



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ,
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΥΔΑΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

Κατερίνα Τζαφόλια

ΒΟΛΟΣ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν στη διεκπεραίωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικήτα Μυλόπουλο, καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος της διατριβής μου και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την εκπόνησή της. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής μου για τη συμβολή τους.

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής θα ήταν αδύνατη χωρίς την ουσιαστική βοήθεια και την άμεση ανταπόκριση του κ. Άγγελου Αλαμάνου, υποψήφιου διδάκτορα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Του οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τις υποδείξεις, την καθοδήγηση, τη προθυμία του και τη συμπαράστασή του, που ήταν καθοριστικές τόσο στην ανάπτυξη όσο και στη διαμόρφωση του θέματος της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τα μέλη του εργαστηρίου Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που αφιέρωσαν πολύτιμο χρόνο και διέθεσαν υλικό για την υποστήριξη της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και τους εργαζομένους του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ) για τα δεδομένα που μας παρείχαν, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τους γονείς μου για την αγάπη, την κατανόηση και την υποστήριξή, σε πρακτικό και ψυχολογικό επίπεδο, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι αρχικά η διερεύνηση των αλλαγών των χρήσεων γης και των αγροτικών καλλιεργειών στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1995 έως και 2015, δηλαδή κατά την περίοδο πριν και μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας. Δευτερευόντως, εξετάζεται η εφαρμογή της στατιστικής συσχέτισης, προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός επιρροής ποικίλων περιβαλλοντικών και μη παραγόντων (βροχή, θερμοκρασία, κ.α.) στη διαμόρφωση των εκτάσεων, της απόδοσης, αλλά και των υδατικών αναγκών των αγροτικών καλλιεργειών. Τέλος, εξετάζονται τέσσερα (4) εναλλακτικά διαχειριστικά σενάρια για την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού.

Τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα υπολογιστικά φύλλα εργασίας (Excel) και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η καταγραφή των αλλαγών των χρήσεων και της κάλυψης γης ολοκληρώθηκε με την παράλληλη συνεισφορά των διαθέσιμων δεδομένων δηλώσεων καλλιεργειών (ΟΠΕΚΕΠΕ), των δεδομένων από το ερευνητικό πρόγραμμα Υδρομέγανω, το οποίο περιλαμβάνει δορυφορικά στοιχεία και δεδομένα της ΕΛ.ΣΤΑΤ. αναφορικά με την περιοχή μελέτης, καθώς και του προγράμματος εδαφικής κάλυψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Corine 2000 (CORINE Land Cover project).

Με την πάροδο των ετών και την επίδραση πολλών παραγόντων, αλλά και χρονικό σημείο αναφοράς την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, είναι αναμενόμενη και η εμφάνιση σημαντικών αλλαγών στις χρήσεις γης. Οι μεγαλύτερες αλλαγές που σημειώθηκαν αφορούν την κατανομή των αγροτικών καλλιεργειών, οι οποίες και εξετάζονται αναλυτικά, δεδομένου ότι η αγροτική χρήση αποτελεί τον κύριο χρήστη νερού στην περιοχή.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής εξετάζονται οι σχέσεις μεταξύ της μεταβολής των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, της παραγωγικής τους απόδοσης, καθώς και των υδατικών τους αναγκών σε συνάρτηση με διάφορες παραμέτρους όπως οι κλιματικές συνθήκες στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, οι δείκτες τιμών προϊόντων, αλλά και το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, ενώ εξετάζονται εναλλακτικά διαχειριστικά σενάρια για τη μείωση των υδατικών απαιτήσεων των αναγκών. Τα παραπάνω αποδεικνύουν τον καθοριστικό ρόλο της αγροτικής χρήσης αναφορικά με τη χρήση των υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης, ενώ διερευνούνται οι συνθήκες διαχείρισης των υδατικών πόρων, γεγονός που δύναται να συμβάλλει σε αλλαγή των διαχειριστικών πρακτικών στον τομέα αυτό.

ABSTRACT

The purpose of this dissertation is firstly to investigate the changes in land use and agricultural crops in the catchment area of Lake Karla during time period 1995 to 2015, ie during the period before and after the recreation of Lake Karla. Secondly, the application of the statistical correlation is examined in order to determine the degree of influence of various environmental and non- environmental factors (rain, temperature, etc.) on land development, yield, and water needs of agricultural crops. Finally, four (4) alternative management scenarios are considered for the irrigation water saving.

The most important tools used are the spreadsheets (Excel) and Geographic Information Systems (GIS). Land use change and land cover recording has been completed with the parallel contribution of the available crop declaration data (OPEKEPE), data from the Hydrometer research program, which includes satellite data and ELSTAT data. with regard to the study area and the European Territorial Coverage Program, Corine 2000 (CORINE Land Cover project).

Over the years and the influence of many factors, as well as the reference point of Lake Karla recreation, significant changes in land use are also expected. The greatest changes have been made concerning the distribution of agricultural crops, which are analyzed in detail, since agricultural use is the main water user in the area.

In the context of this thesis, the relationship between the variation of agricultural crops' area in the study area, their productive efficiency and their water needs are examined in relation to various parameters such as the climatic conditions in the Karla basin, the product price indices, but also the available water potential, while alternative management scenarios are being developed to reduce water needs requirements. The above demonstrate the key role of agricultural use in the use of water resources in the study area, while water resource management conditions are explored, which can contribute to changing management practices in the area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	1
1.1 Η σημασία του νερού στη ζωή μας	1
1.2 Κατανομή νερού σε παγκόσμια κλίμακα	1
1.3 Χρήσεις νερού και η αντιμετώπισή του από την κοινωνία	1
1.3.1 Χρήσεις νερού	1
1.3.2 Αντιμετώπιση του νερού	2
1.4 Κρίση νερού	2
1.4.1 Παγκόσμια κρίση νερού	3
1.4.2 Κρίση νερού στην Ελλάδα	5
1.5 Διαχείριση Υδατικών πόρων	5
1.5.1 Διαχείριση Υδατικών πόρων στην Ελλάδα	6
1.5.2 Διαχείριση Υδατικών πόρων στη Θεσσαλία	8
1.6 Χωρική ανάλυση και Διαχείριση Υδατικών πόρων	9
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	11
2.1 Η λεκάνη της λίμνης Κάρλας	11
2.2 Ιστορικά στοιχεία	11
2.3 Αποξήρανση της λίμνης Κάρλας.....	13
2.4 Ανασύσταση της λίμνης Κάρλας.....	15
2.5 Αρδευτικά δίκτυα	17
2.5.1 ΤΟΕΒ Πηνειού	17
2.5.2 ΤΟΕΒ Κάρλας	17
2.6 Προβλήματα	18
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	19
3.1 Κατηγορίες χρήσεων γης και αγροτικών εκτάσεων	19
3.2 Δημιουργία χρονοσειρών χρήσεων γης και αγροτικών εκτάσεων	20
3.3 Καθορισμός ζωνών.....	22
3.4 Στατιστική ανάλυση	22
3.4.1 Περιγραφικά μέτρα στατιστικών δεδομένων	22
3.4.2 Συσχέτιση	24
3.5 Λογισμικά.....	26
3.6 Μεθοδολογικό πλαίσιο	27

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	29
4.1 Δεδομένα χρήσεων γης.....	29
4.1.1 Δεδομένα συνολικών χρήσεων γης	30
4.1.2 Δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών.....	30
4.2 Μετεωρολογικά - κλιματολογικά στοιχεία.....	31
4.3 Υδρολογικά στοιχεία	33
4.4 Στατιστικά δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών.....	35
4.4.1 Απόδοση καλλιεργειών	35
4.4.2 Διεθνείς τιμές προϊόντων.....	36
4.4.3 Υδατικές απαιτήσεις.....	37
4.5 Δημογραφικά στοιχεία.....	38
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	42
5.1 Χρήσεις γης λεκάνης Κάρλας	42
5.1.1 Διαχρονική εξέλιξη αγροτικής χρήσης.....	42
5.1.2 Καθορισμών ζωνών αγροτικής χρήσης.....	53
5.1.2.1 Καθορισμών δύο (2) ζωνών αγροτικής χρήσης	53
5.1.2.2 Καθορισμών τριών (3) ζωνών αγροτικής χρήσης	55
5.1.2.3 Άλλες χρήσεις γης	56
5.2 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών.....	60
5.3 Συσχέτιση χρονοσειρών	63
5.3.1 Συσχέτιση απόδοσης καλλιεργειών και μετεωρολογικών δεδομένων	63
5.3.2 Συσχέτιση απόδοσης καλλιεργειών και τιμών προϊόντων	72
5.3.3 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιεργειών και μετεωρολογικών δεδομένων	74
5.3.4 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιεργειών και τιμών προϊόντων.....	78
5.3.5 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιεργειών και συνολικών υδατικών αποθεμάτων .	81
5.3.6 Συσχέτιση υδατικών αναγκών καλλιεργειών και συνολικών υδατικών αποθεμάτων	83
5.3.7 Αποτίμηση συσχέτισης χρονοσειρών	85
5.4 Διαχειριστικά σενάρια	87
5.4.1 Υφιστάμενη κατάσταση	87
5.4.2 Σενάριο 1 ^ο	90
5.4.3 Σενάριο 2 ^ο	90
5.4.4 Σενάριο 3 ^ο	91

5.4.5 Σενάριο 4 ^ο	92
5.4.6 Αποτίμηση σεναρίων	93
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	i

1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

1.1 Η σημασία του νερού στη ζωή μας

Ο ρόλος των υδατικών πόρων στην ζωή μας είναι καθοριστικός. Το νερό αποτελεί βασικό συστατικό των φυτικών και ζωικών οργανισμών και είναι απαραίτητο συστατικό για την παραγωγή όλων των προϊόντων που χρησιμοποιούμε καθημερινά.

Αν και είναι δύσκολο να δοθεί ακριβής ορισμός στον όρο υδατικός πόρος, γενικά θεωρείται η οποιαδήποτε θέση κυκλοφορίας του νερού στη φύση, όπου συναντάται σε τέτοια μορφή ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του από τεχνική και οικονομική άποψη, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στο περιβάλλον.

1.2 Κατανομή νερού σε παγκόσμια κλίμακα

Περισσότερα από τα 2/3 του πλανήτη μας καλύπτονται από νερό. Ωστόσο μόνο ένα μικρό ποσοστό της ποσότητας αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους οργανισμούς για την επιβίωσή τους. Το γλυκό νερό καλύπτει μόνο το 2,5% της συνολικής ποσότητας νερού στον πλανήτη, ενώ το υπόλοιπο 97,5% είναι αλμυρό θαλασσινό νερό.

Το μικρό ποσοστό του γλυκού νερού δεν είναι εξ ολοκλήρου διαθέσιμο. Το 69% από αυτό, βρίσκεται παγιδευμένο σε παγετώνες στους δύο πόλους, καθώς και σε μόνιμο χιόνι στις κορυφές των βουνών. Από το γλυκό νερό που απομένει, το οποίο έχει υπολογιστεί σε 35.200.000 km³ (Shiklomanov and Rodda, 2003), το υπόγειο νερό καταλαμβάνει το 0,63%, από όπου και πάλι το μισό βρίσκεται σε οικονομικά ασύμφορα βάθη. Τελικά, από το συνολικό όγκο νερού που υπάρχει μόνο το 0,02% είναι το επιφανειακό το οποίο αν και φαίνεται μεγάλο σαν νούμερο στην πραγματικότητα κάθε άλλο παρά ανεξάντλητο είναι (Μυλόπουλος, 2001).

Η ποσότητα των συνολικών αποθεμάτων γλυκού νερού στην γη μειώνεται συνεχώς. Από στοιχεία της UNICEF σε παγκόσμια κλίμακα, το 2010 το 85% του παγκόσμιου πληθυσμού, δηλαδή 6,74 δις. άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε δίκτυο ύδρευσης από το σπίτι τους, ενώ το υπόλοιπο 15%, δηλαδή 884 εκατ. άνθρωποι χρησιμοποιούσαν για την κάλυψη των αναγκών τους νερό από πηγές μη ελεγχόμενες και συχνά μολυσμένες.

1.3 Χρήσεις νερού και η αντιμετώπισή του από την κοινωνία

1.3.1 Χρήσεις νερού

Οι χρήσεις του νερού χωρίζονται στις καταναλωτικές και τις μη καταναλωτικές.

