατολικά περίπου

4.300m μακριά βρίσκεται το "Κουρί Αλμυρού – Άγιος Σεραφείμ" και στα νότια στα 4.500m μακριά τα Όρος Όθρυς, βουνά Γκούρας και φαράγγι Παλαιοκερασιάς" τα οποία ανήλουν στις προστατευόμενες περιοχές (ΜΠΕ, 2015).

Σχετικά με τα καταφύγια, η ενδιαφερόμενη περιοχή δε βρίσκεται σε καταφύγιο άγριας ζωής. Παρ' όλα αυτά, εντός της λεκάνης του Αλμυρού βρίσκονται:

- "Χολόρεμα Κουρί Δ. Αλμυρού"
- "Ζερέλια Δ. Αλμυρού"
- "Π. Πλάτανος – Αμπέλια Κωφών"
- "Ανάβρα Κοινότητας Ανάβρας"

2.5 Ελλειμματική άρδευση και Κοινή Αγροτική Πολιτική

Είναι σημαντικό να γίνει μια εκτενέστερη αναφορά στην τεχνική της ελλειμματικής άρδευσης και του κανονισμού της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής καθώς βάσει αυτών έχουν καταστρωθεί τα διαχειριστικά σενάρια που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

2.5.1 Ελλειμματική άρδευση

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, η ελλειμματική άρδευση είναι μια τεχνική άρδευσης η οποία διαφέρει από τις υπόλοιπες τεχνικές. Οι απασχολούμενοι πρέπει να γνωρίζουν πόσο μπορεί να αντέξει μια καλλιέργεια σε ανεπάρκεια νερού, την αντίδρασή του σε αυτή και σε ποια στάδια και ταυτόχρονα να μην υπάρξει σημαντική μείωση στη συγκομιδή (FAO, 2002). Συνεπώς, με την πρακτική αυτή οι καλλιέργειες αρδεύονται μόνο στα στάδια στα οποία αναπτύσσονται και είναι απαραίτητο το νερό, ενώ στα άλλα στάδια αρδεύονται από ελάχιστα έως και καθόλου. Έτσι, η άρδευση που γίνεται δεν συμβαδίζει με τις απαιτήσεις σε νερό των καλλιεργειών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή να αυξάνεται ανά μία μονάδα του νερού που προστίθεται στην καλλιέργεια, το οποίο συμφέρει περισσότερο οικονομικά (English, 1990).

Όταν εφαρμόζεται η ελλειμματική άρδευση είναι πιθανό να χρειάζονται τροποποιήσεις στα αγροτεμάχια όπως μείωση στην ποσότητα των αρδευόμενων καλλιεργειών, λιγότερη λίπανση ή επιλογή ποικιλιών καλλιεργειών με μικρότερο στάδιο ανάπτυξης. Ύστερα από πειραματικές προσπάθειες συμπεραίνεται ότι οι καταλληλότερες

ποικιλίες καλλιεργειών είναι αυτές με μικρά στάδια ανάπτυξης και που θεωρούνται ανθεκτικές σε πολύ ξηρές περιόδους (Stewart and Musick, 1982).

Σύμφωνα με τους Lyra et al. (2021), στα πλαίσια κατάστροφης διαχειριστικών σεναρίων στη διατριβή, εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση σε όλες τις καλλιέργειες που αρδεύονται στην λεκάνη του Αλμυρού, μέρος των οποίων προβλέπεται να αρδευτεί και από την υπό μελέτη λιμνοδεξαμενή στην υπολεκάνη Ξηριά. Με βάση τη διατριβή, τα ύψη ελλειμματικής άρδευσης που εφαρμόστηκαν σε κάθε καλλιέργεια φαίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΕΛΛΕΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ (mm)	ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ (mm)
μηδική	804	893
δημητριακά	269	336
βαμβάκι	327	409
αραβόσιτος	350	389
ελιές	407	515
δένδρα	390	515
λαχανικά	244	271
αμπέλια	178	297
σιτάρι	269	336

Τα ίδια ύψη θα εφαρμοστούν και σε κάποια από τα διαχειριστικά σενάρια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Εν ολίγοις, οι συντελεστές ελλειμματικής άρδευσης που θα χρησιμοποιηθούν στις καλλιέργειες προκύπτουν σαν το πηλίκο της ελλειμματικής ως προς τη βασική άρδευση. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν φαίνονται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5 Συντελεστές ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΛΕΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
μηδική	0,9
δημητριακά	0,8
βαμβάκι	0,8
αραβόσιτος	0,9
ελιές	0,79
δένδρα	0,76
λαχανικά	0,9
αμπέλια	0,599
σιτάρι	0,8

2.5.2 Κοινή Αγροτική Πολιτική

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται χρήση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) και προσαρμόζεται στα πλαίσια της μελέτης με σκοπό την πιο ρεαλιστική απεικόνισή της και την καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων. Διερευνάται η εφαρμογή της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) με την υλοποίηση διάφορων εναλλακτικών διαχείρισης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών με γνώμονα την προστασία του αγροτικού περιβάλλοντος και των υδατικών πόρων. Οι δευτερεύουσες καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικές καλλιέργειες στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις είναι τα ψυχανθή, όσπρια, δένδρα, βιομηχανική τομάτα και η τακτική της αγρανάπαυσης καθώς είναι λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες και προτείνονται από την ΚΑΠ στους γεωργούς ως καλλιέργειες που μπορούν να τους παρέχουν συνδεδεμένες ενισχύσεις.

Οι κανονισμοί βάσει του Υ.Π.Α.Π.ΕΝ. που λαμβάνονται υπόψιν στα διαχειριστικά σενάρια της μελέτης είναι:

- Καλλιεργήσιμες εκτάσεις άνω των 100 στρεμμάτων πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον δύο (2) καλλιέργειες με ανώτατο όριο κάλυψης της κύριας καλλιέργειας το 75% της έκτασης
- Καλλιεργήσιμες εκτάσεις άνω των 300 στρεμμάτων πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον τρεις (3) καλλιέργειες με ανώτατο όριο κάλυψης της κύριας

καλλιέργειας το 75% της έκτασης και ελάχιστο όριο κάλυψης των υπόλοιπων καλλιεργειών το 5% της έκτασης

- Με τον όρο διαφορετική καλλιέργεια εννοούνται τα διαφορετικά είδη καλλιέργειας
- Υπάρχει δυνατότητα αλλαγής των αγροτεμαχίων ανά έτος
- Καλλιεργήσιμες εκτάσεις άνω των 150 στρεμμάτων πρέπει να διατηρούν ένα 5% ποσοστό της έκτασης ως οικολογική εστίαση, δηλαδή:
 - Ακαλλιέργητη γη
 - Όσπρια και ψυχανθή
 - Δένδρα σε σειρά ή σε ομάδες
 - Τάφροι
 - Ζώνες ανάσχεσης στα υδατορέματα
- Η πρακτική της αγρανάπαυσης θεωρείται είτε διαφορετική καλλιέργεια είτε περιοχή οικολογικής εστίασης

3 Κεφάλαιο 3: Διαχειριστικά σενάρια υδατικών πόρων

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα διαχειριστικά σενάρια για τη σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων της υπολεκάνης Ξηριά. Αναλύεται ο τρόπος που υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της υπολεκάνης κατά Thornthwaite, καθώς και οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών για κάθε διαχειριστικό υποσενάριο. Αναφέρονται, επιπλέον, στοιχεία για την αστική ύδρευση.

3.1 Υπολογισμός Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής

Στις αγροτικές λεκάνες απορροής υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού που εξατμίζεται από τα στομάτια των φυτών στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση αυτή μέσω του φυτού ονομάζεται διαπνοή. Σε συνδυασμό με την εξάτμιση του νερού από το έδαφος η συνολική αυτή διαδικασία ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή ΕΤ. Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ΕΤ₀ είναι οι απώλειες ύδατος από έδαφος που φυτοκαλύπτεται από μια καλλιέργεια αναφοράς (χορτοτάπητας ή μηδική) σε συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού (Αντωνόπουλος, 2015). Δυνητική εξατμισοδιαπνοή Ε_p χαρακτηρίζεται η εξατμισοδιαπνοή που γίνεται με μέγιστο ρυθμό από τη φυτοκάλυψη με επάρκεια νερού υπό συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Εναλλακτικά, με τον όρο δυνητική εξατμισοδιαπνοή αναφερόμαστε στην εξάτμιση από κάθε μεγάλη ομοιόμορφη επιφάνεια που είναι επαρκώς υγρή, έτσι ώστε ο αέρας που έρχεται σε επαφή μαζί της να είναι εντελώς κορεσμένος (Γεωργιάδου, 2015). Η εξατμισοδιαπνοή παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο υδατικό ισοζύγιο μιας αγροτικής περιοχής.

Ο όρος εξατμισοδιαπνοή εκφράστηκε από τον Thornthwaite (1948) και ουσιαστικά εισάγει τις απώλειες νερού σε μια φυτοκαλυμμένη περιοχή όταν υπάρχει επαρκές νερό. Ο Thornthwaite πρότεινε μια εμπειρική μέθοδο για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της απλοϊκότητάς της αφού απαιτεί ως δεδομένα μόνο τη μέση θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (Pelton et al., 1960).

Ωστόσο, η μέθοδος παρουσιάζει κάποια ελαττώματα αφού κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, όπου η ηλιακή ακτινοβολία παίρνει τη μέγιστη τιμή της, η

εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται και τους φθινοπωρινούς μήνες είναι εκτός φάσης. Επιπροσθέτως, η μέθοδος δεν ενδείκνυται για μικρά χρονικά διαστήματα μελέτης αφού τα δεδομένα μέσης θερμοκρασίας δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως και με ακρίβεια την ακτινοβολία που εισέρχεται (Γεωργιάδου, 2015).

3.1.1 Μέθοδος Thornthwaite

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για τον υπολογισμό της μηνιαίας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Thornthwaite και δίνεται από τη σχέση 3.1 (Yang et al., 2017):

$$E_p = 16 \cdot \left(\frac{I_1}{12}\right) \cdot \left(\frac{N}{30}\right) \cdot (10 \cdot T_a/I)^{a_1} \quad (3.1)$$

Όπου: T_a είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία υπολεκάνης του Ξηριά σε °C.

N οι ημέρες του μήνα

I_1 οι ώρες της ημέρας hr

a_1 είναι συντελεστής ο οποίος περιγράφεται από:

$$\alpha = 0,000000675I^3 - 0,000077I^2 + 0,01792I + 0,49239 \quad (3.2)$$

Όπου I είναι ο δείκτης θερμότητας και ισχύει:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5}\right)^{1,514} \quad (3.3)$$

Όπου T_n η θερμοκρασία κάθε μήνα.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής του κάθε τύπου καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της υπολεκάνης Ξηριά όπως αυτά υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της Λύρα, Α. και Lyra κ.ά.(2021).

- Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι ώρες της ημέρας I_1 για το γεωγραφικό πλάτος της υπολεκάνης του Ξηριά, το οποίο είναι $\varphi = 39,7$.

Πίνακας 3.1 Πραγματικές ώρες ημέρας για υπολεκάνη Ξηριά (1992-2018) (Lyra, 2021)

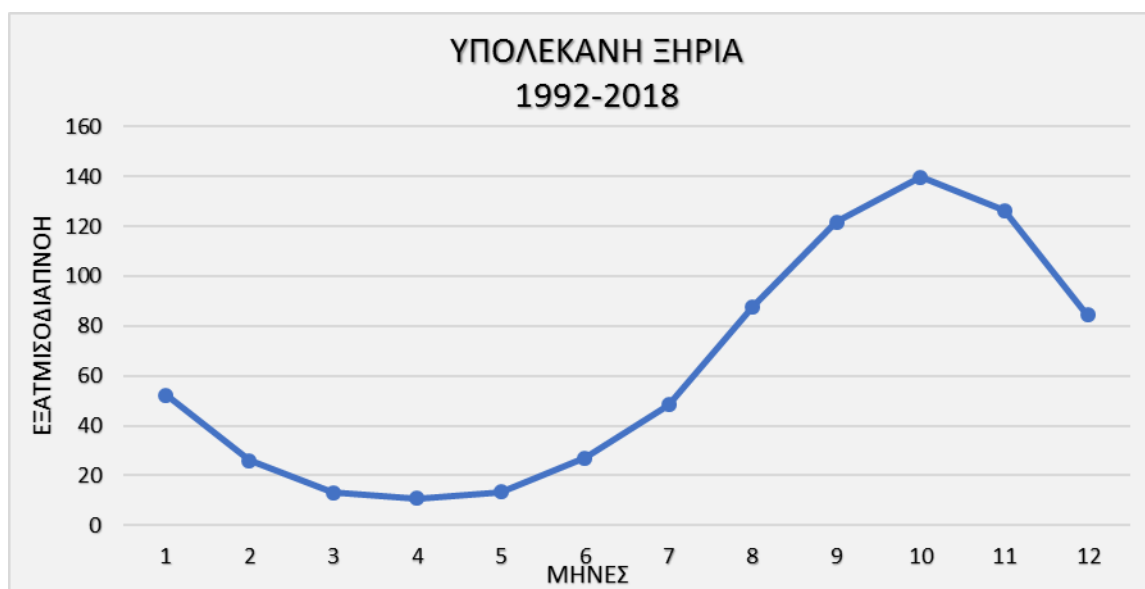
ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
5,59	4,29	3,37	4,14	4,81	5,66	7,34	8,86	10,69	11,32	10,58	7,97

- Η μέση θερμοκρασία T_a δίνεται από τον σχήμα 2.14
- Η θερμοκρασία T_h κάθε μήνα δίνεται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Μηνιαία θερμοκρασία T_h για υπολεκάνη Ξηριά (1992-2018) (Lyra κ.α., 2021)

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
15,23	9,44	5,39	4,61	5,38	8,87	12,97	18,82	23,52	26,04	25,39	20,62

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (Lyra, 2021) και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολεκάνης Ξηριά από 1992 έως 2018 (Lyra, 2021)

3.2 Εκτίμηση Υδατικών Αναγκών

Οι υδατικές ανάγκες σε μια περιοχή της ελληνικής επικράτειας αποτελούνται από τις γεωργικές, τις αστικές, τις βιομηχανικές, τις κτηνοτροφικές και τις τουριστικές ανάγκες. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι χρήσεις γης που κυριαρχούν στην περιοχή που μελετάται είναι η γεωργική και τα δάση (ΕΛΣΤΑΤ). Στη

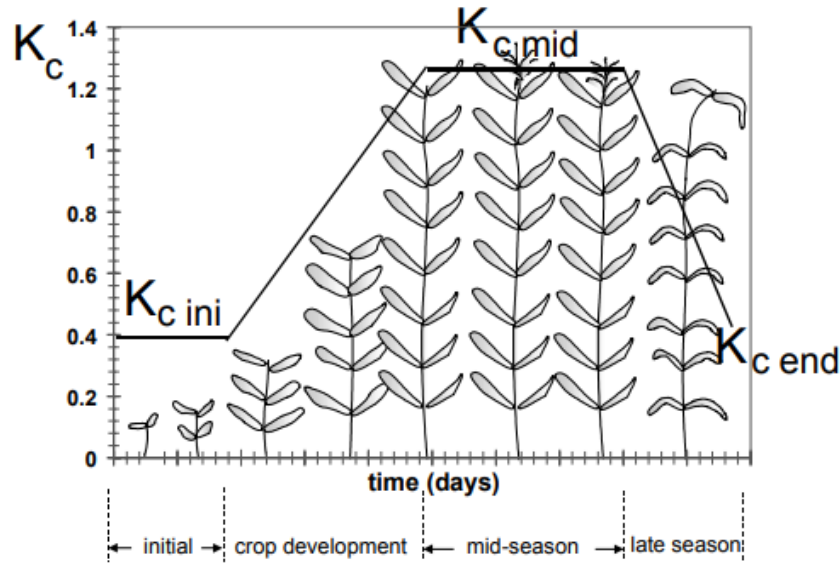
γεωργική χρήση γης περιλαμβάνονται οι μόνιμες καλλιέργειες, η αρόσιμη γη και οι βοσκότοποι (Γεωργιάδου, 2015).

Ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρεται το νερό στις εκτάσεις που αρδεύονται, ο τρόπος άρδευσης καθώς και το είδος των καλλιεργειών είναι οι παράγοντες με βάση τους οποίους υπολογίζονται οι αρδευτικές ανάγκες (Δερβίσης, 2010).

3.2.1 Γεωργικές υδατικές ανάγκες

Οι υδατικές ανάγκες προσδιορίστηκαν με το δείκτη Near Irrigation Requirement (NIR). Η βλαστική περίοδος της καλλιέργειας είναι η περίοδος από την σπορά μέχρι την καρποφορία και για καλλιέργειες μόνιμες (δενδρώδεις) από τη στιγμή ανάπτυξης των φυλλωμάτων μέχρι την καρποφορία. Κατά την περίοδο αυτή το νερό είναι απαραίτητο (Γεωργιάδου, 2015).

Ο συντελεστής K_c είναι μια μεταβλητή η οποία διαχωρίζει τα διάφορα είδη καλλιεργειών από την καλλιέργεια αναφοράς (μηδική). Το K_c εξαρτάται από την ποικιλία της καλλιέργειας, το στάδιο ανάπτυξης του φυτού και τις συνθήκες κλίματος. Ανάλογα με το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η ανάπτυξη της καλλιέργειας, ο συντελεστής παίρνει διαφορετική τιμή λόγω της μεταβλητότητας της εξάτμισης (Charagain and Orr 2009). Στην καλλιέργεια αναφοράς η μεταβλητή K_c ισούται με 1 (Δερβίσης, 2010). Στο σχήμα 3.2 φαίνονται τα στάδια βλάστησης μιας καλλιέργειας.



Σχήμα 3.2 Τιμές δείκτη K_c κατά τα στάδια ανάπτυξης του φυτού (FAO 1998)

Ο συντελεστής K_c ini αφορά την περίοδο φύτευσης της καλλιέργειας κατά την οποία είναι σταθερός και σε χαμηλές τιμές, αφού το νερό που χάνεται είναι κυρίως λόγω της εδαφικής εξάτμισης και όχι από τα φυλλώματα. Ύστερα φαίνεται ότι ο συντελεστής αυξάνεται γραμμικά μέχρι τη στιγμή που η καλλιέργεια θα έχει καλύψει τουλάχιστον το 70% της έκτασης. Αμέσως μετά παίρνει την τιμή K_c mid κατά την οποία παραμένει σταθερή και μέγιστη αφού η καλλιέργεια σε αυτό το στάδιο έχει τις μεγαλύτερες τιμές εξατμισοδιαπνοής. Αυτή η τιμή ισχύει για την περίοδο διαμόρφωσης των καρπών. Τέλος, ο δείκτης μειώνεται γραμμικά όπου παίρνει την τιμή K_c end (στιγμή συγκομιδής) (Allen et al. 1998). Στην περίοδο αυτή πραγματοποιείται η ωρίμανση των ανθών με συγκεκριμένη ποσότητα νερού προς άρδευση (Γεωργιάδου, 2015).

3.2.2 Ζήτηση καλλιεργειών

Για τον υπολογισμό της ζήτησης των καλλιεργειών είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η εξατμισοδιαπνοή είναι η πυκνότητα του φυλλώματος, το ριζικό σύστημα, η περίοδος ανάπτυξης της καλλιέργειας και οι αποστάσεις των φυτών (Παπαζαφειρίου, 1999).

3.2.2.1 Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη μέθοδο Throrthwaite η οποία είναι η καταλληλότερη για ικανοποιητικά αποτελέσματα ελλείψει δεδομένων (Loukas et al., 2004). Γίνεται με βάση τον συντελεστή Kc και την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς. Απαιτείται η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα και το γεωγραφικό πλάτος της υπολεκάνης Ξηριά (Γεωργιάδου, 2015).

Η σχέση περιγράφει την απαραίτητη κατανάλωση της καλλιέργειας αναφοράς.

$$f = (0,46 * T + 8,13) * p \quad (3.4)$$

Όπου T η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα σε °C, η οποία δίνεται από το σχήμα 2.12

p οι ώρες ημέρας κάθε μήνα, οι οποίες δίνονται από το σχήμα 2.16

Η εξατμισοδιαπνοή της κάθε καλλιέργειας προκύπτει με τον πολλαπλασιασμό της σχέσης 3.4 με το φυτικό συντελεστή Kc της κάθε καλλιέργειας, δηλαδή δίνεται από τη σχέση 3.5 (Γεωργιάδου, 2015).

$$ET_o = f * Kc \quad (3.5)$$

3.2.2.2 Υπολογισμός ωφέλιμης βροχόπτωσης

Δεν πρέπει να παραλειφθεί ότι ένα μέρος της βροχόπτωσης χρησιμοποιείται από τις καλλιέργειες για την ικανοποίηση της ζήτησής τους. Το ποσοστό αυτό ονομάζεται ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση και προκύπτει από τη συνολική βροχόπτωση αφαιρώντας τις απώλειες από επιφανειακή απορροή και διήθηση. Γνωρίζοντας αυτό το ποσοστό και το κατά πόσο ικανοποιεί τις καλλιέργειες γίνεται γνωστό και το ποσό που ικανοποιείται από το πότισμα (Γεωργιάδου, 2015).

Ο υπολογισμός της ενεργού βροχόπτωσης γίνεται με τη σχέση 3.6 της USDA (Soil Conservation Service)(USDA, 1970 & Dastane, 1974).

$$P_{eff} = \begin{cases} \frac{P*(125-0,2*P)}{125} & \text{για } P < 250 \text{ mm} \\ 125 + \frac{1}{10} * P & \text{για } P > 250\text{mm} \end{cases} \quad (3.6)$$

Όπου P η μηνιαία βροχόπτωση που δίνεται από το σχήμα 2.13.

Με τον υπολογισμό του NIR υπολογίζονται οι επιπλέον απαιτήσεις σε νερό που χρειάζονται οι καλλιέργειες από το πότισμα. Αυτό εκφράζεται από τη σχέση 3.7.

$$NIR = \begin{cases} ET_0 - P_{eff} & \text{αν } ET_0 - P_{eff} > 0 \\ 0 & \text{αν } ET_0 - P_{eff} < 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

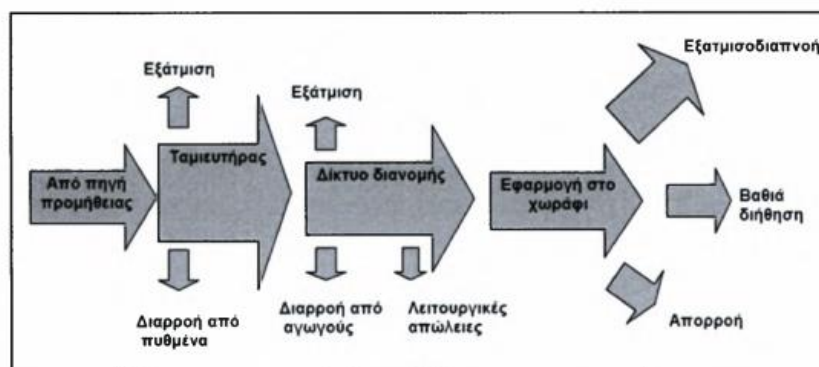
Έτσι, οι ανάγκες της κάθε καλλιέργειας σε νερό άρδευσης υπολογίζεται τελικά από τη σχέση 3.8.

$$Q = \frac{NIR * E}{1000} \text{ hm}^3 \quad (3.8)$$

Όπου NIR η ανάγκη σε νερό σε mm/m² και E η έκταση σε m².

3.2.2.3 Αποδοτικότητα άρδευσης

Ο όρος αποδοτικότητα άρδευσης αναφέρεται στο συντελεστής ο οποίος καθορίζει την προσαύξηση της ποσότητας του νερού λόγω των απωλειών στη μεταφορά και στην άρδευση με σκοπό η τελική ποσότητα να είναι ίση με αυτή που υπολογίστηκε παραπάνω. Η παραπάνω διαδικασία προσδιορίζει μεν τις υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών αλλά δεν υπολογίζει τη συνολική ποσότητα από την πηγή απόληψης (Γεωργιάδου, 2015) Στο σχήμα 3.3 φαίνονται οι απώλειες ύδατος κατά την μεταφορά και τη διανομή του αρδευτικού νερού.



Σχήμα 3.3 Απώλειες κατά τη διανομή και τη μεταφορά (Γεωργιάδου, 2015)

Στην περιοχή μελέτης, η άρδευση των αγροτεμαχίων γίνεται με κλειστούς αγωγούς. Το υπό πίεση δίκτυο αυτό έχει μικρά ποσοστά απωλειών κι έτσι ο

συντελεστής απόδοσής του είναι 0,9. Συνεπώς, ο βαθμός αποδοτικότητας του συστήματος μεταφοράς δίνεται από τη σχέση 3.9 (Δερβίσης, 2018).

$$E_{\mu\mu} = M_{\pi} * E_{\pi} \quad (3.9)$$

Όπου $E_{\mu\mu}$ είναι η απόδοση του συστήματος μεταφοράς

M_{π} είναι το ποσοστό εμβαδού που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο τρόπο μεταφοράς

E_{π} ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος μεταφοράς

Σχετικά με τη μέθοδο άρδευσης, η άρδευση που εφαρμόζεται στην υπολεκάνη Ξηριά είναι η στάγδην άρδευση και ο καταιονισμός. Η στάγδην άρδευση εφαρμόζεται με σταγόνες σε μικρές ποσότητες σε κάθε φυτό ξεχωριστά. Στον καταιονισμό η άρδευση γίνεται σε όλη την επιφάνεια του εδάφους σε μορφή τεχνητής βροχής χωρίς να προκαλεί επιφανειακή απορροή. Οι συντελεστές απόδοσης για τους τρόπους άρδευσης είναι 0,9 και 0,7 αντίστοιχα (Δερβίσης, 2018). Εν τέλει, από τη σχέση 3.10 υπολογίζονται οι τελικές απώλειες άρδευσης.

$$E_{\mu.α.} = A_{\sigma} * E_{\sigma} + A_{\kappa} * E_{\kappa} \quad (3.10)$$

Όπου $E_{\mu.α.}$ οι απώλειες του συστήματος άρδευσης

A το ποσοστό εμβαδού για κάθε τρόπο άρδευσης

E ο συντελεστής απόδοσης για κάθε τρόπο άρδευσης

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, υπολογίζεται η ποσότητα νερού που απαιτείται τελικά για την περιοχή μελέτης μετά την προσαύξηση (Παπαζαφειρίου, 1999). Ο προσδιορισμός του συντελεστή προσαύξησης προκύπτει από τη σχέση 3.11.

$$E_{\tau} = \frac{1}{E_{\mu.μ.} * E_{\mu.α.}} \quad (3.11)$$

Ύστερα από πολλαπλασιασμό του συντελεστή στη σχέση με την απαιτούμενη ποσότητα νερού από την καλλιέργεια προκύπτει η ποσότητα απόλειψης από τις πηγές από τις οποίες αντλείται νερό άρδευσης.

3.2.3 Αστικές υδατικές ανάγκες

Ο αριθμός των κατοίκων που υδρεύονται από τον υδροφόρο στην ενδιαφερόμενη περιοχή (Δημοτική Κοινότητα Ευξεινουπόλεως) ή από τη λιμνοδεξαμενή είναι κατά μέσο όρο 2.553 κάτοικοι (Ε.Σ.Υ.Ε. 2001). Για την παρούσα διπλωματική εργασία και σύμφωνα με στοιχεία των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) και των τοπικών υπηρεσιών ύδρευσης λήφθηκε μέση ημερήσια κατανάλωση 170 lt/κατ/ημέρα και απώλειες στο ύψος του 40% του νερού για ύδρευση (Γεωργιάδου, 2015). Τελικά, από τη σχέση 3.12 δίνεται η ετήσια ζήτηση συνυπολογίζοντας τις απώλειες τάξεως 40%.

$$Q_m = \text{Ημερήσια Κατανάλωση} \times \text{Πληθυσμός} \times 1.4 \times \text{Ημέρες μήνα} \quad (3.12)$$

Προκύπτει ότι η ετήσια ζήτηση νερού είναι 221.779,11 m³/έτος δηλαδή 87,5 m³/κάτοικο.

3.3 Διαχειριστικά Σενάρια

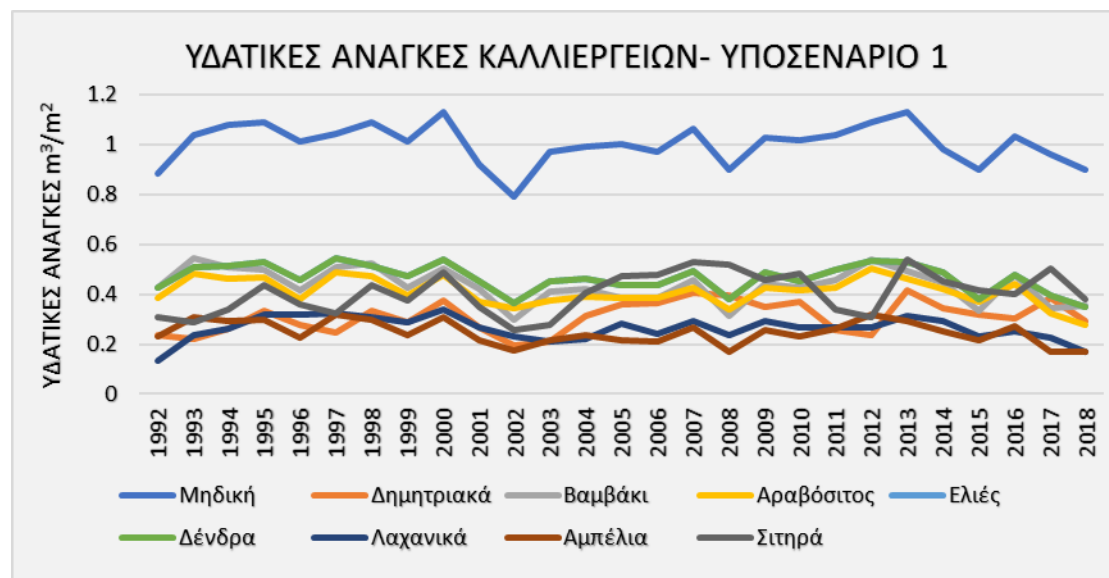
Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια σύντομη περιγραφή για το κάθε προτεινόμενο υποσενάριο και θα αναφερθούν οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών για το κάθε ένα. Όπως έχει αναφερθεί, τα προτεινόμενα διαχειριστικά υποσενάρια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες και αφορούν αλλαγές είτε στις μεθόδους άρδευσης είτε στις χρήσεις γης βασιζόμενα στην Κοινή Αγροτική Πολιτική. Στην 1^η κατηγορία αναφέρονται τα υποσενάρια που εφαρμόζονται χωρίς τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, ενώ στην 2^η κατηγορία τα υποσενάρια που εφαρμόζονται αφού έχει κατασκευαστεί κι έχει τεθεί σε λειτουργία η λιμνοδεξαμενή για αρδευτικούς σκοπούς.

3.3.1 Περίπτωση Α – Υποσενάριο 1^ο

Το υποσενάριο αυτό αναφέρεται στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης στην οποία δεν έχει κατασκευαστεί η λιμνοδεξαμενή και οι καλλιέργειες που ήδη υπάρχουν αρδεύονται από τα υπόγεια ύδατα. Οι καλλιέργειες που αρδεύονται σε αυτήν την

περίπτωση είναι μηδική, δημητριακά, βαμβάκι, αραβόσιτος, ελιές, διάφορες δενδρώδεις καλλιέργειες, λαχανικά, αμπέλια και σιτάρι. Οι εκτάσεις εδάφους που καταλαμβάνει η κάθε μια φαίνονται στον πίνακα 2.3.

Το σχήμα 3.4 απεικονίζει τις ετήσιες υδατικές ανάγκες των υφιστάμενων καλλιεργειών ανά έκταση σε m^3 για το υδρολογικό έτος μελέτης.



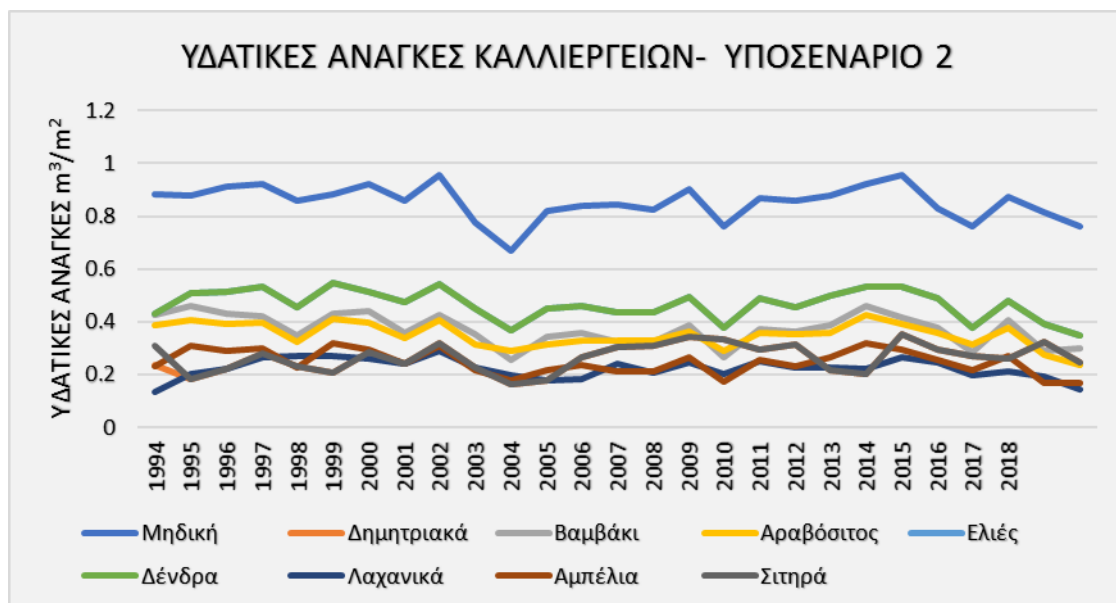
Σχήμα 3.4 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 1^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018

3.3.2 Περίπτωση Α – Υποσενάριο 2^ο

Στο συγκεκριμένο υποσενάριο γίνεται η αντικατάσταση των μεθόδων άρδευσης με αποδοτικότερες. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχέδιο Λεκάνων Απορροής Ποταμών (2017) στις καλλιέργειες στις οποίες η άρδευση εφαρμόζεται με καταιονισμό γίνεται αντικατάσταση με στάγδην άρδευση. Έτσι, επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση άρδευσης και μείωση νιτρορύπανσης, φαινόμενο το οποίο είναι έντονο στην περιοχή μελέτης λόγω της επιβάρυνσης του εδάφους από τη μεγάλη εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων.

Οι καλλιέργειες οι οποίες άρδευονται με καταιονισμό είναι η μηδική, τα δημητριακά, το βαμβάκι, ο αραβόσιτος, τα λαχανικά και το σιτάρι. Σε αυτές γίνεται αλλαγή τρόπου άρδευσης σε στάγδην κι έτσι ο συντελεστής αποδοτικότητας ανέρχεται στο 0,9. Στις ελιές, τα δένδρα και τα αμπέλια η μέθοδος άρδευσης παραμένει η ίδια

(στάγδην άρδευση). Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζονται οι ετήσιες υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών για το συγκεκριμένο σενάριο ανά έκταση σε m².

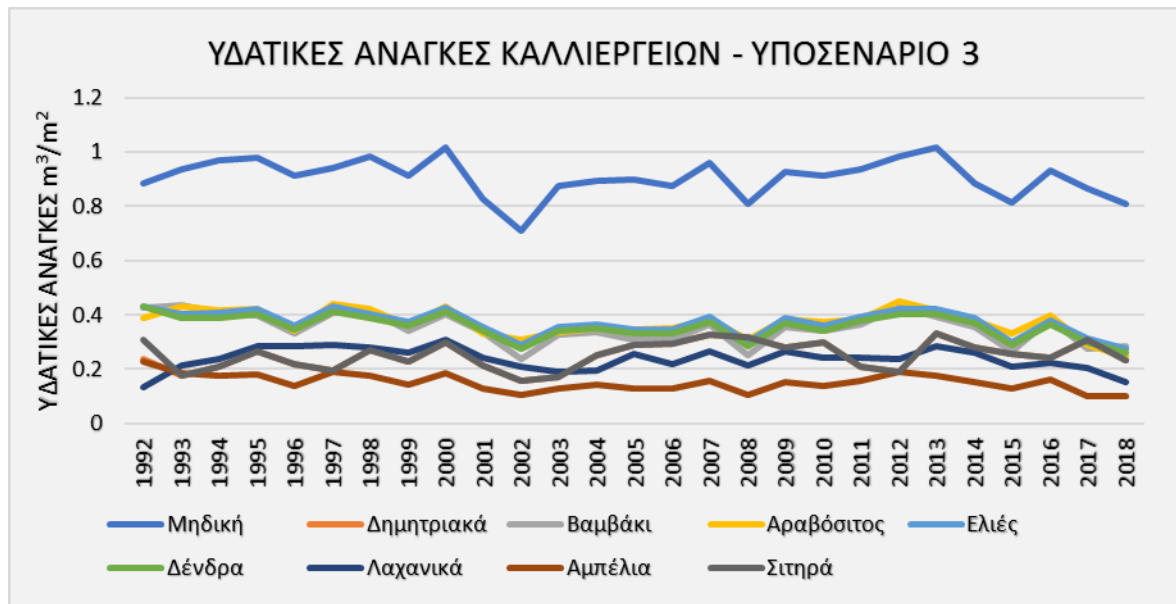


Σχήμα 3.5 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m³/m²) για το 2^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018

3.3.3 Περίπτωση Α – Υποσενάριο 3^ο

Στην περίπτωση αυτή εισάγεται η έννοια της ελλειμματικής άρδευσης η οποία και εφαρμόζεται σαν τακτική άρδευσης στις καλλιέργειες (Lyra et al., 2021). Όπως έχει αναφερθεί, η άρδευση γίνεται στα στάδια ανάπτυξης που είναι απαραίτητο το νερό, ενώ στα υπόλοιπα είναι ελάχιστη. Οι καλλιέργειες παραμένουν κοινές με τα προηγούμενα υποσενάρια. Στον πίνακα 2.5 παρατίθενται οι συντελεστές ελλειμματικής άρδευσης για την περιοχή μελέτης (Lyra et al., 2021).

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται οι ετήσιες υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών, αφού έχουν ληφθεί υπόψιν στην άρδευση οι συντελεστές.