Ως καταναλωτικές ορίζονται οι χρήσεις όπου η συγκεκριμένη ποσότητα νερού επιστρέφει άμεσα ή έμμεσα στο υδατικό σύστημα, με διαφοροποιημένη την ποιοτική του κατάσταση (Κουτσογιάννης, 2007). Αυτές είναι:

- Άρδευση
- Ύδρευση
- Κτηνοτροφία
- Βιομηχανία
- Ψύξη (βιομηχανικών συγκροτημάτων, κ.α.).

Ως μη καταναλωτικές χαρακτηρίζονται οι χρήσεις αυτές στις οποίες δεν μεταβάλλονται ουσιαστικά τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, ενώ το νερό δεν απομακρύνεται από το φυσικό υδατικό σύστημα (Κουτσογιάννης, 2007). Τέτοιες είναι:

- Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας
- Περιβαλλοντική διατήρηση
- Αναψυχή
- Ναυσιπλοΐα
- Ιχθυοκαλλιέργεια

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την κάλυψη των παραπάνω χρήσεων ονομάζεται ζήτηση. Είναι δηλαδή η κατανάλωσή μας σε νερό.

1.3.2 Αντιμετώπιση του νερού

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως το νερό είναι το πολυτιμότερο φυσικό αγαθό για την διατήρηση και τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη. Παρόλα αυτά, η σύγχρονη κοινωνία αντιμετωπίζει το νερό μόνο σαν ένα απόθεμα σε πρώτη ζήτηση και όχι ως ένα οικοσύστημα που συντηρεί τον φυσικό κόσμο από τον οποίο εξαρτόμαστε (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014).

Το νερό θεωρείται βιολογικό αγαθό, ωστόσο με βάση την πολιτική της διαχείρισης της ζήτησης αποκτά οικονομική θεώρηση από την οποία προκύπτει και η ανάγκη για την κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του. Στην κοστολόγηση αυτή περιλαμβάνονται το κόστος του καθαρισμού του νερού, το κόστος της μεταφοράς του νερού από μακριά σε περιπτώσεις εξάντλησης των τοπικών αποθεμάτων και το κόστος απορρύπανσης και αποκατάστασης των υδατικών συστημάτων που είναι υποβαθμισμένα.

Η υποτίμηση της αξίας του νερού και η μη θεώρησή του ως αγαθό που ήδη βρίσκεται σε ανεπάρκεια, συμβάλλει στην υποτίμηση της περιβαλλοντικής του αξίας, διογκώνοντας το πρόβλημα και οδηγώντας σε αλόγιστη χρήση και υπερεκμετάλλευση (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014).

Βεβαίως η αντιμετώπιση του νερού ως οικονομικού αγαθού δεν είναι συνώνυμη ούτε με κατακόρυφες αυξήσεις στα τιμολόγια με τα αρνητικά αποτελέσματα στην κοινωνική αποδοχή των μέτρων, ούτε με την επιδίωξη της συγκέντρωσης επιπλέον εσόδων για την κάλυψη των ελλειμμάτων της δημοσιονομικής πολιτικής (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014). Ωστόσο, το πραγματικό περιβαλλοντικό κόστος του νερού θα πρέπει να γίνεται πάντοτε φανερό και να υπολογίζεται ακόμη και σε περιπτώσεις κρατικών ή άλλης μορφής επιδοτήσεων.

1.4 Κρίση νερού

Το νερό είναι ένα φυσικό αγαθό σε συνθήκες ανεπάρκειας, ανανεώσιμο αλλά όχι ανεξάντλητο (Σιδηρόπουλος, 2016). Η αλόγιστη χρήση του έχει διαμορφώσει μια εξαιρετικά κρίσιμη και επικίνδυνη κατάσταση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Μία χώρα θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση «κρίσης νερού», όταν έχει ετήσια αποθέματα ανανεώσιμου νερού (EAAN) $1700 \text{ m}^3/\text{άτομο}$. Ο ετήσιος παγκόσμιος Μ.Ο είναι $7400 \text{ m}^3/\text{άτομο}$. Μία χώρα όμως, είναι δυνατόν να αντιμετωπίζει πρόβλημα νερού ακόμη και αν δεν είναι άνυδρη ή δεν βρίσκεται σε κατάσταση «κρίσης νερού» (Μυλόπουλος & Κολοκυθά, 1996).

Οι αιτίες της κρίσης του νερού διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τις φυσικές, οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή μελέτης. Η συστηματικότερη όμως προσέγγιση θα μπορούσε να αναγνωρίσει την ύπαρξη κοινών χαρακτηριστικών, που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Μυλόπουλος, 2000):

- Σε μακροχρόνια κλίμακα, η συνολική ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμη σε κάθε χώρα της γης, είναι περίπου σταθερή. Το πεπερασμένο των υδατικών πόρων κάθε χώρας είναι η κύρια αιτία εξάντλησης των μονίμων πέραν των ανανεώσιμων αποθεμάτων σε πολλές περιπτώσεις, (π.χ άντληση από βαθείς υδροφορείς στη Μέση Ανατολή), γεγονός που είναι αντίθετο με τη λογική της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και πρόκειται να δημιουργήσει οξύτατα προβλήματα στο εγγύς μέλλον.
- Μέχρι σήμερα έχουν ήδη αξιοποιηθεί ή βρίσκονται ήδη στο στάδιο της αξιοποίησης κατά τεκμήριο οι τεχνικά ευκολότεροι και οικονομικά συμφερότεροι υδατικοί πόροι. Το αποτέλεσμα της παρατήρησης αυτής είναι ότι το κόστος ανάπτυξης νέων υδατικών πόρων στο εξής θα είναι σημαντικά ακριβότερο σε πραγματικές τιμές σε σχέση με το παρελθόν.
- Το νερό είναι απαραίτητο για την ίδια τη ζωή, αλλά και πρωταρχικής σημασίας για ένα μεγάλο πλήθος εξόχως σημαντικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, ξεκινώντας από την ύδρευση και την παραγωγή τροφής, μέχρι τη βιομηχανική ανάπτυξη και την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση του πληθυσμού της γης, αυξάνει και τις συνολικές απαιτήσεις σε νερό, ενώ συγχρόνως η αλλαγή των συνηθειών διαβίωσης και η τεχνολογική ανάπτυξη προκαλούν αύξηση και των κατά κεφαλήν αναγκών σε νερό.

Το νερό εμφανίζει έντονη χωρική και χρονική ανισοκατανομή (ψηλά βουνά με υδατικά αποθέματα και πεδινές ή νησιωτικές περιοχές με φτωχό ισοζύγιο, εύκρατα κλίματα με υγρούς χειμώνες και στεγνά καλοκαίρια), γεγονός που οδηγεί σε λειψυδρία.

Η ρύπανση είναι ένας επιπλέον ανταγωνιστικός χρήστης νερού, αφού καθιστά ένα σημαντικό μέρος των αποθεμάτων του μη αξιοποιήσιμο. Το πρόβλημα αποκτά σημαντικές διαστάσεις ,αφού δεν υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι απομάκρυνσης ρυπαντών.

1.4.1 Παγκόσμια κρίση νερού

Το πρόβλημα της ανεπάρκειας νερού στον πλανήτη γίνεται όλο και μεγαλύτερο. Στη δεκαετία του 1950 μόνο 5 χώρες αντιμετώπιζαν μεγάλο πρόβλημα επάρκειας νερού. Στο τέλος του αιώνα, οι χώρες με αυτό το πρόβλημα ανέρχονται σε 26. Ο πληθυσμός τους αγγίζει τα 300 εκατ. Γενικά, στις μέρες μας 145 χώρες είναι εξαιρετικά ευπαθείς και αντιμετωπίζουν, έστω και περιοδικά, προβλήματα λειψυδρίας (Αλαμάνος και Μπέτσιος, 2014).

Πάνω από 1,2 δις. ανθρώπων δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ενώ 2,9 δις. άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε νερό που δεν πληρεί απόλυτα όλες τις υγειονομικές προϋποθέσεις, με αποτέλεσμα να πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες που οφείλονται στο μολυσμένο νερό, πέντε εκατομμύρια άνθρωποι, κυρίως μικρά παιδιά.

Σε περιοχές, όπως η Μέση Ανατολή ή η Κεντρική Αφρική "χάνεται" μεγάλος όγκος νερού μέσα από σαθρά υδροδοτικά συστήματα. 22 χώρες στην Αφρική και την Ασία πλήττονται από λειψυδρία, ενώ άλλες 18 κινδυνεύουν ανά πάσα στιγμή καθώς βρίσκονται σε οριακή κατάσταση από άποψη υδατικών αποθεμάτων. Δύο δισεκατομμύρια επεισόδια ασθενειών αναφέρονται ως αποτέλεσμα της κακής

ποιότητας του νερού, ενώ 2 εκατομμύρια παιδιά πεθαίνουν κάθε χρόνο από επιδημίες, καθώς δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό γλυκό νερό.

Στην Αφρική, τα απόβλητα της αναπτυσσόμενης βιομηχανίας καταλήγουν, χωρίς καμία διεργασία, στα νερά των ποταμών. Η έλλειψη ολοκληρωμένου υδροδοτικού σχεδιασμού στερεί, σήμερα, από 300 εκατ. Αφρικανούς την πρόσβαση σε ασφαλές, πόσιμο νερό. Στη Μέση Ανατολή το πρόβλημα επιβαρύνεται από τις χρόνιες διαμάχες ανάμεσα στο Ισραήλ και τις αραβικές χώρες για τα κατεχόμενα αραβικά εδάφη, στα οποία καταλήγουν ή πηγάζουν τα ελάχιστα τρεχούμενα ύδατα της περιοχής. Επίσης το νερό προβλέπεται ότι θα αποτελέσει αιτία συγκρούσεων γειτονικών χωρών, δεδομένου ότι περίπου το 40% των κατοίκων της γης ζουν σε περισσότερες από 200 διακρατικές υδρολογικές λεκάνες (ήδη υπάρχουν προβλήματα μεταξύ Τουρκίας – Ιράκ, Πακιστάν – Ινδίας, κ.α.)

Στη Βόρεια Αμερική, την Κεντρική και την Ανατολική Ευρώπη, αλλά και τη Νότια Ασία και τις περιοχές του Ειρηνικού, ως κύρια αιτία της έλλειψης υδάτινων πόρων και πόσιμου νερού εμφανίζεται η μόλυνση. Τα περισσότερα ποτάμια και οι λίμνες των περιοχών αυτών έχουν επιβαρυνθεί από νιτρικά άλατα, απόβλητα βιομηχανιών και βαρέα μέταλλα (όπως μόλυβδος ή χρώμιο). Μεγάλο μέρος του εδάφους της Λατινικής Αμερικής (κυρίως το Μεξικό και το Περού) αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας, ενώ τα πλούσια υδάτινα αποθέματα της υπόλοιπης ηπείρου είναι σε μεγάλο βαθμό προσβεβλημένα από διάφορα είδη μόλυνσης, εξαιτίας της ανεξέλεγκτης εκβιομηχάνισης. Η εκβιομηχάνιση των χωρών αυτών γίνεται με τη μεταφορά εκεί μεγάλων παραγωγικών μονάδων ξένων συμφερόντων, λόγω φτηνού κόστους εργασίας και φτηνών πρώτων υλών. Πολλές λατινοαμερικανικές χώρες, τα τελευταία χρόνια, έζησαν μεγάλες θανατηφόρες επιδημίες εξαιτίας του μολυσμένου νερού. Οι επιπτώσεις της μόλυνσης του νερού είναι ιδιαίτερα εμφανείς και στην πλούσια χλωρίδα και πανίδα της περιοχής.