Σχήμα 3.6 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 3^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018

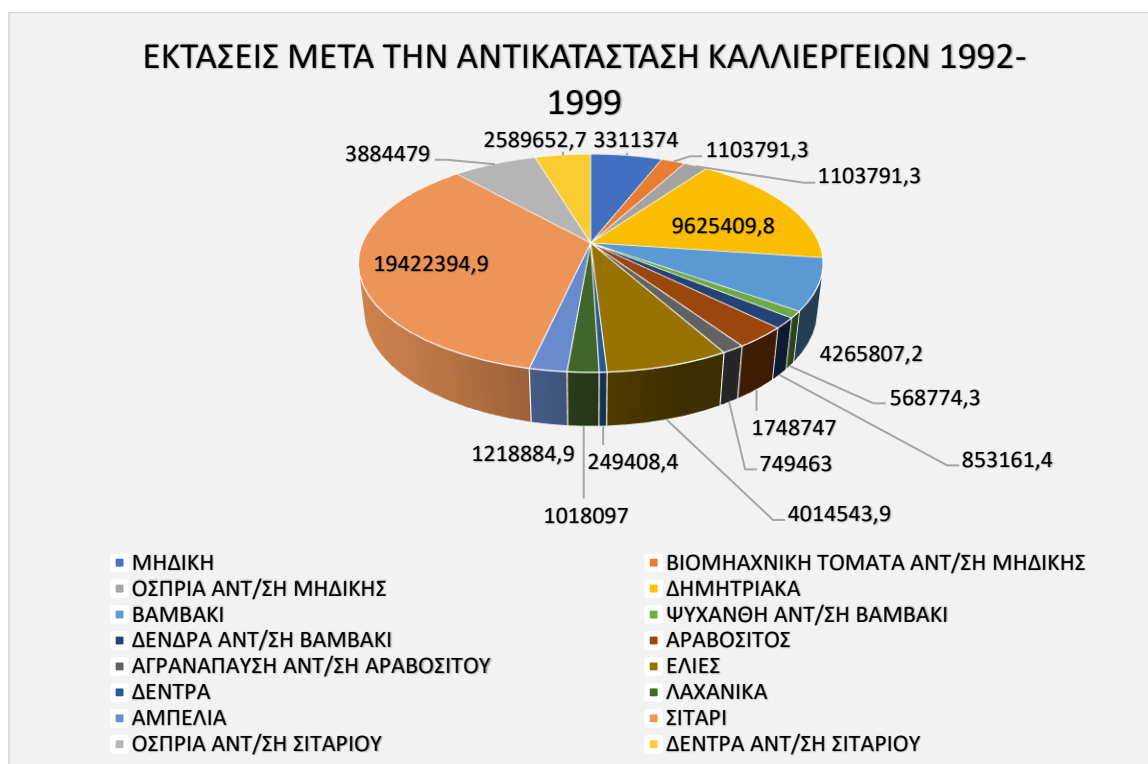
3.3.4 Περίπτωση Α – Υποσενάριο 4^ο

Με βάση το ΣΔΛΑΠ (2017) και τον κανονισμό της ΚΑΠ, στο συγκεκριμένο διαχειριστικό υποσενάριο γίνεται αλλαγή των καλλιεργειών που αρδεύονται στην πραγματικότητα με καλλιέργειες που προτείνονται ως λιγότερο υδροβόρες και οικονομικά περισσότερο συμφέρουσες για τους απασχολούμενους. Στην υποενότητα 2.5.2 αναφέρονται οι κανονισμοί πάνω στους οποίους βασίστηκε το σενάριο και σύμφωνα με αυτούς έγινε η κατανομή των καλλιεργειών όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Μεταβολές στις καλλιέργειες σύμφωνα με την ΚΑΠ

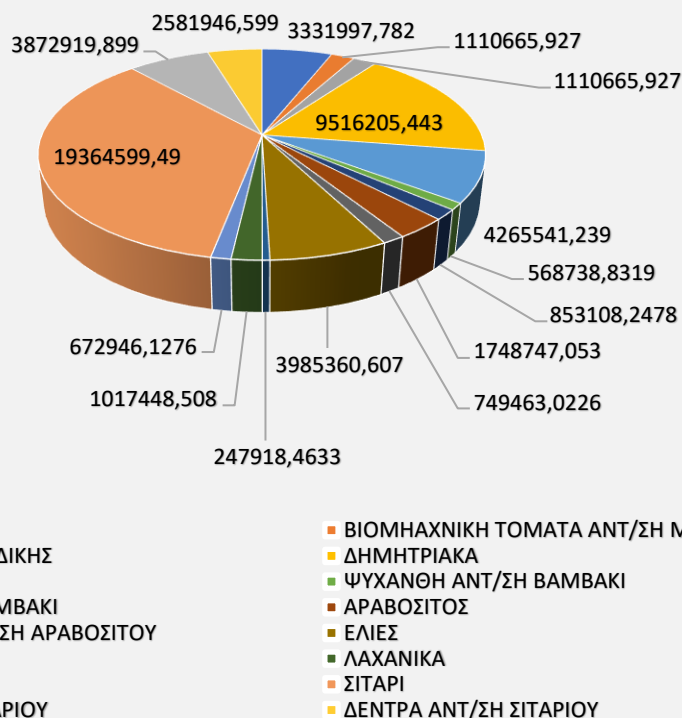
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ
ΜΗΔΙΚΗ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΟΜΑΤΑ 20% + ΟΣΠΡΙΑ 20% + 60% ΜΗΔΙΚΗ
ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ	100% ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ
ΒΑΜΒΑΚΙ	ΔΕΝΔΡΑ 15% + ΨΥΧΑΝΘΗ 10% + ΒΑΜΒΑΚΙ 75%
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ 30% + ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ 70%
ΕΛΙΕΣ	100% ΕΛΙΕΣ
ΔΕΝΔΡΑ	100% ΔΕΝΔΡΑ
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	100% ΛΑΧΑΝΙΚΑ
ΑΜΠΕΛΙΑ	100% ΑΜΠΕΛΙΑ
ΣΙΤΑΡΙ	ΟΣΠΡΙΑ 15% + ΔΕΝΔΡΑ 10% + ΣΙΤΑΡΙ 75%

Οι προκύπτουσες και τελικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις φαίνονται στα σχήματα 3.7, 3.8, 3.9 και 3.10 και η κατανομή γίνεται με βάση τα ποσοστά εκτάσεων του πίνακα.



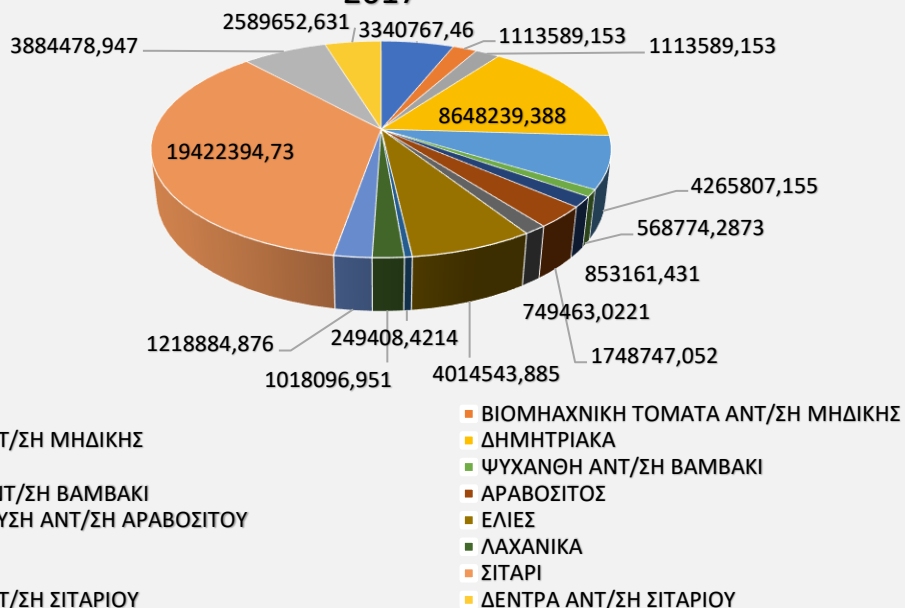
Σχήμα 3.7 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-1999

ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ 2000-2009



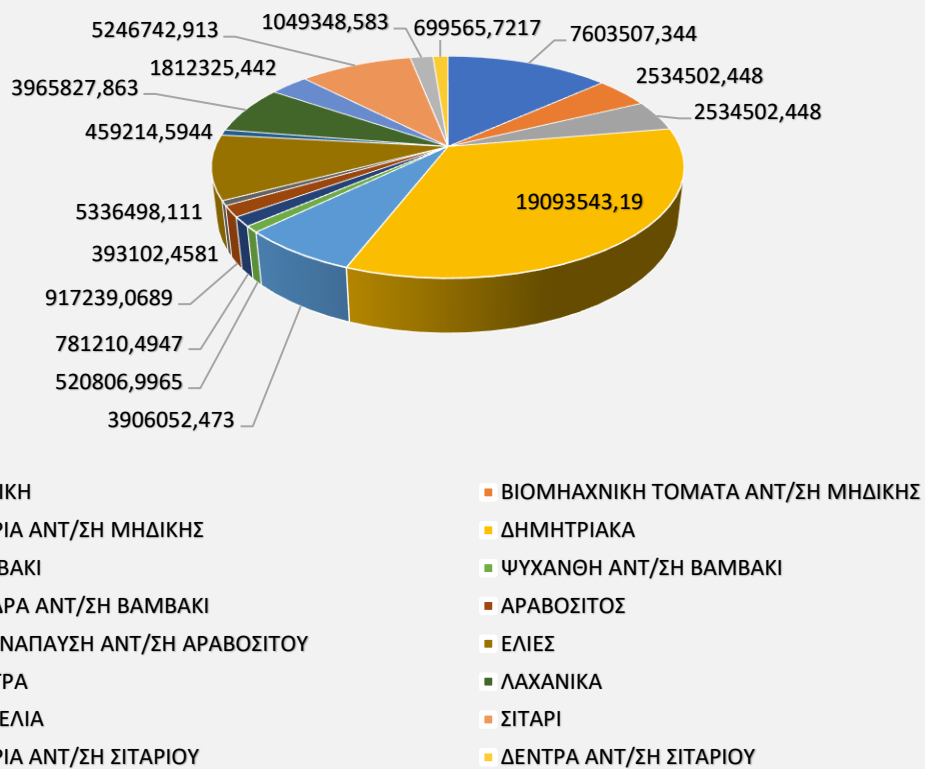
Σχήμα 3.8 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 2000-2009

ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ 2010-2017



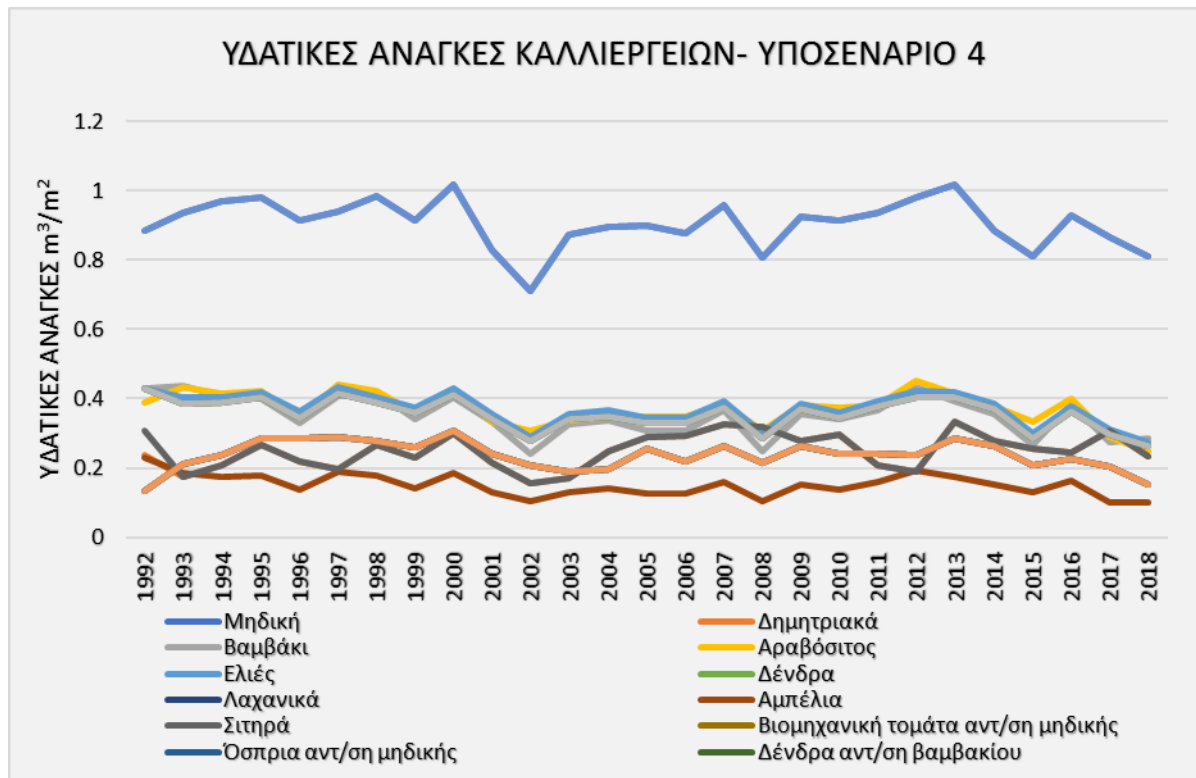
Σχήμα 3.9 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 2010-2017

ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ 2018



Σχήμα 3.10 Εκτάσεις καλλιεργειών για το 4^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για το έτος 2018

Στο σχήμα 3.11 φαίνονται οι ετήσιες υδατικές ανάγκες ανά έκταση m² για κάθε καλλιέργεια για το υδρολογικό έτος 1992 έως 2018.

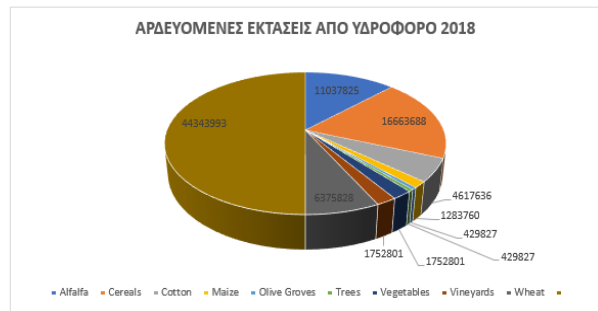
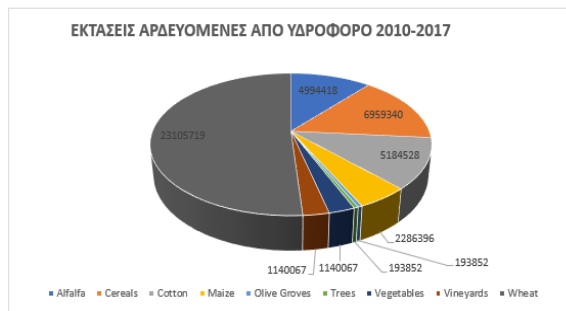
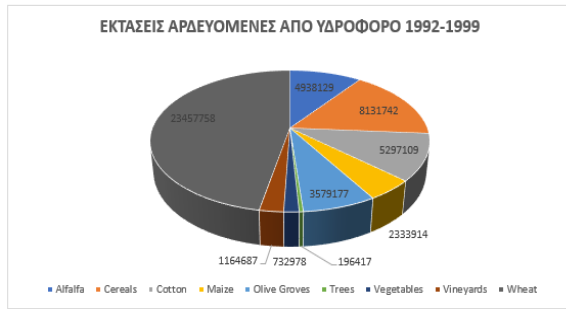


Σχήμα 3.11 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών (m^3/m^2) για το 4^ο υποσενάριο της 1^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018

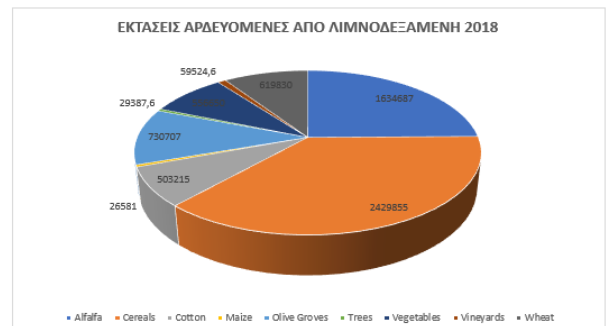
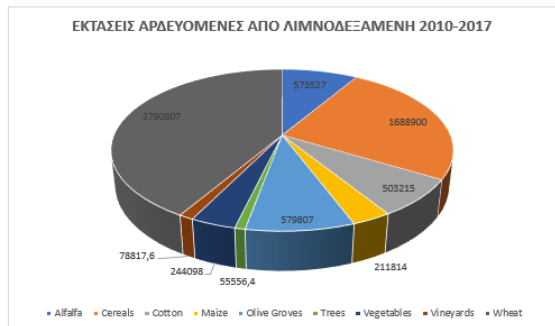
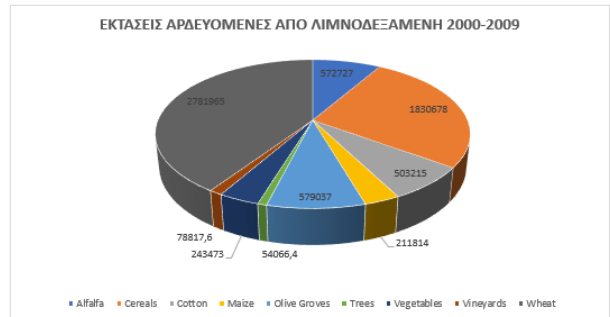
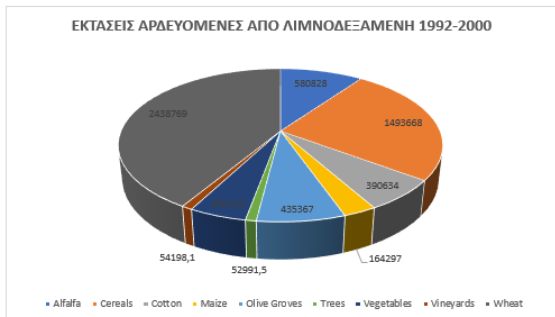
3.3.5 Περίπτωση Β – Υποσενάριο 1^ο

Η δεύτερη ομαδοποίηση των σεναρίων αφορά τις περιπτώσεις λειτουργίας της λιμνοδεξαμενής για αρδευτικούς σκοπούς για το υδρολογικό έτος μελέτης και χωρίζεται σε δύο καταστάσεις: καλλιεργείες που αρδεύονται στην πραγματικότητα και καλλιεργείες που προβλέπονται να καλλιεργηθούν από τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Το συγκεκριμένο υποσενάριο είναι όμοιο με το αντίστοιχο 1^ο της 1^{ης} περίπτωσης με βασική διαφορά τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής για αρδευτικούς σκοπούς. Ένα ποσοστό των εκτάσεων των καλλιεργειών αρδεύεται από τη λιμνοδεξαμενή και το υπόλοιπο από τα υπόγεια ύδατα. Στα σχήματα 3.12 και 3.13 φαίνονται οι εκτάσεις των καλλιεργειών.



Σχήμα 3.12 Οι εκτάσεις που αρδεύονται από τον υδροφόρο ύστερα από την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής



Σχήμα 3.13 Εκτάσεις αρδευόμενες από τη λιμνοδεξαμενή

Οι ετήσιες υδατικές ανάγκες ανά έκταση σε m^2 κάθε καλλιέργειας είναι όμοιες με αυτές του σχήματος του 1^{ου} υποσεναρίου της υφιστάμενης κατάστασης και φαίνονται στο σχήμα 3.4.

3.3.6 Περίπτωση Β – Υποσενάριο 2^ο

Το υποσενάριο αυτό είναι παρόμοιο με το 2^ο υποσενάριο της 1^{ης} κατηγορίας με μόνη διαφορά την λειτουργία της λιμνοδεξαμενής για αρδευτικούς σκοπούς. Όπως προηγουμένως, η άρδευση που γίνεται με καταιονισμό αλλάζει σε άρδευση με σταγόνες (στάγδην άρδευση). Οι εκτάσεις που αρδεύονται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και τη λιμνοδεξαμενή αντίστοιχα φαίνονται στα σχήματα 3.12 και 3.13.

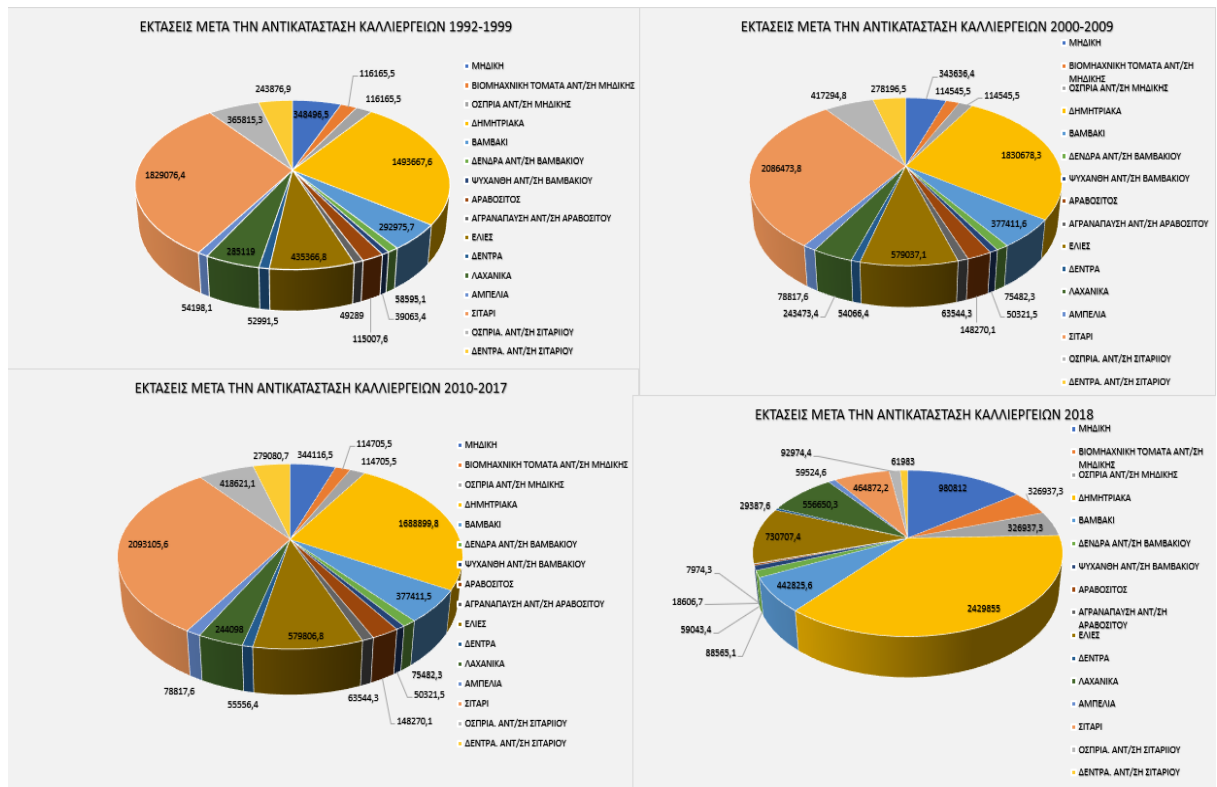
Τέλος, οι ετήσιες υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών ανά m^2 έκτασης φαίνονται στο σχήμα 3.5.

3.3.7 Περίπτωση Β – Υποσενάριο 3^ο

Το συγκεκριμένο υποσενάριο είναι βασισμένο στην ελλειμματική άρδευση (Lyra et al., 2021). Οι καλλιέργειες που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή υπόκεινται σε ελλειμματική άρδευση με σκοπό την ελάττωση της αναγκαίας ποσότητας. Οι ετήσιες υδατικές ανάγκες ανά μονάδα έκτασης σε m^2 φαίνονται στο σχήμα 3.6.

3.3.8 Περίπτωση Β – Υποσενάριο 4^ο

Με βάση τον κανονισμό της ΚΑΠ και το Σχέδιο Λεκανών Απορροής Ποταμών, γίνεται αντικατάσταση των προβλεπόμενων και υδροβόρων καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή με άλλες ιδανικότερες. Η εναλλαγή των καλλιεργειών φαίνεται στον πίνακα 3.3 και οι εκτάσεις τους στο σχήμα 3.14.

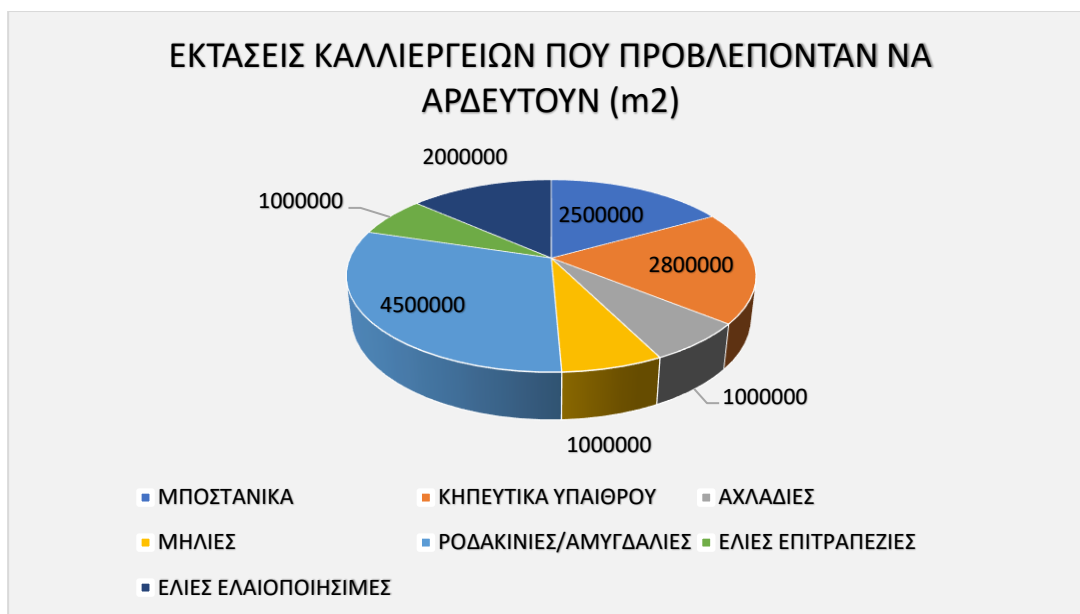


Σχήμα 3.14 Οι εκτάσεις των καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή μετά την αντικατάστασή τους για τα έτη 1992-2018

Οι εκτάσεις των καλλιεργειών που αρδεύονται από τον υδροφόρο φαίνονται στο σχήμα 3.12. Οι υδατικές ανάγκες των τελικών καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή φαίνονται στο σχήμα 3.11.

3.3.9 Περίπτωση Β – Υποσενάριο 5^ο

Σε αυτό το διαχειριστικό υποσενάριο γίνεται η υπόθεση ότι αρδεύονται οι καλλιέργειες που προβλέπονται να αρδευτούν από τη λιμνοδεξαμενή σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015). Οι καλλιέργειες αυτές είναι τα μπιστανικά, κηπευτικά υπαίθρου, αχλαδιές, μηλιές, ροδακινιές/αμυγδαλιές, επιτραπέζιες ελιές, ελαιοποιήσιμες ελιές. Στον πίνακα 3.4 και στο σχήμα 3.15 παρουσιάζονται οι εκτάσεις των καλλιεργειών στην υπολεκάνη Ξηριά.

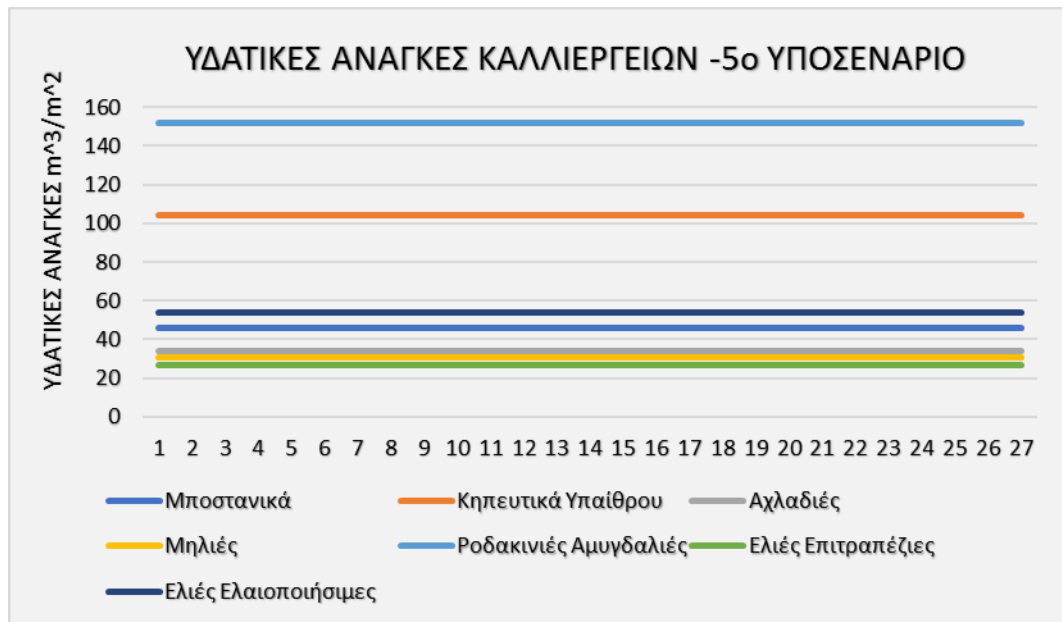


Σχήμα 3.15 Εκτάσεις των καλλιεργειών που προβλέπονταν να αρδευτούν για τα έτη 1992-2018 (ΜΠΕ,2015)

Πίνακας 3.4 Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για το 5^ο υποσενάριο της 2^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018 (ΜΠΕ,2015)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ (m ²)
ΜΠΟΣΤΑΝΙΚΑ	2500000
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	2800000
ΑΧΛΑΔΙΕΣ	1000000
ΜΗΛΙΕΣ	1000000
ΡΟΔΑΚΙΝΙΕΣ/ΑΜΥΓΔΑΛΙΕΣ	4500000
ΕΛΙΕΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΕΣ	1000000
ΕΛΙΕΣ ΕΛΑΙΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ	200000
ΣΥΝΟΛΟ	14800000

Οι ετήσιες υδατικές καλλιέργειες ανά μονάδα έκτασης m² φαίνονται στο σχήμα 3.16 και διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τη ΜΠΕ (2015) και αφού λύφθηκαν υπόψη οι συντελεστές της αποδοτικότητας των μεθόδων άρδευσης.



Σχήμα 3.16 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών για το 5^ο υποσενάριο της 2^{ης} περίπτωσης για τα έτη 1992-2018 (ΜΠΕ, 2015)

4 Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή Διαχειριστικού Μοντέλου

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η προσομοίωση του μοντέλου μελέτης μέσω του λογισμικού WEAP. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια εισαγωγή στο πρόγραμμα αναφέροντας βασικές λειτουργίες και εφαρμογές του. Περιγράφεται η δομή του και προσαρμόζεται στην παρούσα μελέτη για την υπολεκάνη του Ξηριά. Στη συνέχεια, αναλύονται τα δεδομένα εισόδου για κάθε σενάριο και υποσενάριο παρουσιάζοντας κάποια ενδεικτικά διαγράμματα από το περιβάλλον του WEAP.

4.1 Μοντέλο WEAP: ανάπτυξη και εφαρμογή

Το WEAP (Water Evaluation And Planning system) δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο Περιβάλλοντος της Στοκχόλμης (Stockholm Environment Institute- SEI) το 1989. Χρηματοδοτήθηκε σημαντικά από το Κέντρο Υδρολογικής Μηχανικής του Αμερικανικού Στρατού Μηχανικών των ΗΠΑ (Hydrologic Engineering Center of the US Army Corps of Engineers) καθώς συνεισέφεραν οικονομικά και άλλοι οργανισμοί όπως είναι ο Οργανισμός Διεθνούς Ανάπτυξης των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Agency for International Development USAID), το Ινστιτούτο Πολιτικών Μηχανικών και Τεχνολογίας Κτιρίων της Κορέας (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), η παγκόσμια τράπεζα (World Bank) και αρκετοί ακόμα οργανισμοί.

Το μοντέλο WEAP αποτελεί ένα χρήσιμο και εύκολο προς χρήση λογισμικό, το οποίο βασίζεται πάνω στην αρχή του ισοζυγίου μάζας. Είναι ιδανικό για τη διαχείριση υδατικών πόρων και το σχεδιασμό τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λεκάνες απορροής, αγροτικά και αστικά συστήματα, ποτάμια συστήματα ή και συνδυασμούς αυτών. Φυσικά και τεχνητά στοιχεία όπως η επιφανειακή απορροή, η παροχή, η ανακύκλωση του νερού και επεξεργασία του, οι ζητήσεις και η διανομή του νερού, η λειτουργία ταμιευτήρων, ο υπολογισμός ποσότητας ρύπανσης, η ανίχνευση της ποιότητας νερού, η οικονομική ανάλυση κ.α. προσομοιώνονται στα πλαίσια του εν λόγω μοντέλου. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να προσαρμοστούν στο εκάστοτε υδατικό σύστημα για ώστε να προκύψει ένα σωστά διαμορφωμένο αποτέλεσμα (SEI, 2012).

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στο WEAP γίνονται για κάθε σενάριο με την εξής σειρά:

1. Ικανοποίηση της ετήσιας και μηνιαίας ζήτησης για κάθε κόμβο ζήτησης
2. Προσδιορισμός της κατείδυσης και των επιφανειακών απορροών της κάθε λεκάνης

3. Υπολογισμός των εισροών και εκροών για κάθε κόμβο του συστήματος
4. Προσδιορισμός των ρύπων σε κάθε κόμβο ζήτησης και των συγκεντρώσεών τους στους τελικούς κόμβους
5. Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας
6. Προσδιορισμός κόστους και εισφορών κάθε λειτουργίας του συστήματος

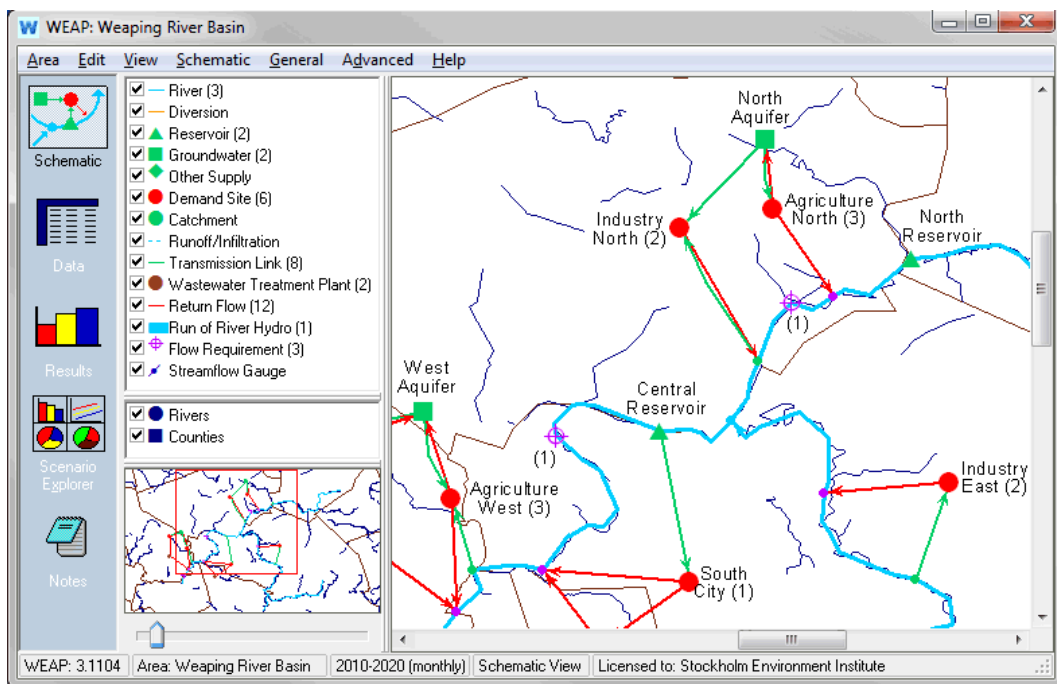
Για κάθε κόμβο ζήτησης του συστήματος υπολογίζεται το ισοζύγιο μάζας και νερού ανά μήνα. Εκτός από τον δείκτη της αποθηκευτικότητας της λιμνοδεξαμενής και των υπόγειων υδάτων, οι μήνες θεωρούνται ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Έτσι, το νερό που εισέρχεται στο σύστημα καταλήγει στον υδροφορέα ή ταμιευτήρα ή εξέρχεται από αυτό με τη μορφή εξάτμισης, κατανάλωσης, εκροής ποταμού κ.α. (Κατηρτζίδου, 2018).

Το λογισμικό έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες μεταξύ των οποίων είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βραζιλία, η Γερμανία και η Ελλάδα (SEI, 2012) και βρήκε εφαρμογή σε πολλές μελέτες που σχετίζονται με τη διαχείριση υδάτων σε λεκάνες απορροής (Ahmadaali et al., 2018; Lane et al., 2014), τη διαχείριση υπόγειων υδροφορέων (Le Page et al., 2012; Varela-Ortega et al., 2011) και τη διαχείριση επιφανειακών υδάτων (Ortiz-Partida et al., 2016; Fufa, 2016; Demertzi et al., 2014). Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε για τη προσομοίωση αστικών συστημάτων (Goharian and Burian, 2018; Saraswat et al., 2017), αγροτικών συστημάτων (Mehta et al., 2013; Joyce et al., 2011), κατανομής ύδατος σε πλαίσια μιας λεκάνης απορροής (Cetinkaya and Gunacti, 2018) αλλά και σε πλαίσια μεταξύ πολλών λεκάνων απορροής (Mousavi et al., 2017). Αξίζει να τονιστεί ότι, εκτός από τα παραπάνω, το εν λόγω λογισμικό έχει τεράστια χρησιμότητα στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της στις λεκάνες (Walker et al., 2015), στα υπόγεια νερά (Toure et al., 2017), σε άνυδρες περιοχές (Hunter et al., 2015) και στη διαχείριση των συστημάτων αστικής χρήσης (Zubari et al., 2018; Alamanos et al., 2020). (Κατηρτζίδου, 2018)

4.2 Δομή μοντέλου WEAP

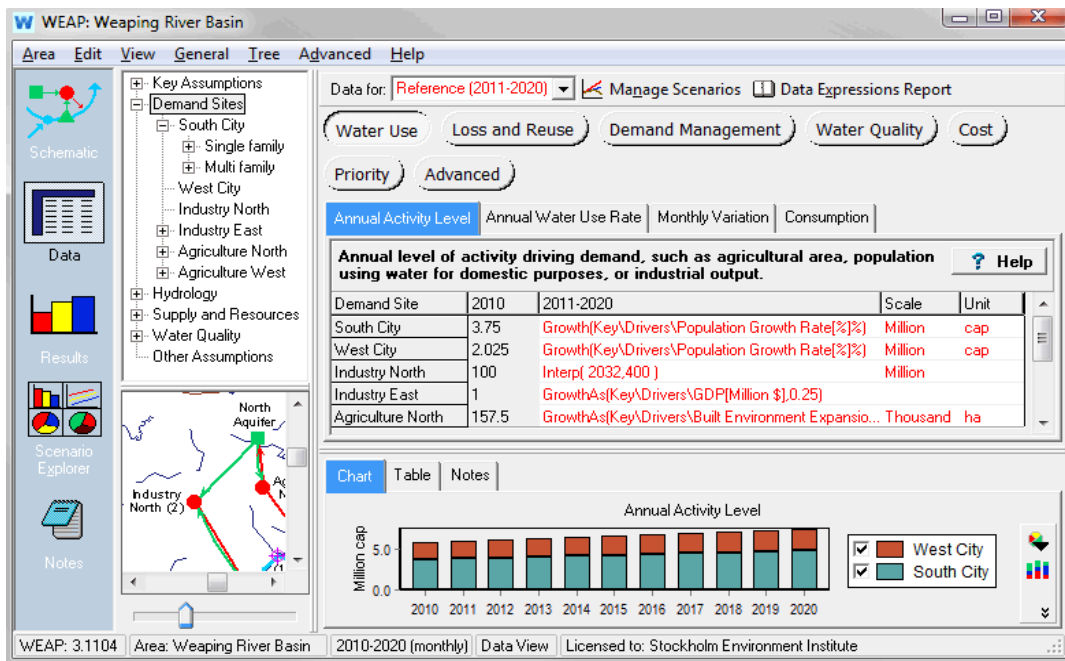
Η επιφάνεια εργασίας του λογισμικού WEAP περιλαμβάνει πέντε (5) θεματικές ενότητες: τη γραφική απεικόνιση, τα δεδομένα, τα αποτελέσματα, τον περιηγητή σεναρίων και τις σημειώσεις. Εν συνεχεία, περιγράφονται οι πέντε αυτές θεματικές ενότητες (SEI, 2012):

- **Γραφική απεικόνιση:** η ενότητα αυτή είναι το σημείο εκκίνησης για όλες τις δραστηριότητες του WEAP. Τα εργαλεία που εμπεριέχονται βασίζονται στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) για διευκόλυνση του χρήστη. Ένα βασικό και εύχρηστο εργαλείο είναι το “drag and drop” το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να απεικονίσει τα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος παροχής και ζήτησης νερού. Τα αρχεία GIS μπορούν να προστεθούν για να προσδώσουν σαφήνεια και λεπτομέρεια (Σχήμα 4.1).



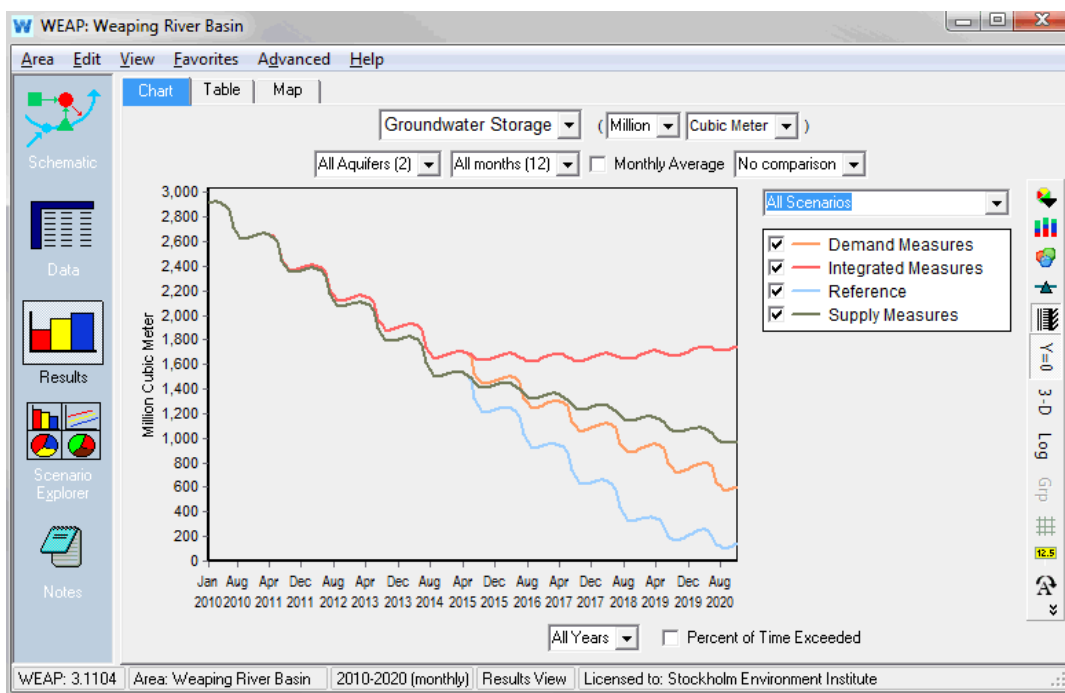
Σχήμα 4.1 Γραφική απεικόνιση του WEAP

- **Λεδομένα Εισόδου:** σε αυτήν την ενότητα καταστρώνεται το μοντέλο μελέτης εισάγοντας τα δεδομένα, τις παραδοχές και τις σχέσεις προσομοίωσης για κάθε σενάριο όπως είναι ο πληθυσμός, οι εκτάσεις καλλιεργειών, η αγροτική ή αστική κατανάλωση, τα κατακρημνίσματα, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα κ.α. (Σχήμα 4.2)



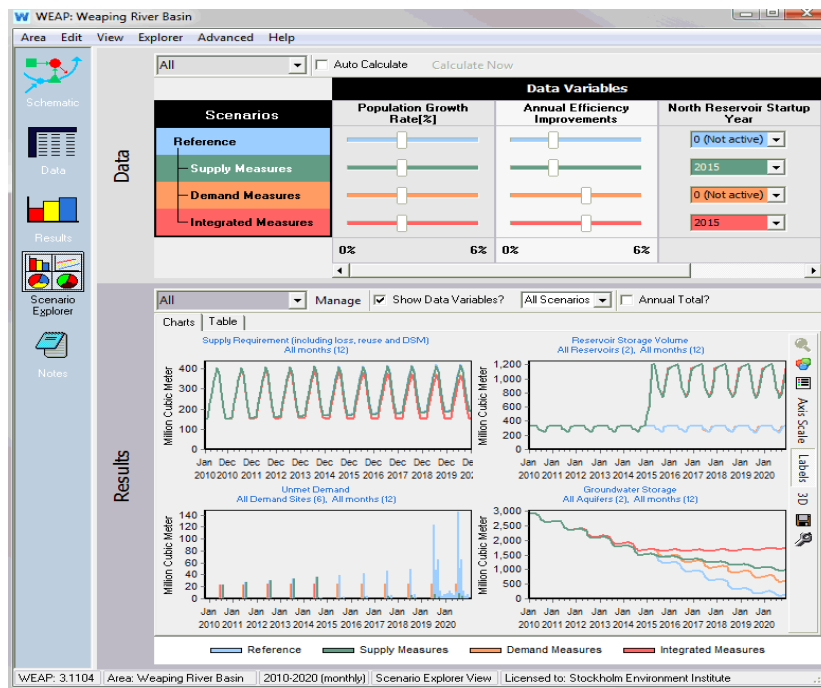
Σχήμα 4.2 Δεδομένα του WEAP

- **Αποτελέσματα:** παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε πίνακες, διαγράμματα και σχήματα (Σχήμα 4.3). Ανάλογα με το σκοπό της κάθε μελέτης, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι αρδευτικές ή υδρευτικές ανάγκες, μεταβολή στάθμης ταμιευτήρα, υδάτινα αποθέματα στο υπόγειο σύστημα, κόστος νερού κ.α.



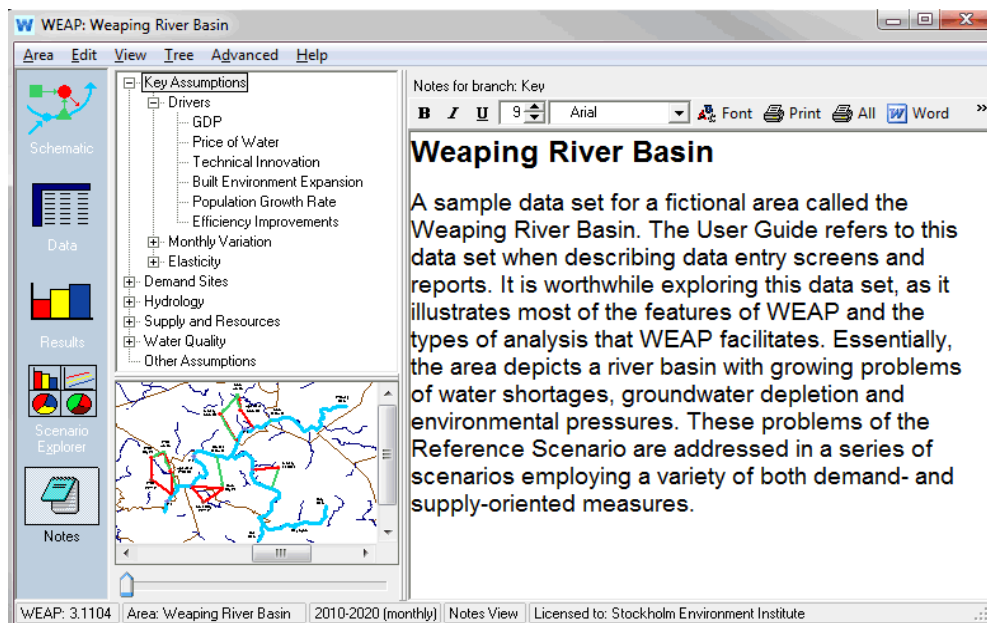
Σχήμα 4.3 Αποτελέσματα του WEAP

- **Περιηγητής σεναρίων:** παρουσιάζονται τα επιλεγμένα από το χρήστη γραφήματα. Επιπλέον, μπορεί να γίνει διερεύνηση της επιρροής των δεικτών στα αποτελέσματα. (Σχήμα 4.4.)



Σχήμα 4.4 Περιηγητής σεναρίων του WEAP

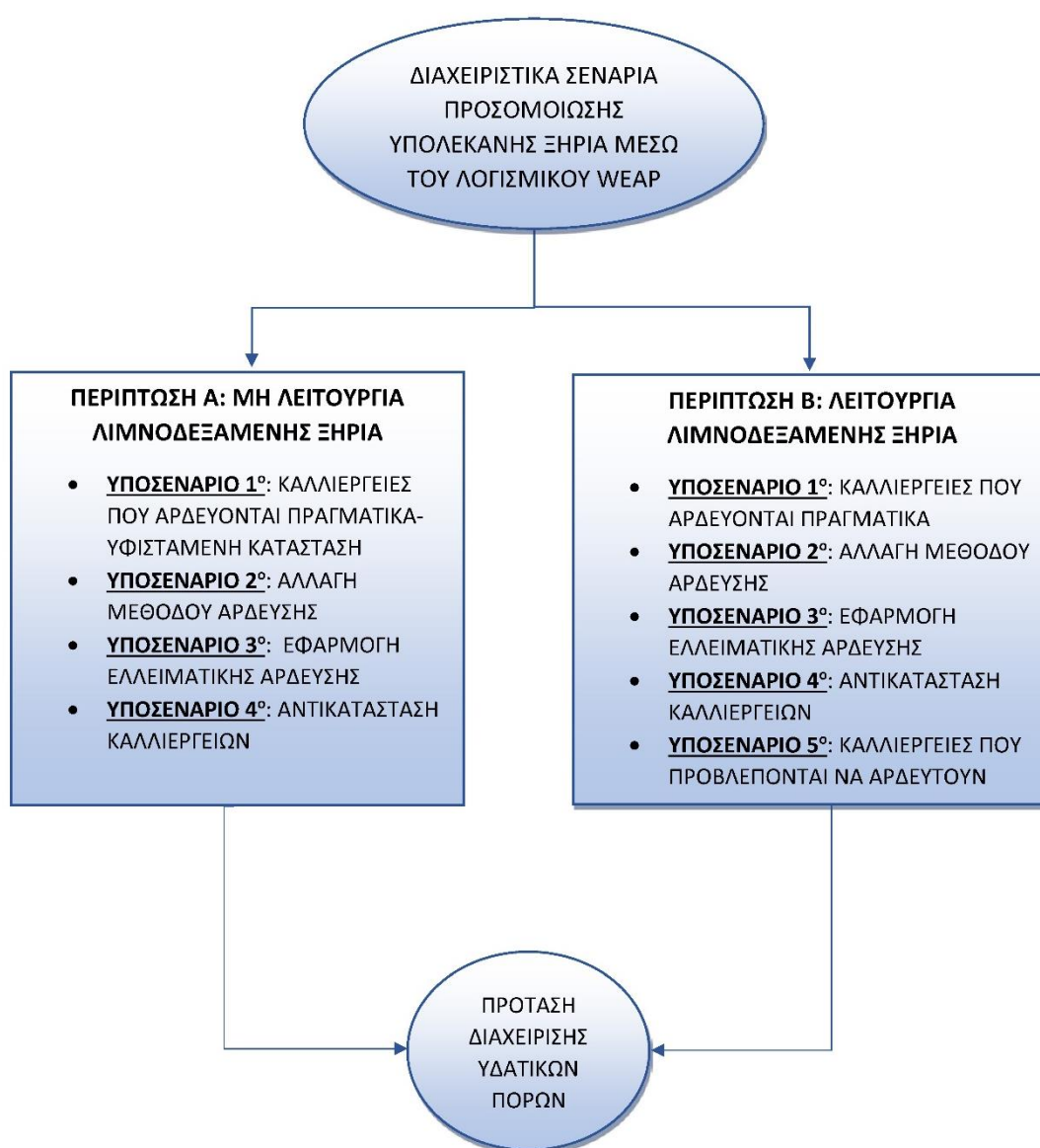
- **Σημειώσεις:** σε αυτήν την ενότητα υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής υποθέσεων και λεπτομερειών για την περιοχή μελέτης, τη δομή δεδομένων και άλλα που κρίνει ο χειριστής απαραίτητα (Σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.5 Σημειώσεις του WEAP

4.3 Κατάσρωση Διαχειριστικού Μοντέλου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής στην υπολεκάνη Ξηριά Αλμυρού. Λόγω της έντονης γεωργικής δραστηριότητας και της υπερεκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, τα υπόγεια ύδατα υπομένουν ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται σημαντική η σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού. Στα πλαίσια της εργασίας, γίνεται η προσομοίωση της υπό κατασκευή λιμνοδεξαμενής και των υπόγειων υδάτων μέσω του λογισμικού WEAP για έναν αριθμό δράσεων διαχείρισης αρδευτικού δικτύου. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζονται επιγραμματικά οι δύο περιπτώσεις σεναρίων με τα αντίστοιχα υποσενάρια.

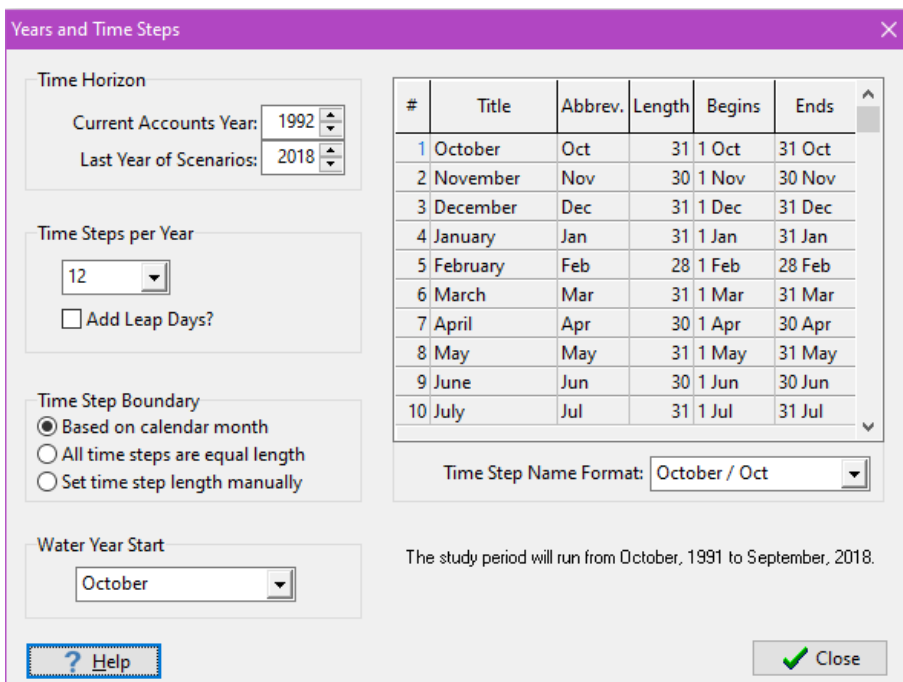


Σχήμα 4.6 Διαγραμματική απεικόνιση των υποσεναρίων

4.3.1 Εισαγωγή δεδομένων

4.3.1.1 Χρονικό βήμα ανάλυσης

Η περίοδος προσομοίωσης του μοντέλου είναι 26 χρόνια και ως έτος βάσης ορίζεται το 1992. Αφού η προσφορά και ζήτηση του νερού άρδευσης εμφανίζει εποχική διακύμανση, η προσομοίωση πραγματοποιείται σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Οι ημέρες κάθε μήνα βασίζονται στο ημερολόγιο και κάθε υδρολογικό έτος ξεκινά από τον Οκτώβριο του προηγούμενου χρόνου. Τέλος, στο χρονικό βήμα δε συμπεριλαμβάνονται τα δίσεκτα έτη. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται το περιβάλλον του WEAP στο οποίο ορίζεται το χρονικό βήμα.



The screenshot shows the 'Years and Time Steps' dialog box in WEAP. It includes the following sections:

- Time Horizon:** Current Accounts Year: 1992, Last Year of Scenarios: 2018.
- Time Steps per Year:** 12, Add Leap Days? (unchecked).
- Time Step Boundary:** Based on calendar month (selected), All time steps are equal length, Set time step length manually.
- Water Year Start:** October.
- Table of Time Steps:**

#	Title	Abbrev.	Length	Begins	Ends
1	October	Oct	31	1 Oct	31 Oct
2	November	Nov	30	1 Nov	30 Nov
3	December	Dec	31	1 Dec	31 Dec
4	January	Jan	31	1 Jan	31 Jan
5	February	Feb	28	1 Feb	28 Feb
6	March	Mar	31	1 Mar	31 Mar
7	April	Apr	30	1 Apr	30 Apr
8	May	May	31	1 May	31 May
9	June	Jun	30	1 Jun	30 Jun
10	July	Jul	31	1 Jul	31 Jul

Time Step Name Format: October / Oct

The study period will run from October, 1991 to September, 2018.

Σχήμα 4.7 Χρονικό βήμα στο WEAP

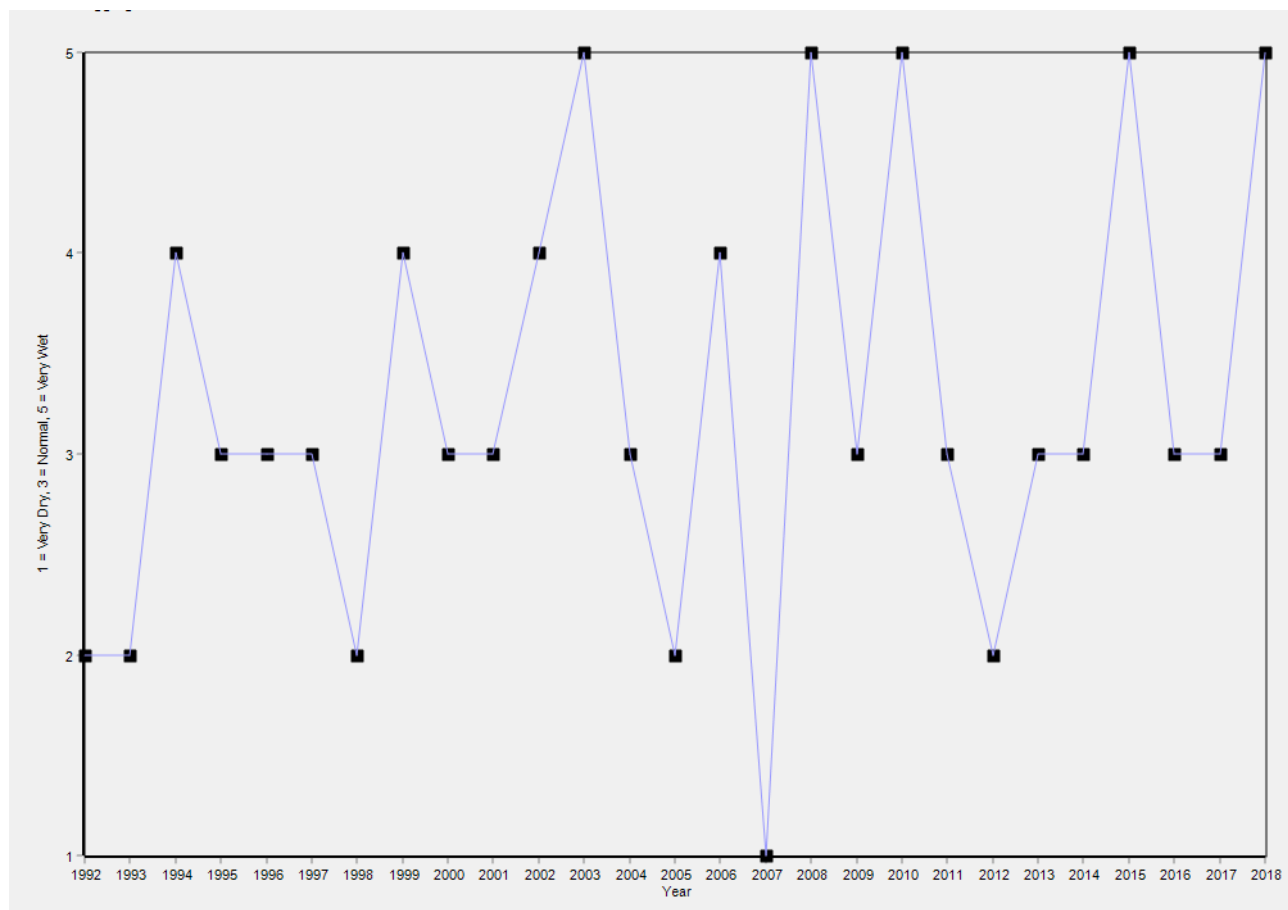
4.3.1.2 Μέθοδος υδρολογικού έτους

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, τέθηκε ότι για τον υπολογισμό των υδρολογικών εισροών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του υδρολογικού έτους (Water Year Method). Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής χρειάζονται δεδομένα για τον τύπο των ετών (Water Year Definition) και τη σειρά προσδιορισμού του τύπου κάθε χρόνου μελέτης (Water Year Sequence). Οι τύποι των ετών βασίζονται στην ποσότητα επιφανειακών εισροών και το WEAP χρησιμοποιεί πέντε κατηγορίες: πολύ υγρό έτος, υγρό έτος, κανονικό έτος, ξηρό έτος και πολύ ξηρό έτος (SEI, 2012).

Οι συντελεστές οι οποίοι καθορίζουν τους τύπους των υδρολογικών ετών (Lyga, 2021) φαίνονται στον πίνακα 4.1. Οι συντελεστές αυτοί καθορίζουν το πόσο υγρό ή ξηρό είναι το κάθε υδρολογικό έτος σε σχέση με το κανονικό, του οποίου ο συντελεστής είναι πάντα ίσος με 1. Στο σχήμα 4.8 απεικονίζεται το περιβάλλον του WEAP για τη συγκεκριμένη μεταβλητή.

Πίνακας 4.1 Συντελεστές τύπων υδρολογικών ετών (Lyga, 2021)

ΤΥΠΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΤΟΥΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ
VERY DRY	0,6
DRY	0,8
NORMAL	1
WET	1,2
VERY WET	1,4



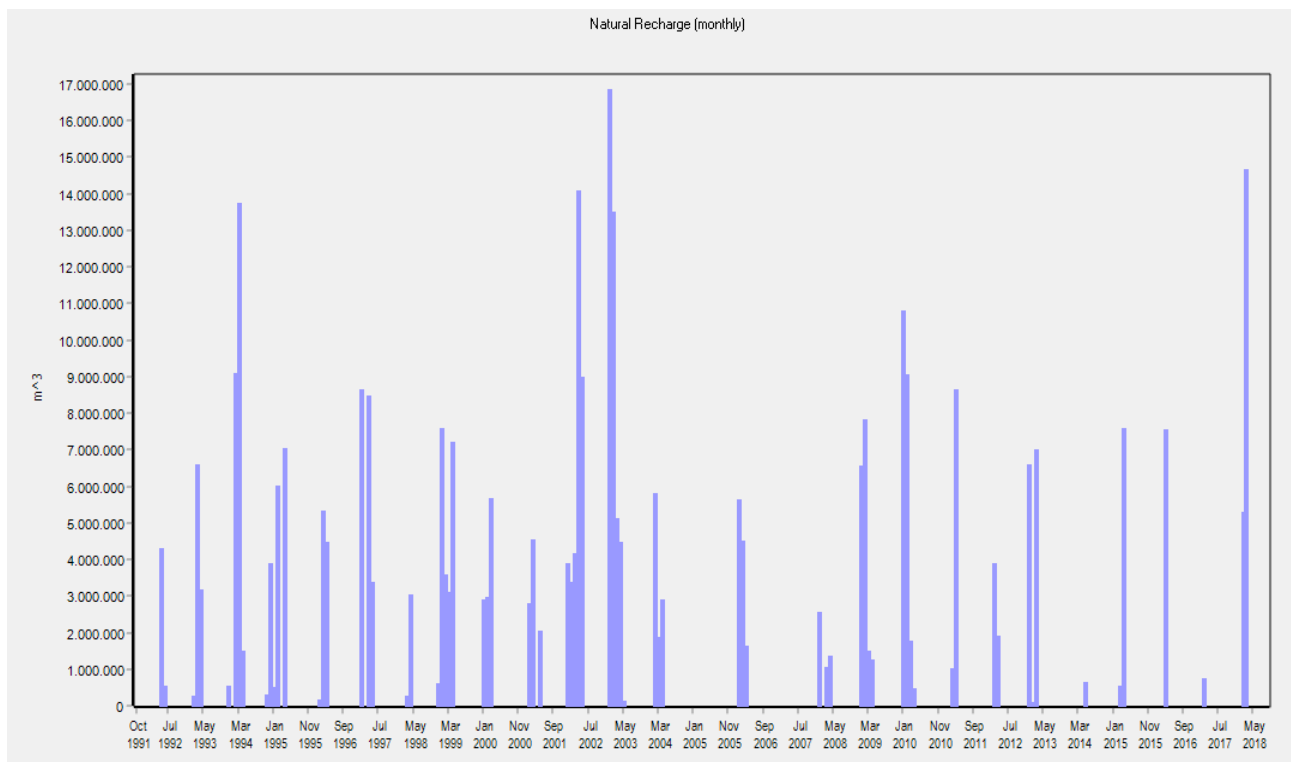
Σχήμα 4.8 Τύποι για κάθε υδρολογικό έτος στο περιβάλλον του WEAP

4.3.1.3 Πηγές παροχής νερού

4.3.1.3.1 Υπόγειο σύστημα

Στο πρόγραμμα WEAP χρειάζονται δεδομένα σχετικά με την ικανότητα αποθήκευσης του υδροφόρου συστήματος, τη μέγιστη ποσότητα απόληψης και τις φυσικές εισροές.

Η ικανότητα αποθήκευσης του υπόγειου συστήματος περιγράφει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να αποθηκεύσει. Στη μελέτη αυτή, θεωρήθηκε ότι το υπόγειο σύστημα έχει απεριόριστη αποθηκευτική ικανότητα κι έτσι ο συντελεστής μηδενίζεται. Αυτή η παραδοχή γίνεται διότι μελετάται το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής και όχι του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Η ίδια τιμή ισχύει για τη μεταβλητή της μέγιστης ποσότητας απόληψης, η οποία είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να αντληθεί από τον υπόγειο υδροφόρο σε έναν μήνα για την κάλυψη όλων των αναγκών της υπολεκάνης. Οι φυσικές εισροές στον υδροφόρο προέρχονται από κατακρημνίσματα, δίθηση από επιφανειακές απορροές, επιστροφές άρδευσης κ.α. Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι μηνιαίες τιμές των εισροών προήλθαν από τα μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης του σχήματος 2.13 (Σχήμα 4.9) (Lyra, 2021).

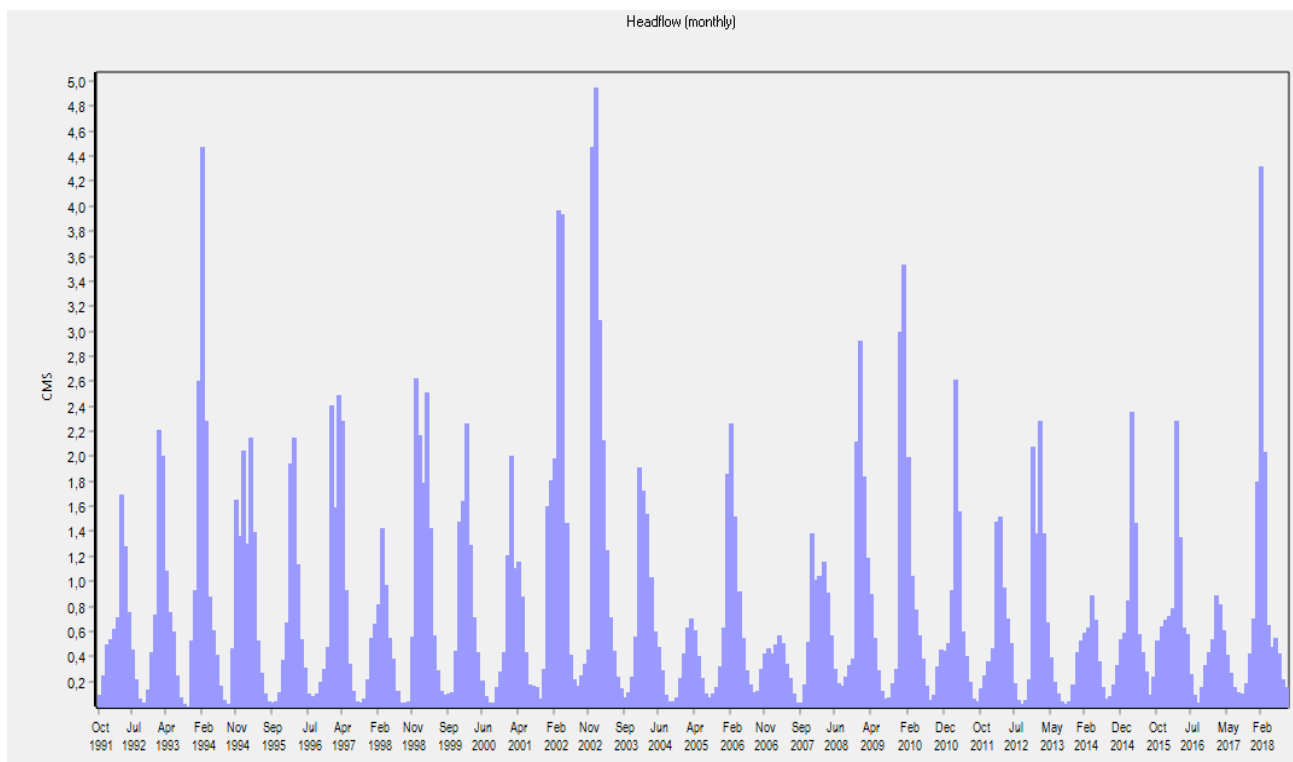


Σχήμα 4.9 Εισροές στον υδροφόρο ορίζοντα στο περιβάλλον του WEAP

4.3.1.3.2 Λιμνοδεξαμενή

Το λογισμικό WEAP απαιτεί δεδομένα εισαγωγής όπως η απορροή του χειμάρρου Ξηριά και η οικολογική παροχή, η εισροή νερού στη λιμνοδεξαμενή, η αποθηκευτικότητα της και ο μεικτός όγκος της, η καθαρή εξάτμιση στην επιφάνειά της και οι ζώνες όγκου της.

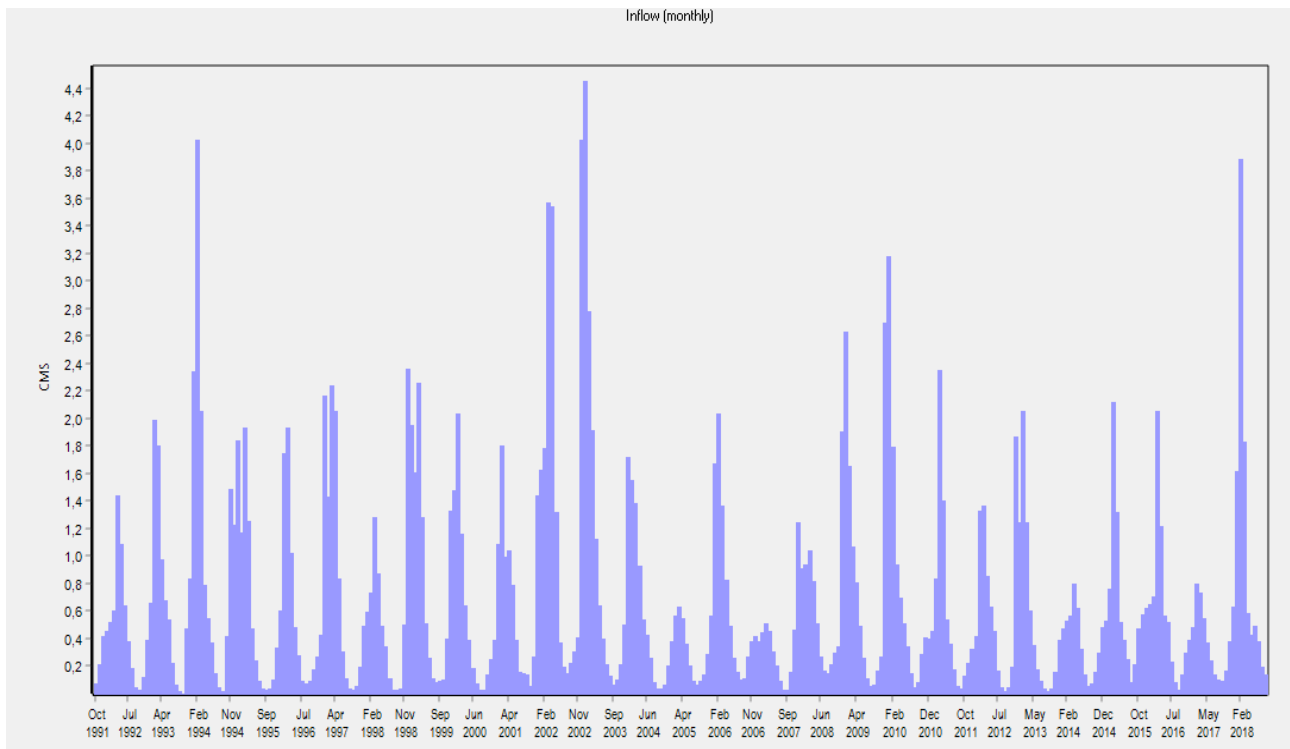
Σχετικά με το χειμάρρο Ξηριά, η απορροή του δίνεται από το σχήμα 4.10 και προήλθε από τη δημοσίευση των Lyra et al. (2021) (Σχήμα 4.11). Η οικολογική παροχή είναι ίση με το 10% της απορροής (ΜΠΕ, 2015) και η μέση τιμή για τα έτη 1992-2018 ανέρχεται στα 0,076 m³/sec.



Σχήμα 4.10 Απορροή χειμάρρου Ξηριά στον περιβάλλον του WEAP

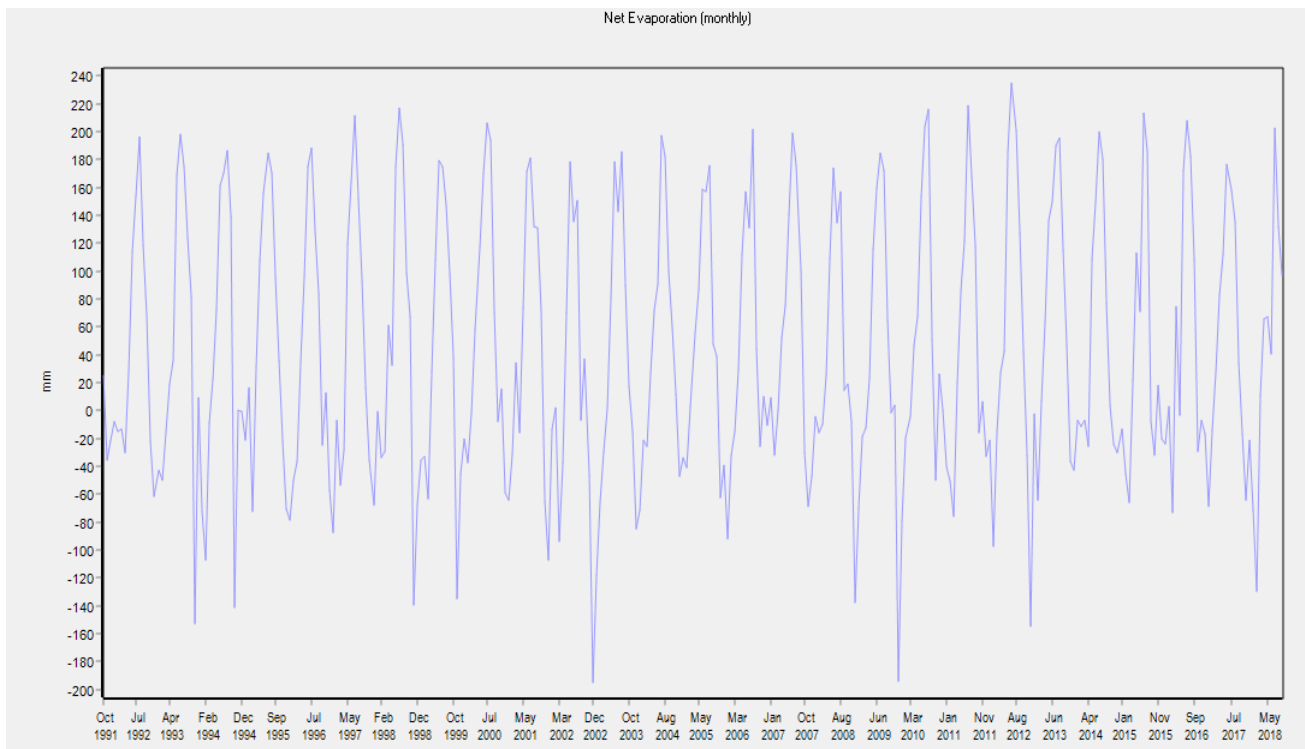
Στο λογισμικό, οι ταμιευτήρες προσομοιώνονται είτε με μεθόδους υπολογισμού υδατικού ισοζυγίου λεκανών είτε με απευθείας δεδομένα εισροής. Ένας ταμιευτήρας έχει σκοπό την τροφοδότηση με νερό των κόμβων ζήτησης, τη ροή στα κατάντη (οικολογική παροχή) και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Για την προσομοίωση της λιμνοδεξαμενής στο υπό μελέτη μοντέλο απαιτούνται δεδομένα για την εισροή, την αποθηκευτικότητα, τις ζώνες όγκου και την καθαρή εξάτμιση στην επιφάνειά της.