Ο Διεθνής Οργανισμός Μετεωρολογίας (ΔΟΜ) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι "η έλλειψη νερού θα επηρεάσει την παροχή τροφίμων σε όλη την Ασία και τον Ειρηνικό" τονίζεται στην Έκθεση, ενώ οι "διεθνείς συρράξεις για το νερό γίνονται όλο και πιο συχνές, καθώς αυξάνεται ο ανταγωνισμός για τις πηγές". Ο ίδιος ο ΔΟΜ επισημαίνει πως υπάρχει μια καθορισμένη ποσότητα πόσιμου νερού προερχόμενου από φυσικές πηγές προς χρήση του ανθρώπινου είδους. Όμως ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται και να απαιτεί περισσότερο νερό κατά κεφαλήν. Στις πιθανές επιπτώσεις συγκαταλέγονται η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι συχνότερες και σφοδρότερες καταιγίδες, πλημμύρες και ξηρασίες, καθώς και οι μεταβολές στα έμβια όντα και την παραγωγικότητα, όσον αφορά τις τροφές. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του ΟΗΕ, το 2025 ένας στους τρεις κατοίκους της γης δηλαδή περίπου 3,5 δις άνθρωποι σε 52 χώρες της γης, θα ζουν σε καθεστώς ανυδρίας, που σημαίνει ότι η έλλειψη νερού θα είναι σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας για τη συντήρηση της ζωής και την οικονομική ανάπτυξη. Αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο, και σε αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες χώρες, θα εμφανιστούν ανάλογα προβλήματα.

Η κατανάλωση νερού σε ορισμένες ευρωπαϊκές πόλεις έχει αυξηθεί. Το 60% περίπου των μεγάλων ευρωπαϊκών πόλεων υπερεκμεταλλεύεται τους υπόγειους υδάτινους πόρους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα διαθέσιμα αποθέματα και η ποιότητα του νερού ενδέχεται να θέτουν ολοένα περισσότερους φραγμούς στην αστική ανάπτυξη σε χώρες όπου παρατηρούνται φαινόμενα λειψυδρίας και ιδίως στη Νότια Ευρώπη. Οι συνέπειες των παραπάνω είναι οι εξής: Η αλάτωση του εδάφους πλήττει σχεδόν τέσσερα εκατομμύρια εκτάρια, κυρίως σε μεσογειακές και ανατολικοευρωπαϊκές χώρες. Οι

κυριότερες αιτίες είναι η υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων λόγω των αρδεύσεων για τις καλλιέργειες, η αύξηση του πληθυσμού, η βιομηχανική και αστική ανάπτυξη, καθώς και η αύξηση του τουρισμού στις παράκτιες περιοχές και η ρύπανση.

1.4.2 Κρίση νερού στην Ελλάδα

Όσον αφορά τη χώρα μας, η Ελλάδα δεν βρίσκεται σε κατάσταση «κρίσης νερού», ούτε τίθεται θέμα ακόμη να χαρακτηριστεί άνυδρη. Τα συνολικά ανανεώσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 70 hm³/έτος, από τα οποία το 80% χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ το 2,5-4 % διατίθεται για βιομηχανική χρήση και παραγωγή ενέργειας. Παρόλα αυτά όμως, είναι μια χώρα η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη χωρική και χρονική ανισοκατανομή, πράγμα που σημαίνει ότι έχουμε επάρκεια σε νερό κυρίως εκεί που δεν μας χρειάζεται πολύ και σε λανθασμένη χρονική στιγμή.

Η υφαλμύρωση των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών καθώς και η υποτιμολόγηση του νερού στη χώρα μας με αποτέλεσμα να το θεωρούμε δεδομένο και να μην αναγνωρίζουμε την αξία του, είναι παράγοντες που εντείνουν το πρόβλημα. Στα παραπάνω προστίθενται η ανυπαρξία ενιαίας πολιτικής και η σαφής υποβάθμιση της ποιότητας και ο υποβιβασμός της στάθμης των υδροφορέων.

Σοβαρό πρόβλημα αποτελεί και η ρύπανση των ελληνικών ποταμών και λιμνών. Στην Ελλάδα, ενώ η συνολική ποσότητα του υδατικού δυναμικού φαίνεται να είναι αρκετή για να καλύψει τις συνολικές ανάγκες, συμβαίνει να υπάρχουν περιοχές με έντονα προβλήματα ανεπάρκειας νερού. Ως αιτίες αυτού του φαινομένου αναφέρονται η μεγάλη χωρική και χρονική ανισοκατανομή (ψηλά βουνά με πλούσια υδατικά αποθέματα και πεδινές, παράκτιες ή νησιωτικές περιοχές με φτωχό ισοζύγιο, εύκρατα κλίματα με υγρούς χειμώνες που ακολουθούνται από στεγνά καλοκαίρια), αλλά και η άνιση κατανομή της ζήτησης, με τις υδροβόρες δραστηριότητες να αναπτύσσονται στις άνυδρες περιοχές και κατά τη διάρκεια ξηρής περιόδου (αγροτικές ανάγκες στις πεδινές περιοχές και τουρισμός στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές κατά τους θερινούς μήνες).

Το θετικό στοιχείο, όσον αφορά στην κατάσταση των υδατικών πόρων της χώρας μας, είναι ότι η Ελλάδα έχει πολλές λεκάνες απορροής, οπότε η ρύπανση περιορίζεται. Αντίθετα στην Ευρώπη, ένας ποταμός (όπως π.χ. ο Δούναβης) μπορεί να διασχίζει τη μισή ήπειρο, οπότε η ρύπανση μεταφέρεται (Μυλόπουλος, 2001).

1.5 Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Με τον όρο «Διαχείριση των Υδατικών Πόρων» εννοούμε το σύνολο των μεθόδων και δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ορθολογική αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού, με στόχο την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό.

Ο όρος «Διαχείριση Υδατικών Πόρων» αναφέρεται, σαφώς στην υδρολογική, επεκτείνεται όμως και στην επιχειρησιακή διάσταση του θέματος, παραπέμποντας στο σύνθετο σύστημα «υδατικός πόρος - χρήση του».

Η Διαχείριση των Υδατικών Πόρων αναφέρεται, αλλά και υλοποιείται σε δύο διαστάσεις, στη φυσική από τη μια πλευρά και στην κοινωνικοοικονομική από την άλλη.

Η φυσική διάσταση σχετίζεται με την κατανομή και τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων στην φύση και την δυναμική τους στο χώρο και στον χρόνο καθώς επίσης

επεκτείνεται και στα θέματα απόληξης του νερού από το περιβάλλον και τα μέσα επιστροφής του σε αυτό.

Η κοινωνικοοικονομική διάσταση αφορά την αξιοποίηση των υδατικών πόρων και τους τρόπους κάλυψης των υδατικών αναγκών. Μελετά τη ζήτηση του νερού και τους παράγοντες που την διαμορφώνουν και την επηρεάζουν καθώς και τον ορθολογικό σχεδιασμό της αξιοποίησης των υδατικών πόρων και της κατανομής τους στις χρήσεις και τις δραστηριότητες προκειμένου να επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό όφελος.

Στόχοι της διαχείρισης υδατικών πόρων είναι:

- Η διευθέτηση της φυσικής προσφοράς του νερού με τη ζήτηση
- Η διευθέτηση της ζήτησης σε σχέση με τη διαθεσιμότητα του νερού
- Η αντιμετώπιση των ανοιγμάτων ανάμεσα σε προσφορά-ζήτηση νερού
- Η προστασία και η διατήρηση της ποιότητας του νερού
- Η πρόληψη των απωλειών νερού
- Η εξομάλυνση των συγκρούσεων ανάμεσα στις ανταγωνιστικές χρήσεις
- Ο συντονισμός των δραστηριοτήτων έρευνας, αξιοποίησης, χρήσης και προστασίας των υδατικών πόρων.

Ως βασικό κριτήριο για την επιτυχή ή όχι διαχείριση των υδατικών πόρων πρέπει να χρησιμοποιείται το κριτήριο της Αειφόρου Ανάπτυξης (Sustainable Development). Ως γνωστόν Αειφόρος είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις σημερινές ανάγκες χωρίς να εμποδίζει τη δυνατότητα για κάλυψη των μελλοντικών αναγκών (Τσακίρης, 2001).

1.5.1 Διαχείριση Υδατικών πόρων στην Ελλάδα

Η λογική της θεσμοθέτησης των Υδατικών Διαμερισμάτων στην Ελλάδα, με κατά το δυνατόν παρόμοιες υδρολογικές – υδρογεωλογικές συνθήκες στηρίχθηκε στην ανάγκη δημιουργίας ευρύτερων χωρικών ενοτήτων, ικανών από άποψη μεγέθους να αποτελέσουν μια αποδεκτή κλίμακα περιφερειακής διαχείρισης των νερών (Ξανθόπουλος, 1996).

Η διαχείριση των υδατικών πόρων σήμερα στην Ελλάδα αποτελεί ένα τομέα δραστηριότητας που συνεχώς αποκτά μεγαλύτερη σημασία λόγω:

- α) της αυξανόμενης ζήτησης νερού κατάλληλης ποιότητας για κάθε χρήση
- β) της συνεχούς μείωσης της διαθέσιμης ποσότητας νερού και
- γ) της ανάγκης προστασίας του περιβάλλοντος και εξασφάλισης της οικολογικής ισορροπίας (Γκίνη, 1996).

Η Ελλάδα δεν έχει μεγάλα ποτάμια εξολοκλήρου στην επικράτειά της. Τα μεγαλύτερα είναι ο Αλιάκμονας (320 km), ο Αχελώος (220 km), ο Πηνειός (205 km), ο Στρυμόνας (118 km), ο Θύαμις (115 km) ο Άραχθος (110 km), ο Ευρώτας (82 km), ο Λούρος (80 km) και ο Σπερχειός (80 km) και τα μεγαλύτερα εξ αυτών είναι διασυνοριακά. Από τα διασυνοριακά ποτάμια τα μεγαλύτερα είναι ο Έβρος (μήκος 530 km από τα οποία τα 204 σε ελληνικό έδαφος) και ο Νέστος (μήκος 234 km από τα οποία τα 130 σε ελληνικό έδαφος). Οι υπόγειες πηγές τροφοδοτούν τα ποτάμια αλλά και τροφοδοτούνται από αυτά. Σε πολλούς ποταμούς έχουν κατασκευαστεί φράγματα και ταμιευτήρες για την άρδευση και την παραγωγή ενέργειας. Άρδευτικά φράγματα υπάρχουν στον Αλιάκμονα, στον Αξίο και στον Πηνειό. Υδροηλεκτρικές μονάδες υπάρχουν στον Λούρο, στον Αχελώο, στον Εδεσσαίο, στον Λάδωνα και στο Μέγδοβα. Οι φυσικές λίμνες της χώρας βρίσκονται κυρίως στην Αιτωλοακαρνανία, την Ήπειρο

και την Μακεδονία (οι πιο σημαντικές από αυτές είναι η Τριγωνίδα, η Αμβρακία, η Παμβώτιδα, η Βόλβη, η Βεγορίτιδα, η Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα και η λίμνη της Καστοριάς), ενώ υπάρχουν και ορισμένες τεχνητές, οι οποίες δημιουργήθηκαν με τα νερά ποταμών όπως η λίμνη στο Καστράκι και στα Κρεμαστά, ο Μόρνος και ο Ταυρωπός (Φαρμάκη, 2007).

Πίνακας 1.1: Ετήσια ζήτηση νερού κατά καταναλωτική χρήση και υδατικό διαμέρισμα (hm^3) (Κουτσογιάννης και συν., 2008)

Κ.Α.	Υδατικά διαμερίσματα	Αρδευση	Κτηνο-τροφία	Υδρευση	Βιομη-χανία	Λοιπές	Σύνολο
01	Δυτικής Πελοποννήσου	201	5,0	23	3	20	252
02	Βόρειας Πελοποννήσου	401,5	6,6	41,7	3		452,8
03	Ανατ. Πελοποννήσου	324,9	4,7	22,1			351,7
04	Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	366,5	9,0	22,4			397,9
05	Ηπείρου	127,4	9,9	33,9	1		172,2
06	Αττικής	99	2,5	400	17,5		519
07	Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	773,7	9,9	165,9	12,6		962,1
08	Θεσσαλίας	1550	12	54			1616
09	Δυτικής Μακεδονίας	609,4	7,9	43,7	30	80	771
10	Κεντρικής Μακεδονίας	527,6	8,0	99,8	80		715,4
11	Ανατολικής Μακεδονίας	627	5,8	32			664,8
12	Θράκης	825,2	7,1	27,9	11		871,2
13	Κρήτης	320	10,2	42,3			372,5
14	Νήσων Αιγαίου	80,2	6,8	37,2			124,2
	Σύνολο χώρας	6.833,4	105,4	1045	158,1	100	8.242,8

Η Ελλάδα, με έκταση 131.950 km^2 περίπου έχει την ιδιομορφία να παρουσιάζει μια ακτογραμμή 16.000 km που αναπτύσσεται στην ηπειρωτική χώρα και στα 3.000 περίπου νησιά (έκτασης 25.166 km^2). Το 5% της ακτογραμμής αντιστοιχεί σε υδροβιότοπους. Από τα 3.000 νησιά 63 είναι τα κυριότερα από άποψη μεγέθους. Σε αντιδιαστολή σημειώνεται ότι τα νησιά σε ολόκληρη τη Μεσόγειο αριθμούν τα 4.000 (Καραβίτης και Αγγελίδης, 2005).