Οι εισροές της λιμνοδεξαμενής γίνονται με υδροληψία από το χειμάρρο Ξηριά και φαίνονται στο σχήμα 2.10. Ορίζονται ως το 90% της απορροής του χειμάρρου (ΜΠΕ, 2015) (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11 Εισροές στη λιμνοδεξαμενή Ξηριά στο περιβάλλον του WEAP

Η αποθηκευτικότητα της λιμνοδεξαμενής, η οποία αφορά το μέγιστο όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί, ανέρχεται στα 3.824.000 m³ (ΜΠΕ, 2015) και το net recharge στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής φαίνεται στο σχήμα 4.12 (Lyra et al., 2021). Με τον όρο net recharge εννοείται η μηνιαία εξάτμιση που ορίζεται από τη διαφορά της εξάτμισης και της βροχόπτωσης της επιφάνειας της λιμνοδεξαμενής. Όταν λαμβάνει αρνητικές τιμές υποδηλώνεται αύξηση στην ποσότητα νερού.



Σχήμα 4.12 Net evaporation στην επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής για τα έτη 1992- 2018

Ο όγκος ενός ταμειυτήρα χωρίζεται σε τέσσερις (4) ζώνες: τη ζώνη του νεκρού όγκου, τη ζώνη του ωφέλιμου όγκου, τη ζώνη του πλημμυρικού όγκου και τη ζώνη υπερχείλισης (Σχήμα 2.9). Επειδή η λιμνοδεξαμενή είναι τεχνητή και έχει κατασκευαστεί για αρδευτικούς σκοπούς και η υδροληψία γίνεται στην κατώτερη στάθμη της λιμνοδεξαμενής, ο νεκρός όγκος είναι μηδενικός. Ο ωφέλιμος όγκος είναι ίσος με τη χωρητικότητα της λιμνοδεξαμενής και το ύψος υπερχείλισης ανέρχεται στο 1 m (ΜΠΕ, 2015).

4.3.1.4 Υδρευτική κατανάλωση

Στο μοντέλο του WEAP, για την υδρευτική κατανάλωση απαιτείται η ετήσια ανάγκη νερού ανά άτομο και το σύνολο του πληθυσμού που εξυπηρετείται από τα υπόγεια νερά. Σύμφωνα με την ΜΠΕ (2015) και την Ε.Σ.Υ.Ε. (2001) το σύνολο του πληθυσμού είναι 2.553 άτομα και η ετήσια κατανάλωση ανά άτομο ανέρχεται στα 87,5 m³/ κάτοικο.

4.3.1.5 Απώλειες

Κατά τη διάρκεια μεταφοράς του νερού μέσω των σωληνώσεων από και προς την πηγή τροφοδοσίας υπάρχουν απώλειες. Αυτές ανέρχονται στο 10% του νερού λόγω του κλειστού συστήματος μεταφοράς (Γεωργιάδου, 2015).

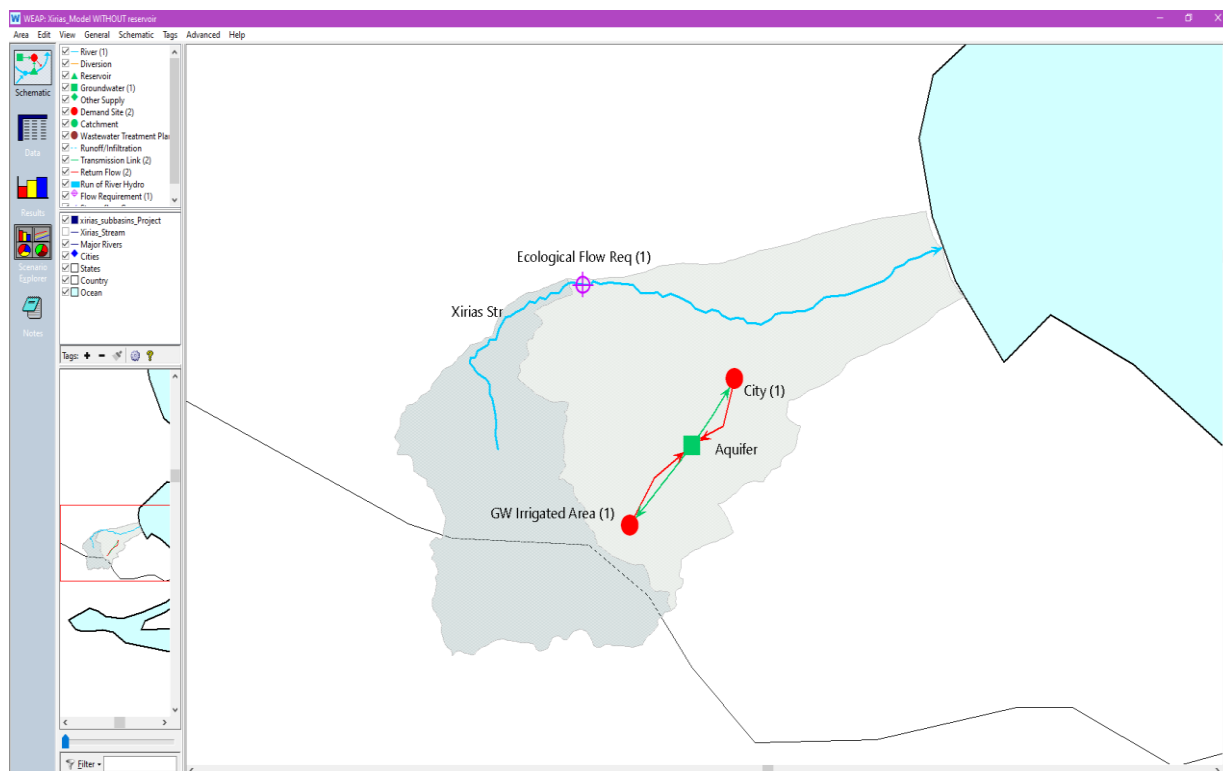
4.3.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α: ΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Η περίπτωση αυτή αποτελεί μια από τις δύο ομάδες σεναρίων βασική διαφορά των οποίων είναι η ύπαρξη ή μη της λιμνοδεξαμενής. Στην 1^η περίπτωση η λιμνοδεξαμενή δε λειτουργεί και περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση αφού δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα η κατασκευή της. Τα υπόσενάρια τα οποία αναπτύσσονται με αυτήν την παραδοχή είναι:

- οι καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά (υφιστάμενη κατάσταση)
- η αλλαγή τρόπου άρδευσης
- η μέθοδος της ελλειμματικής άρδευσης
- η αλλαγή των καλλιεργειών σύμφωνα με την ΚΑΠ.

4.3.2.1 Υποσενάριο 1^ο : Καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά χωρίς την ύπαρξη λιμνοδεξαμενής (υφιστάμενη κατάσταση)

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το σενάριο αυτό αναλύει την περίπτωση στην οποία οι καλλιέργειες παραμένουν κοινές με αυτές που αρδεύονται στην πραγματικότητα και για τα επόμενα χρόνια χωρίς τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής. Η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται μέσω αντλήσεων από τα υπόγεια ύδατα αφού δε χρησιμοποιείται καμία άλλη εναλλακτική πηγή νερού. Εφόσον δε λειτουργεί η λιμνοδεξαμενή, δεν εισάγονται δεδομένα στο μοντέλο του WEAP. Τα αποτελέσματα του 1^{ου} υποσεναρίου αναμένεται να δείξουν τις συνέπειες που έχει η υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων και η εντατική γεωργία στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στο σχήμα 4.13 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση της περιοχής μελέτης για το συγκεκριμένο σενάριο με τους αντίστοιχους κόμβους προσφοράς και ζήτησης.

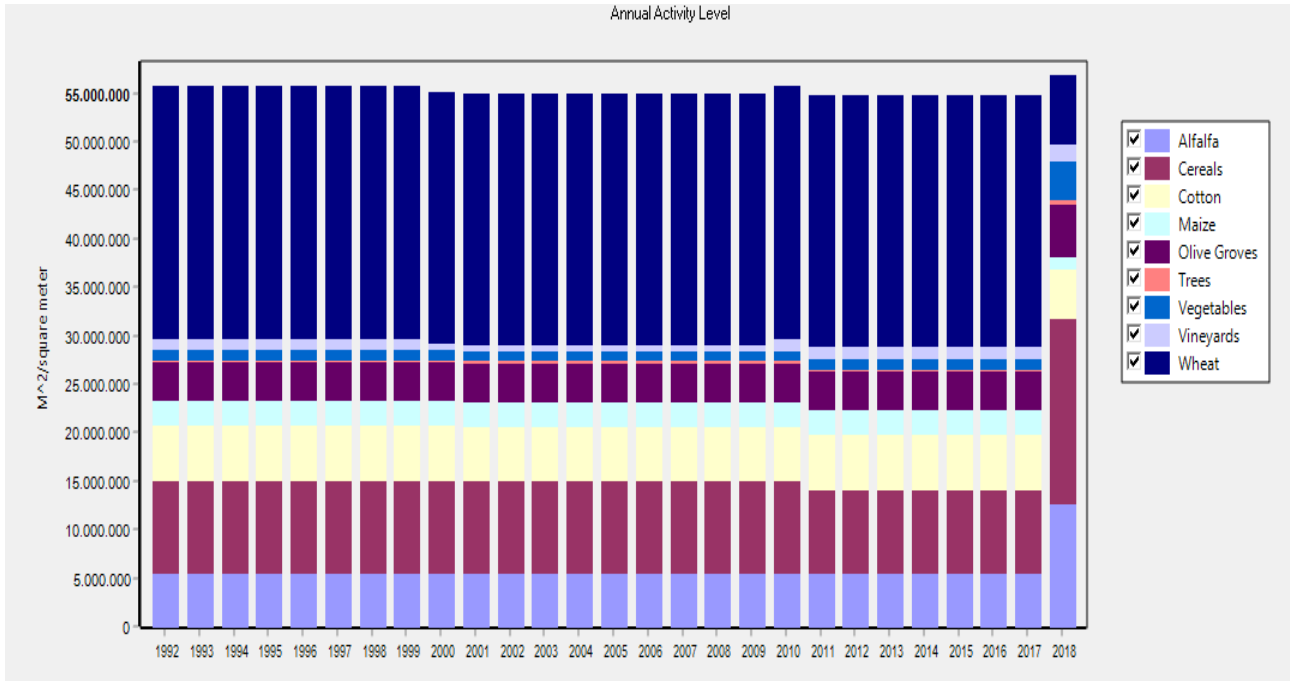


Σχήμα 4.13 Σχηματική απεικόνιση του 1^{ου} σεναρίου στο μοντέλο του WEAP

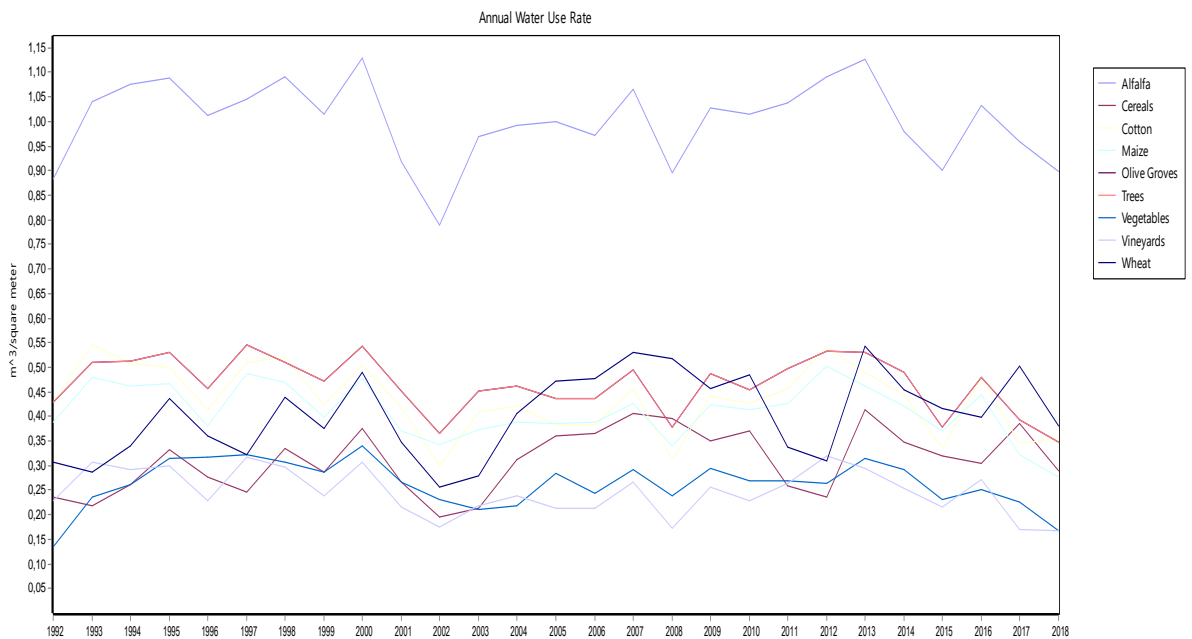
Στο σχήμα 4.13 το υπόγειο σύστημα της υπολεκάνης Ξηριά αντανakλάται στο πράσινο τετράγωνο, ενώ ο κόκκινος κύκλος αναφέρεται στα σημεία ζήτησης νερού δηλαδή στην αρδευτική και αστική ζήτηση. Οι ζητήσεις σε αυτήν την περίπτωση ικανοποιούνται μόνο από το υπόγειο υδροφόρο σύστημα. Επιπλέον, η γαλάζια γραμμή αφορά τον χειμάρρο Ξηριά, τα πράσινα βέλη συνδέουν το υπόγειο υδατικό σύστημα με τα σημεία ζήτησης, τα κόκκινα βέλη απεικονίζουν το σύνδεσμο που επιστρέφει το νερό που δεν καταναλώθηκε από τις περιοχές ζήτησης και ο μωβ κύκλος την οικολογική παροχή του χειμάρρου.

4.3.2.1.1 Αρδευτική κατανάλωση

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αρδευτικής κατανάλωσης είναι αυτή που συνοπολογίζει την ετήσια ζήτηση και τη μηνιαία διακύμανση της συνολικής ζήτησης. Επομένως, το μοντέλο WEAP απαιτεί την εισαγωγή δεδομένων για την αρδευόμενη έκταση των καλλιεργειών και την ετήσια ανάγκη τους σε νερό ανά μονάδα έκτασης m^2 . Στον πίνακα 2.3 του κεφαλαίου 2 φαίνονται οι καλλιέργειες και οι εκτάσεις τους σε βάθος χρόνου (Σχήμα 4.14), ενώ στο σχήμα 3.4 του κεφαλαίου 3 οι μηνιαίες υδατικές ανάγκες (Σχήμα 4.15).



Σχήμα 4.14 Εκτάσεις καλλιεργειών στο WEAP

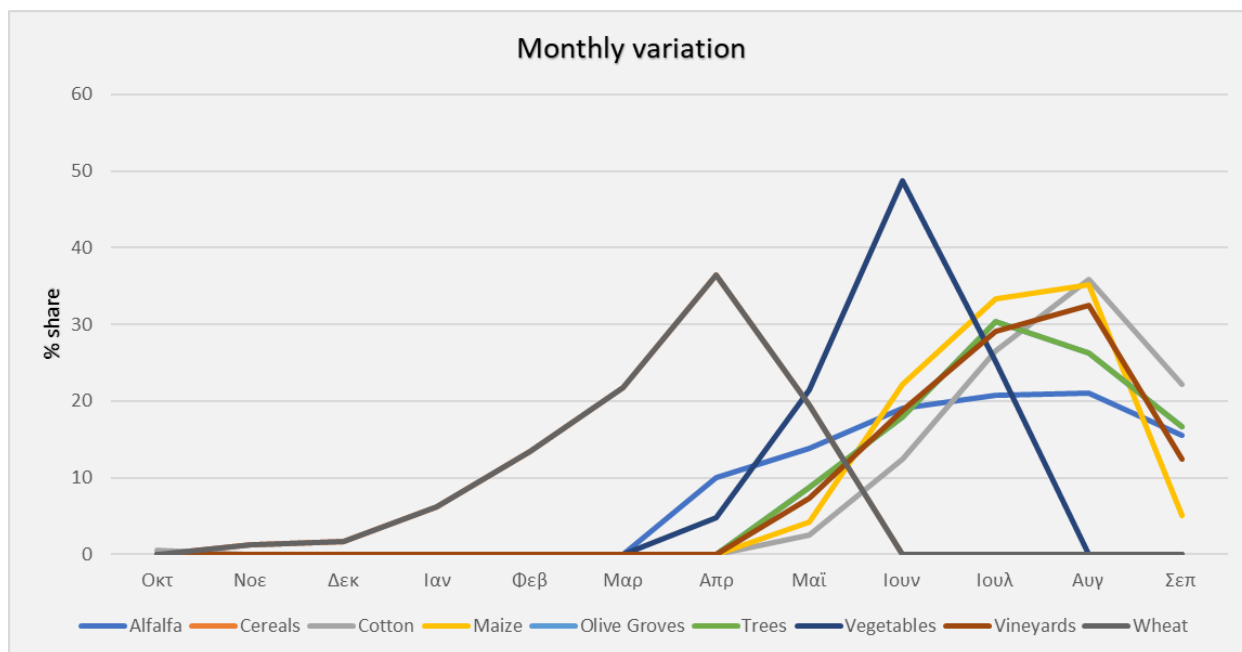


Σχήμα 4.15 Υδατικές ανάγκες στο WEAP

Οι παραπάνω αρδευτικές ανάγκες αφορούν τις απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό αφού έχουν προστεθεί σε αυτές οι απώλειες από τις μεθόδους άρδευσης. Η ποσότητα νερού η οποία δεν καταναλώνεται από το σύστημα ανέρχεται στο 10% της συνολικής ποσότητας (απώλειες

συστήματος). Οι απώλειες αυτές μπορεί να οφείλονται είτε στην εξατμισοδιαπνοή είτε σε νερό που επιστρέφει στον υδροφόρο και μένουν αμετάβλητες για όλα τα σενάρια.

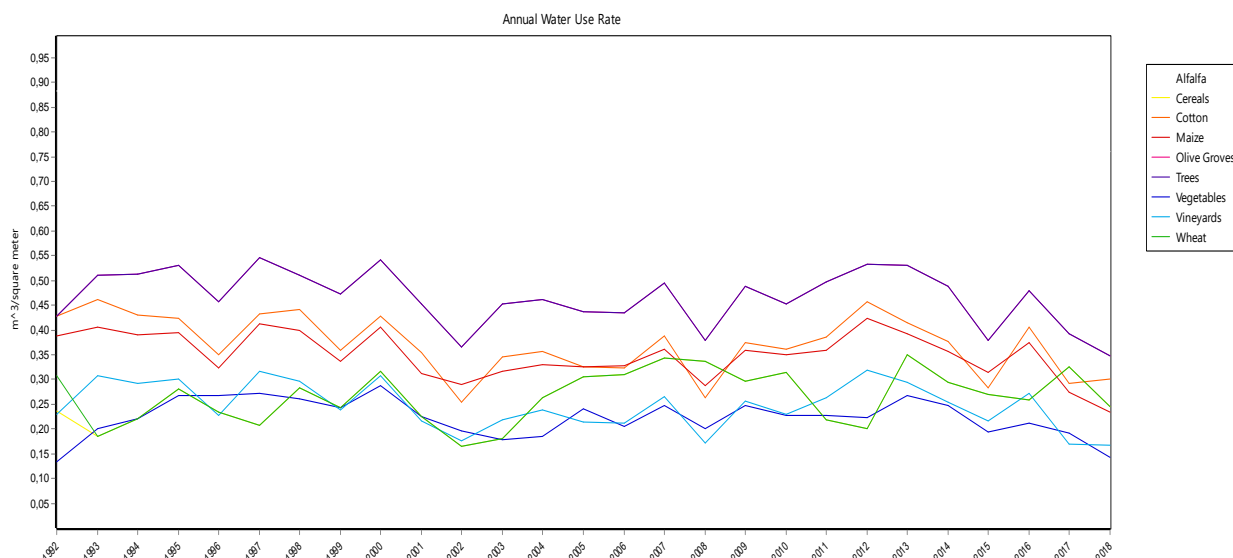
Επιπρόσθετα, απαιτείται η εισαγωγή δεδομένων για μηνιαία διακύμανση της ζήτησης. Τα μηνιαία ποσοστά της παρουσιάζονται στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16 Μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες

4.3.2.2 Υποσενάριο 2^ο: Αντικατάσταση μεθόδων άρδευσης χωρίς την ύπαρξη της λιμνοδεξαμενής

Στο σενάριο αυτό γίνεται αντικατάσταση των μεθόδων άρδευσης με αποδοτικότερες. Πιο συγκεκριμένα, οι καλλιέργειες που αρδεύονται με τη μέθοδο του καταιονισμού (μηδική, δημητριακά, βαμβάκι, αραβόσιτος, λαχανικά και σιτάρι) αρδεύονται πλέον με τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης εξασφαλίζοντας λιγότερες απώλειες. Έτσι, η μοναδική αλλαγή δεδομένων στο μοντέλο του WEAP είναι στις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών ανά μονάδα έκτασης που φαίνονται στο σχήμα 3.5. Το σχήμα 4.17 απεικονίζει το περιβάλλον του προγράμματος WEAP για τις αλλαγές στις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών.

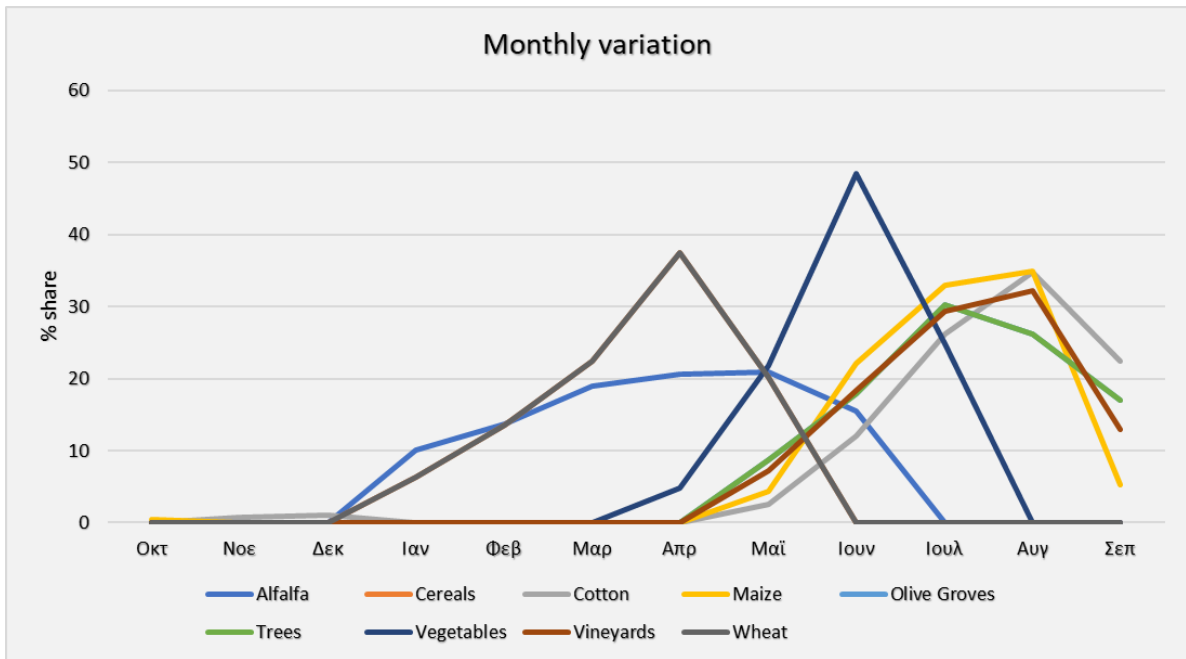


Σχήμα 4.17 Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών μετά την αλλαγή μεθόδων άρδευσης στο WEAP

4.3.2.3 Υποσενάριο 3^ο: Ελλειμματική άρδευση χωρίς λειτουργία της λιμνοδεξαμενής για αρδευτικούς σκοπούς

Στο παρών σενάριο γίνεται εφαρμογή μιας διαφορετικής μεθόδου άρδευσης, της ελλειμματικής. Στη μέθοδο αυτή, η άρδευση γίνεται στα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας που είναι απαραίτητο το νερό, ενώ στα υπόλοιπα η άρδευση είναι ελάχιστη. Οι συντελεστές της περιοχής μελέτης βάσει των οποίων υπολογίζονται οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών δίνονται στον πίνακα 2.5 (Lyra et al., 2021).

Οι δείκτες του μοντέλου WEAP παραμένουν αμετάβλητες σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση εκτός από τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών και τη μηνιαία κατανομή στο σύνολο του αρδευτικού νερού. Οι κατανάλωση των καλλιεργειών δίνεται από το σχήμα 3.6 και η μηνιαία κατανομή από το σχήμα 4.18.

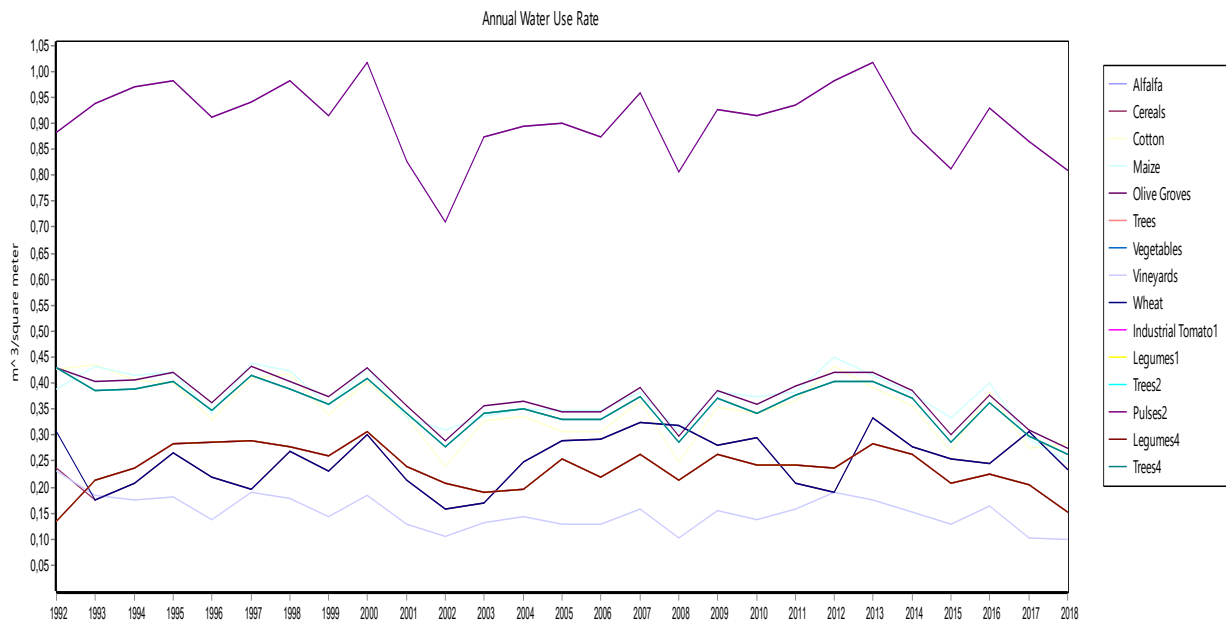


Σχήμα 4.18 Μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού με τη μέθοδο της ελλειμματικής άρδευσης

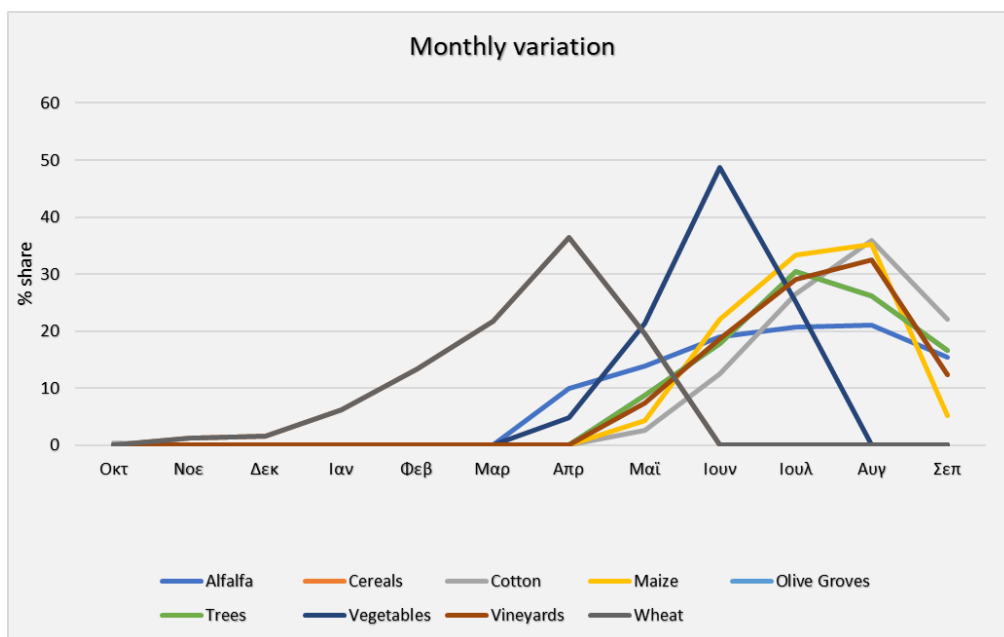
4.3.2.4 Υποσενάριο 4^ο: Αντικατάσταση καλλιεργειών χωρίς την ύπαρξη της λιμνοδεξαμενής

Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται αντικατάσταση των υφιστάμενων καλλιεργειών με άλλες λιγότερο υδροβόρες και περισσότερο οικονομικά συμφέρουσες σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΚΑΠ και του Σχεδίου Λεκανών Απορροής Ποταμών. Στην υποενότητα 2.5.2 αναφέρονται αναλυτικά οι κανονισμοί πάνω στους οποίους βασίστηκε το σενάριο και σύμφωνα με αυτούς έγινε η κατανομή των καλλιεργειών όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.

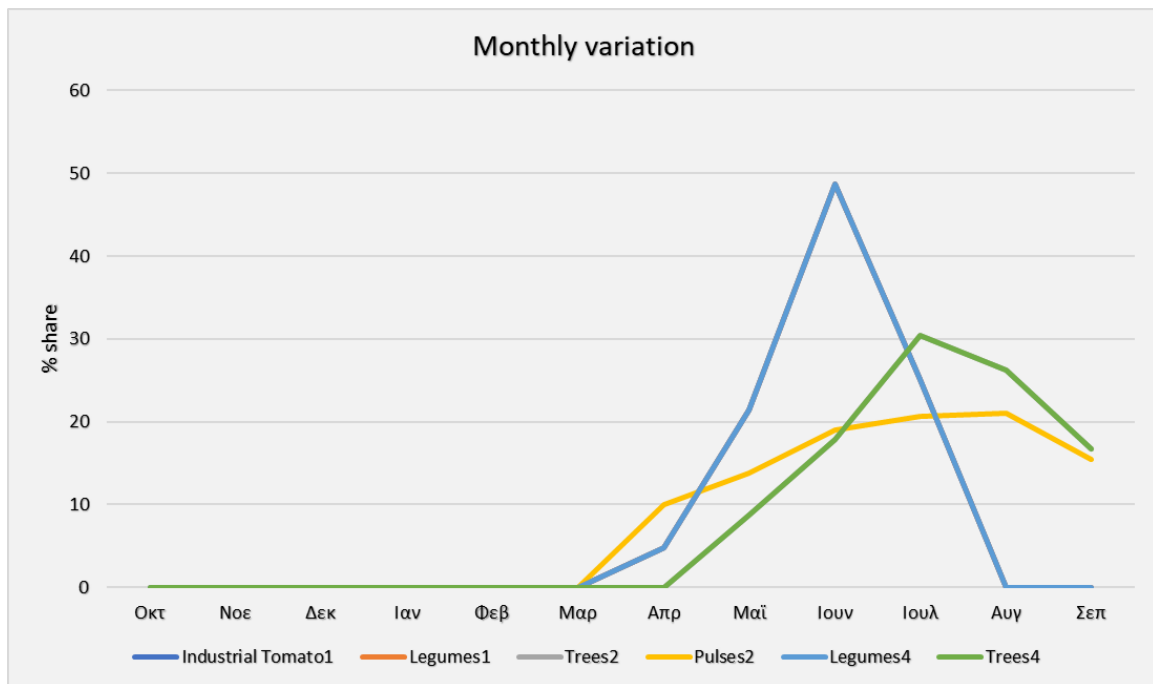
Στο μοντέλο του WEAP, οι καλλιέργειες που αρδεύονται αλλάζουν και ταυτόχρονα μεταβάλλονται οι εκτάσεις τους, η αρδευτικές ανάγκες τους και η μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού. Οι εκτάσεις του νέου συνδυασμού καλλιεργειών φαίνονται στα σχήματα 3.7, 3.8, 3.9 και 3.10 για τις χρονιές 1992-1999, 2000-2009, 2010-2017 και 2018 αντίστοιχα. Οι αρδευτικές τους ανάγκες, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο γράφημα του σχήματος 3.11, απεικονίζονται εδώ στο σχήμα 4.19 μέσω του WEAP και η μηνιαία διακύμανση στα σχήματα 4.20 και 4.21.



Σχήμα 4.19 Αρδευτικές ανάγκες μετά την αντικατάσταση καλλιεργειών στο μοντέλο του WEAP



Σχήμα 4.20 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού των καλλιεργειών



Σχήμα 4.21 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού των αντικατεστημένων καλλιεργειών

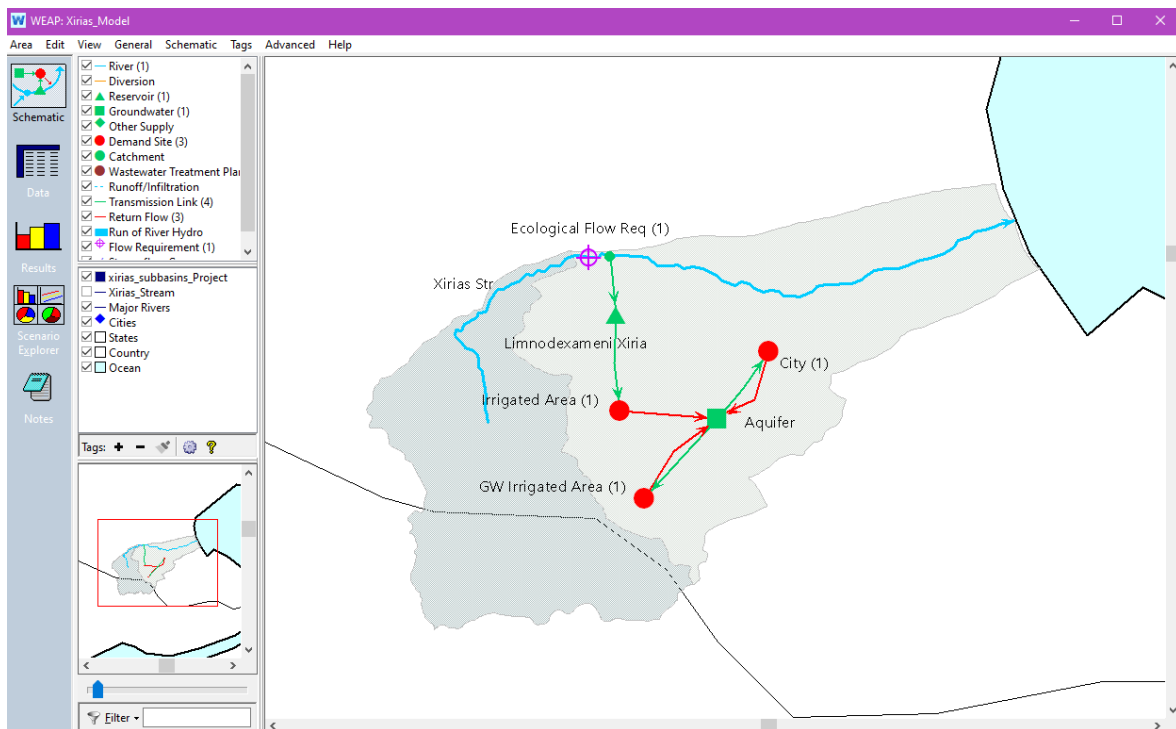
4.3.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Σε αυτήν την κατηγορία τα υποσενάρια είναι πέντε. Κοινό τους δεδομένο είναι η ύπαρξη και η λειτουργία της λιμνοδεξαμενής για το υδρολογικό έτος 1992- 2018, η οποία έχει σκοπό την εξοικονόμηση νερού και τη βελτίωση της ποιότητας του. Επομένως, τα υποσενάρια είναι καταστρωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιωθεί το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής και να συγκριθούν οι μεταβολές στον όγκο νερού που περιέχει. Μέρος των καλλιεργειών καλύπτεται αρδευτικά από τον υδροφόρο ενώ το υπόλοιπο από τη λιμνοδεξαμενή. Τα σενάρια που αναλύονται είναι:

- καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά στην υφιστάμενη κατάσταση
- αλλαγή μεθόδου άρδευσης
- εφαρμογή μεθόδου ελλειμματικής άρδευσης
- αντικατάσταση καλλιεργειών
- καλλιέργειες που προβλέπονται να καλλιεργηθούν από την τεχνική μελέτη

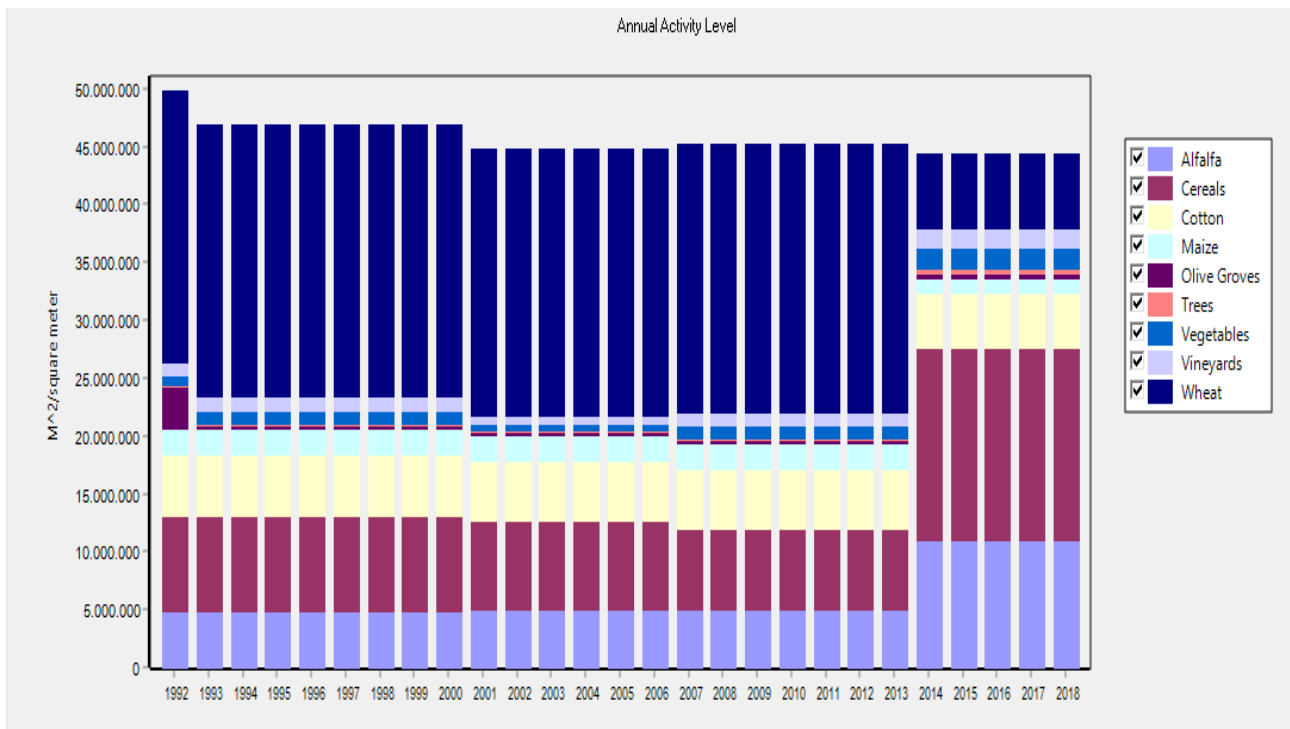
4.3.3.1 Υποσενάριο 1^ο: Καλλιέργειες που αρδεύονται στην πραγματικότητα με την ύπαρξη λιμνοδεξαμενής

Το υποσενάριο αυτό χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη της λιμνοδεξαμενής που αποτελεί και πηγή άρδευσης. Στο σχήμα 4.22 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση στο περιβάλλον του WEAP, όπου το πράσινο τρίγωνο αναπαριστά τη λιμνοδεξαμενή μελέτης στην υπολεκάνη Ξηριά και ο πράσινος κύκλος το σημείο υδροληψίας από το χείμαρρο. Επιπλέον, παρατηρείται ένας ακόμα κόκκινο κύκλος ο οποίος συμβολίζει τις εκτάσεις καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή.



Σχήμα 4.22 Σχηματική απεικόνιση της λιμνοδεξαμενής στο περιβάλλον του WEAP

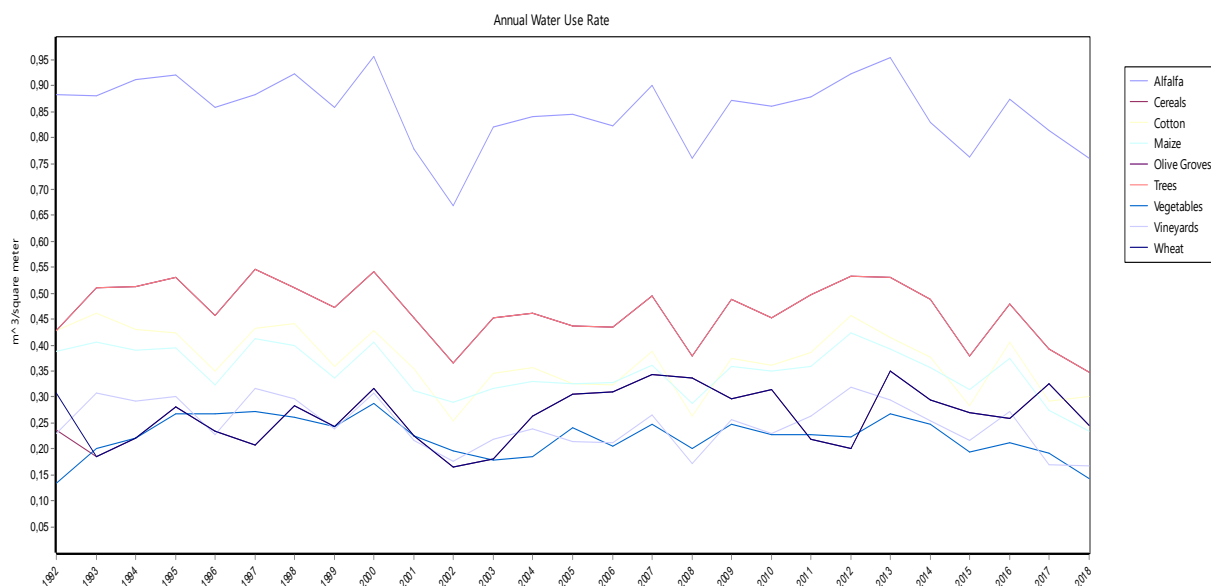
Η λιμνοδεξαμενή κατασκευάστηκε για να αρδεύσει μέρος των αρχικών καλλιεργειών της υπολεκάνης Ξηριά με στόχο την ανακούφιση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Στα σχήματα 3.12 και 3.13. φαίνονται οι εκτάσεις που αρδεύει ο υδροφόρος και η λιμνοδεξαμενή αντίστοιχα. Οι αρδευτικές τους ανάγκες, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο γράφημα του σχήματος 3.4, απεικονίζονται εδώ στο σχήμα 4.23 μέσω του WEAP. Η μηνιαία κατανομή του νερού, η οποία είναι κοινή για τις εκτάσεις που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή και για τις εκτάσεις που αρδεύονται από τα υπόγεια ύδατα, φαίνονται στο σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.23 Εκτάσεις που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή στο περιβάλλον του WEAP

4.3.3.2 Υποσενάριο 2^ο: Αντικατάσταση μεθόδων άρδευσης με την ύπαρξη λιμνοδεξαμενής

Στο υποσενάριο αυτό γίνεται αλλαγή του τρόπου άρδευσης των καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή με αποδοτικότερες. Δηλαδή, στις καλλιέργειες που αρδεύονται με καταιονισμό (μηδική, δημητριακά, βαμβάκι, αραβόσιτος, λαχανικά και σιτάρι) γίνεται αλλαγή σε στάγδην άρδευση η οποία έχει ποσοστό απωλειών 10% (Γεωργιάδου, 2015). Το υποσενάριο δεν έχει ιδιαίτερες αλλαγές στα δεδομένα του παρά μόνο στις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών ανά μονάδα έκτασης (σχήμα 3.5). Στο σχήμα 4.24 απεικονίζονται οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών στο λογισμικό WEAP.

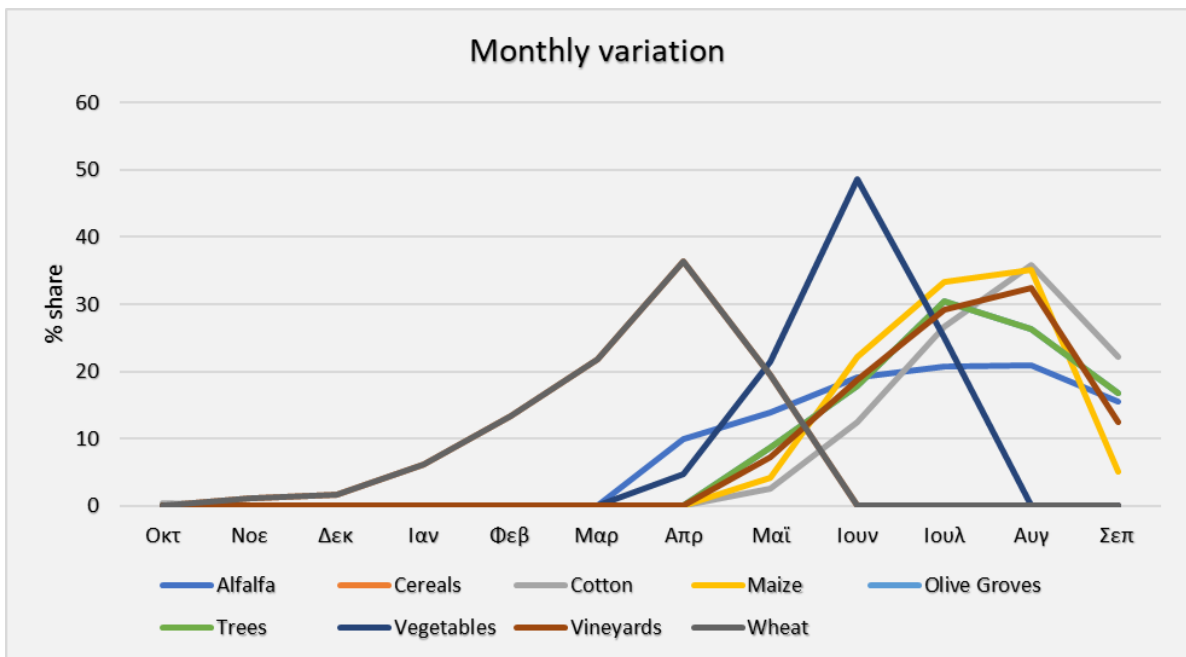


Σχήμα 4.24 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών ανά μονάδα έκτασης m^2 στο περιβάλλον του WEAP

4.3.3.3 Υποσενάριο 3^ο: Ελλειμματική άρδευση με την ύπαρξη λιμνοδεξαμενής

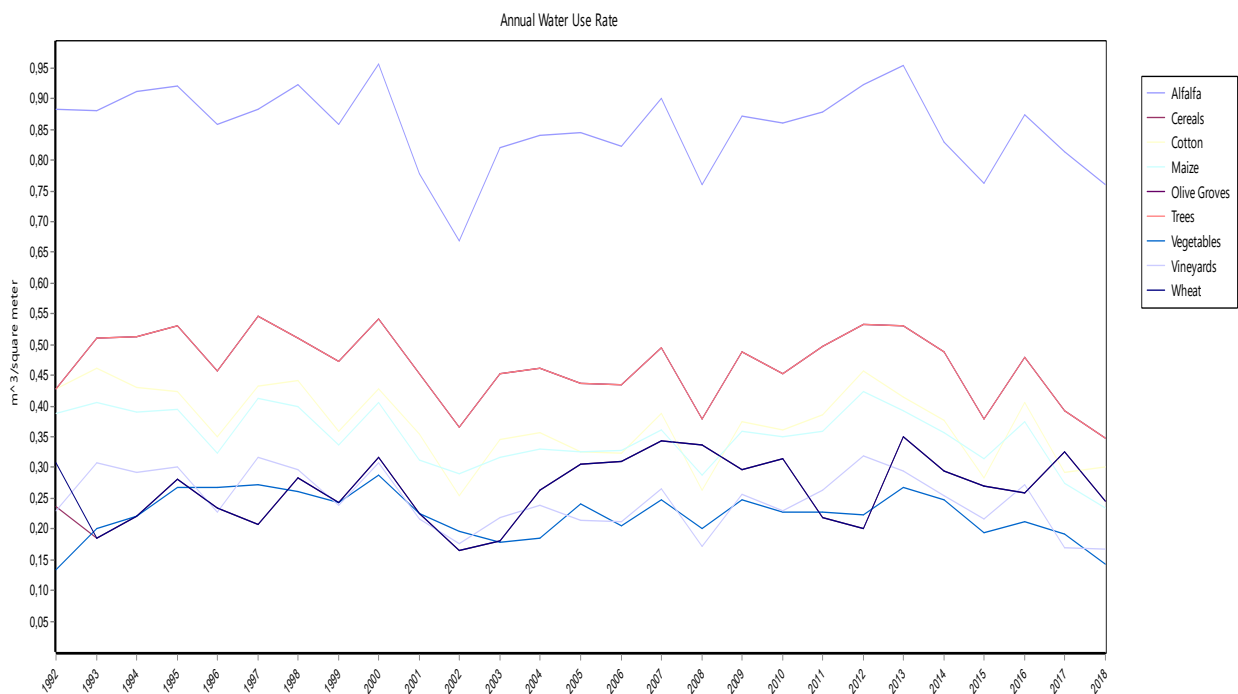
Στο παρών υποσενάριο γίνεται εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στις καλλιέργειες που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή. Στη μέθοδο αυτή, η άρδευση γίνεται στα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας που είναι απαραίτητο το νερό, ενώ στα υπόλοιπα η άρδευση είναι ελάχιστη. Οι συντελεστές της περιοχής μελέτης βάσει των οποίων υπολογίζονται οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών δίνονται στον πίνακα 2.5 (Lyra et al., 2021).

Οι καταναλώσεις των καλλιεργειών και η μηνιαία κατανομή στο σύνολο του αρδευτικού νερού δίνονται από το σχήμα 3.6 και 4.25 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.25 Μηνιαία κατανομή αρδευτικού νερού

Στο σχήμα 4.26 απεικονίζεται το περιβάλλον του WEAP για τη μεταβλητή των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών ανά μονάδα έκτασης.

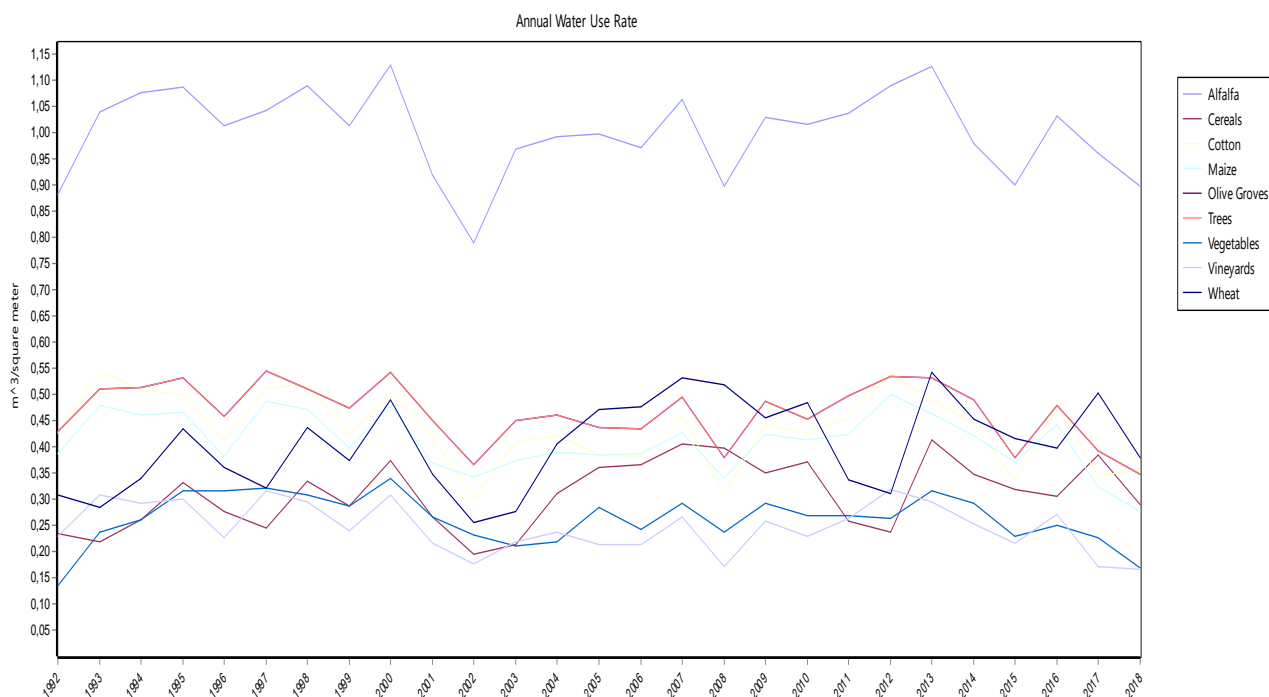


Σχήμα 4.26 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP

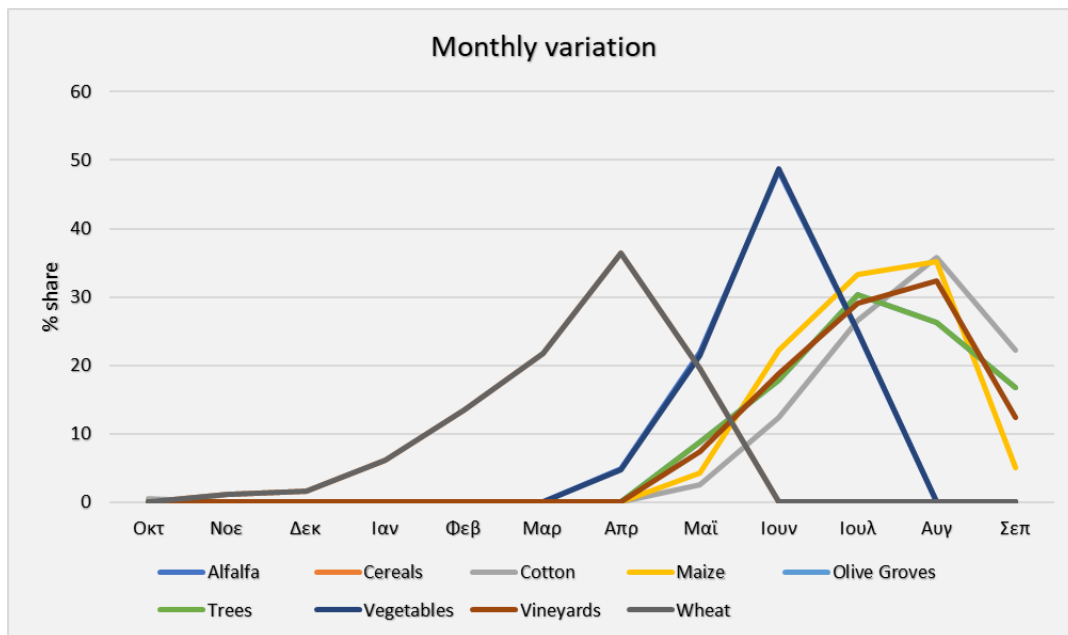
4.3.3.4 Υποσενάριο 4^ο: Αντικατάσταση καλλιεργειών με την ύπαρξη λιμνοδεξαμενής

Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται αντικατάσταση των υφιστάμενων καλλιεργειών που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή με άλλες λιγότερο υδροβόρες και περισσότερο οικονομικά συμφέρουσες σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΚΑΠ και του Σχεδίου Λεκανών Απορροής Ποταμών. Στην υποενότητα 2.5.2 αναφέρονται οι κανονισμοί πάνω στους οποίους βασίστηκε το υποσενάριο και σύμφωνα με αυτούς έγινε η κατανομή των καλλιεργειών όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.

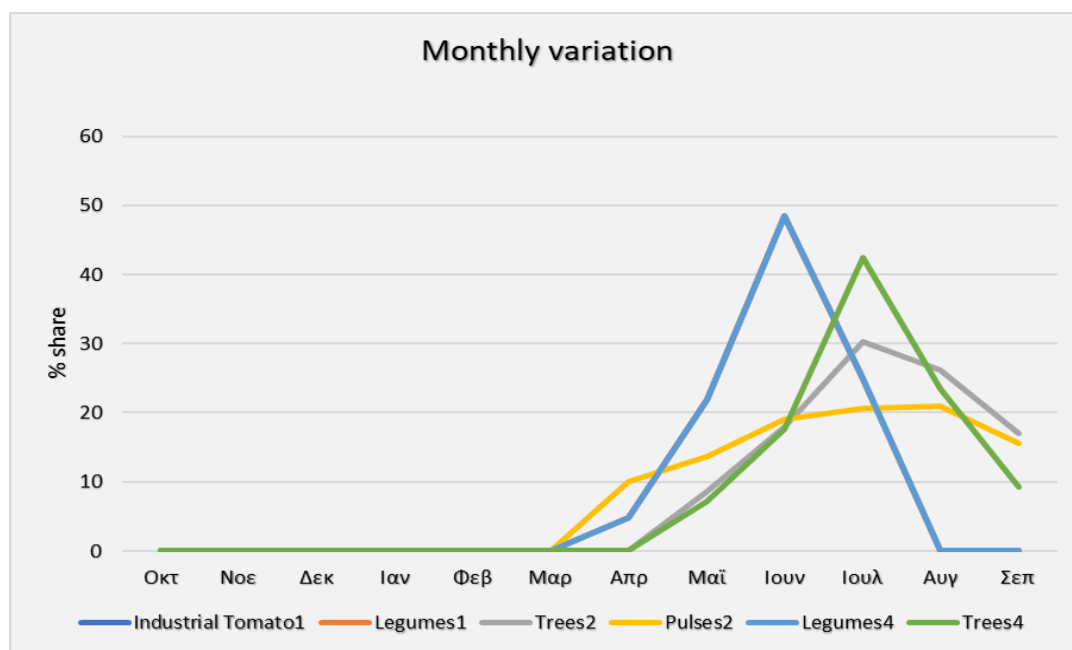
Στο μοντέλο του WEAP, οι καλλιέργειες που αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή μεταβάλλονται ταυτόχρονα με τις εκτάσεις που αυτές καταλαμβάνουν, όπου και μεταβάλλονται οι αρδευτικές ανάγκες τους και η μηνιαία διακύμανση του αρδευτικού νερού. Οι εκτάσεις του νέου συνδυασμού καλλιεργειών φαίνονται στο σχήμα 3.14 για τις χρονιές 1992-1999, 2000-2009, 2010-2017 και 2018. Οι αρδευτικές τους ανάγκες, οι οποίες παρουσιάστηκαν στο γράφημα του σχήματος 3.11, απεικονίζονται εδώ στο σχήμα 4.27 μέσω του WEAP και η μηνιαία διακύμανση στα σχήματα 4.28 και 4.29.



Σχήμα 4.27 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP



Σχήμα 4.28 Αρδευτικές ανάγκες καλλιεργειών μετά την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο περιβάλλον του WEAP

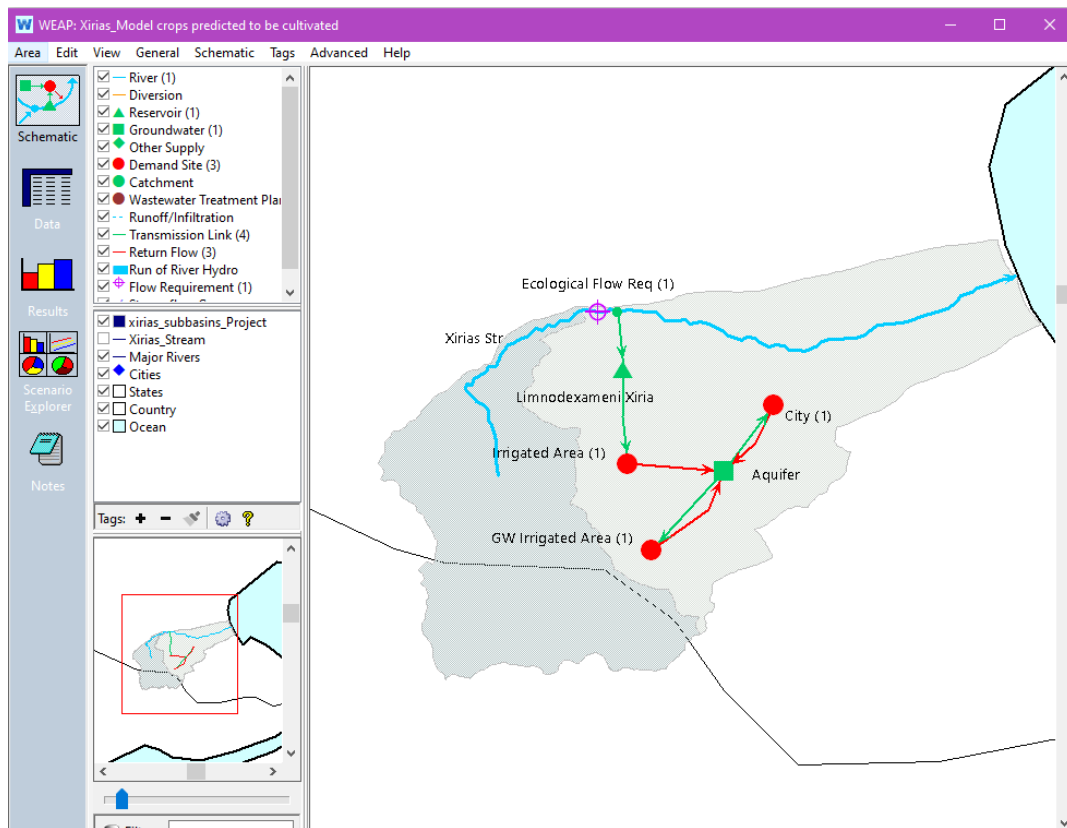


Σχήμα 4.29 Μηνιαία διακύμανση του νερού των αντικατεστημένων καλλιεργειών

4.3.3.5 Υποσενάριο 5^ο: Καλλιέργειες που προβλέπονται να αρδευτούν από τη λιμνοδεξαμενή

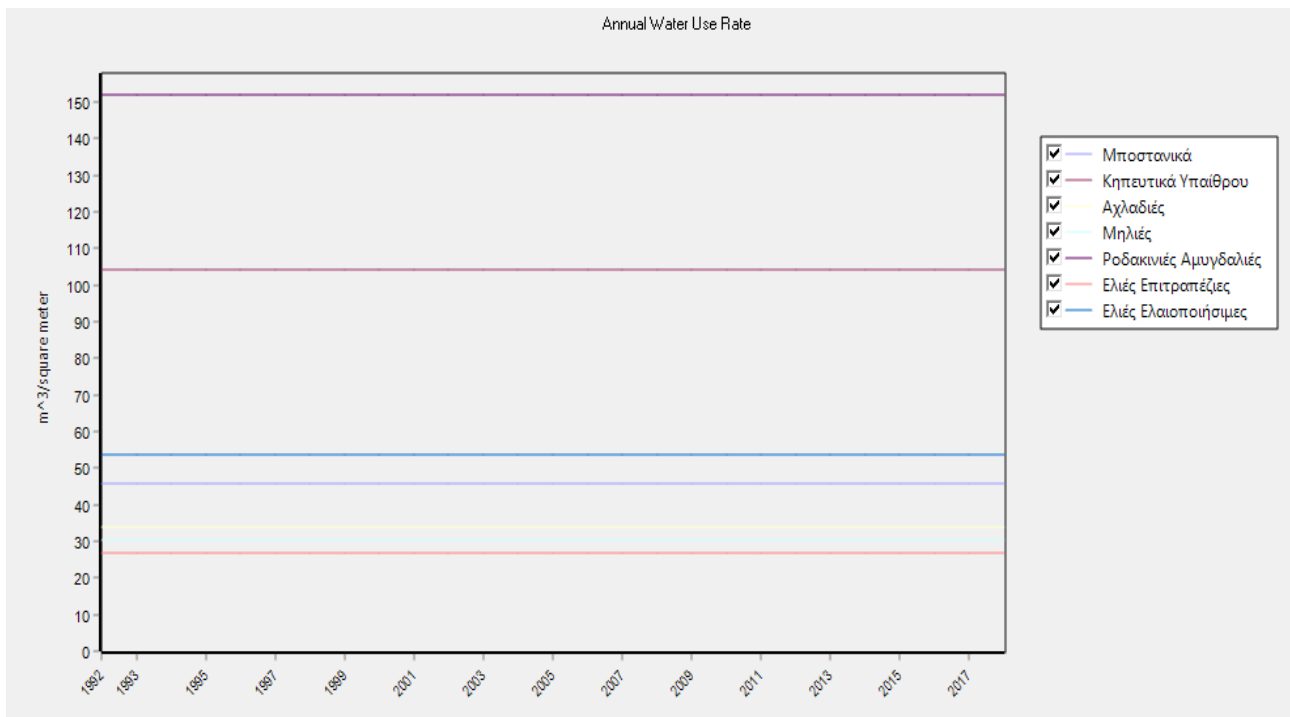
Οι καλλιέργειες του υποσεναρίου αυτού είναι αυτές που προβλέπονται να αρδευτούν από τη λιμνοδεξαμενή σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015). Οι καλλιέργειες που αρδεύονται από αντλήσεις των υπόγειων υδάτων παραμένουν αμετάβλητες. Οι καλλιέργειες που εφοδιάζονται από τη λιμνοδεξαμενή είναι τα μπιστανικά, κηπευτικά υπαίθρου, αχλαδιές, μηλιές,

ροδακινιές/αμυγδαλιές, επιτραπέζιες ελιές, ελαιοποιήσιμες ελιές. Στον πίνακα 3.4 και στο σχήμα 3.15 παρουσιάζονται οι εκτάσεις των καλλιεργειών στην υπολεκάνη Ξηριά. Στο σχήμα 4.30 φαίνεται η σχηματική απεικόνιση του υποσεναρίου στο περιβάλλον του WEAP.



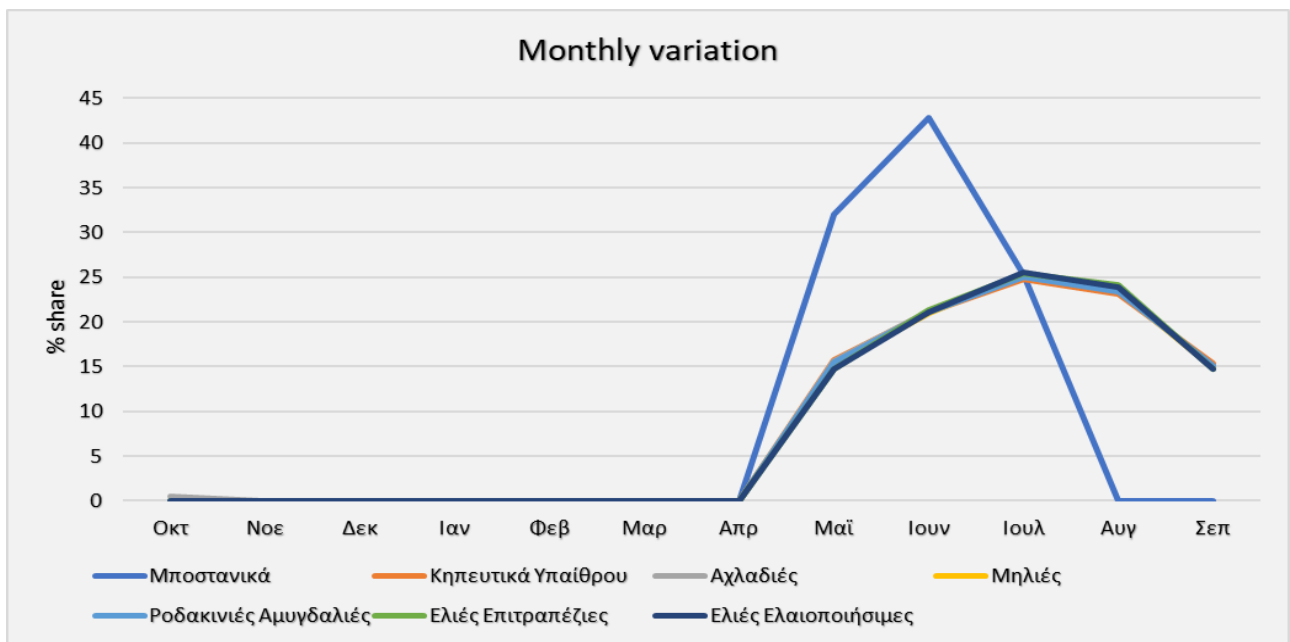
Σχήμα 4.30 Σχηματική απεικόνιση του 5^{ου} σεναρίου

Οι ετήσιες υδατικές καλλιέργειες ανά μονάδα έκτασης m^2 φαίνονται στο σχήμα 3.16 και διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τη ΜΠΕ (2015) και αφού λύφθηκαν υπόψη οι συντελεστές της αποδοτικότητας των μεθόδων άρδευσης. Στο σχήμα 4.31 απεικονίζονται οι ετήσιες αρδευτικές ανάγκες στο περιβάλλον του μοντέλου.



Σχήμα 4.31 Αρδευτικές ανάγκες των προβλεπόμενων καλλιεργειών στο περιβάλλον του WEAP

Η μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού φαίνεται στο σχήμα 4.32.



Σχήμα 4.32 Μηνιαία κατανομή του αρδευτικού νερού στις καλλιέργειες για το σενάριο 5

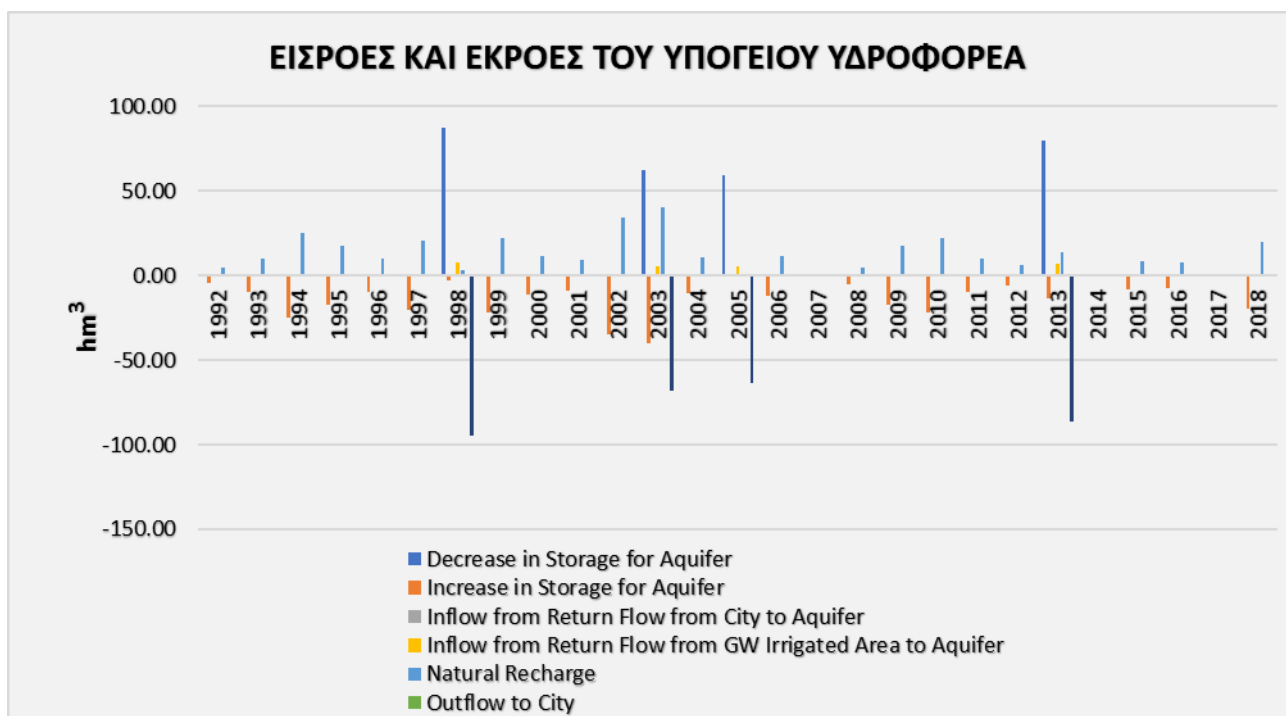
5 Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει και αναλύει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των διαχειριστικών σεναρίων που μελετήθηκαν και έτρεξαν μέσω του λογισμικού WEAP. Ειδικότερα, παραθέτει σχηματικά τα αποτελέσματα του υπόγειου υδατικού ισοζυγίου και της λιμνοδεξαμενής, την αποθηκευτικότητα του υδροφόρου ορίζοντα, τη μεταβολή στον όγκο και στη στάθμη νερού στη λιμνοδεξαμενή. Καταλήγει σε συγκριτικά διαγράμματα των υποσεναρίων κάθε περίπτωσης για κάθε μεταβλητή και στο σχολιασμό τους.

5.1 Περίπτωση Α: Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής

5.1.1 Υποσενάριο 1^ο – Υφιστάμενη Κατάσταση

Το 1^ο υποσενάριο αντικατοπτρίζει την υφιστάμενη κατάσταση χωρίς τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής και την συνέχισή του στο μέλλον. Οι εκτάσεις αρδεύονται μόνο από αντλήσεις από τα υπόγεια ύδατα. Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος για κάθε έτος για την υφιστάμενη κατάσταση. Παρατηρείται ότι η ελάττωση της αποθηκευτικότητας για τον υδροφόρο τα έτη 1998, 2003, 2005 και 2013 επικρατεί της αύξησης, ενώ στα υπόλοιπα έτη συμβαίνει το αντίθετο.



Σχήμα 5.1 Υδατικό Ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζονται τα επίπεδα αποθηκευτικότητας του υπόγειου υδροφορέα της υπολεκάνης Ξηριά ανά μήνα και έτος. Αυτό γίνεται με σκοπό τη σύγκριση των σεναρίων μεταξύ τους και για να υπάρχει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα στην ποσότητα που αντλείται από τα υπόγεια ύδατα και στην ποσότητα που παραμένει. Η περίοδος με τη μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα είναι τα έτη 1996 και 1997, ενώ αυτή με τη μικρότερη είναι τα έτη 1992, 1998, 2005 και 2013.