Στην Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος των αποθεμάτων γλυκού νερού είναι επιφανειακό με ποσοστό 85-90%, ενώ το 10-15% είναι υπόγειο.

1.5.2 Διαχείριση Υδατικών πόρων στη Θεσσαλία

Το Υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας έχει έκταση 13,162 km². Η μορφολογία και οι κλιματικές συνθήκες που κυριαρχούν στο Υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας ευνοούν τη δημιουργία και διατήρηση των επιφανειακών νερών και ειδικότερα συνεχούς ροής στο βόρειο και εποχιακής στο νότιο τμήμα (Παπακωνσταντίνου και Μπέλτσιος, 1996).

Οι σειρές ανύψωσης από 0 έως 2.800 m, με τη μέση ανύψωση, που είναι περίπου 500 m, σημαίνουν ετήσιες σειρές πτώσης από 400 mm έως 1.850 mm. Οι περιοχές βουνών λαμβάνουν τα σημαντικά πακέτα χιονιού κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας περιλαμβάνει μια έκταση 4.000 km² που διαρρέεται από τον Πηνειό ποταμό (Loukas et al., 2006).

Η κύρια υδρολογική λεκάνη του Υδατικού διαμερίσματος είναι εκείνη του Πηνειού, με συνολική επιφάνεια ίση με περίπου 9.500 km² (9.448 km² ανάντη της θέσης του υδρομετρικού σταθμού Πυργετού, ο οποίος βρίσκεται κοντά στις εκβολές).

Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού στο νότιο μέρος είναι ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης (στον οποίο κατασκευάστηκε το φράγμα Σμοκόβου) και ο Καλέντζης (που δέχεται τα νερά από την εκτροπή του π. Ταυρωπού μέσω του ταμιευτήρα Πλαστήρα), προς τα δυτικά το ρ. Μαλακασιώτικο, ο Πορταϊκός και ο Πάμισος (Πλιούρης) και προς τα βόρεια ο Ληθαίος (που διασχίζει την πόλη των Τρικάλων), ο Νεοχωρίτης και ο Τιταρήσιος, ο οποίος περιλαμβάνει διάφορους κλάδους εκ των οποίων οι σημαντικότεροι ο Σαραντάπορος και ο Ελασσονίτικος.

Στο Υδατικό διαμέρισμα εμφανίζεται και η λεκάνη της λίμνης Κάρλας με τον ταμιευτήρα. Η έκταση της λεκάνης απορροής της λίμνης θα είναι 1.171 km² (Loukas et al., 2006), το σύστημα της βρίσκεται υπό διαμόρφωση, με ένα σύστημα τάφρων αμφίδρομης ροής προς και από τον π. Πηνειό για αντιπλημμυρική προστασία των πεδινών καλλιεργημένων εκτάσεων (Υπουργείο Ανάπτυξης 1996, Βαβίζος και συν. 2005).

Η σημαντικότερη χρήση νερού στη Θεσσαλία είναι η αρδευτική. Οι υδατικές ανάγκες του θεσσαλικού κάμπου, που είναι από τους μεγαλύτερους στην Ελλάδα (με έκταση περί των 5*10⁶ στρεμμάτων και γεωργικής γης περίπου 4*10⁶ στρεμμάτων). Υπάρχει ανισομερής κατανομή των βροχοπτώσεων και των απορροών που υπάρχει μεταξύ Δυτικής και Ανατολικής Ελλάδος και ορίζεται από τους υδροκρίτες των βουνών της Πίνδου και των Αγράφων (Βαβίζος και συν., 2005).

Πίνακας 1.2: Εκτίμηση σημερινής ζήτησης για άρδευση με βάση το σύνολο των εν δυνάμει εκτάσεων να αρδευτούν (Κουτσογιάννης και συν., 2008)

Νομός	Συνολική αρδευόμενη έκταση στο νομό (στρεμ.)	Συμμετοχή νομού	Αρδευόμενη έκταση στο διαμέρισμα (στρεμ.)	Συνολική αρδευτική ζήτηση νομού (hm ³ /έτος)	Αρδευτική ζήτηση στο διαμέρισμα (hm ³ /έτος)
Λάρισας	972,852	100%	972,852	632,7	632,7
Μαγνησίας	184,585	95%	175,356	111,4	105,8
Τρικάλων	410,456	100%	410,456	289,7	289,7
Καρδίτσας	756,939	100%	756,939	510,1	510,1
Περίας	233,488	1%	2,334	144,5	1,4

Γρεβενών	22,735	5%	1,137	14,6	0,7
Φθιώτιδας	523,042	8%	41,843	353,3	28,3
Σύνολο			2,360,917		1.568,7

Το έλλειμμα μόνο στη λεκάνη του Πηνειού, με συντηρητικές εκτιμήσεις, κυμαίνεται μεταξύ 750 και 1,000 hm³, ενώ με την προσθήκη και των ελλειμμάτων της λεκάνης της Κάρλας (μέσο έλλειμμα 125 hm³) και των 4 παράκτιων λεκανών (Λάρισας, Μαγνησίας, Βόλου και Αλμυρού), το συνολικό έλλειμμα του Υδατικού διαμερίσματος αυξάνεται κατά 200 περίπου hm³. Τυχόν μείωση των αντλήσεων της περιοχής Κάρλας κατά 30% συνολικά θα οδηγούσε σε αύξηση της υπόγειας στάθμης κατά 12 περίπου μέτρα για μια περίοδο εφαρμογής 20 ετών, δηλαδή αύξηση 0,6 περίπου μέτρων ετησίως. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει έναν τρόπο ορθολογικότερης αξιοποίησης του υπόγειου υδατικού δυναμικού και επαναφορά λειτουργίας των υπόγειων υδροφορέων σε φυσιολογικά επίπεδα (Καραμόσχος και συν, 2005).

Σύμφωνα με τα στοιχεία των Δ/νσεων Εγγείων Βελτιώσεων της Θεσσαλίας, από το 1970 μέχρι το 1996 χορηγήθηκαν περίπου 30.000 άδειες ανόρυξης γεωτρήσεων, ανορύχθηκαν περίπου 23.000- 25.000 και υπάρχει σημαντικός αριθμός παράνομων γεωτρήσεων που δεν είναι γνωστός.

Προκύπτει σαφώς ότι γίνεται υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων με αποτέλεσμα τη σημαντική πτώση στάθμης και την εξάντληση εντέλει των ανανεώσιμων υπόγειων υδατικών πόρων. Μάλιστα, διαπιστώνεται ότι το 80% του ελλείμματος του υδατικού δυναμικού του Υδατικού διαμερίσματος επικεντρώθηκε σε υπεράντληση κυρίως κατά την τελευταία εικοσαετία σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την κατάσταση παίζει η ανόρυξη υπεράριθμων γεωτρήσεων (Καραμόσχος και συν, 2005).

Πίνακας 1.3: Εκτίμηση της σημερινής ζήτησης σε άρδευση (Κουτσογιάννης και συν, 2008)

Νομός	Ετήσιες υδατικές ανάγκες (hm ³ /έτος)
Λάρισας	632,7
Μαγνησίας	105,8
Τρικάλων	289,7
Καρδίτσας	510,1
Πιερίας	1,4
Γρεβενών	0,7
Φθιώτιδας	28,3
Σύνολο	1.568,7

1.6 Χωρική ανάλυση και Διαχείριση Υδατικών πόρων

Σύμφωνα με τον Unwin (1981), χωρική ανάλυση είναι η μελέτη της κατανομής των σημείων, γραμμών, περιοχών και επιφανειών ενός χάρτη (Johnston et al. 2000), δηλαδή η επιστήμη που βγάζει νόημα από τα χωρικά στοιχεία ενός Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΣΠ). Ωστόσο, αυτός ο ορισμός είναι πολύ γενικός. Οι Bailey and

Gatrell (1995) ορίζουν τη χωρική ανάλυση ως την ποσοτική ανάλυση/μελέτη των χωρικών φαινομένων που βρίσκονται στο γεωγραφικό χώρο. Αναγνωρίζοντας και αυτοί την ευρύτητα του όρου χωρική ανάλυση εξειδικεύουν τη συζήτησή τους στην ανάλυση χωρικών δεδομένων. Η τελευταία αφορά τις καταστάσεις στις οποίες είναι διαθέσιμα δεδομένα παρατήρησης για κάποιο φαινόμενο που συμβαίνει στο γεωγραφικό χώρο και εξετάζει μοντέλα, μεθόδους και τεχνικές για να περιγράψει ή να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά αυτού του φαινομένου και της πιθανής του σχέσης με άλλα χωρικά φαινόμενα (Bailey and Gatrell 1995, Fischer and Wang 2011).

Η χωρική ανάλυση βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε αντικείμενα έρευνας της φυσικής γεωγραφίας, όπως στην κλιματολογία, στις φυσικές καταστροφές και στο περιβάλλον, σε τομείς όπως υδρολογικά μοντέλα, πρόβλεψη και έλεγχο μόλυνσης, δίκτυα ύδρευσης, άρδευσης και αποχετευτικά κ.α. (Καλογήρου, 2015).

Δεδομένης της πολυπλοκότητας και της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τους υδατικούς πόρους, προκειμένου να διερευνηθούν οι συνθήκες διαχείρισης των υδατικών πόρων σε μια δεδομένη υδρολογική λεκάνη, είναι σημαντικό να εξεταστούν λεπτομερώς οι συνθήκες προσφοράς και ζήτησης, ως συνιστώσες της διαχείρισης των υδατικών πόρων, σε συνδυασμό με τα προβλήματα, τις δυνατότητες και τις προοπτικές ανάπτυξης των υδατικών πόρων και τη χωρική ανάλυση των χρήσεων γης, καθώς αυτές διαμορφώνουν και την αντίστοιχη ζήτηση.

Λόγω της χωρικής και χρονικής φύσης των απαιτούμενων πληροφοριών, αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, η χωρική ανάλυση (spatial analysis), η οποία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), έχει συμβάλει αποφασιστικά στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η τεχνολογία των ΓΣΠ παρέχει ένα μηχανισμό για τη συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση και παρουσίαση πληροφοριών που είναι απαραίτητα για τη μελέτη των χρήσεων γης και των υδατικών πόρων.

Με βάση τα παραπάνω, η ανάλυση των χωρικών δεδομένων (χρήσεων γης) στην υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη σε συνδυασμό με τις χρονικές μεταβολές τους (χρονοσειρές), αλλά και σε αντιπαραβολή με άλλες συνθήκες που επικρατούν (μετεωρολογικά δεδομένα, στοιχεία καλλιεργειών κ.α.), αποτυπώνουν τη διαχρονική εξέλιξη των συνθηκών διαχείρισης των υδατικών πόρων εντός της περιοχής μελέτης. Επομένως, με τη χωροχρονική ανάλυση είναι εφικτό να εντοπιστούν οι παράμετροι που διαμόρφωσαν τις εν λόγω συνθήκες διαχείρισης των υδατικών πόρων, καθώς και ο βαθμός επιρροής τους και να διερευνηθούν διάφορα σενάρια με σκοπό την εφαρμογή της κατάλληλης υδατικής πολιτικής και της επίτευξης της βιωσιμότητας στη διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Η λεκάνη της λίμνης Κάρλας

Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας αποτελεί μια επιμήκη κλειστή λεκάνη, μήκους 35 km και πλάτους 15 km. Η λεκάνη είναι κλειστή διότι περιβάλλεται από ορεινούς όγκους με το χαμηλότερό της απόλυτο υψόμετρο (+44 μ.) να βρίσκεται ανάμεσα στους οικισμούς Στεφανοβικείου και Καναλίων, εκεί όπου σήμερα οριοθετείται ο ταμιευτήρας της Κάρλας, χωρίς να υπάρχει φυσική επιφανειακή υδραυλική της επικοινωνία με τη θάλασσα.

Έχει έκταση 1660 km² και εκτείνεται σε γεωγραφικό πλάτος από 39°20'56'' νότια μέχρι 39°45'15'' βόρεια και 22°26'10'' ανατολικά μέχρι 23°0'27'' δυτικά. Τα όρια της αποτελούν ο ποταμός Πηνειός και η κορυφογραμμή του όρους Όσσα στο βορρά, το μισό δυτικό τμήμα της πεδιάδας της Αγιάς και η κορυφογραμμή του όρους Μαυροβουνίου στα ανατολικά, η κορυφογραμμή του βόρειου Πηλίου και του Όρους Μεγαβούνι στα νότια, η κορυφογραμμή του όρους Χαλκοδόνιου στα νοτιοδυτικά και στα ανατολικά οι λοφοσειρές των οικισμών Ν. Περιβόλι, Νέα Λεύκη της Λάρισας και το υπόλοιπο πεδινό τμήμα αυτής από τη Νέα Λεύκη ως τη Λάρισα. Το υψόμετρο της ποικίλει από τα +40 μ. έως και τα +2.000 μ. (Σιδηρόπουλος, 2014).

Στο μέσο της λεκάνης αυτής βρίσκεται το βαθύτερο τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας, τα χαμηλότερα τμήματα της οποίας μέχρι το 1961, καλύπτονταν από τα νερά της λίμνης, που αποτελούσε πριν από την εκτέλεση των έργων και τον κύριο αποδέκτη της. Διοικητικά η περιοχή υπάγεται στους νομούς Λαρίσης και Μαγνησίας.

Χαρακτηρίζεται ως καθαρά αγροτική λεκάνη, διότι σχεδόν το 60% της έκτασης της καταλαμβάνεται από καλλιέργειες. Δεν εντοπίζεται κάποιο αστικό κέντρο εντός των ορίων της, ούτε και κάποια βιομηχανική περιοχή. Με εξαίρεση κάποια γραφικά ορεινά χωριά δεν αποτελεί τόπο τουριστικού προορισμού (Σιδηρόπουλος, 2014).

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο χάρτης της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας. Τα όριά της απεικονίζονται με κόκκινη γραμμή. Η μαύρη γραμμή αναπαριστά τα όρια του υπό μελέτη φρεάτιου υπόγειου υδροφορέα αυτής, ο οποίος έχει έκταση 500 km² και καταλαμβάνει το πεδινό τμήμα αυτής. Απεικονίζονται επίσης, οι ορεινοί όγκοι που αναφέρθηκαν προηγουμένως, το υδρογραφικό της δίκτυο με τις τεχνητές τάφρους, η νέα λίμνη Κάρλα και οι μικροί πεδινοί ταμιευτήρες άρδευσης του ΤΟΕΒ Πηνειού.

2.2 Ιστορικά στοιχεία

Ο σχηματισμός της λεκάνης της Κάρλας οφείλεται στο βύθισμα των τεκτονικών πλακών κατά την Πλειόκαινο ή Πλειστόκαινο εποχή στην περιοχή μεταξύ Λάρισας και Βελεστίνου. Το βύθισμα αυτό συμπληρώθηκε από λιμναία ιζήματα και προσχώσεις που προήλθαν από την αποσάθρωση των γύρω οροσειρών. Στο βύθισμα αυτό σχηματίστηκε η λίμνη Κάρλα.

Η παράλληλη απόθεση των προσχώσεων και η καταβύθιση της περιοχής είχε ως αποτέλεσμα τα πάχη των ιζημάτων να είναι αρκετά μεγάλα και σε ορισμένα σημεία να ξεπερνούν τα 300 μέτρα.

Η λίμνη Κάρλα, η αρχαία Βοιβηίς, υπήρξε μία από τις μεγαλύτερες και οικολογικά σημαντικότερες λίμνες της Ελλάδας, με πλούσιο ιχθυοπληθυσμό, πάνω στον οποίο στηρίχθηκε το εμπόριο της αλιείας από τους κατοίκους των παρακάρλιων οικισμών.

Αποτελούσε έναν από τους σημαντικότερους σταθμούς των μεταναστευτικών πουλιών για την Ελλάδα και καθιστούσε την ευρύτερη περιοχή πλούσια από υδρολογική άποψη (Σιδηρόπουλος, 2014).



Σχήμα 2.1: Χάρτης υδρολογικής λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας (Σιδηρόπουλος και Μυλόπουλος, 2012)

Η τροφοδοσία της οφειλόταν στα πλημμυρικά νερά του Πηνειού, μέσω του ρέματος Ασμακίου (8T) και των απορροών των γύρω ορεινών όγκων, μιας και δεν υπήρχε επιφανειακή διαφυγή αυτών στη θάλασσα. Σχηματιζόταν από τα ποτάμια που πήγαζαν κυρίως από την Όσσα. Βρίσκονταν στους πρόποδες της βόρειας προέκτασης της οροσειράς του Πηλίου που λέγεται Μαυροβούνι. Πρόκειται για μια αβαθή λίμνη (2 – 5.5 μ. βάθος) και καταλάμβανε μία μέση έκταση 200.000 στρεμμάτων, ενώ τα νεότερα χρόνια η έκτασή της κυμαινόταν αναλόγως με τα πλημμυρικά νερά του Πηνειού και των απορροών των γύρω ορεινών όγκων. Η λίμνη οριοθετούνταν βορειοανατολικά από

τις λοφώδεις εξάρσεις της οροσειράς Μαυροβουνίου, νότια από τις λοφώδεις εξάρσεις της οροσειράς του Πηλίου, ενώ βορειοδυτικά, δυτικά έως νοτιοδυτικά δεν ήταν σαφή τα όρια (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η καταγραφή της στάθμης ξεκίνησε στις αρχές του 20ου αιώνα και ήταν χαρακτηριστική η αυξομείωσή της. Σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ η έκτασή της μεταβαλλόταν από έτος σε έτος ανάλογα με τις βροχοπτώσεις και κάλυπτε εκτάσεις 65.000-130.000 στρεμμάτων. Ήταν αβαθής, το νερό κάλυπτε 2-6 μέτρα, και είχε πλούσια υδρόβια βλάστηση (Καλύβα, 2014).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως κύρια πηγή τροφοδοσίας της ήταν ο Πηνειός. Έτσι σε χρονιές ανομβρίας η λίμνη είχε αποξηρανθεί τελείως. Σύμφωνα με καταγραφές αποξηράνθηκε δύο φορές το διάστημα 1860 – 1880 και από τότε άλλες δύο τον Ιούλιο του 1899 και το 1908. Η τελική της αποξήρανση, η οποία ήταν τεχνητή έγινε το 1962, μέσω της σήραγγας της Κάρλας (Σιδηρόπουλος, 2014).

Όπως προαναφέρθηκε, το εμβαδόν που καταλάμβανε η λίμνη Κάρλα εξαρτιόνταν από τις διακυμάνσεις στάθμης που καθορίζονταν από τις εισροές και τις αντίστοιχες εκροές υδάτων. Οι τακτικές εισροές υδάτων προέρχονταν από τις βροχοπτώσεις και οι έκτακτες από τα υπερχειλίζοντα ύδατα του Πηνειού ποταμού κατά τις μεγάλες πλημμύρες του. Εισροές στη λίμνη υπήρχαν και από πηγές, με κυριότερη αυτή του Βελεστίνου αλλά και από άλλες μικρότερες που βρίσκονταν στο βόρειο τμήμα της λίμνης και αποστραγγίζονταν με το ρέμα Ασμάκι. Οι εκροές υδάτων από τη λίμνη οφείλονταν αποκλειστικά σχεδόν στην εξάτμιση και ένα μικρό ποσοστό στις υπόγειες διαφυγές του πυθμένα. Η μικρή κλίση του πυθμένα της λίμνης είχε ως αποτέλεσμα, ανάλογα με τη σχέση εισροών-εκροών, το εμβαδόν της να κυμαίνεται μεταξύ 40 και 180 km². Έτσι, η παγίδευση πλημμυρικών υδάτων στη λίμνη συνοδευόταν από την κατάκλιση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων γύρω από αυτή, ενώ παράλληλα δημιουργούσε προβλήματα στράγγισης και αύξησης της συγκέντρωσης αλάτων στα εδάφη της γύρω περιοχής.

2.3 Αποξήρανση της λίμνης Κάρλας

Στα τέλη του 19ου αιώνα, είχε επικρατήσει η τεχνοκρατική αντίληψη των αποξηράνσεων αρκετών λιμνών, υγροτόπων και βάλτων σε όλη την Ελλάδα (Κωπαΐδα, έλος Γιαννιτσών, πεδιάδα Σερρών), χωρίς καμιά περιβαλλοντική και οικολογική μέριμνα, μιας και τα κίνητρα ήταν η διάθεση γης για την ανάπτυξη της γεωργίας. Έτσι, στο στόχαστρο μπήκε και η λίμνη Κάρλα, της οποίας η αποξήρανση ξεκίνησε το 1962 και ολοκληρώθηκε το 1964, με την κατασκευή μιας σειράς έργων και επικαλώντας τους εξής βασικούς λόγους (Σιδηρόπουλος, 2014):

- Αποφυγή των πλημμυρικών φαινομένων που δημιουργούσε η λίμνη εξαιτίας της συνεχούς μεταβαλλόμενης έκτασής της
- Αντιμέτωπιση ασθενειών των ντόπιων που σχετίζονταν με τη λίμνη όπως ελονοσία
- Απόκτηση γεωργικής γης και διάθεσης της σε ντόπιους και πρόσφυγες

Οι διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης που οδηγούσαν στην απόπλυση των εδαφών, το ιδιόμορφο ιδιοκτησιακό καθεστώς και η μείωση των αλιευμάτων οδήγησαν στην οριστική αποξήρανση της λίμνης.

Η ανάγκη για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής και την απόκτηση γεωργικών εκτάσεων, αποτέλεσε την αιτία για την εκπόνηση διαφόρων μελετών που πραγματοποιήθηκαν μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλίας, το 1881. Σύμφωνα με τις

μελέτες, η αξιοποίηση της περιοχής συνδεόταν με την κατασκευή αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων, την αποξήρανση της λίμνης μέσω σήραγγας προς τον Παγασητικό Κόλπο και την κατασκευή ενός ταμιευτήρα σε τμήμα της παλιάς λίμνης. Ο ταμιευτήρας θα χρησίμευε για την ανάσχεση πλημμυρών και την αποταμίευση μέρους της χειμερινής παροχής του Πηνειού για άρδευση. Με την ολοκλήρωση των πρώτων έργων αντιπλημμυρικής προστασίας το 1949, που περιελάμβαναν τους ορεινούς συλλεκτήριους αγωγούς και τα αναχώματα του Πηνειού, περιορίστηκε η λεκάνη απορροής της κατά το 1/3 και αποκόπηκε η τροφοδοσία της από τον ποταμό, με συνέπεια τη μείωση των εισροών και την υποβάθμιση του υγρότοπου της λίμνης.

Το 1954, η μελέτη του κ. Παπαδάκη προέβλεπε την κατασκευή αρδευτικού αποστραγγιστικού δικτύου, αποτελούμενο από τάφρους και διώρυγες. Η έκταση της λίμνης περιορίζεται στα 64.700 στρέμματα στο ΝΑ τμήμα της. Η περιοχή θα προστατευόταν από τις υπερχειλίσεις της λίμνης μέσω αναχωμάτων ενώ το νερό της λίμνης θα χρησιμοποιούνταν για άρδευση μέσω δικτύου διωρύγων και αρδευτικών καναλιών. Τα αποστραγγίσματα της περιοχής θα εκκενώνονταν στον Παγασητικό μέσω αποχετευτικής διώρυγας μήκους 11,5 χιλιομέτρων ενώ στην ίδια σήραγγα προβλεπόταν να αποχετεύεται και η υπερχειλίση της λίμνης.