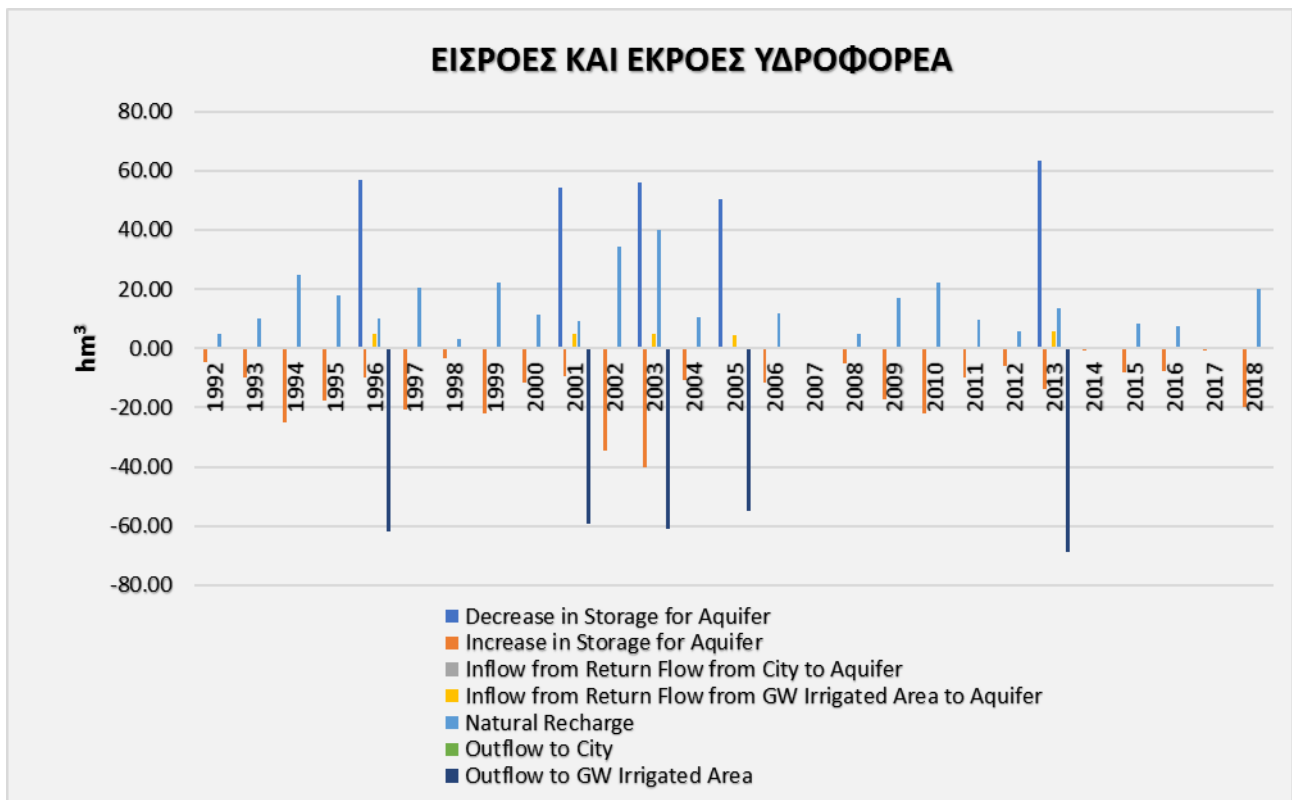


Σχήμα 5.2 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1° υποσενάριο, περίπτωση Α)

5.1.2 Υποσενάριο 2° – Αντικατάσταση Των Μεθόδων Άρδευσης

Το υποσενάριο αυτό αναφέρεται στην αλλαγή τρόπου άρδευσης από καταιονισμό σε στάγδην. Η άρδευση των καλλιεργειών γίνεται εξ' ολοκλήρου από τα υπόγεια ύδατα.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος εμφανίζεται στο σχήμα 5.3. Παρατηρούμε ότι η μείωση στην αποθηκευτικότητα του υδροφορέα υπερτερεί της αύξησης στα έτη 1996, 2001, 2003, 2005 και 2013, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τα υπόλοιπα έτη.



Σχήμα 5.3 Υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος (2^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

Στο σχήμα 5.4 απεικονίζεται η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος ανά μήνα και έτος. Η μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα εμφανίζεται το 2011-2012, ενώ η μικρότερη τα έτη 1991, 1995, 2002 και 2005.

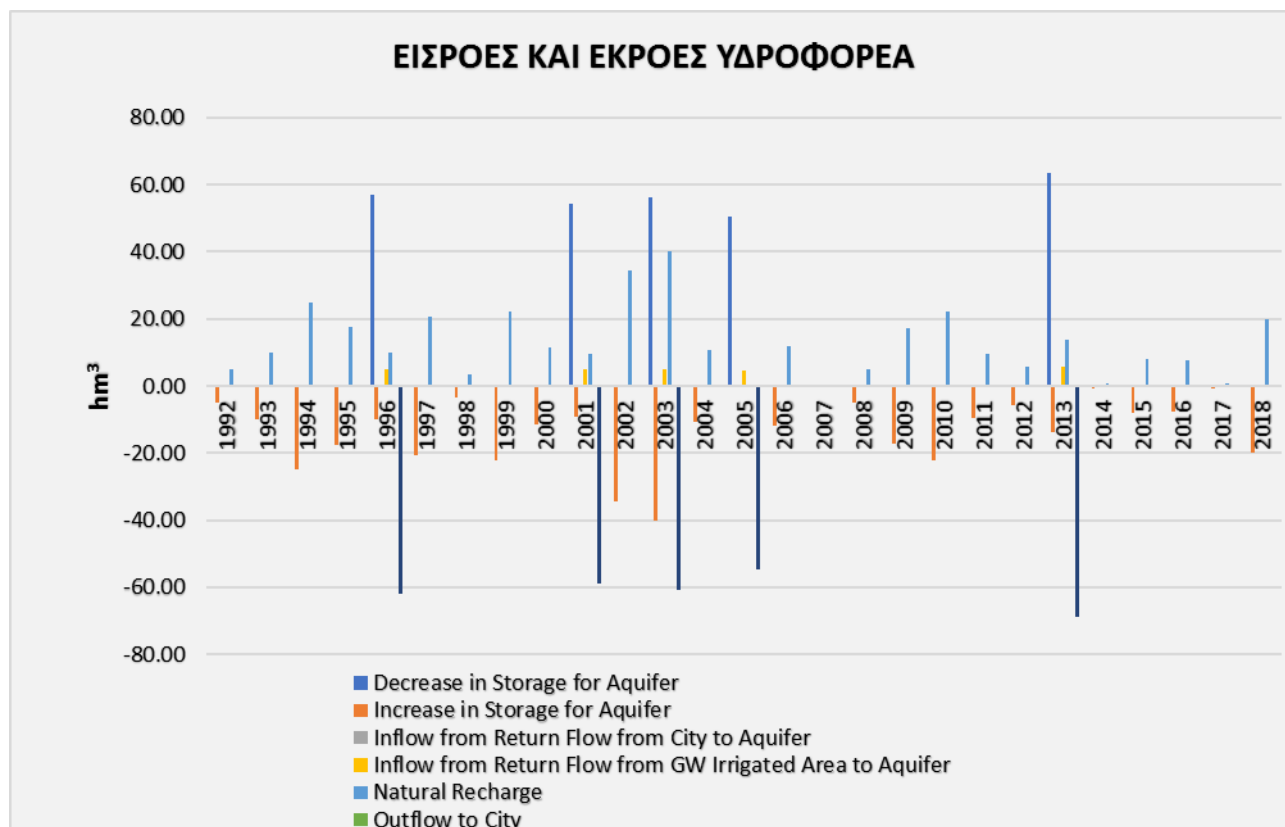


Σχήμα 5.4 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

5.1.3 Υποσενάριο 3^ο – Ελλειμματική Άρδευση

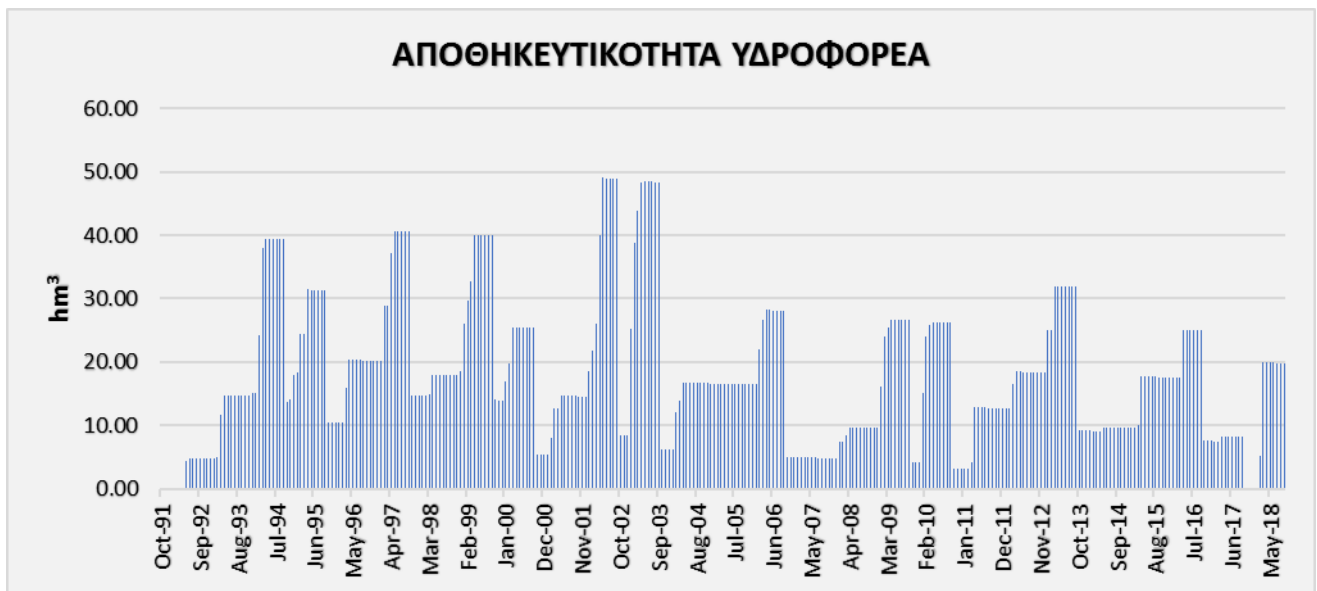
Το υποσενάριο αυτό βάζει σε εφαρμογή την ελλειμματική άρδευση ως μια εναλλακτική μέθοδο άρδευσης για τη μείωση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες αρδεύονται αποκλειστικά από τα υπόγεια ύδατα.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος εμφανίζεται στο σχήμα 5.5. Παρατηρούμε ότι η μείωση στην αποθηκευτικότητα του υδροφορέα διαφέρει σημαντικά στα έτη 1996, 2001, 2003, 2005 και 2013, ενώ το αστίστροφο ισχύει για τα υπόλοιπα έτη.



Σχήμα 5.5 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

Στο σχήμα 5.6 απεικονίζεται η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος ανά μήνα και έτος. Η μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα εμφανίζεται τον Ιανουάριο του 2002 και Φεβρουάριο το 2003, ενώ η μικρότερη τα έτη 1992, 2011 και 2017.

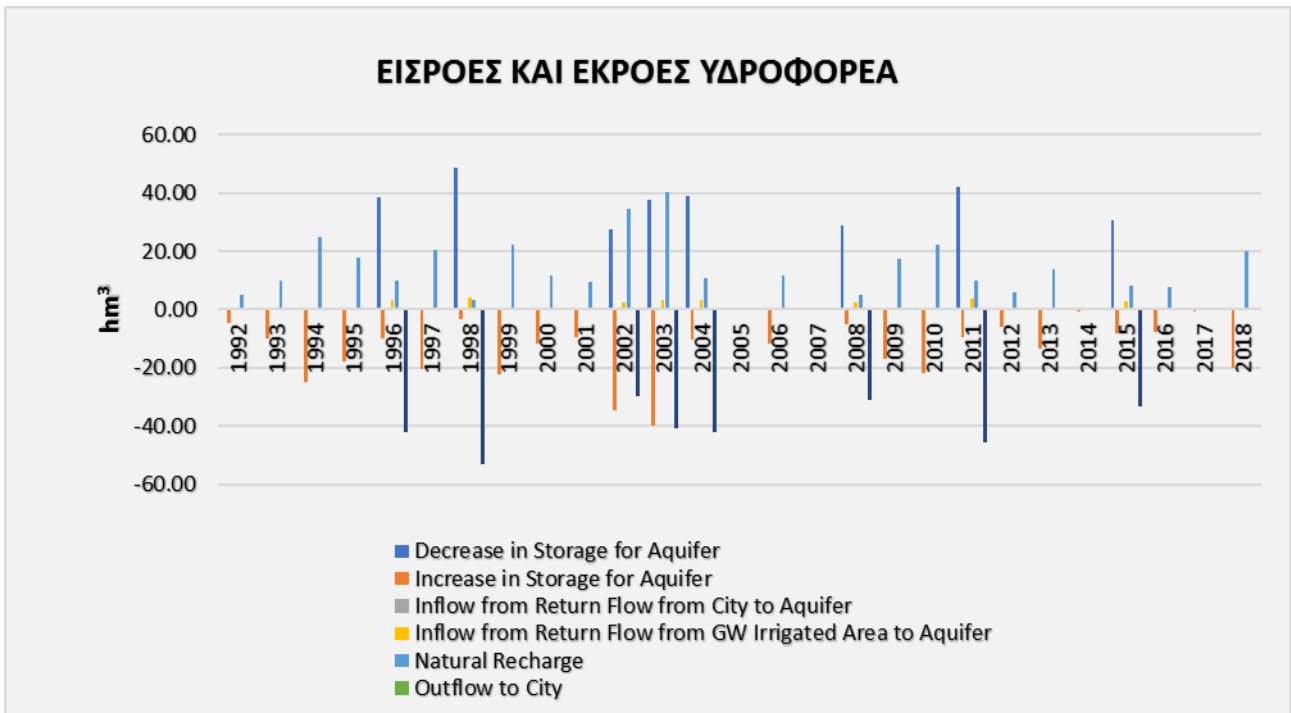


Σχήμα 5.6 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

5.1.4 Υποσενάριο 4^ο – Κοινή Αγροτική Πολιτική

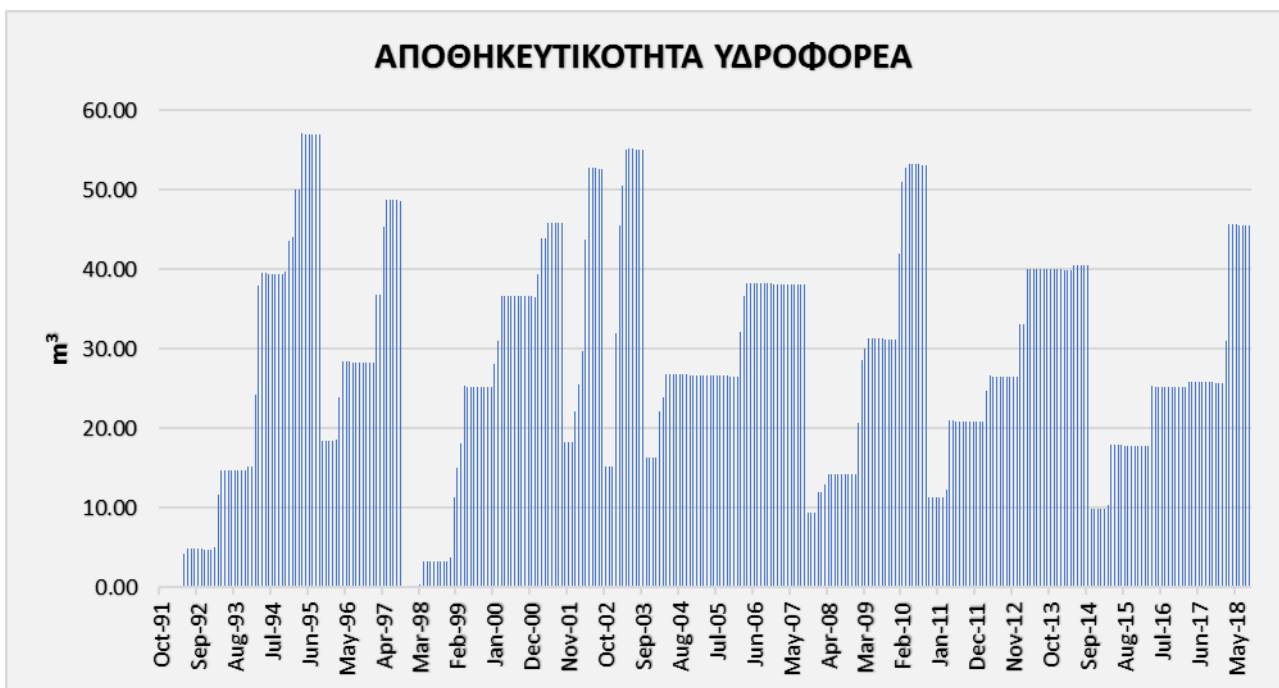
Σε αυτό το υποσενάριο γίνεται εναλλαγή και αντικατάσταση εκτάσεων καλλιεργειών από άλλες περισσότερο συμφέρουσες σύμφωνα με τον κανονισμό της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Το σύνολο των καλλιεργειών αρδεύεται από τα υπόγεια ύδατα.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος εμφανίζεται στο σχήμα 5.5. Παρατηρούμε ότι η μείωση στην αποθηκευτικότητα του υδροφορέα διαφέρει σημαντικά στα έτη 1996, 1998, 2002, 2003, 2004, 2008, 2011 και 2015, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τα υπόλοιπα έτη. Επίσης, σε αρκετά υψηλά επίπεδα κυμαίνεται η εισροή στον υπόγειο υδροφορέα.



Σχήμα 5.5 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

Στο σχήμα 5.6 απεικονίζεται η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος ανά μήνα και έτος. Η μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα εμφανίζεται τον Ιούλιο του 1995 και Ιανουάριο του 2003, ενώ η μικρότερη τα έτη 1992 και 1998.



Σχήμα 5.6 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Α)

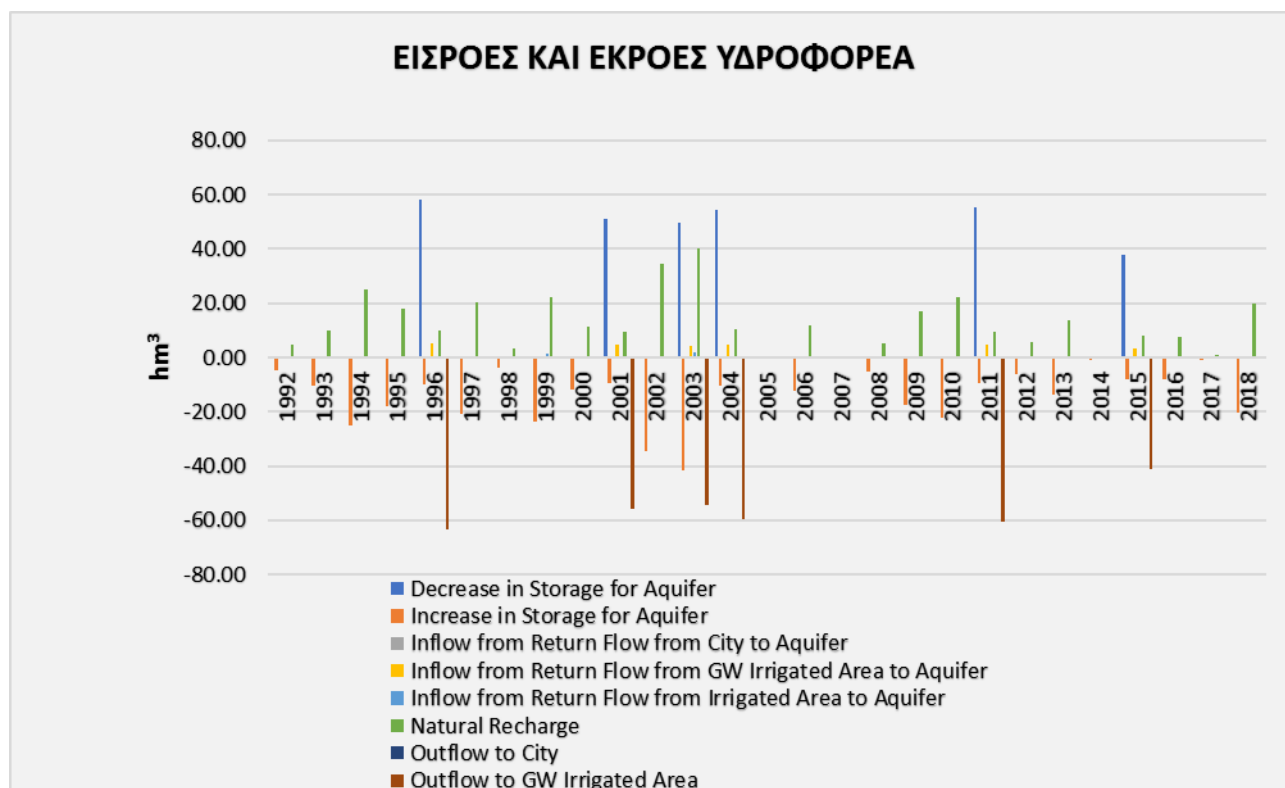
5.2 Περίπτωση Β: Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας σεναρίων είναι η ύπαρξη και λειτουργία της λιμνοδεξαμενής. Ένα μέρος των αρχικών εκτάσεων των καλλιεργειών αρδεύεται από τη λιμνοδεξαμενή και το υπόλοιπο από τα υπόγεια ύδατα. Τα προτεινόμενα διαχειριστικά υποσενάρια εφαρμόζονται στις καλλιεργείες που οι ανάγκες τους ικανοποιούνται από την παροχή της λιμνοδεξαμενής.

5.2.1 Υποσενάριο 1^ο – Υφιστάμενη Κατάσταση

Στο υποσενάριο αυτό αρδεύονται οι καλλιεργείες της υφιστάμενης κατάστασης. Στα σχήματα 3.12 και 3.13 φαίνονται οι εκτάσεις των καλλιεργειών που αρδεύονται από τον υδροφόρο και τη λιμνοδεξαμενή αντίστοιχα.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος εμφανίζεται στο σχήμα 5.7. Η μείωση της αποθηκευτικότητας για τον υδροφόρο εμφανίζει ιδιαίτερα μεγαλύτερες τιμές από την αύξηση της αποθηκευτικότητας στα έτη 1996, 2001, 2003, 2004, 2011 και 2015. Το αντίστροφο ισχύει για τα υπόλοιπα έτη.



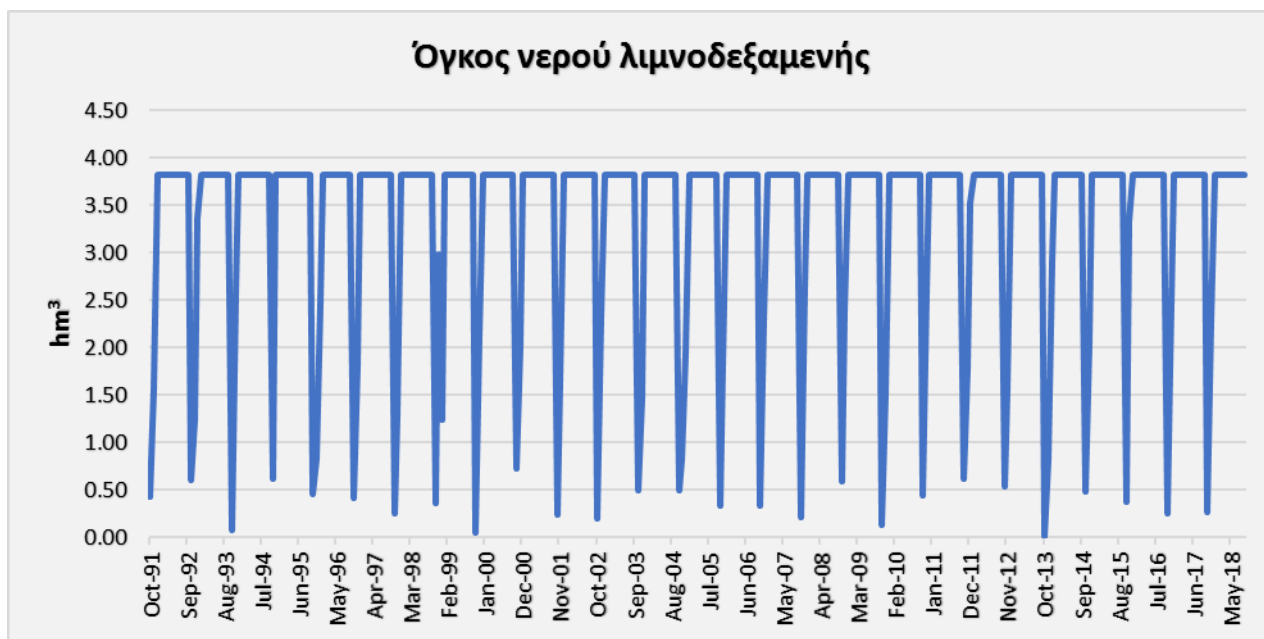
Σχήμα 5.7 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος που αρδεύει τις αντίστοιχες καλλιέργειες για το συγκεκριμένο υποσενάριο απεικονίζεται στο σχήμα 5.8. Στο σχήμα φαίνεται ότι η μέγιστη αποθηκευτικότητα εμφανίζεται το 1999 και 2009, ενώ η ελάχιστη το 1995 και το 2003.

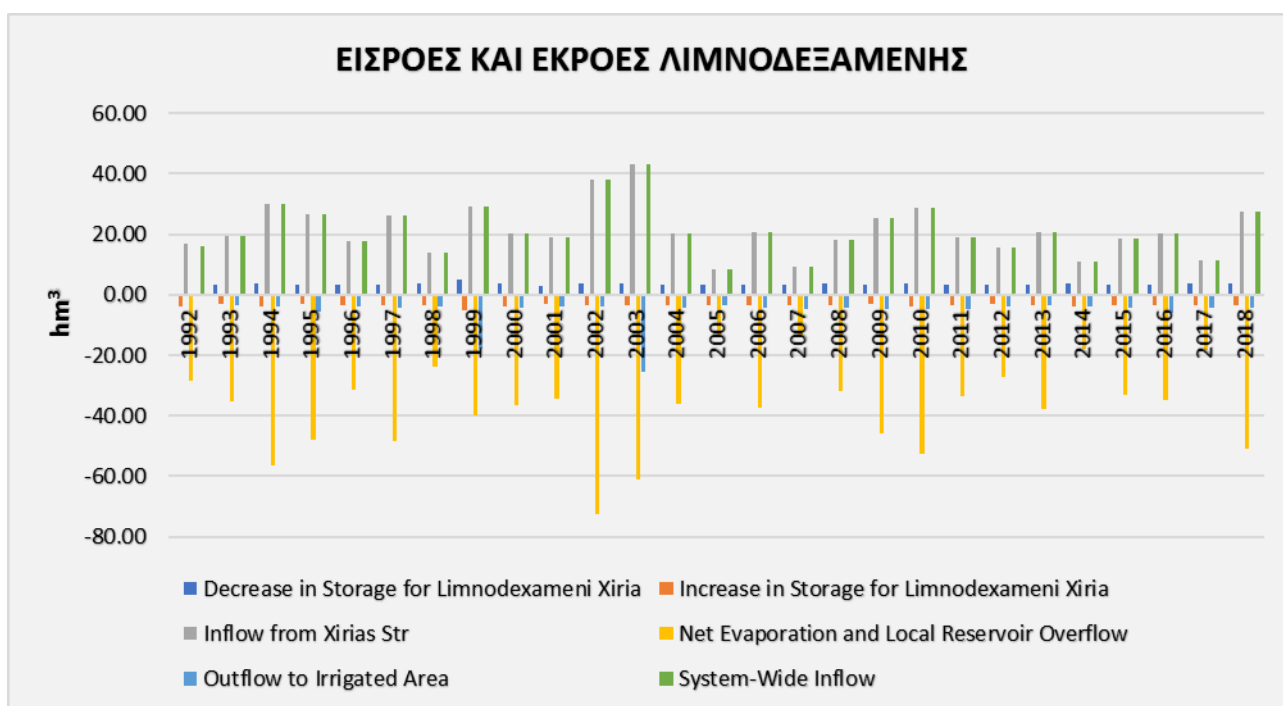


Σχήμα 5.8 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Είναι σημαντικό να αναλυθούν και τα διαγράμματα για τη μεταβολή του όγκου και του υδατικού ισοζυγίου της λιμνοδεξαμενής που προσομοιώθηκαν από το λογισμικό καθώς, τα τελικά συμπεράσματα για την επιλογή του ιδανικότερου διαχειριστικού υποσεναρίου γι' αυτήν την περίπτωση θα εξαχθούν σύμφωνα με τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής. Έτσι, στα σχήματα 5.9 και 5.10 απεικονίζονται η μεταβολή του όγκου νερού της λιμνοδεξαμενής ανά μήνα και έτος και το ισοζύγιο της αντίστοιχα.



Σχήμα 5.9 Μεταβολή όγκου νερού της λιμνοδεξαμενής (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)



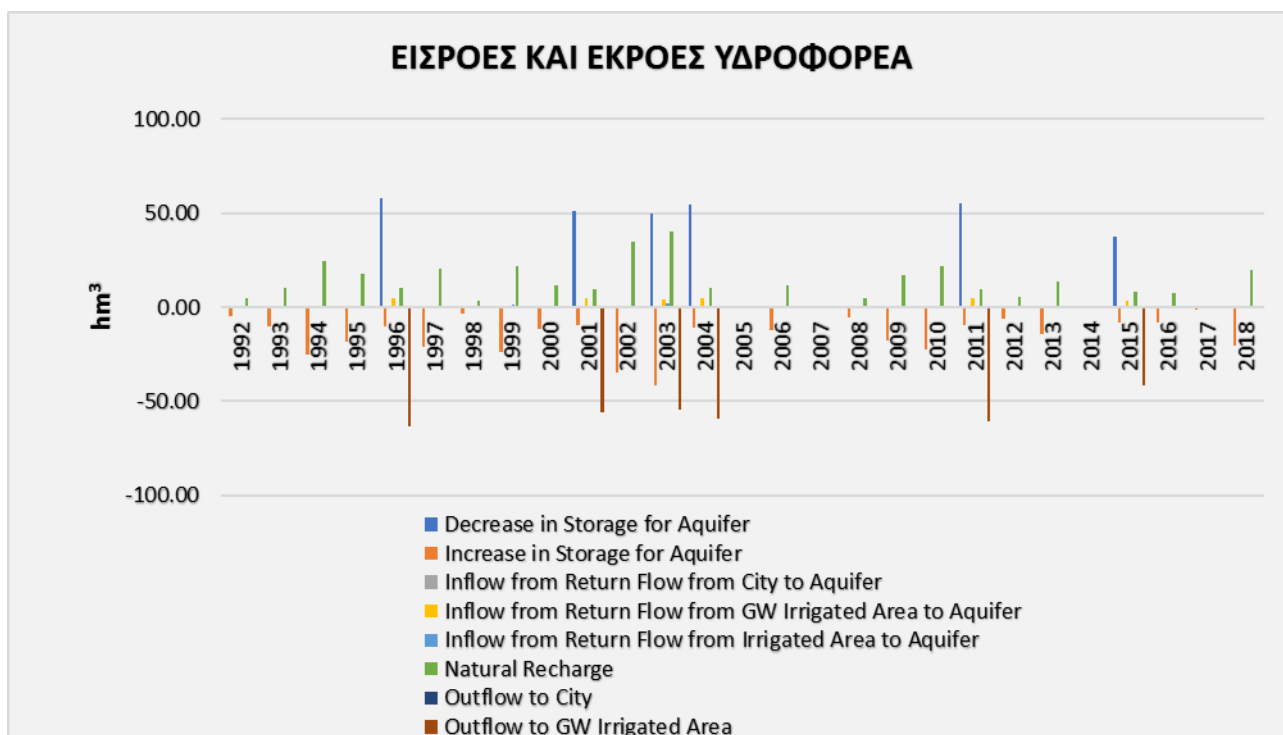
Σχήμα 5.10 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (1^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Στο σχήμα 5.9 φαίνεται ότι το έτος 2014 έχει τη μεγαλύτερη μεταβολή στον όγκο του νερού της λιμνοδεξαμενής, η οποία τείνει να αδιάσει. Στο σχήμα 5.10, η εισροή νερού στη λιμνοδεξαμενή από το χείμαρρο φαίνεται να είναι περισσότερη από την ποσότητα νερού που προορίζεται για την άρδευση των καλλιεργειών. Ωστόσο, η καθαρή εξάτμιση από την επιφάνεια της λιμνοδεξαμενής λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές.

5.2.2 Υποσενάριο 2^ο – Αντικατάσταση των Μεθόδων Άρδευσης

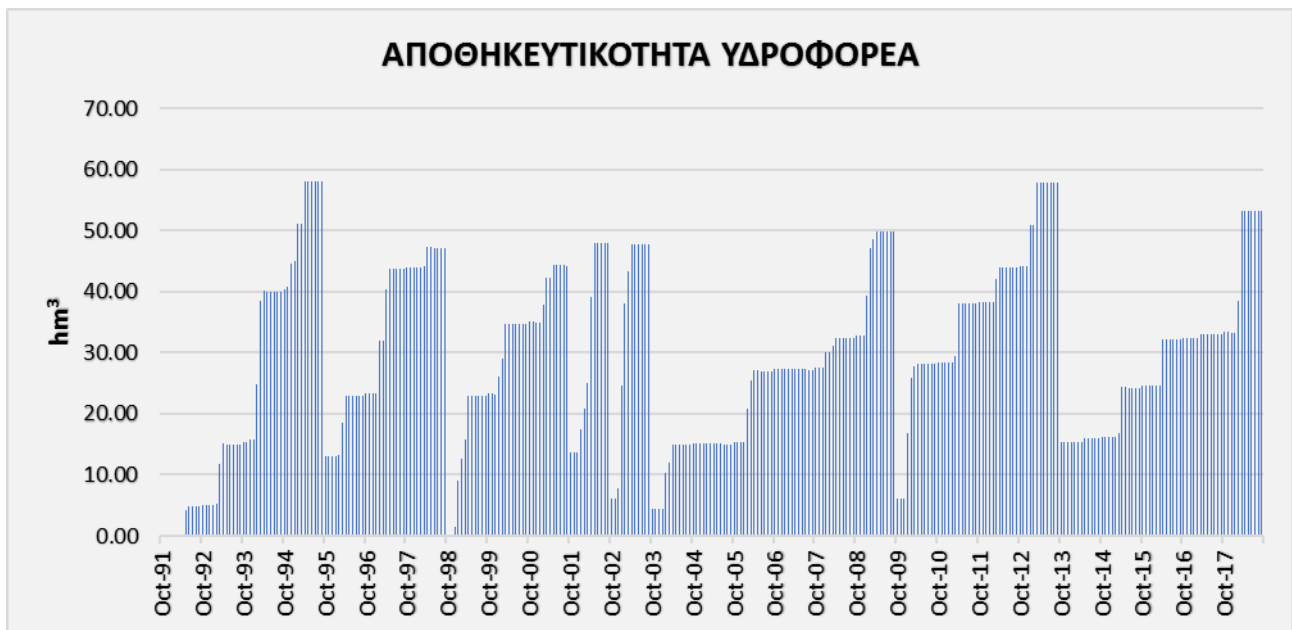
Στο υποσενάριο αυτό οι καλλιέργειες που αρδεύονται είναι αυτές της υφιστάμενης κατάστασης και βασική διαφορά είναι ότι γίνεται αντικατάσταση της μεθόδου άρδευσης του καταιονισμού με αυτή της στάγδην άρδευσης για μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, οι εκτάσεις των καλλιεργειών φαίνονται στα σχήματα 3.12 και 3.13.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου υδροφορέα φαίνεται στο σχήμα 5.11. Η μείωση της αποθηκευτικότητας για τον υδροφόρο εμφανίζει μεγάλη απόκλιση από την αύξηση της αποθηκευτικότητας στα έτη 1996, 2001, 2003, 2004, 2011 και 2015. Το αντίστροφο ισχύει για τα υπόλοιπα έτη.



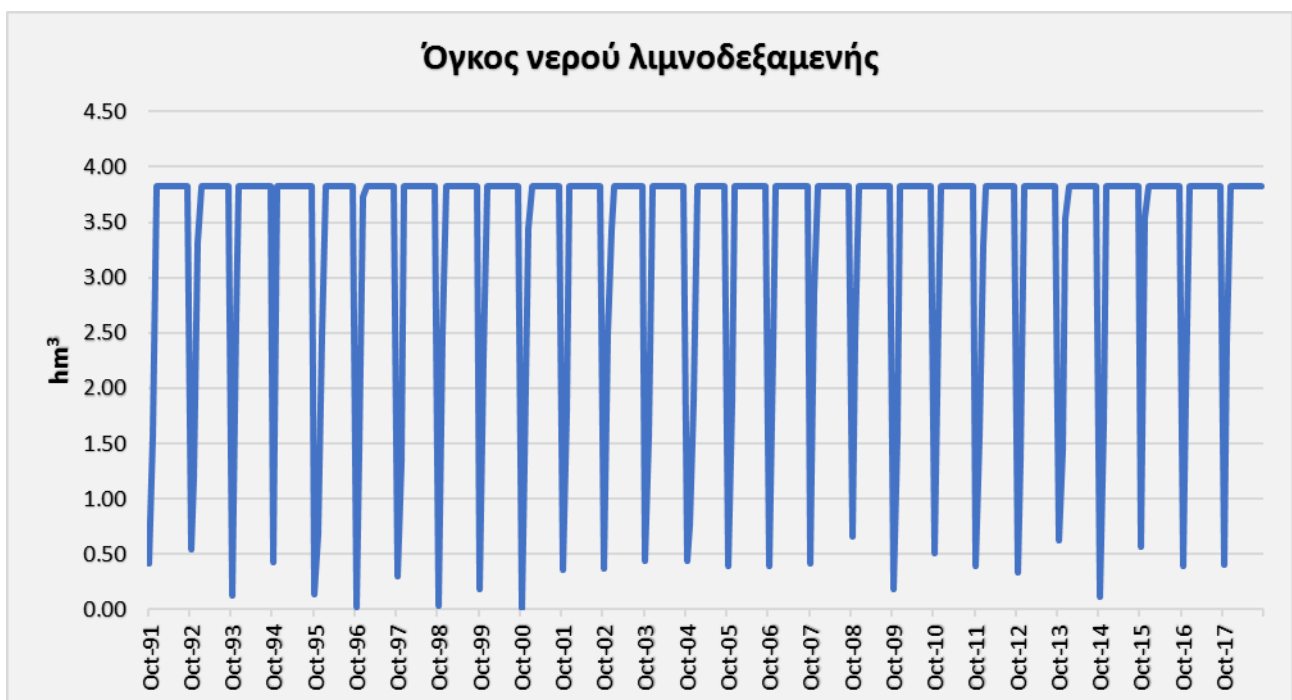
Σχήμα 5.11 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (2^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Αντίστοιχα, στο σχήμα 5.12 απεικονίζεται η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα που αρδεύει τις καλλιέργειες. Η μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης καταγράφεται το 1995 και το 2013, ενώ η λιγότερη τον Οκτώβριο και Νοέμβρη του 1998.