Το 1961 ολοκληρώνεται η κατασκευή της σήραγγας και ξεκινά η εκκένωση της λίμνης στον Παγασητικό κόλπο. Η τελική αποστράγγιση της λίμνης ολοκληρώθηκε το 1962, χωρίς να προβλέπεται στην μελέτη του κ. Παπαδάκη ωστόσο όμως δεν έλυσε πλήρως τα προβλήματα, διότι δεν κατασκευάστηκαν ο προβλεπόμενος από τις μελέτες ταμιευτήρας και τα συναφή έργα. Οι λόγοι για τους οποίους ο ταμιευτήρας αυτός δεν κατασκευάστηκε αφορούσαν αντιρρήσεις ως προς τη θέση εγκατάστασης, την έκταση που θα καταλάμβανε, και το κατά πόσο πέρα από την αντιπλημμυρική προστασία θα χρησίμευε και για την αποθήκευση νερού για άρδευση (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η αποξήρανση της Κάρλας οδήγησε στην αύξηση του εισοδήματος από την παραγωγή στην πεδιάδα της Κάρλας, όχι μόνο λόγω της αύξησης στις καλλιεργούμενες περιοχές και της μείωσης στη ζημία πλημμυρών αλλά και λόγω ακόμα της υψηλότερης ενδυνάμωσης των αγροοικοσυστημάτων. Η αύξηση αυτή όμως δεν κράτησε για αρκετό χρονικό διάστημα. Η άρδευση επεκτάθηκε σχεδόν σε όλες τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Το νερό άρδευσης προήλθε από τις βαθιές γεωτρήσεις. Όλοι οι ψαράδες έχασαν τις εργασίες τους. Οι σταθερές πτώσεις της στάθμης των υπόγειων νερών, είχαν ως αποτέλεσμα το υψηλής ποιότητας νερό άρδευσης που προέρχονταν από τις γεωτρήσεις να συμπληρώνεται από χαμηλής ποιότητας νερό που προέρχονταν από υδραντλίες που το απορροφούσαν από το μικρό υγρότοπο και από τις διάφορες τάφρους κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Η άντληση ήταν ανεξέλεγκτη. Τα αγροοικοσυστήματα έχασαν την ποικιλία καλλιεργειών. Τα προβλήματα αλατότητας των εδαφών έθεταν δυσκολίες λόγω της έλλειψης νερού. Η ζημία λόγω παγετού στις καλλιέργειες αυξανόταν και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις στη Λάρισα διοχέτευαν μεγάλους όγκους των μη επεξεργασμένων αποβλήτων στις αποχετευτικές τάφρους (Zalidis and Gerakis, 1999).

Οι πιο σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις από την αποξήρανση της λίμνης είναι (Σιδηρόπουλος, 2014):

- σημαντική υποβάθμιση της υδρόβιας βλάστησης και του ιχθυοπληθυσμού και απουσία μεταναστευτικών και παρυδάτιων πουλιών
- υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου
- εξάντληση των αποθεμάτων του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα λόγω υπεράντλησης για κάλυψη των αρδευτικών απαιτήσεων

- επιβάρυνση της ποιότητας των υπογείων νερών λόγω εντατικοποίησης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων στην περιοχή της πρώην λίμνης
- αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα και την ποσότητα των επιφανειακών υδάτων
- επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών του Παγασητικού Κόλπου, ο οποίος δέχονταν το σύνολο του ρυπαντικού φορτίου από την περιοχή Κάρλας
- υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφικών πόρων (ρηγματώσεις, καθιζήσεις, παθογενή εδάφη, κλπ)
- εξαφάνιση της αλιείας, ενός τομέα εξαιρετικά δυναμικού στην περιοχή
- εμφάνιση πληθυσμιακής συρρίκνωσης των ασθενέστερων οικονομικά οικισμών
- όξυνση των ακραίων κλιματικών φαινομένων
- εμφάνιση συχνών πλημμυρικών φαινομένων εξαιτίας της ανεπαρκούς παροχτευτικής ικανότητας της σήραγγας.

Οι αλλαγές των λειτουργιών του υγρότοπου οδήγησαν σε ένα μεγάλο αριθμό περιβαλλοντικών προβλημάτων με αντίκτυπο στην οικονομία της περιοχής. Οι δείκτες κοινωνικής ευμάρειας της περιοχής βρίσκονταν σε διαρκή πτωτική πορεία, η οποία οδηγεί σε τάσεις εγκατάλειψης της περιοχής. Σε αυτό συνέβαλε και η αναστολή των έργων κατασκευής του ταμιευτήρα που δεν επέτρεψε να ολοκληρωθούν τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας και αποθήκευσης νερού.

Τα προβλήματα αυτά διογκώθηκαν με την πάροδο του χρόνου, και μόλις το 1982 εκπονήθηκε η προμελέτη για τον ταμιευτήρα της Κάρλας και τα συναφή έργα. Το 1995 εκπονήθηκε η «Οριστική Μελέτη Ταμιευτήρα Κάρλας και συναφών έργων» με βάση την προμελέτη του 1982. Τέλος, το 1999 εκπονήθηκε η Περιβαλλοντική Τεχνική Έκθεση, συνοδευμένη από μελέτη κόστους-οφέλους και υποστηρικτικές μελέτες, και δημοπρατήθηκε η κατασκευή των έργων.

2.4 Ανασύσταση της λίμνης Κάρλας

Τα έργα επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας περιλαμβάνουν την δημιουργία τεχνητής λίμνης μέσου βάθους 4,5 μέτρων και έκτασης 38.000 στρεμμάτων. Η τροφοδοσία της θα γίνεται από τις απορροές των γύρω λεκανών και τα νερά του Πηνειού, μέσω συλλεκτήρων και αντλιοστασίων τα οποία ταυτόχρονα συμβάλλουν και στην αντιπλημμυρική προστασία των γύρω περιοχών.

Για να εγγυηθεί η λειτουργία της λίμνης ως υγροβιότοπος, τα έργα περιλαμβάνουν την δημιουργία τριών νησίδων, υγροτόπου όπου θα γίνεται ο καθαρισμός των νερών αποστράγγισης, υγροτόπου στήριξης της φυσικής αναπαραγωγής ψαριών και παρόχθια φυτικά οικοσυστήματα.

Για την αναχαίτιση των φερτών που προκύπτουν από τις διαβρώσεις των ορεινών εδαφών που βρίσκονται γύρω από την λίμνη προβλέπεται η δημιουργία έργων ορεινής υδρονομίας και έργα μεταφοράς νερού στις γύρω περιοχές για άρδευση ώστε να ανανεώνονται τα νερά της λίμνης και να αποκατασταθεί η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα.

Μέχρι σήμερα έχουν ολοκληρωθεί τα έργα για την κατασκευή του ταμιευτήρα και τα αντίστοιχα για την τροφοδοσία από τον Πηνειό, οπότε η επαναπλήρωση της λίμνης συνεχίζεται με στόχο την ανώτατη στάθμη άρδευσης, όπου θα μπορεί πλέον να ξεκινήσει η λειτουργία της άρδευσης. Έτσι η διαχείριση του συστήματος Ταμιευτήρας-Υδροφορέας που δημιουργείται, έχει ως σκοπό την αξιοποίηση του νέο-εισερχόμενου αρδευτικού νερού του ταμιευτήρα ώστε να μειωθεί η ποσότητα νερού που αντλείται από τις γεωτρήσεις και να χρησιμοποιηθεί μέρος αυτού για ύδρευση.

Τον Δεκέμβριο του 2010 άρχισε η άντληση νερού από τον Πηνεϊό, ενώ όταν τεθούν σε πλήρη λειτουργία τα 5 αντλιοστάσια του Πηνεϊού η λίμνη θα τροφοδοτείται με 14 κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο. Μέρος των αποθεμάτων θα διατίθεται για άρδευση, συμβάλλοντας στην ετήσια ανανέωση των υδάτων της λίμνης.

Μέχρι την αποξήρανση της λίμνης Κάρλας το 1962, η υδρολογική δίαιτα της λεκάνης ήταν πλούσια, μιας και η τέως λίμνη καταλάμβανε σημαντική έκταση του κάμπου. Το φαινόμενο αντιστράφηκε με την αποξήρανσή της, με αποτέλεσμα η περιοχή να έχει φτωχό επιφανειακό υδατικό δυναμικό, μιας και η αποξήρανση επηρέασε και το μικροκλίμα. Οι μόνοι συνεχούς ροής ποταμοί που συναντώνται στη λεκάνη είναι το Ασμάκι (8Τ) της Λάρισας, παραπόταμος του Πηνεϊού, ο οποίος άλλοτε τροφοδοτούσε την τέως λίμνη Κάρλα, ενώ τώρα έχει διευθετηθεί και χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς και ο Άμυρος, στον δυτικό κάμπο της Αγιάς, ο οποίος τροφοδοτείται από τις απορροές της Όσσας και μετά τη διευθέτησή του καταλήγει στην τάφρο 1Τ για να εξυπηρετήσει και αυτός αρδευτικές ανάγκες. Η παρουσία των δύο ποταμών αυτών καθιστά κάπως καλύτερη την εικόνα του βόρειου τμήματος από υδρολογική άποψη, ενώ η κεντρική και νότια πραγματικά μαστίζεται από έλλειψη επιφανειακών υδατικών πόρων. Αυτός είναι και ο λόγος που η ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών γίνεται εξ' ολοκλήρου από το υπόγειο υδατικό δυναμικό και είναι επίσης και ένας από τους λόγους ανασύστασης της λίμνης Κάρλας.

Σκοπός των έργων επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας ήταν η αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας της περιοχής της τέως λίμνης Κάρλας. Δευτερεύοντες στόχους του έργου αποτέλεσαν η αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής και η αποκατάσταση των, υποβαθμισμένων σήμερα, συνθηκών του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα των παρά την Κάρλα περιοχών με ταυτόχρονη εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού από γεωτρήσεις για την ύδρευση του Βόλου. Ειδικότερα το έργο στοχεύει (Γκουτής, 2013):

- Στη δημιουργία μιας μεγάλης υγροτοπικής έκτασης (λίμνης περιβαλλόμενης από ζώνες ειδικής διαχείρισης), κατάλληλης να υποστηρίξει τον φυσικό (μόνιμο ή εποχικό) εποικισμό της περιοχής με υγροφυτική βλάστηση, ιχθυοπανίδα και παρυδάτια ορνιθοπανίδα, ώστε να αποκατασταθεί μερικά τουλάχιστον το προϋπάρχον της αποξήρανσης οικοσύστημα (υγροβιότοπος) και να ελαχιστοποιηθεί η συμβολή των απορροών της λεκάνης Κάρλας στη ρύπανση του Παγασητικού κόλπου.
- Στη δημιουργία προϋποθέσεων και κανόνων για την ορθή διαχείριση του αναμενόμενου οικοσυστήματος που θα δημιουργηθεί και των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
- Στην υποκατάσταση του υπόγειου νερού των αρδεύσεων με νερό της λίμνης, προκειμένου να δημιουργηθούν προϋποθέσεις ανάκαμψης της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, να βελτιωθεί η ποιότητα των εδαφικών πόρων και να ανασταλούν τα φαινόμενα απερίμωσης των πεδινών περιοχών.
- Στην ανάσχεση των πλημμυρικών απορροών στις πέριξ της λίμνης ορεινές περιοχές για την επιβράδυνση των διαβρωτικών διεργασιών.
- Στην ενίσχυση της ύδρευσης της μείζονος περιοχής Βόλου με καλής ποιότητας υπόγειο νερό.
- Στη δημιουργία υποδομών και ευνοϊκών συνθηκών για την πραγματοποίηση νέων, συμβατών με τη βιώσιμη ανάπτυξη, δραστηριοτήτων και απασχόλησης (Γ.Γ.Δ.Ε./ Γ.Δ.Υ.Ε., 2010).

Η ευρύτερη περιοχή επιρροής της λίμνης αφορά τους δήμους Κάρλας (Στεφανοβίκειο, Ριζόμυλος, Κανάλια, Κερασέα), Φερών (Βελεστίνο, Άγιος Γεώργιος), Αρμενίου (Αρμένιο, Σωτήριο) και Κιλελέρ (Καλαμάκι).

Τα έργα επαναδημιουργίας της λίμνης Κάρλας αναμένεται να συμβάλλουν στην γενικότερη περιβαλλοντική αποκατάσταση και ανάδειξη της περιοχής, ωστόσο βασικός στόχος είναι η αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής και η αποκατάσταση των συνθηκών του υποβαθμισμένου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα των περιοχών στα περίξ της Κάρλας, με ταυτόχρονη εξασφάλιση επιφανειακών και υπογείων νερών για την ύδρευση του Βόλου.

Οι ετήσιες εισροές είναι περίπου 54 hm^3 από τη λεκάνη απορροής και τη βροχόπτωση στον ταμιευτήρα και επιπλέον 88 hm^3 από τον Πηνεϊό μέσω του ρουφράκτη Γυρτώνης και του συστήματος τάφρων. Οι εκροές ανέρχονται στα 61 hm^3 σε απολήψεις για άρδευση και 63 hm^3 απώλειες από την εξάτμιση του ταμιευτήρα.

Η επαναπλήρωση της λίμνης Κάρλας αναμένεται να συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση του γεωργικού τομέα, που αποτελεί την κύρια σημερινή απασχόληση των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής (Τσιούστα, 2015).

2.5 Αρδευτικά δίκτυα

Στην υδρολογική λεκάνη της Κάρλας, τα υφιστάμενα δίκτυα άρδευσης είναι δύο (2) και η διαχείρισή της γίνεται από τους Τοπικούς Οργανισμούς Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ) Πηνεϊού και Κάρλας, οι οποίοι και εποπτεύουν τη λειτουργία των εγγειοβελτιωτικών έργων στην περιοχή δικαιοδοσίας τους. Οι οργανισμοί αυτοί εποπτεύονται από τον Γενικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ) Θεσσαλίας.

2.5.1 ΤΟΕΒ Πηνεϊού

Ο ΤΟΕΒ Πηνεϊού ανήκει στη Λεκάνη Απορροής Πηνεϊού του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας και έχει την έδρα του στη Λάρισα. Η έκταση δικαιοδοσίας του εκτείνεται στα 192.000 στρέμματα περίπου και καταλαμβάνει εκτάσεις των Δήμων Λαρισαίων, Τεμπών, Κιλελέρ και Αγιάς. Το βασικό δίκτυο του ΤΟΕΒ Πηνεϊού εξυπηρετεί μια έκταση 154.000 στρεμμάτων, μέσω των ταμιευτήρων άρδευσης, καταλαμβάνοντας το βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης Κάρλας.

Πηγή τροφοδοσίας των ταμιευτήρων αποτελεί ο Πηνεϊός σε μεγάλο ποσοστό και σε μικρότερο ποσοστό τα υπόγεια ύδατα, με τις επιφανειακές απορροές. Τόσο το επιφανειακό νερό όσο και το υπόγειο προέρχονται από τη λεκάνη απορροής του Πηνεϊού και όχι της Κάρλας. Η έκταση που εξυπηρετείται από το εν λόγω δίκτυο, ποικίλει από χρονιά σε χρονιά και αυτό εξαρτάται από το επιφανειακό υδατικό δυναμικό του Πηνεϊού, καθιστώντας την άρδευση ελλειμματική σε χρονιές ανομβρίας. Το δίκτυο αποτελείται από ανοιχτές χωμάτινες τάφρους με αρκετή βλάστηση και ελλειπή συντήρηση, καθιστώντας τις απώλειες ύδατος σημαντικές.

2.5.2 ΤΟΕΒ Κάρλας

Ο ΤΟΕΒ Κάρλας ανήκει εξολοκλήρου στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας και έχει την έδρα του στο Βελεστίνο. Το δίκτυο του ΤΟΕΒ Κάρλας εξυπηρετεί μια μικρή έκταση καλλιεργειών, η οποία ίσα που φτάνει τα 10.000 στρέμματα, ανάμεσα στους οικισμούς Στεφανοβίκειο και Ριζόμυλο και στις τάφρους 3Τ και 2Τ. Ο ΤΟΕΒ Κάρλας

δε διαθέτει δίκτυο διανομής, όπως αυτό του ΤΟΕΒ Πηνειού, αλλά έχει τη διαχείριση ενός αριθμού αυτόνομων αρδευτικών γεωτρήσεων, κάθε μία από τις οποίες εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη έκταση καλλιεργειών. Μεγάλο ποσοστό των καλλιεργειών (8000 στρέμματα) αρδεύονται από το στραγγιστικό δίκτυο. Η έκταση που εξυπηρετείται από το κλειστό δίκτυο αγωγών υπό πίεση είναι μόνο 1500 στρέμματα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008).

Ο ΤΟΕΒ Κάρλας, μελλοντικά θα υδροδοτείται από τη λίμνη Κάρλα, προκειμένου να αντικατασταθεί η άντληση του αρδευτικού νερού από τον υπόγειο υδροφορέα με τη χρήση επιφανειακών υδάτων. Με τον τρόπο αυτό θα εμπλουτιστεί ο υπόγειος υδροφορέας ώστε τουλάχιστον να ανακοπεί η ποιοτική υποβάθμιση του υδροφόρου από την είσοδο της θάλασσας (Τσιούστα, 2015).

2.6 Προβλήματα

Τα βασικότερα προβλήματα στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, συνοψίζονται ως ακολούθως (Λουκάς, 2012):

- Μεγάλο ποσοστό της έκτασης καλλιεργείται εντατικά με φυτά υψηλών υδατικών απαιτήσεων
- Υπάρχει χρονική και χωρική ανισοκατανομή των επιφανειακών υδατικών πόρων και υδατικών απαιτήσεων
- Ανεπαρκής ανάπτυξη έργων αξιοποίησης επιφανειακών υδατικών πόρων
- Κάλυψη των υδατικών αναγκών από αντλήσεις υπόγειων υδατικών πόρων
- Υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδατικών πόρων
- Δραματική πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα σε συγκεκριμένες περιοχές
- Υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων (αλάτωση)
- Έλλειψη κοινής οργάνωσης και διαχείρισης υδατικών πόρων.

Η ανάλυση των χωρικών δεδομένων (χρήσεων γης) στην υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη σε συνδυασμό με τις χρονικές μεταβολές τους (χρονοσειρές), αλλά και σε αντιπαραβολή με άλλες συνθήκες που επικρατούν (μετεωρολογικά δεδομένα, στοιχεία καλλιεργειών κ.α.), αποτυπώνουν τη διαχρονική εξέλιξη των συνθηκών διαχείρισης των υδατικών πόρων εντός της περιοχής μελέτης. Έτσι, εντοπίζονται οι παράμετροι που διαμορφώνουν τις συνθήκες διαχείρισης των υδατικών πόρων και καταστρώνονται οι κατάλληλες υδατικές πολιτικές για την επίτευξη της βιωσιμότητας στη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η παράβλεψη των παραπάνω στοιχείων και της αλληλεπίδρασης των σχετικών παραμέτρων οδήγησε κατά το παρελθόν σε εσφαλμένες πολιτικές στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων (αποξήρανση Κάρλας, υπεράντληση υπόγειων υδάτων κ.α.) με σκοπό την οικονομική ανάπτυξη και σε βάρος του φυσικού περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να υφίστανται σήμερα τα προαναφερόμενα προβλήματα. Αντίθετα, η διερεύνηση του βαθμού επιρροής των παραμέτρων που συνθέτουν τις διαχειριστικές πρακτικές και η πρόβλεψη των συνεπειών κάθε διαχειριστικής πρακτικής μπορεί να οδηγήσει σε βιωσιμότητα των υδατικών πόρων και εξορθολογισμό των υδατικών πολιτικών, θέματα τα οποία πραγματεύεται η παρούσα διατριβή.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Κατηγορίες χρήσεων γης και αγροτικών εκτάσεων

Προκειμένου να γίνει εφικτή η καταγραφή των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης, ήταν απαραίτητη η χρήση παρόμοιων και συγκρίσιμων χρήσεων γης, έτσι ώστε οι αλλαγές που θα καταγράφηκαν να αντιστοιχούν στην πραγματικότητα και να μην είναι εσφαλμένες.

Κατά συνέπεια, χρησιμοποιήθηκαν οι κύριες κατηγορίες χρήσεις γης ως εξής: αστική χρήση, βιομηχανική χρήση, δασική χρήση και αγροτική χρήση, σύμφωνα με το πρόγραμμα εδαφικής κάλυψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Corine (CORINE Land Cover project). Τα δεδομένα αυτά ήταν διαθέσιμα σε μορφή .shp και επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού GIS, προκειμένου να είναι εφικτή η κατηγοριοποίησή τους όπως προαναφέρθηκε για την υπό μελέτη περιοχή.

Στην κατηγορία αστική χρήση συμπεριλήφθηκαν η διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, τα οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και η γειτνιάζουσα σ' αυτά γη, τα αεροδρόμια και οι χώροι οικοδόμησης, ενώ στην κατηγορία βιομηχανική χρήση συμπεριλήφθηκαν οι βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, καθώς και οι χώροι εξορύξεως ορυκτών. Αντίστοιχα, στην κατηγορία δασική χρήση συμπεριλήφθηκαν τα δάση πλατύφυλλων, τα δάση κωνοφόρων, τα μικτά δάση, η σκληροφυλλική βλάστηση, οι μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις, οι εκτάσεις με αραιή βλάστηση και οι φυσικοί βοσκότοποι.

Όσον αφορά την αγροτική χρήση, στην κατηγορία αυτή συμπεριλήφθηκαν η μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, η μόνιμα αρδευόμενη γη, οι ορυζώνες, τα οπωροφόρα δένδρα και οι φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, οι ελαιώνες, τα λιβάδια, τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, αλλά και η γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης. Τα παραπάνω δίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.1.

Ως προς την περαιτέρω διερεύνηση της αγροτικής χρήσης διαχρονικά, έγινε καταγραφή της γεωργικής γης που καλλιεργείται, σύμφωνα με τις δηλούμενες κατηγορίες καλλιεργειών από τη βάση δεδομένων του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ). Τα δεδομένα αυτά ήταν διαθέσιμα σε μορφή πινάκων, οπότε και χρησιμοποιήθηκαν τα λογιστικά φύλλα MS Excel για την επεξεργασία τους. Έτσι, στην κατηγοριοποίηση της καλλιεργούμενης αγροτικής γης συμπεριλήφθηκαν η μηδική, ο αραβόσιτος, το σιτάρι, το βαμβάκι, οι δενδρώδεις καλλιέργειες, τα ζαχαρότευτλα, οι ντομάτες, οι ελαιώνες, οι αμπελώνες, τα κηπευτικά, οι λοιπές καλλιέργειες και η αγρανάπαυση (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.1: Κύριες κατηγορίες χρήσεων γης

A/A	Κατηγορία χρήσης γης	Κωδικός CLC	Υποκατηγορία χρήσης γης
1	Αστική	112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
		122	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
		124	Αεροδρόμια
		133	Χώροι οικοδόμησης
2	Βιομηχανική	121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
		131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
3	Δασική	311	Δάσος πλατυφύλλων
		312	Δάσος κωνοφόρων
		313	Μικτό δάσος
		321	Φυσικοί βοσκότοποι
		323	Σκληροφυλλική βλάστηση
		324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις
		333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
		411	Βάλτοι στην ενδοχώρα
		511	Ροές υδάτων
		512	Συλλογές υδάτων
4	Αγροτική	211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
		212	Μόνιμα αρδευόμενη γη
		213	Ορυζώνες
		222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
		223	Ελαιώνες
		231	Λιβάδια
		242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
		243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες καλλιεργούμενης αγροτικής γης

Κατηγορία καλλιέργειας					
μηδική	αραβόσιτος	σιτάρι	βαμβάκι	δενδρώδη	ζαχαρότευτλα
ντομάτες	ελιές	αμπελώνες	κηπευτικά	αγρανάπαυση	λοιπές καλλιέργειες

3.2 Δημιουργία χρονοσειρών χρήσεων γης και αγροτικών εκτάσεων

Μετά τη διαδικασία ταξινόμησης των χρήσεων γης σε κατηγορίες και προκειμένου να μελετηθεί η δυναμική εξέλιξη των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε η κατάστρωση των χρονοσειρών αυτών.