Σχήμα 5.12 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (2^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

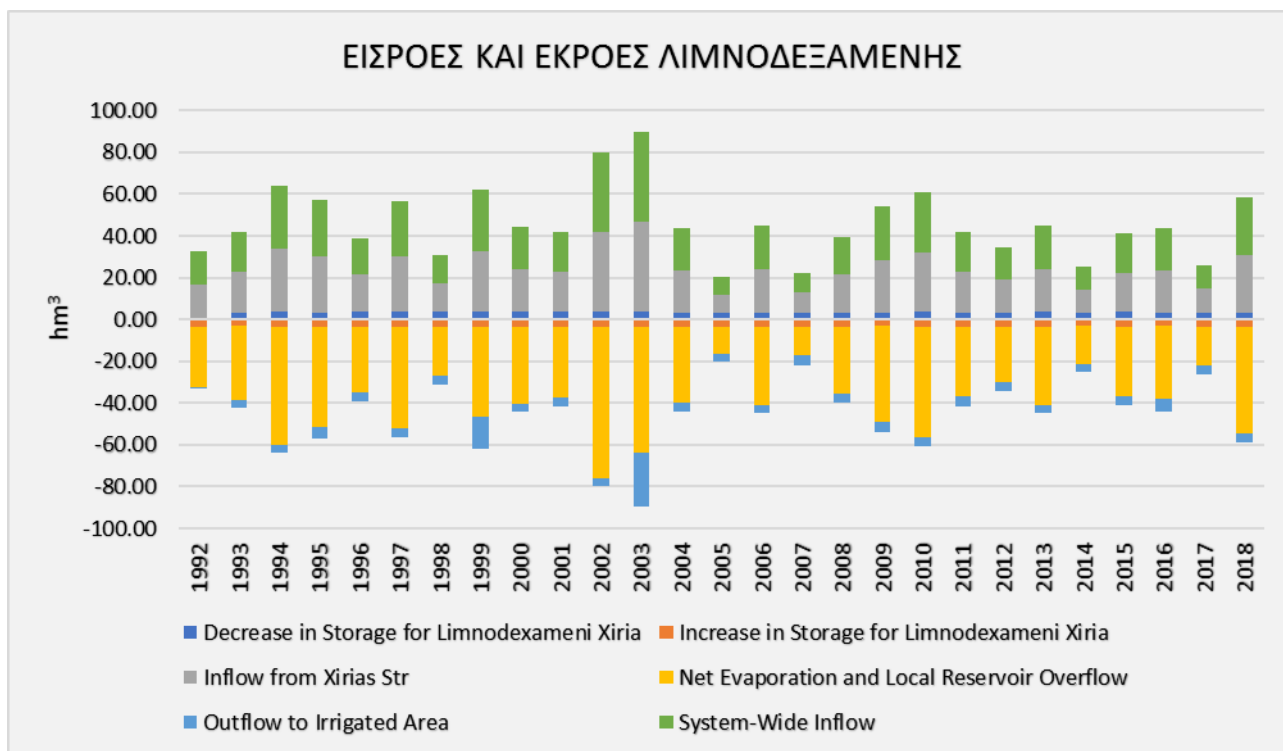
Σχετικά με τη λιμνοδεξαμενή, ο τρόπος που μεταβάλλεται η ποσότητα του νερού μέσα σε αυτή αποτυπώνεται στο σχήμα 5.13. Η μεγαλύτερη πτώση του όγκου του ύδατος συμβαίνει τον Οκτώβρη του 1996 και του 2000 όπου είναι σχεδόν μηδενικός.



Σχήμα 5.13 Μεταβολή όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (2^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.14. Η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στη λιμνοδεξαμενή είναι περισσότερη από αυτή που εξέρχεται. Αλλά, η

καθαρή εξάτμιση παίρνει επίσης μεγάλες αρνητικές τιμές το οποίο δηλώνει αύξηση στη ποσότητα του νερού.

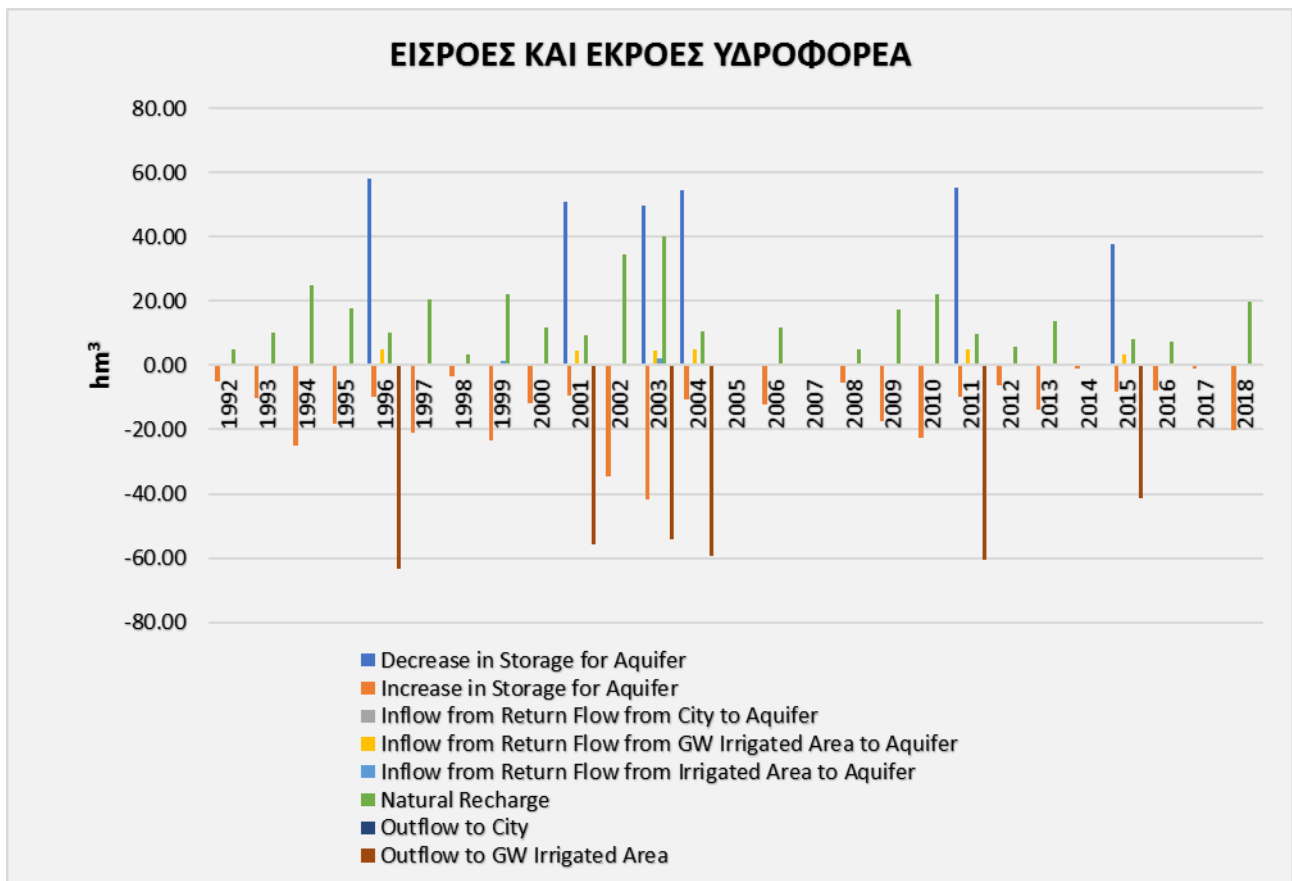


Σχήμα 5.14 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (2^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

5.2.3 Υποσενάριο 3^ο – Ελλειμματική Άρδευση

Σε αυτό το υποσενάριο τέθηκε σε εφαρμογή η ελλειμματική άρδευση ως μέθοδος άρδευσης για τις καλλιέργειες της λιμνοδεξαμενής. Οι καλλιέργειες και οι εκτάσεις τους φαίνονται στα σχήματα 3.12 και 3.13.

Αναφορικά με τα υπόγεια ύδατα, είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν τα διαγράμματα για το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος (σχήμα 5.15) και την αποθηκευτικότητά του (σχήμα 5.16).

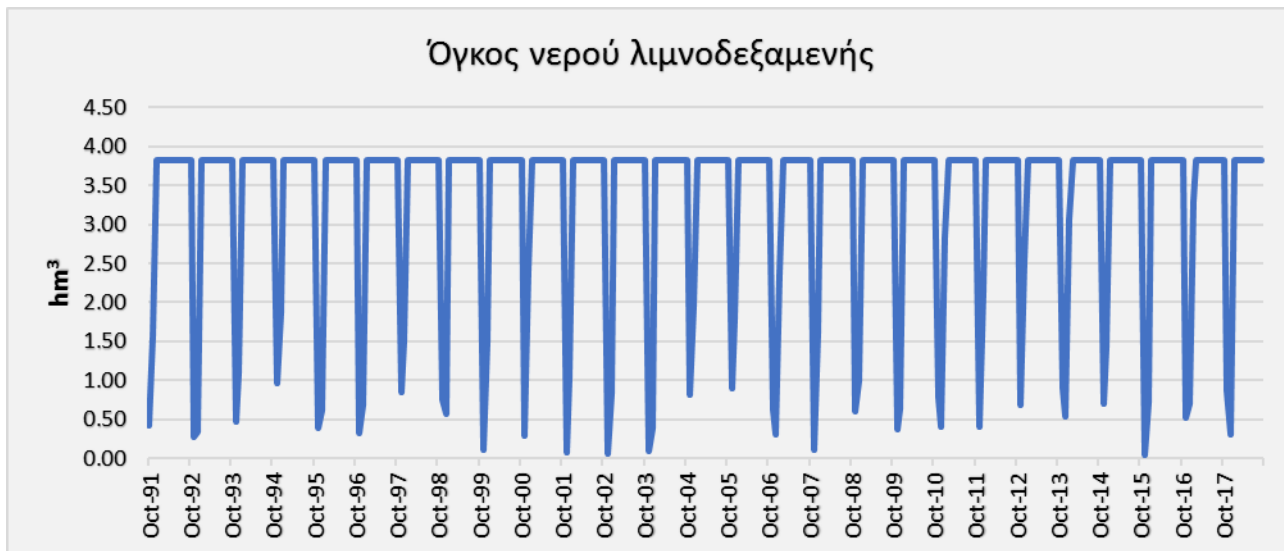


Σχήμα 5.15 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

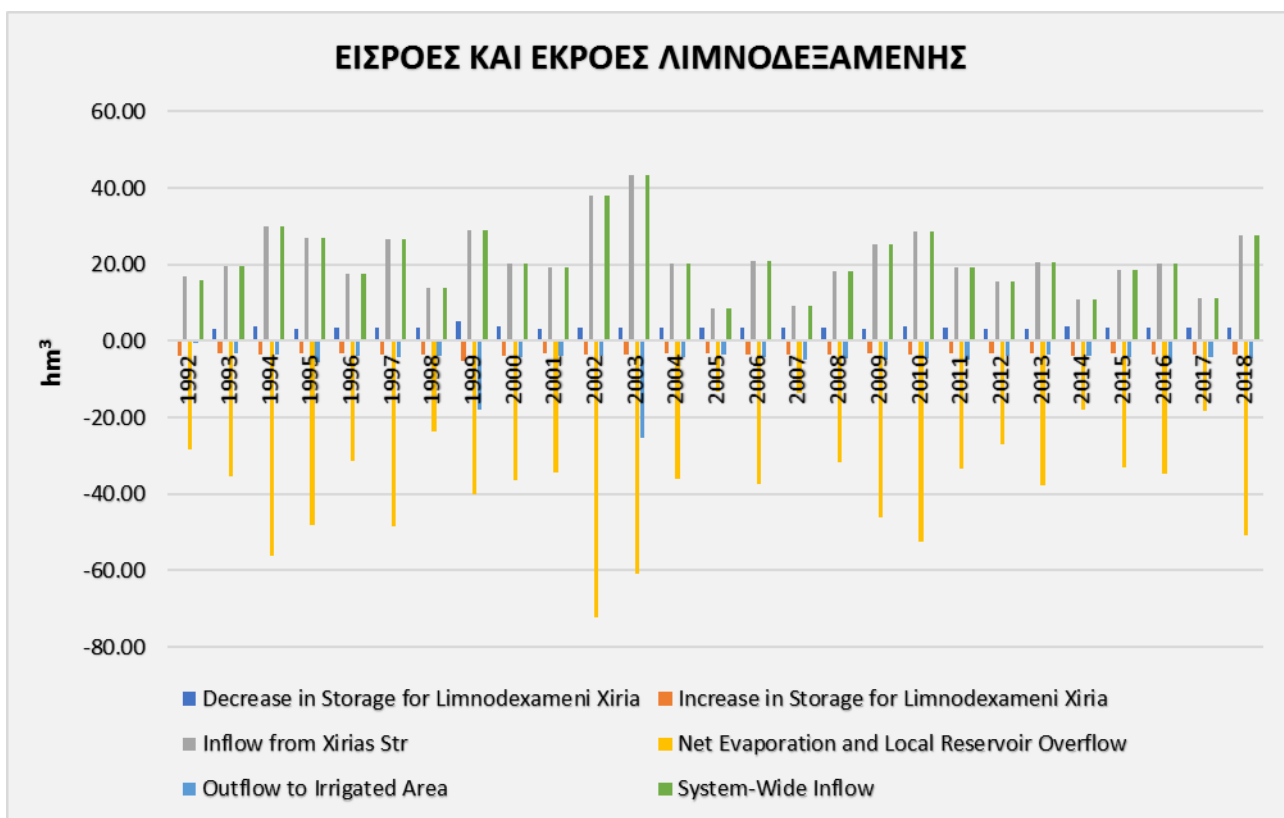


Σχήμα 5.16 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Απαραίτητο για τη συγκεκριμένη περίπτωση διαχειριστικών υποσεναρίων είναι η προσομοίωση της λιμνοδεξαμενής. Έτσι, στα σχήματα 5.17 και 5.18 απεικονίζονται τα διαγράμματα για τη μεταβολή του όγκου του νερού της λιμνοδεξαμενής και του υδατικού ισοζυγίου της. Από το σχήμα 5.17 εντοπίζονται τα χρονικά διαστήματα στα οποία ο όγκος τείνει να μηδενιστεί. Αυτό γίνεται συγκεκριμένα από το 2000 έως το 2003 και το 2016.



Σχήμα 5.17 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

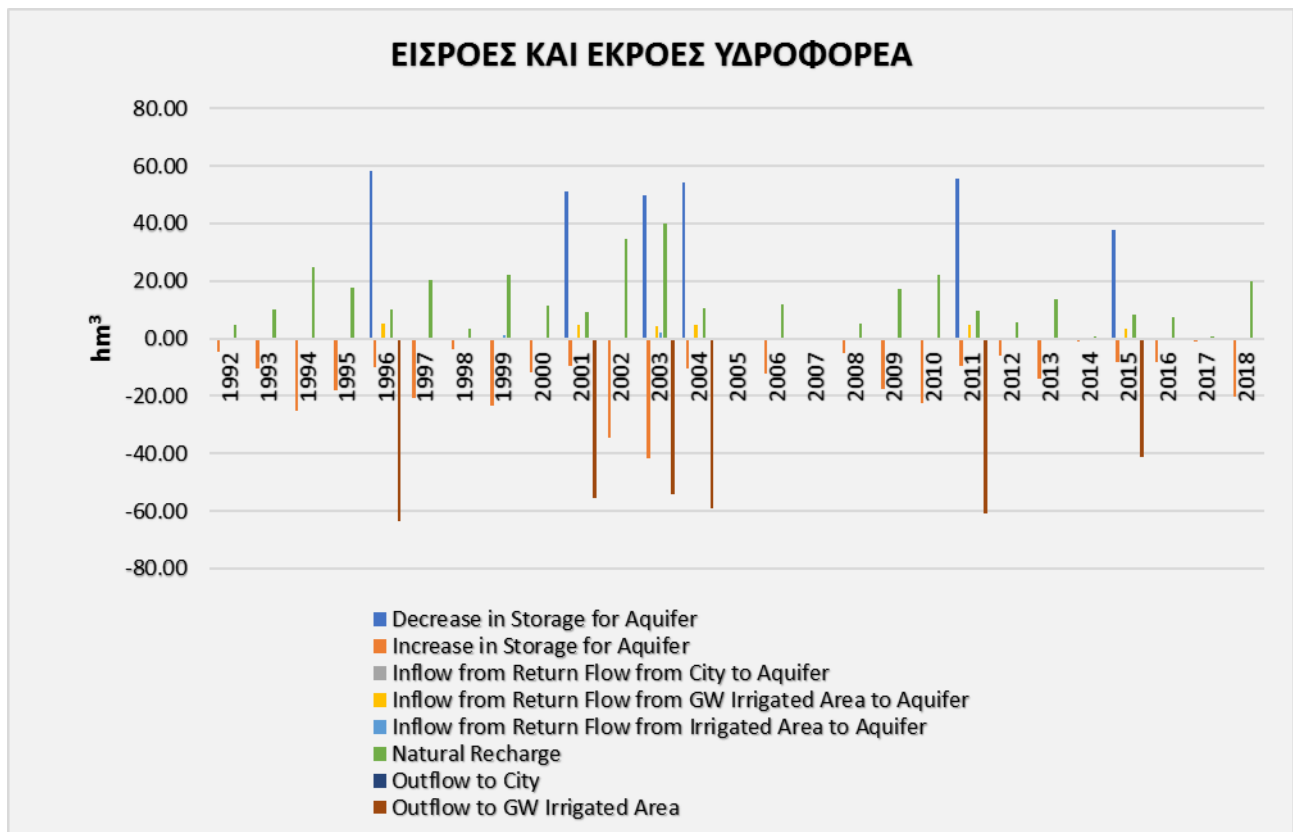


Σχήμα 5.18 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (3^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

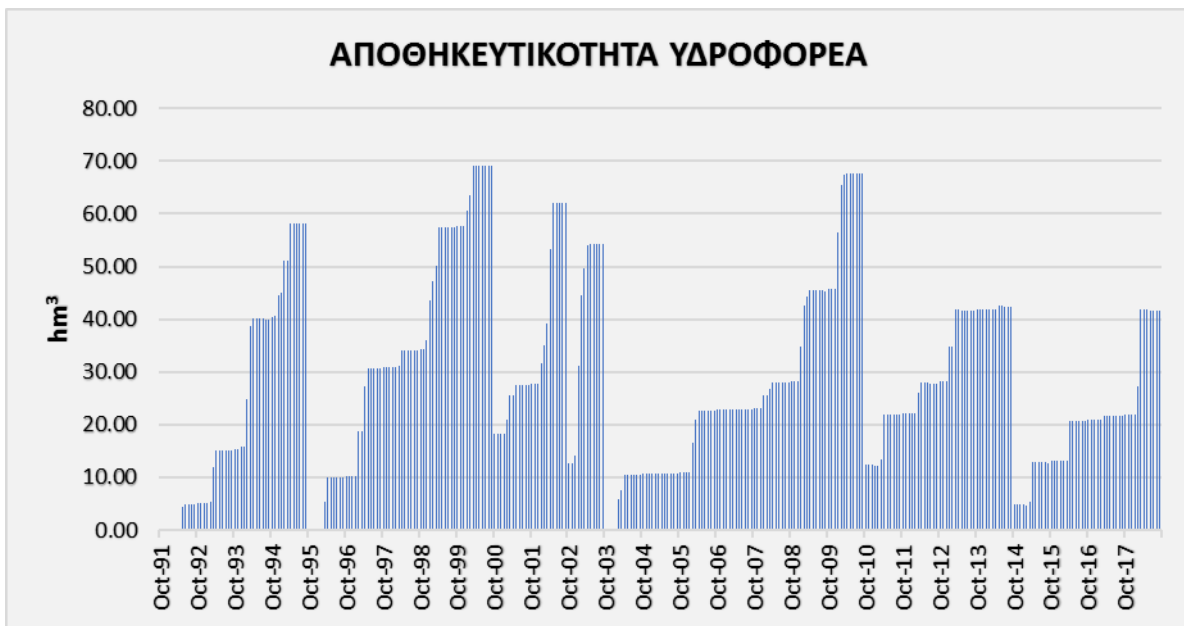
5.2.4 Υποσενάριο 4^ο – Κοινή Αγροτική Πολιτική

Στο υποσενάριο αυτό γίνεται αντικατάσταση μέρους των υφιστάμενων καλλιεργειών με άλλες που προτείνονται από τον κανονισμό της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής. Οι καλλιέργειες αυτές αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή και οι υπόλοιπες από τον υπόγειο υδροφόρα. Οι καλλιέργειες και οι εκτάσεις τους φαίνονται στα σχήματα 3.12 και 3.14.

Το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου υδροφόρα φαίνεται στο σχήμα 5.19 και η μεταβολή της αποθηκευτικότητάς του στο σχήμα 5.20.

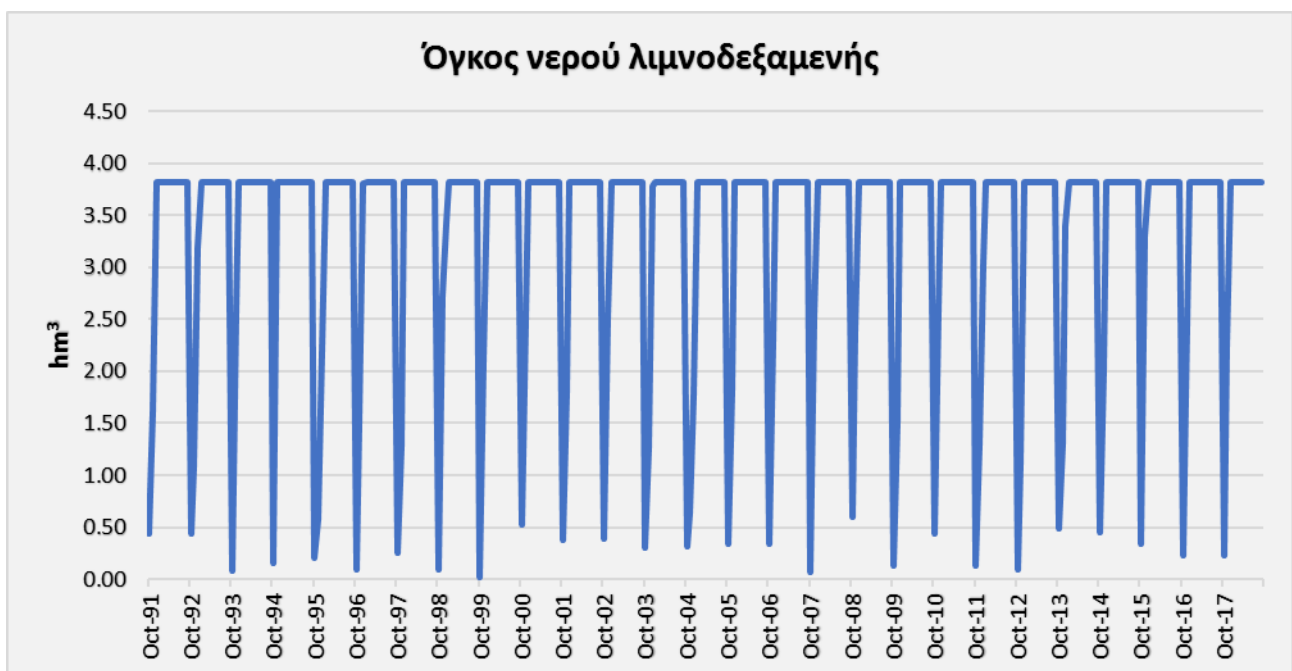


Σχήμα 5.19 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)



Σχήμα 5.20 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

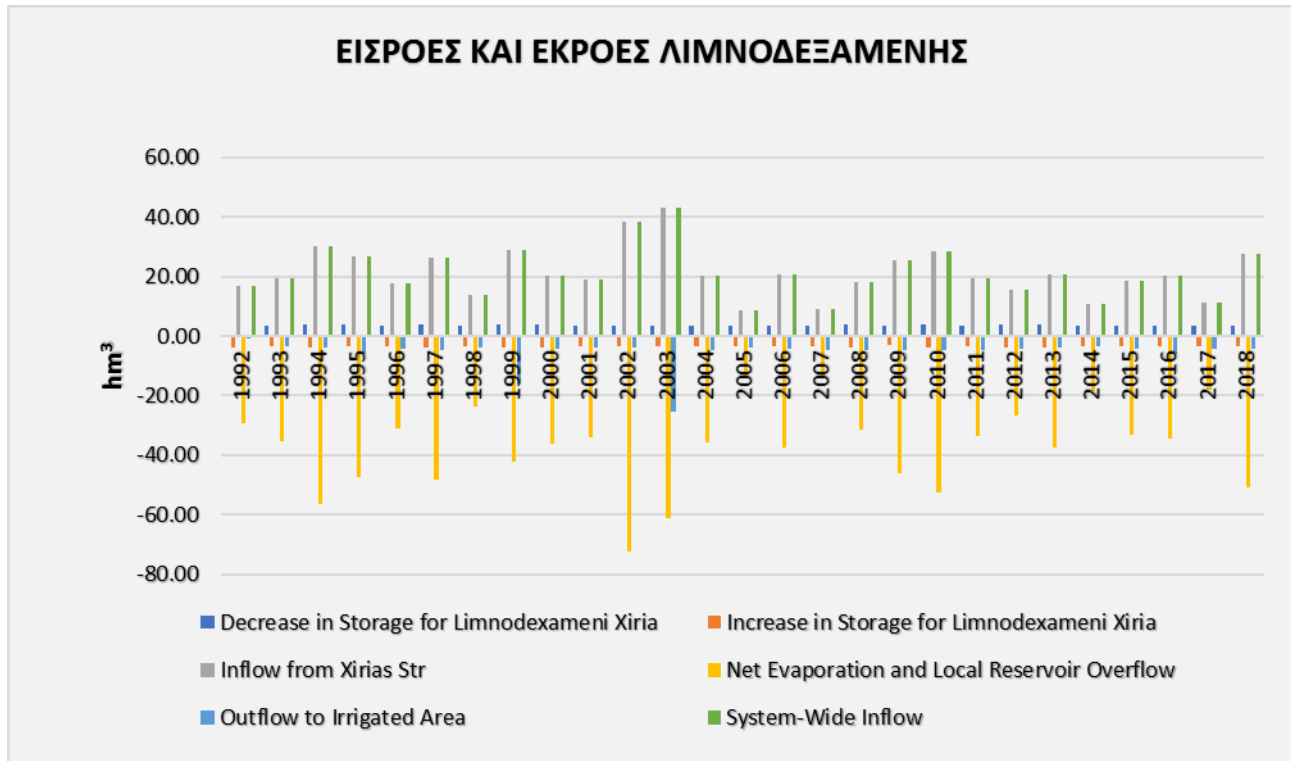
Σχετικά με τη λιμνοδεξαμενή, ο τρόπος που μεταβάλλεται η ποσότητα του νερού μέσα σε αυτή αποτυπώνεται στο σχήμα 5.21. Η μεγαλύτερη πτώση του όγκου του ύδατος συμβαίνει τον Οκτώβριο του 1999 και του 2007 όπου είναι σχεδόν μηδενικός.



Σχήμα 5.21 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.22. Το νερό που εισέρχεται στη λιμνοδεξαμενή από το χείμαρρο Ξηριά είναι περισσότερο από αυτό που εξέρχεται

από αυτήν σε όλη τη διάρκεια των υδρολογικών ετών μελέτης. Επίσης, παρατηρούνται υψηλές αρνητικές τιμές της καθαρής εξάτμισης της επιφάνειας της λιμνοδεξαμενής, οι οποίες υποδηλώνουν αύξηση του υδατικού αποθέματος.

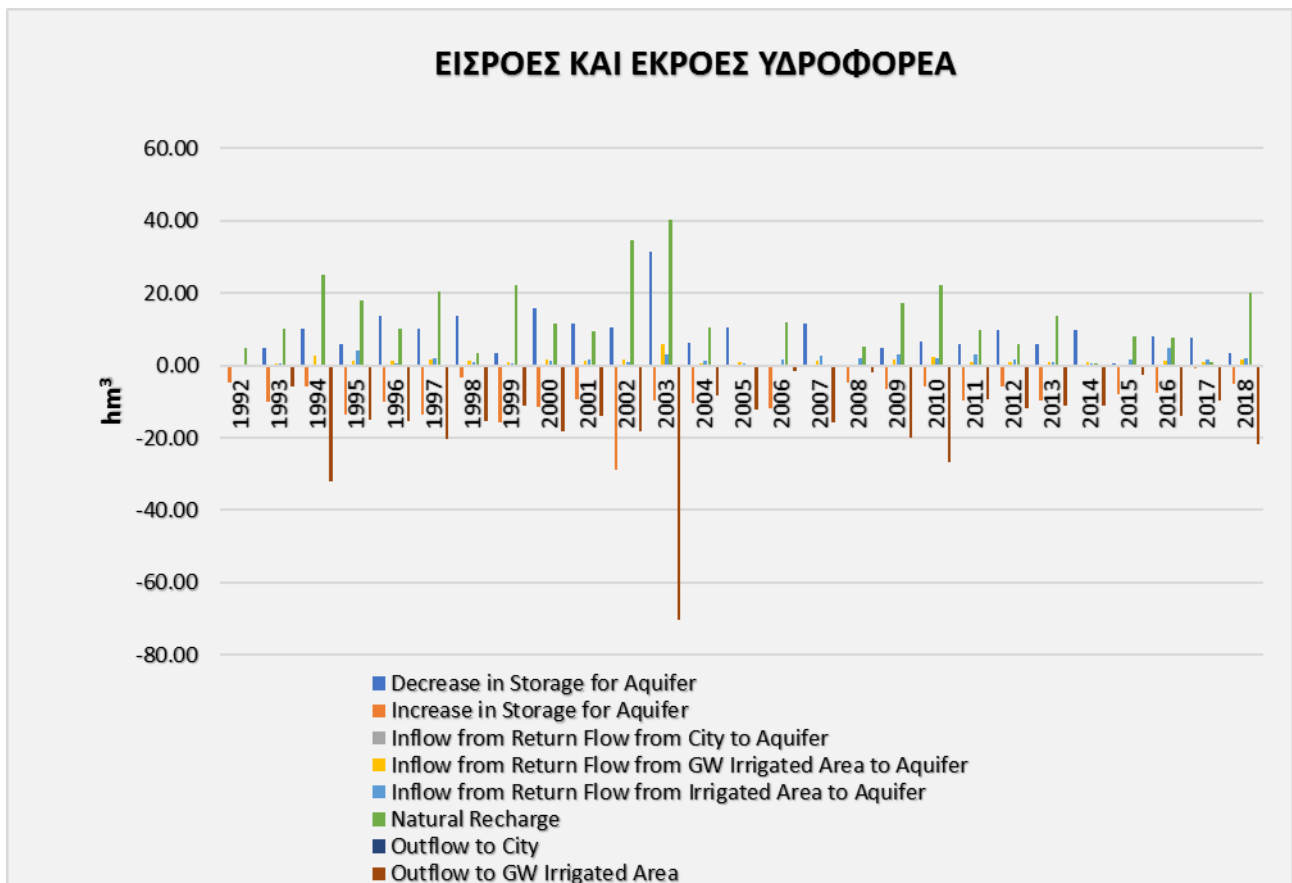


Σχήμα 5.22 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (4^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

5.2.5 Υποσενάριο 5^ο – Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015)

Στο παρόν υποσενάριο οι υπάρχουσες καλλιέργειες είναι αυτές που προβλέπονταν να αρδευτούν από τη λιμνοδεξαμενή σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015). Στον πίνακα 3.4 και στο σχήμα 3.15 φαίνονται οι καλλιέργειες και οι εκτάσεις τους. Οι καλλιέργειες αυτές αρδεύονται από τη λιμνοδεξαμενή, ενώ από τα υπόγεια ύδατα αρδεύονται οι καλλιέργειες που υπάρχουν στην πραγματικότητα (υφιστάμενες καλλιέργειες) και οι εκτάσεις τους φαίνονται στο σχήμα 3.12.

Στο σχήμα 5.23 απεικονίζεται το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου συστήματος και στο σχήμα 5.24 η αποθηκευτικότητά του.



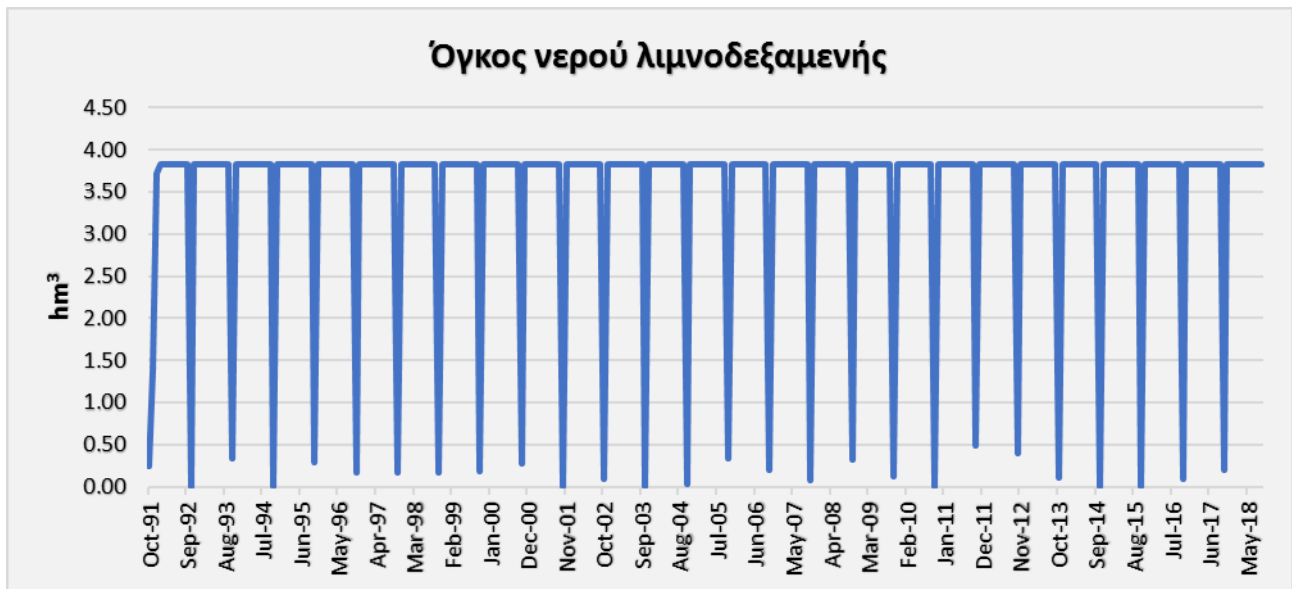
Σχήμα 5.23 Υδατικό ισοζύγιο υπόγειου συστήματος (5^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)



Σχήμα 5.24 Αποθηκευτικότητα υπόγειου συστήματος (5^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

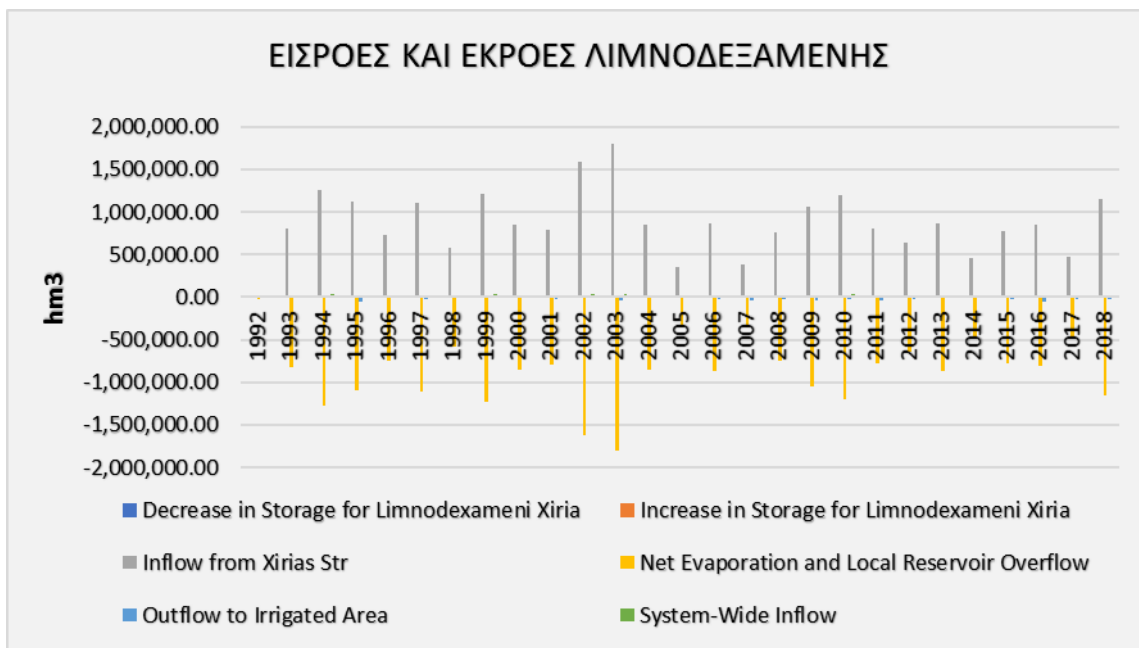
Στο τελευταίο σχήμα διακρίνεται ότι αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις εκτός από τον Ιούλιο του 2002 όπου και παίρνει την υψηλότερη τιμή του.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία είναι η προσομοίωση της λιμνοδεξαμενής. Στο σχήμα 5.25 εμφανίζεται η μεταβολή του όγκου νερού της λιμνοδεξαμενής στο χρόνο. Πολλές φορές μέσα στο χρονικό διάστημα μελέτης (1992, 1994, 2001 κ.α.) ο όγκος του νερού μηδενίζεται με αποτέλεσμα την ανεπαρκή άρδευση των καλλιεργειών.



Σχήμα 5.25 Μεταβολή του όγκου νερού στη λιμνοδεξαμενή (5^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

Τέλος, στο σχήμα 5.26 απεικονίζεται το υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής.



Σχήμα 5.26 Υδατικό ισοζύγιο της λιμνοδεξαμενής (5^ο υποσενάριο, περίπτωση Β)

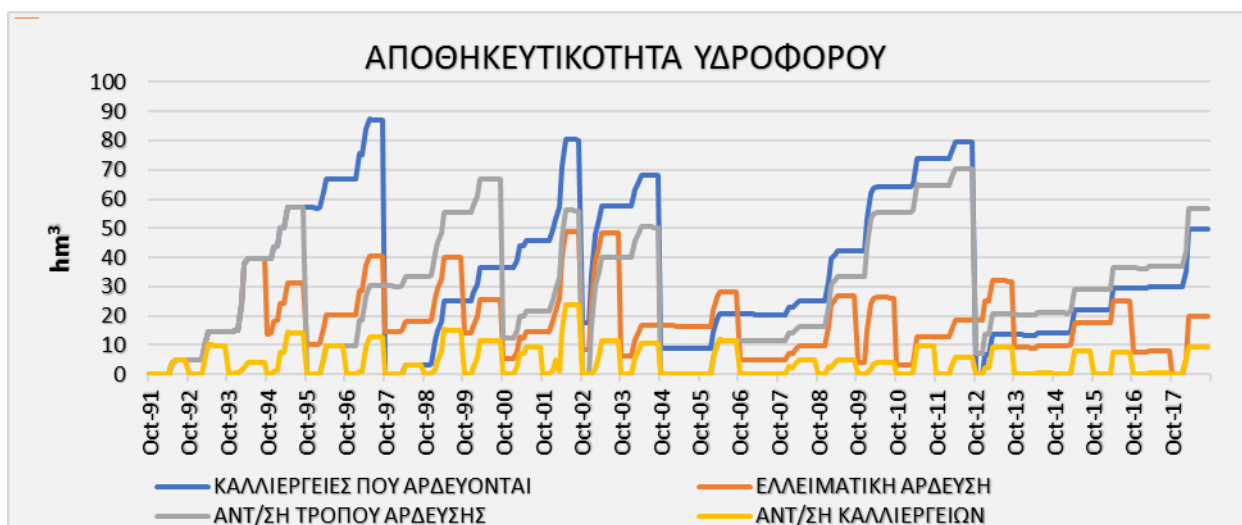
5.3 Συγκριτικά αποτελέσματα σεναρίων διαχείρισης

Προηγούμενως, υπολογίστηκαν και παρατέθηκαν τα βασικά διαγράμματα από τη προσομοίωση του κάθε υποσεναρίου για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης. Για την αποτελεσματική σύγκριση των διαχειριστικών σεναρίων και την εξαγωγή ενός συμπεράσματος σχετικά με την ιδανικότερη επιλογή, πρέπει να κατασκευαστούν συγκεντρωτικά διαγράμματα για κάθε περίπτωση τα οποία να απεικονίζουν τα παραπάνω αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Έτσι, για την πρώτη περίπτωση υποσεναρίων που αφορά την άρδευση μόνο μέσω των υπόγειων υδάτων, η σύγκριση γίνεται από διάγραμμα που αναπαριστά την μεταβολή της αποθηκευτικότητας του υπόγειου συστήματος ανά μήνα και έτος. Για τη δεύτερη περίπτωση διαχειριστικών υποσεναρίων, η σύγκριση γίνεται με τη δημιουργία διαγράμματος που απεικονίζει τη μεταβολή του όγκου του νερού μέσα στη λιμνοδεξαμενή.

5.3.1 Περίπτωση Α: Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενης

Στην πρώτη περίπτωση, οι καλλιέργειες αρδεύονται αποκλειστικά από τον υπόγειο υδροφορέα. Οι εκτάσεις εδάφους που καταλαμβάνει κάθε καλλιέργεια φαίνεται στον πίνακα 2.3. Επομένως, ο μόνος παράγοντας από τον οποίο μπορούν να συγκριθούν οι καλλιέργειες είναι τα υπόγεια ύδατα. Μέσω της μεταβολής της αποθηκευτικότητας του υπόγειου υδροφορέα διακρίνεται το θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο που έχει κάθε διαχειριστικό σενάριο σε αυτόν.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω, στο σχήμα 5.27 απεικονίζεται η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος για κάθε υποσενάριο και μπορεί εύκολα να εντοπιστεί αυτό που συμφέρει περισσότερο.



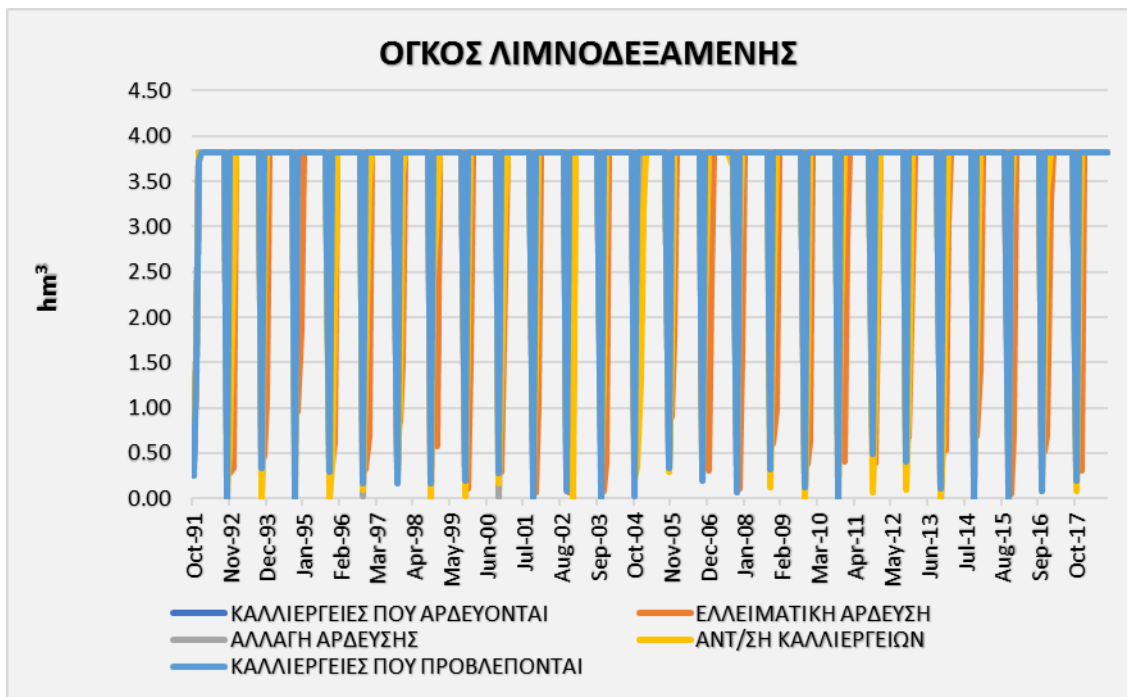
Σχήμα 5.27 Μεταβολή αποθηκευτικότητας για κάθε υποσενάριο

Με μπλε γραμμή αναπαρίσταται το σενάριο με τις καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά (υφιστάμενη κατάσταση), με γκρι γραμμή το σενάριο με την αλλαγή μεθόδων άρδευσης, με κόκκινη γραμμή το σενάριο της ελλειμματικής άρδευσης και με κίτρινη γραμμή το σενάριο με την αντικατάσταση καλλιεργειών σύμφωνα με την ΚΑΠ. Είναι προφανές ότι περισσότερα αποθέματα νερού στον υδροφόρο υπάρχουν για το σενάριο των καλλιεργειών που αρδεύονται στην πραγματικότητα (υφιστάμενη κατάσταση), ενώ από τον Οκτώβριο του 2012 έως και τον Οκτώβριο του 2018 επικρατεί το σενάριο της αλλαγής τρόπου άρδευσης. Παρατηρείται, επίσης, ότι στα υποσενάρια της ελλειμματικής άρδευσης και της αντικατάστασης καλλιεργειών σύμφωνα με την ΚΑΠ το υδατικό απόθεμα του υδροφορέα κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια όλου του διαστήματος μελέτης.

5.3.2 Περίπτωση Β: Λειτουργία Λιμνοδεξαμενης

Στη δεύτερη περίπτωση διαχειριστικών υποσεναρίων, ένα ποσοστό των εκτάσεων των καλλιεργειών αρδεύεται από τον υδροφόρο και το υπόλοιπο από τη λιμνοδεξαμενή. Οι εκτάσεις φαίνονται στα σχήματα 3.12 και 3.13. Επομένως, ο παράγοντας σύγκρισης που ενδιαφέρει σε αυτήν την περίπτωση είναι υδατικά αποθέματα της λιμνοδεξαμενής.

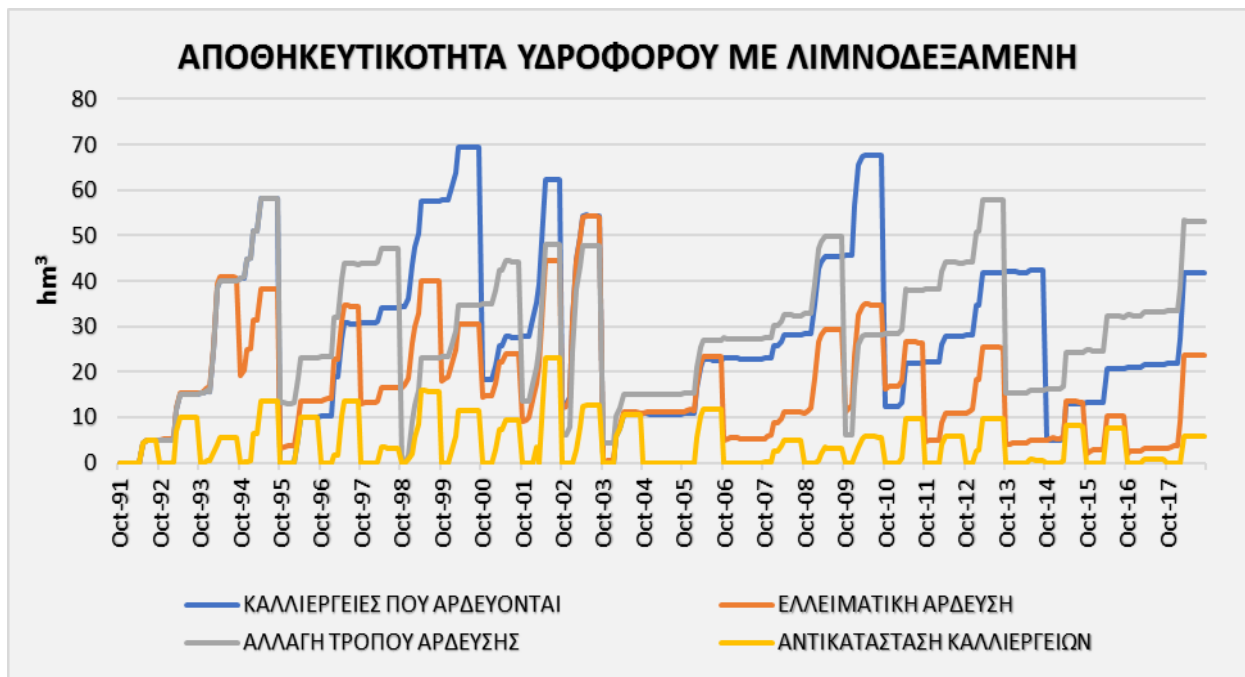
Έτσι, στο σχήμα 5.28 απεικονίζεται το διάγραμμα αποθηκευτικότητας του υπόγειου υδροφορέα για κάθε υποσενάριο με σκοπό τη σωστή σύγκριση τους και την εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων. Με μπλε γραμμή απεικονίζεται το σενάριο των καλλιεργειών που αρδεύονται πραγματικά, με γκρι γραμμή το σενάριο της αλλαγής μεθόδου άρδευσης, με κόκκινη γραμμή το σενάριο της ελλειμματικής άρδευσης, με κίτρινη γραμμή το σενάριο αντικατάστασής καλλιεργειών και με γαλάζια γραμμή το σενάριο με τις καλλιέργειες που προβλέπονταν να αρδευτούν σύμφωνα με τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015).



Σχήμα 5.28 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής όγκου νερού λιμνοδεξαμενής

Από το σχήμα φαίνεται ότι το υποσενάριο με τις καλλιέργειες που προβλέπονταν να αρδευτούν μηδενίζει αρκετές φορές τον όγκο νερού της λιμνοδεξαμενής το μήνα Οκτώβριο. Το ίδιο συμβαίνει και με το υποσενάριο αντικατάστασης καλλιεργειών με βάση την ΚΑΠ. Από την άλλη, τα υπόλοιπα τρία υποσενάρια δε μηδενίζουν τον όγκο. Το σενάριο της ελλειμματικής άρδευσης φαίνεται να είναι το ιδανικότερο αφού μειώνει τον όγκο του νερού σε μικρότερο βαθμό από τα άλλα δυο και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Σχετικά με το υπόγειο σύστημα, αξίζει να γίνει μια αναφορά ώστε να υπάρχει μια εικόνα για το πως αντιδράει σε κάθε υποσενάριο. Στο σχήμα 5.29 παρουσιάζεται η αποθηκευτικότητα του υπόγειου υδροφορέα για κάθε υποσενάριο. Ομοίως με προηγουμένως, η μπλε γραμμή αφορά το υποσενάριο με τις καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά, η γκρι γραμμή το υποσενάριο με την αντικατάσταση μεθόδων άρδευσης, η κόκκινη γραμμή το υποσενάριο με την ελλειμματική άρδευση, η κίτρινη γραμμή το υποσενάριο με την αντικατάσταση καλλιεργειών και η γαλάζια γραμμή το υποσενάριο με τις καλλιέργειες που προβλέπονταν να αρδευτούν από τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015) για το συγκεκριμένο έργο.



Σχήμα 5.29 Αποθηκευτικότητα του υπόγειου υδροφορέα για το κάθε υποσενάριο

Στο σχήμα 5.29, το υποσενάριο με τις καλλιέργειες που αρδεύονται πραγματικά οδηγεί σε μεγάλα υδατικά αποθέματα από το 1997 και μετά. Ακολουθεί το υποσενάριο με την αλλαγή τρόπου άρδευσης που έχει πιο μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Ο υδροφορέας έχει χαμηλότερη αποθηκευτικότητα όταν εφαρμόζεται το σενάριο με τις καλλιέργειες που προβλέπονταν να αρδευτούν.

6 Κεφάλαιο 6: Ανακεφαλαίωση- Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη ανακεφαλαίωση της διπλωματικής εργασίας και εξάγονται συμπεράσματα για τα τελικά αποτελέσματα. Είναι σημαντικό να προταθούν επίσης κάποια στοιχεία της μελέτης για περαιτέρω έρευνα.

Στη σύγχρονη εποχή, η εντατική ρυπογόνα δραστηριότητα των ανθρώπων και η συνεχής εκμετάλλευση των υδατικών πόρων και του εδάφους για γεωργική απασχόληση έχει οδηγήσει σε μια σημαντική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων συστημάτων. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο ευδιάκριτο στις παράκτιες περιοχές όπου η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα είναι εντονότερη. Γι' αυτό το λόγο κρίνεται πολύ σημαντικό να ληφθούν μέτρα για τη σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων και τη διασφάλιση της επάρκειάς τους.

Το παραπάνω πρόβλημα απασχολεί σημαντικά την επιστημονική κοινότητα καθώς μαστίζει τη σύγχρονη εποχή. Η πολυπλοκότητα και δυσκολία επίλυσης των υδατικών ζητημάτων οδηγούν στη χρήση διαχειριστικών μοντέλων για την απλοποίησή τους. Για την προσομοίωση των υδατικών πόρων χρησιμοποιούνται τα μοντέλα διαχείρισης νερού τα οποία είναι τα ιδανικότερα για τέτοια ζητήματα καθώς καθιστούν πιο απλοϊκά τα υδροφόρα συστήματα και απευθύνονται σε μεγάλες χρονοσειρές.

Σε παρόμοια κατάσταση βρίσκεται η υπολεκάνη Ξηριά του Αλμυρού, η οποία αποτελεί περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε από τους αρμόδιους φορείς η κατασκευή μιας λιμνοδεξαμενής με σκοπό να αρδεύσει μέρος των εκτάσεων καλλιεργείων για να αποσυμφορηθεί το υπόγειο σύστημα υδάτων. Οι υπόλοιπες καλλιέργειες αρδεύονται από αντλήσεις στα υπόγεια ύδατα.

Σκοπός της διπλωματικής είναι η προσομοίωση του υδατικού συστήματος της υπολεκάνης και της λιμνοδεξαμενής και η λήψη μέτρων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης Ξηριά Αλμυρού. Γι' αυτό το λόγο, καταστρώθηκε ένας αριθμός διαχειριστικών σεναρίων τα οποία προσομοιώθηκαν ενώ τα αποτελέσματά τους συγκρίθηκαν ώστε να επιλεγεί το σενάριο με τη λιγότερο αρνητική επίπτωση στους υδατικούς πόρους και τη μέγιστη κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργείων. Τα σενάρια χωρίζονται σε δυο (2) περιπτώσεις βασική διαφορά των οποίων είναι η λειτουργία ή μη της λιμνοδεξαμενής Ξηριά. Η κάθε περίπτωση αποτελείται από υποσενάρια που παρατίθενται παρακάτω:

- Περίπτωση Α: η προσομοίωση γίνεται χωρίς τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής

- Υποσενάριο 1^ο: καλλιέργειες που αρδεύονται στην πραγματικότητα-υφιστάμενη κατάσταση
 - Υποσενάριο 2^ο: αλλαγή μεθόδου άρδευσης για τις καλλιέργειες (ΣΧΛΑΠ, 2017)
 - Υποσενάριο 3^ο: εφαρμογή της μεθόδου ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021)
 - Υποσενάριο 4^ο: αντικατάσταση καλλιεργειών με βάση τον κανονισμό της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (Τζάτζιος, Τζαμπίρας)
- Περίπτωση Β: η προσομοίωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής
 - Υποσενάριο 1^ο: καλλιέργειες που αρδεύονται στην πραγματικότητα
 - Υποσενάριο 2^ο: αλλαγή μεθόδου άρδευσης για τις καλλιέργειες (ΣΧΛΑΠ, 2017)
 - Υποσενάριο 3^ο: εφαρμογή της μεθόδου ελλειμματικής άρδευσης (Lyra et al., 2021)
 - Υποσενάριο 4^ο: αντικατάσταση καλλιεργειών με βάση τον κανονισμό της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (Τζάτζιος, Τζαμπίρας)
 - Υποσενάριο 5^ο: καλλιέργειες που προβλέπονται να αρδευτούν από τη λιμνοδεξαμενή (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, 2015)





Η προσομοίωση του κάθε υποσεναρίου πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό WEAP (Water Evaluation And Planning Systems), το οποίο είναι κατάλληλο για προσομοιώσεις υδατικών συστημάτων. Δημιουργήθηκε η σχηματική απεικόνιση της υπολεκάνης Ξηριά Αλμυρού και των χαρακτηριστικών της για κάθε υποσενάριο στο περιβάλλον του WEAP. Έγινε εισαγωγή των δεδομένων του μοντέλου, σύμφωνα με το χρονικό βήμα ανάλυσης, των χαρακτηριστικών της λιμνοδεξαμενής, των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών και των εκτάσεών τους, αλλά και η απορροή του χειμάρρου Ξηριά και σχετικά κλιματικά στοιχεία της περιοχής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάστηκαν και σχολιάζονται στο κεφάλαιο 5. Η επιλογή του ιδανικότερου υποσεναρίου για κάθε περίπτωση κρίνεται από τα τελικά διαγράμματα της προσομοίωσης.






Για την περίπτωση Α, όπου η λιμνοδεξαμενή δεν λειτουργεί και οι καλλιέργειες αρδεύονται μόνο από τα υπόγεια ύδατα, κριτήριο και παράγοντας σύγκρισης είναι η μεταβολή της αποθηκευτικότητας του υπόγειο υδροφόρου ορίζοντα. Όσο υψηλότερη η τιμή της αποθηκευτικότητας τόσο αυξημένες είναι οι αντλήσεις των υπόγειων υδάτων και συνεπώς, τόσο απαιτητικές σε νερό οι ανάγκες των καλλιεργειών. Αντίστοιχα, όταν η μεταβολή της αποθηκευτικότητας κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές σημαίνει ότι οι ανάγκες των καλλιεργειών είναι λιγότερο απαιτητικές. Επομένως, σύμφωνα με το σχήμα 5.27, είναι φανερό ότι το υποσενάριο της αντικατάστασης καλλιεργειών βάσει της ΚΑΠ είναι το ιδανικότερο αφού η μείωση του ελλειμματικού υδατικού ισοζυγίου του υδροφόρου και η αποθηκευτικότητα του υπόγειου συστήματος κυμαίνεται σε σταθερά χαμηλές τιμές σε σχέση με τα άλλα υποσενάρια.

Για την περίπτωση Β, όπου η λιμνοδεξαμενή λειτουργεί και μέρος των καλλιεργειών αρδεύεται από αυτή, παράγοντας επιλογής του ιδανικότερου σεναρίου είναι η μεταβολή της στάθμης της λιμνοδεξαμενής Ξηριά και η επάρκεια του όγκου του νερού που περιέχει η λιμνοδεξαμενή αλλά και η μεταβολή της αποθηκευτικότητας του υπόγειο υδροφόρου ορίζοντα. Όσο ο όγκος του νερού της λιμνοδεξαμενής παραμένει πάνω από τη μηδενική στάθμη, το αποθηκευμένο νερό επαρκεί υδατικά για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, ενώ όταν μηδενίζεται σημαίνει ότι η λιμνοδεξαμενή αστοχεί υδατικά και οι αρδευτικές ανάγκες των εκάστοτε καλλιεργειών πρέπει να καλυφθούν και από τον υπόγειο υδροφόρο. Συνεπώς, σύμφωνα με το σχήμα 5.28, παρατηρείται ότι το υποσενάριο της αντικατάστασης καλλιεργειών σύμφωνα με την ΚΑΠ αλλά και το υποσενάριο της ελλειμματικής άρδευσης είναι τα ιδανικότερα αφού ο μέσος μηνιαίος όγκος του νερού της λιμνοδεξαμενής είναι στα πλαίσια της χωρητικότητας. Σύμφωνα με το σχήμα 5.29, που αφορά τις καλλιέργειες που αρδεύονται από τον υδροφόρο, επιβεβαιώνεται το προηγούμενο συμπέρασμα αφού το ελλειμματικό ισοζύγιο του υδροφορέα για το υποσενάριο αντικατάστασης καλλιεργειών με την ΚΑΠ παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θετική επίδραση. Παρόλα αυτά, επειδή η χωρητικότητα της λιμνοδεξαμενής Ξηριά μηδενίζεται για σύνολο 7 μηνών απαιτείται μεγαλύτερη διαρεύνηση στο σύμφωνα με την ΚΑΠ για την επιλογή καλλιεργειών που δε μηδενίζουν το διαθέσιμο νερό της λιμνοδεξαμενής. Συμπερασματικά, τα σενάρια της ελλειμματικής άρδευσης και της εφαρμογής ΚΑΠ με τη λειτουργία της λιμνοδεξαμενής είναι οι καλύτερες προτάσεις διαχείρισης των υδατικών πόρων της υπολεκάνης Ξηριά Αλμυρού.

Η επίδραση του κάθε υποσεναρίου για τις δύο περιπτώσεις λειτουργίας ή μη της λιμνοδεξαμενής φαίνονται στους πίνακες 6.1 και 6.2.

Πίνακας 6.1 Διαχειριστικά υποσενάρια Περίπτωσης Α –Μη Λειτουργία Λιμνοδεξαμενης Ξηρια και αντίκτυπος στο Υδατικό Ισοζύγιο

Υποσενάριο 1° Υφιστάμενη Κατάσταση	Υποσενάριο 2° Αντικατάσταση Των Μεθόδων Άρδευσης	Υποσενάριο 3° Ελλειμματική Άρδευση	Υποσενάριο 4° Κοινή Αγροτική Πολιτική
			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο $-2,1 \text{ hm}^3$ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών $3,2 \text{ hm}^3$ με συντελεστή απωλειών 0,1 για τη στάγδην άρδευση και 0,3 για τον καταιονισμό 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο -2 hm^3 ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών $3,2 \text{ hm}^3$ με συντελεστή απωλειών 0,1 για όλες τις καλλιέργειες (στάγδην) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο $- 1.84 \text{ hm}^3$ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών $2,9 \text{ hm}^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο $-1,68 \text{ hm}^3$ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών $0,96 \text{ hm}^3$

Υποσενάριο 1° Υφιστάμενη Κατάσταση	Υποσενάριο 2° Αντικατάσταση Των Μεθόδων Άρδευσης	Υποσενάριο 3° Ελλειμματική Άρδευση	Υποσενάριο 4° Κοινή Αγροτική Πολιτική	Υποσενάριο 5° Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (2015)
				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μέσος μηνιαίος όγκος λιμνοδεξαμενης 3.38 hm³ ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα -1,54 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών του υδροφόρου 1,19 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών της λιμνοδεξαμενής 2,4 hm³ με συντελεστή απωλείων 0,1 για τη στάγδην άρδευση και 0,3 για τον καταιονισμό 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μέσος μηνιαίος όγκος λιμνοδεξαμενης 3.38 hm³ ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα -1,47 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών του υδροφόρου 1,19 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών της λιμνοδεξαμενής 2,4 hm³ με συντελεστή απωλείων 0,1 για όλες τις καλλιέργειες 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μέσος μηνιαίος όγκος λιμνοδεξαμενης 3.33 hm³ ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα -1,4 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών του υδροφόρου 1,19 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών της λιμνοδεξαμενής 2,18 hm³ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μέσος μηνιαίος όγκος λιμνοδεξαμενης 3.26 hm³ ➤ 7 μήνες μηδενικός όγκος λιμνοδεξαμενής ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα -1,2 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών του υδροφόρου 1,19 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών της λιμνοδεξαμενής 1,11 hm³ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Μέσος μηνιαίος όγκος λιμνοδεξαμενης 3.47 hm³ ➤ 7 μήνες μηδενικός όγκος λιμνοδεξαμενής ➤ Ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα -1,54 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών του υδροφόρου 1,19 hm³ ➤ Συνολικές υδατικές ανάγκες καλλιεργειών της λιμνοδεξαμενής 4,35 hm³

Πίνακας 6.2 Διαχειριστικά σενάρια Περίπτωσης Β–Λειτουργία Λιμνοδεξαμενής Ξηριά και αντίκτυπος στο Υδατικό Ισοζύγιο

Καταληκτικά, δεν υπάρχει αμφισβήτηση ότι με την υλοποίηση της λιμνοδεξαμενής θα δημιουργηθεί ένα πιο οργανωμένο αρδευτικό δίκτυο και θα παρέχεται στις καλλιέργειες αρκετό νερό για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών τους. Η κατασκευή της λιμνοδεξαμενής θα συνεισφέρει μόνο θετικά στην τοπική οικονομία και στην διαχείριση των υδατικών πόρων και των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον, αναμένεται καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών και βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού που ασχολείται με τη γεωργία. Αντιθέτως, η περίπτωση μη κατασκευής της θα προκαλούσε μη αναστρέψιμα αποτελέσματα στα υδάτινα οικοσυστήματα και τα υπόγεια συστήματα θα υπόκεινται σε συνεχή υποβάθμιση (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, 2015).

Η μεθοδολογία της εργασίας που αναπτύχθηκε παραπάνω μπορεί να δεχτεί και περαιτέρω έρευνα για την εξαγωγή λεπτομερών και σαφέστερων αποτελεσμάτων. Έτσι, οι επεκτάσεις που μπορούν γίνουν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής είναι:

- Οικονομική ανάλυση και εναλλακτικά σενάρια που συμφέρουν
- Αντίστοιχη μελέτη συμπεριλαμβανομένων της αστικής, βιομηχανικής, κτηνοτροφικής και τουριστικής κατανάλωσης
- Σενάρια υπό την επιρροή κλιματικής αλλαγής

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dehghanipour, Amir Hossein , και συν. «Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic.» *Agricultural Water Management* (2020): 4-13.
- Loukas, A. και L. Vasiliades. «Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece.» *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2004): 719-721.
- Mousavi, S. Jamshid , και συν. «Multi-Objective Optimization-Simulation for Reliability-Based Inter-Basin Water Allocation.» *Water Resources Management* (2017).
- PabloOrtiz-Partida, J. , B.A. Lane και S. Sandoval-Solis. «Economic effects of a reservoir re-operation policy in the Rio Grande/Bravo for integrated human and environmental water management.» *Journal of Hydrology: Regional Studies* (2016).
- Pelton, W. L., K. M. King και C. B. Tanner. «An Evaluation of the Thornthwaite and Mean Temperature Methods for Determining Potential Evapotranspiration.» *Agronomy Journal* (1960): 387-393.
- Saraswat, Chitresh , Binaya Kumar Mishra και Pankaj Kumar. «Integrated urban water management scenario modeling for sustainable water governance in Kathmandu Valley, Nepal.» *Sustainability Science* (2017).
- (2007), SEI. *WEAP: Water Evaluation and Plannong Systems- user guide*. Boston, USA: Stockholm Environment Institute, χ.χ.
- Ahmadaali , Jamal, και συν. «Analysis of the Effects of Water Management Strategies and Climate Change on the Environmental and Agricultural Sustainability of Urmia Lake Basin, Iran.» *Water* (2018).
- Alamanos, Angelos , et al. "Combining hydro-economic and water quality modeling for optimal management of a degraded watershed." 2019.
- Alamanos, Angelos. "An Integrated Multicriteria Analysis Tool for Evaluating Water Resource Management Strategies." 2018.
- Al-Zubari, Waleed K., και συν. «Impacts of climate change on the municipal water management system in the Kingdom of Bahrain: Vulnerability assessment and adaptation options.» 2018.
- Cetinkaya, Cem P. και Mert Can Gunacti . «Multi-Criteria Analysis of Water Allocation Scenarios in a Water Scarce Basin.» *Water Resources Management* (2018).
- Chapagain, A.K. και S. Orr. «An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes.» *Journal of Environmental Management* (2008): 1219.
- Demertzi, K.A. , και συν. «Assessment of rural and highly seasonal tourist activity plus drought effects on reservoir operation in a semi-arid region of Greece using the WEAP model.» *Water International* (2013).
- FAO, 2002. *Deficit Irrigation Practices*. Water Reports No. 22. Rome, χ.χ.
- Geerts, Sam και Dirk Raes. *Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas*. Leuven, Belgium: Division of Soil and Water Management, University of Leuven, 2009.
- Gopal και B. R. I. J. . «Methodologies for the assessment of environmental flows. Environmental flows an introduction for water resources managers.» 2013, pp. 129-182.
- Grant, LUCAS and National Systems. *Pilot studies on the provision of harmonized land use/ land cover statistics*. Final report . GREECE, 2015.
- Katirtzidou, M. και P. Latinopoulos. *Allocation of surface and subsurface water resources to competing uses under climate changing conditions: a case study in Halkidiki, Greece*. Thessaloniki: Water Supply, 2018.
- Kumar, K. Krishna Kumar, K. Rupa Kumar και P. R. Rakhecha Rakhecha. *Comparison of Penman and Thornthwaite Methods of Estimating Potential Evapotranspiration for Indian Conditions* . Pune, India: Indian Institute of Tropical Meteorology, 1986.
- Lane, B. A., S. Sandoval-Solis και E. C. Porse. «Environmental Flows in a Human-Dominated System: Integrated Water Management Strategies for the Rio Grande/Bravo Basin.»

- 2014.
- Le Page, Michel , και συν. «An Integrated DSS for Groundwater Management Based on Remote Sensing. The Case of a Semi-arid Aquifer in Morocco.» 2012.
- Loukas, Athanasios, και συν. «Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης, Προσομοίωσης και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων με Περιβαλλοντική και Κοινωνικο-Οικονομική Δυναμική.Εφαρμογή του Συστήματος στη Λεκάνη Απορροής της Λίμνης Κάρλας.» χ.χ.
- Lyra, Aikaterini, Athanasios Loukas and Pantelis Sidiropoulos. "Impacts of irrigation and nitrate fertilization scenarios on groundwater resources quantity and quality of the Almyros Basin, Greece." 2021.
- Lyra, Aikaterini, και συν. *An Integrated Modeling System for the Evaluation of Water Resources in Coastal Agricultural Watersheds: Application in Almyros Basin, Thessaly, Greece.* Volos: Water, 2021.
- MOHAN, S., B. SIMHADIRAO και N. ARUMUGAM . «Comparative Study of Effective Rainfall Estimation Methods for Lowland Rice.» *Water Resources Management* (1995).
- Ningbo, Cui, και συν. «Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees.» 2008.
- Paper, FAO 56 Irrigation and Drainage. *Crop Evapotranspiration.* Rome, Italy, χ.χ.
- Rusnam, R και N R Yanti. «Potential Evapotranspiration uses Thornthwaite Method to the Water Balance in Padang City.» *International Conference on Sustainable Agriculture and Biosystem* (2020): 2-4.
- SEI. *WEAP: Water Evaluation and Planning Systems- Tutorial.* Boston, USA: Stockholm Environment Institute, 2012.
- Walker , Ella Louise , και συν. «Future Water Management in the South Platte River Basin: Impacts of Hydraulic Fracturing, Population, Agriculture, and Climate Change in a Semi-Arid Region.» 2015.
- YANG, Qing, και συν. «Sensitivity of Potential Evapotranspiration Estimation to the Thornthwaite and Penman–Monteith Methods in the Study of Global Drylands.» *ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES* (2017): 1382-1383.
- Αϊβαλιώτης , Κωνσταντίνος και Κωνσταντίνος Τσουρέκας . «ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ.» *Πτυχιακή Εργασία.* Σέρρες: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ, 2014. 25-38.
- Ακριτίδης, Βασίλειος Μάριος. *ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ.* Διπλωματική Εργασία. Βόλος, 2019.
- Αλαμάνος, Άγγελος. *ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΜΕΣΩ ΥΔΡΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.* Διδακτορική διατριβή . Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2019.
- Γαϊτανόπουλος, Αλέξανδρος. *ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΞΗΡΙΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΖΕΡΕΛΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS) ΚΑΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.* Μεταπτυχιακή Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014.
- Γεωργιάδου, Ιωάννα. *ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ, ΒΟΛΟΥ.* Μεταπτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2015.
- Γεώργιου, Πανταζή. *ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ.* Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη, 2004.
- Δαλακούρα, Γεωργία. *Μοντελοποίηση της Κατανομής Βροχόπτωσης –Απορροής για την Υδρολογική Λεκάνη του Μόρνου.* Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας: ΠΜΣ Εφαρμοσμένης Γεωγραφίας και Διαχείρισης του Χώρου, Κατεύθυνση Γεωπληροφορικής, 2016.
- Δερβίσης, Σπυρίδων. *Σχέδιασμός, Ανάλυση και Αποτίμηση Λειτουργίας Συστήματος Υδατικών Πόρων της Υδρολογικής Λεκάνης Σούρης, Ν.Μαγνησίας.* Μεταπτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2010.

- Ευστρατιάδης, Ανδρέας και Παναγιώτης Παπανικολάου. *Ταμειωτήρες*. Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.
- Ευστρατιάδης, Ανδρέας, Νίκος Μαμάσης και Δημήτρης Κουτσογιάννης. *Περιβαλλοντικά θέματα υδροηλεκτρικών έργων*. Σημειώσεις. Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.
- ΖΥΘΟΠΟΙΑ, ΑΘΗΝΑΪΚΗ, και συν. «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: Εισαγωγή και η κατάσταση στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.» 2021.
- «Η ΚΑΡ μετά το 2015: Ρυλίνος Ι: Άμεσες ενισχυσεις.» χ.χ.
- Ιορδανίδης, Ηλίας. *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΝΙΤΡΟΥΡΥΠΑΝΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΠΟ ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ*. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, χ.χ.
- Κ.Ο.Α.Π. «ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ ΖΩΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ.» 2014-2020.
- Καρατζόγλου, Στυλιανή. «Κοινή Αγροτική Πολιτική: Η περίπτωση της Θεσσαλίας.» Πτυχιακή Εργασία. 2017, pp. 1-26.
- Κατηρτζίδου, Μαργαρίτα. *ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ*. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2018.
- Κόκκαλης, Ιωάννης. *Μελέτη των επιπέδων νιτρορύπανσης σε γεωργικά εδάφη της περιοχής Θεσσαλίας που είναι ενταγμένα στο μέτρο 3.5 Μείωση Νιτρορύπανσης Γεωργικής Προέλευσης*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2009.
- Κουκούλη, Παναγιώτα. *ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ, ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2014, pp. 28-55.
- Κουψίδας, Οδυσσεύς. «Κατασκευή Φράγματος Βασιλειάδας – Μελισσοτόπου. Υδρολογική Μελέτη.» *Διπλωματική Εργασία*. 2018. 29-71.
- Κωτούλας, Βασίλης. *ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ*. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα: Τμήμα Επιστήμης της Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2010.
- Κωτσόπουλος, Σ., και συν. *ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΤΟΥ Τ.Ο.Ε.Β. ΠΗΝΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ*. Λάρισα: 5ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 2007.
- Μακρόπουλος, Χρήστος. *Ανασκόπηση και Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά*. Σημειώσεις Τεχνολογίας Συστημάτων Υδατικών Πόρων. Αθήνα: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, χ.χ.
- Μετσαφού, Αγγελική- Αριστεά. *ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΒΟΛΟΥ*. Μεταπτυχιακή Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2004.
- Μπακρτζής, Κυριάκος. *Πλήρης και ελλειμματική άρδευση του φυτού "Τσάι του Βουνού" στον Θεσσαλικό κάμπο (τρίτη καλλιεργητική περίοδος)*. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Βόλος: Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2018.
- Μυριούνης, Χρήστος. *ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ*. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2008.
- Μυρωνίδης, Δημήτριος. «ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ-ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΩΤΑΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.» Εργαστήριο Διευθετήσεως Ορεινών Υδάτων, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 2017.
- Οι υδατικές ανάγκες των αρδευόμενων καλλιεργειών*. Λευκωσία, Κύπρος: Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2010.
- ΠΑΝΤΕΛΑΚΗΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. *ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ-ΓΕΩΡΓΙΚΗ-ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ*. Σημειώσεις. Φλώρινα: Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2017.

- Πάππου, Μαρία- Αγγελική, Ευτυχία Γεωργάτου και Ειρήνη Μαρίνη. *ΚΟΙΝΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ: ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ*. Πτυχιακή Εργασία. Πάτρα: Τμήμα Λογιστικής, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, 2016, pp. 6-52.
- Πέζαρος, Παύλος. «Η Κοινή Αγροτική Πολιτική: Εξέλιξη και Προοπτικές.» 2011 pp. 2011.
- Πουπάκης, Παντελής. *Υπολογισμός υδατικού αποτυπώματος στην αγροτική περιοχή των Μεγάρων*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2016.
- «Προστάσια και διαχείριση των υδάτων- Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.» *ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ* (2003).
- Σαράφης, Χαράλαμπος. *ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΝΙΤΡΙΚΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ*. Μυτιλήνη: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, 2004.
- Σιδηρόπουλος, Παντελής. «Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Εκτίμηση τομεακής και συνολικής υδατικής.» χ.χ.
- ΣΦΥΡΗΣ, ΣΤΑΜΑΤΗΣ. *ΖΗΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ - ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ*. Διπλωματική Εργασία. Βόλος: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2016.
- Τάτσης, Λάζαρος. «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 2000/60/ΕΚ ΚΑΙ ΤΟΥ Ν. 3199/2003. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.» *Νόμος και Φύση* 12 Μαρτίου 2007.
- Τζαφόλια, Κατερίνα. *ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ*. Διπλωματική Εργασία. Βόλος: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2018.
- Τσινούδη, Αθανασία. *ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ R*. Διπλωματική Εργασία. ΒΟΛΟΣ: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2019.
- Τσώτα, Μαρία-Αθανασία. *ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ*. Διπλωματική Εργασία. Βόλος: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2019.
- Υ.Α.Α.Τ. «ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗ ΞΕΡΙΑ ΑΛΜΥΡΟΥ Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΠΟ.» ΕΚΔΟΣΗ Β. 2015.
- Υ.Π.Α.Α.Τ. «ΟΔΗΓΙΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ.» χ.χ.
- . «ΟΔΗΓΙΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΣ.» χ.χ.
- . «ΟΔΗΓΙΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ.» χ.χ.
- Υ.Π.Α.Π.Ε. *ΘΕΜΑ : Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης*. Αθήνα: ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ, 2015.
- Υ.Π.Ε. «1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας.» 2017.
- Υ.Π.Ε. «ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΤΗΣ 23ης ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2000 ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΠΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.» *Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων* (2000): 9-19.
- Υ.Π.Ε.Θ.Ε. «Λιμνοδεξαμενή Ξεριά Αλμυρού Μαγνησίας.» 2020.
- Υ.Π.Ε.Θ.Ε. «Ερωτήσεις- Απαντήσεις για το Υδατικό πρόβλημα της Θεσσαλίας.» 2020.