Γενικά, οι χρονοσειρές ή χρονολογικές σειρές (time series) αναφέρονται στη διαχρονική εξέλιξη ενός φαινομένου, δηλαδή αποτελούν το σύνολο των τιμών μιας

μεταβλητής που μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο ή μια σειρά από παρατηρήσεις που λαμβάνονται σε ίσες χρονικές στιγμές ή περιόδους. Πιο συγκεκριμένα, δοθέντος ενός χαρακτηριστικού A , μια χρονοσειρά είναι το σύνολο N παρατηρηθέντων ζευγών: $\{(t_1, a_1), (t_2, a_2), \dots, (t_n, a_n)\}$, όπου $T = \{1, 2, \dots, n\}$ είναι μια αλληλουχία διαδοχικών χρονικών στιγμών (π.χ. ημέρα, μήνας κτλ.), ενώ a_n είναι μια παρατηρηθείσα τιμή επί του χαρακτηριστικού A για τη χρονική στιγμή n ως παρατήρηση στο χρόνο αυτό (Aggarwal, 2015· Dunham, 2003· Han, & Kamber, 2001).

Για τις χρονοσειρές των χρήσεων γης, θεωρείται πως παρατηρείται το μέγεθος στο χρόνο με σταθερό χρονικό βήμα, δηλαδή με σταθερό χρόνο δειγματοληψίας (sampling time).

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό σύμφωνα με το οποίο γίνεται η τυποποίηση των χρονοσειρών είναι το χρονικό βήμα των χρονοσειρών ή αλλιώς χρονική κλίμακα παρατήρησης (time step – observation time scale). Προκειμένου να διεξαχθούν μία σειρά από επεξεργασίες, οι χρονοσειρές πρέπει να αποκτήσουν σταθερό χρονικό βήμα. Το χρονικό βήμα T της χρονοσειράς, είναι το βασικότερο χαρακτηριστικό τυποποίησης και ορίζει πόσο απέχουν οι χρονικές στιγμές διαδοχικών τιμών μιας χρονοσειράς. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει κάποιο χρονικό βήμα ως οποιοδήποτε πολλαπλάσιο λεπτών της ώρας ή μηνών του χρόνου (Κοζάνης κ.α., 2010).

Το υδρολογικό έτος είναι το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο πραγματοποιείται ένας πλήρης κύκλος περιοδικών υδρολογικών διακυμάνσεων (Κουτσογιάννης, 1997). Η εφαρμογή του είναι βασική έτσι ώστε οι ετήσιες τιμές να έχουν μεταξύ τους τη μεγαλύτερη δυνατή στατιστική ανεξαρτησία. Εδώ, επιλέχθηκε ετήσιο βήμα δειγματοληψίας.

Με τη χρήση της ετήσιας χρονοσειράς μπορούν να αναπαρασταθούν και τα δεδομένα που έχουν προκύψει από εποχική συνάθροιση (π.χ. βροχοπτώσεις). Το μηνιαίο και το ετήσιο χρονικό βήμα έχουν την ιδιαιτερότητα των μεταβλητών χρονικών βημάτων. Έτσι σε μία χρονοσειρά με ετήσιο χρονικό βήμα, τα χρονικά διαστήματα είναι 365 ημερών ή 366 ημερών αν πρόκειται για δίσεκτο έτος. Συνεπώς οι επεξεργασίες που παράγουν αυτού του τύπου χρονοσειρές (συνάθροιση), λαμβάνουν υπόψη το θέμα του μεταβλητού χρονικού διαστήματος (Κοζάνης κ.α., 2010).

Τα πρωτογενή δεδομένα (raw data) μπορεί να περιέχουν σφάλματα και να χρειάζονται αναγωγές, συμπληρώσεις, κλπ. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι στα πρωτογενή δεδομένα όπου είναι δυνατόν να υπάρχουν χονδροειδή ή και συστηματικά σφάλματα κατά τη διαδικασία των καταγραφών. Τέτοια σφάλματα μπορούν να προέρχονται από μη αξιόπιστη λήψη δεδομένων κ.α.

Τα πρωτογενή δεδομένα πρέπει να φυλάσσονται ως χωριστά αρχεία ή οντότητες βάσης δεδομένων και να προστατεύονται ώστε να είναι ανά πάσα στιγμή δυνατός ο έλεγχος ή η εκ νέου επεξεργασία τους. Τα επεξεργασμένα δεδομένα που βασίζονται στα πρωτογενή δεδομένα μπορεί να έχουν ίδια ή και παράγωγη χρονική κλίμακα.

Τα σφάλματα πρέπει να εντοπίζονται και στη συνέχεια να πραγματοποιούνται οι κατάλληλες ενέργειες για την αποκατάστασή τους ή την πλήρη αφαίρεση των προβληματικών τιμών από το δείγμα. Ο εντοπισμός τους γίνεται σύμφωνα με τις παραδοχές για τη διακύμανση των τιμών του δείγματος εντός κάποιων ορίων (έλεγχος ακραίων τιμών) και για τη χρονική μεταβολή των μεγεθών να μην ξεπερνάνε κάποιο κατώφλι (έλεγχος χρονικής συνέπειας) (Κοζάνης κ.α., 2010).

3.3 Καθορισμός ζωνών

Για την πληρέστερη καταγραφή των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης ή αλλιώς των χρονοσειρών των χρήσεων γης, η περιοχή μελέτης διαχωρίστηκε σε ζώνες ανάλογα με την προέλευση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού. Πιο συγκεκριμένα, για το χρονικό διάστημα πριν την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, επιλέχθηκε ο διαχωρισμός της μελετούμενης λεκάνης σε δύο (2) ζώνες, δηλαδή τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί υπόγεια ύδατα του υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας και τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού. Αντίστοιχα, για το χρονικό διάστημα μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, επιλέχθηκε ο διαχωρισμός της μελετούμενης λεκάνης σε τρεις (3) ζώνες, δηλαδή τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί υπόγεια ύδατα του υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας, τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού και τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της νεοσύστατης λίμνης Κάρλας.

Ο παραπάνω διαχωρισμός επιλέχθηκε με γνώμονα την προέλευση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού στην περιοχή μελέτης προκειμένου να εντοπιστούν οι χρήσεις γης και οι εκτάσεις αυτών, οι οποίες εξυπηρετούνται από το κάθε υδατικό σώμα. Έτσι, εντοπίζονται διαχρονικά η ζήτηση και οι πιέσεις ανά υδατικό σώμα, επομένως και οι συνθήκες διαχείρισης του κάθε υδατικού σώματος.

3.4 Στατιστική ανάλυση

Μετά την ολοκλήρωση των προαναφερόμενων σταδίων μελέτης, εξετάστηκε η μεταβολή των χρήσεων γης και των υποκατηγοριών τους, όπως αυτές ταξινομήθηκαν, πριν και μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας με τη βοήθεια διαγραμμάτων και ιστογραμμάτων, τα οποία επιτρέπουν την παρουσίαση των δεδομένων και την ποιοτική μελέτη της κατανομής των εξεταζόμενων μεγεθών. Προκειμένου να διερευνηθούν οι παράγοντες που επηρέασαν τις ενδεχόμενες μεταβολές των χρήσεων γης στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, οι χρονοσειρές των εξεταζόμενων χρήσεων γης συσχετίστηκαν με τις χρονοσειρές άλλων δεδομένων, τα οποία είτε προκάλεσαν τις αλλαγές αυτές είτε προέκυψαν ως συνέπειά τους. Ακολούθως περιγράφονται τα στοιχεία της στατιστικής επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων.

3.4.1 Περιγραφικά μέτρα στατιστικών δεδομένων

Τα ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν περιληπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κατανομής μιας τυχαίας μεταβλητής X λέγονται συνοπτικά ή περιγραφικά μέτρα (summarizing or descriptive statistics). Κάθε τέτοιο μέτρο υπολογίζεται από τις παρατηρήσεις του δείγματος και αποτελεί εκτίμηση κάποιας παραμέτρου της κατανομής της μελετούμενης τυχαίας μεταβλητής.

Μέση τιμή

Η δειγματική μέση τιμή (sample mean value) ή αριθμητικός μέσος (arithmetic mean), ή μέσος όρος (average) είναι το πιο γνωστό και χρήσιμο μέτρο του κέντρου των δεδομένων. Έστω x_1, x_2, \dots, x_n οι τιμές των παρατηρήσεων του δείγματος για μια τ.μ. X . Η δειγματική μέση τιμή συμβολίζεται \bar{x} κι ορίζεται ως

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

Η μέση τιμή αποτελεί το «κέντρο ισορροπίας» των δεδομένων.

Διασπορά και τυπική απόκλιση

Η διασπορά ή διακύμανση (sample variance) s^2 μετράει τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή. Αν ορίσουμε την απόκλιση μιας παρατήρησης x_i από τη μέση τιμή ως $x_i - \bar{x}$, είναι φανερό πως το άθροισμα όλων αυτών των αποκλίσεων είναι 0 γιατί χρησιμοποιώντας τον ορισμό της δειγματικής μέσης τιμής (3.1) ισχύει:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \bar{x} = n\bar{x} - n\bar{x} = 0 \quad (3.2)$$

Η δειγματική μέση τιμή \bar{x} έχει οριστεί έτσι ώστε οι θετικές αποκλίσεις για τιμές μεγαλύτερες του \bar{x} να είναι αθροιστικά ίδιες με τις αρνητικές αποκλίσεις για τιμές μικρότερες του \bar{x} . Για να μετρήσουμε λοιπόν τη μεταβλητότητα των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή διαλέγουμε να αθροίσουμε όχι τις ίδιες τις αποκλίσεις αλλά τα τετράγωνα των αποκλίσεων. Επίσης, για να πάρουμε ένα μέτρο της μέσης απόκλισης που δεν εξαρτάται από το πλήθος των παρατηρήσεων θα πρέπει να διαιρέσουμε με το πλήθος n των παρατηρήσεων. Όμως για τεχνικούς λόγους διαιρούμε με $n-1$ αντί για n και η δειγματική διασπορά s^2 ορίζεται ως

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.3)$$

Η διασπορά s^2 προκύπτει από τα τετράγωνα των παρατηρήσεων και συχνά είναι δύσκολο να την ερμηνεύσουμε ως πραγματικό φυσικό μέγεθος. Γι' αυτό ορίζουμε τη δειγματική τυπική απόκλιση (standard deviation) s , που είναι απλά η θετική ρίζα της δειγματικής διασποράς s^2 . Η τυπική απόκλιση s μετριέται με τη μονάδα μέτρησης της τ.μ. X κι εκφράζει (όπως δηλώνει η ονομασία της) την τυπική απόκλιση των δεδομένων από τη δειγματική μέση τιμή, δηλαδή μέχρι πόσο περίπου περιμένουμε μια τυπική τιμή της X να απέχει από τη μέση τιμή.

3.4.2 Συσχέτιση

Η συναρτησιακή σχέση εξάρτησης μιας τυχαίας μεταβλητής Y ως προς μια άλλη μεταβλητή X είναι πιθανοκρατική κι ορίζεται με την κατανομή της Y για κάθε τιμή της X . Συνήθως η μεταβολή αφορά μόνο τη μέση τιμή (και σπανιότερα και τη διασπορά). Δύο τυχαίες μεταβλητές X και Y μπορεί να συσχετίζονται με κάποιο τρόπο, όταν η μία επηρεάζει την άλλη ή αν δεν αλληλοεπηρεάζονται όταν επηρεάζονται και οι δύο από μια άλλη μεταβλητή.

Ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y με διασπορά σ_x^2 και σ_y^2 αντίστοιχα και συνδιασπορά $\sigma_{XY} = \text{Cov}(X, Y) = E(X, Y) - E(X)E(Y)$, μετριέται με τον συντελεστή συσχέτισης (correlation coefficient) ρ που ορίζεται ως

$$\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.4)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ , όπως και η συνδιασπορά σ_{XY} , εκφράζει το βαθμό και τον τρόπο που οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται, δηλαδή πως η μία τυχαία μεταβλητή μεταβάλλεται ως προς την άλλη. Η σ_{XY} παίρνει τιμές που εξαρτώνται από το πεδίο τιμών των X και Y , ενώ ο συντελεστής ρ παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$. Οι χαρακτηριστικές τιμές του ρ ερμηνεύονται ως εξής:

- Όταν $\rho = 1$, υπάρχει τέλεια θετική συσχέτιση μεταξύ των X και Y ,
- Όταν $\rho = 0$, δεν υπάρχει καμία (γραμμική) συσχέτιση μεταξύ των X και Y ,
- Όταν $\rho = -1$, υπάρχει τέλεια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των X και Y .

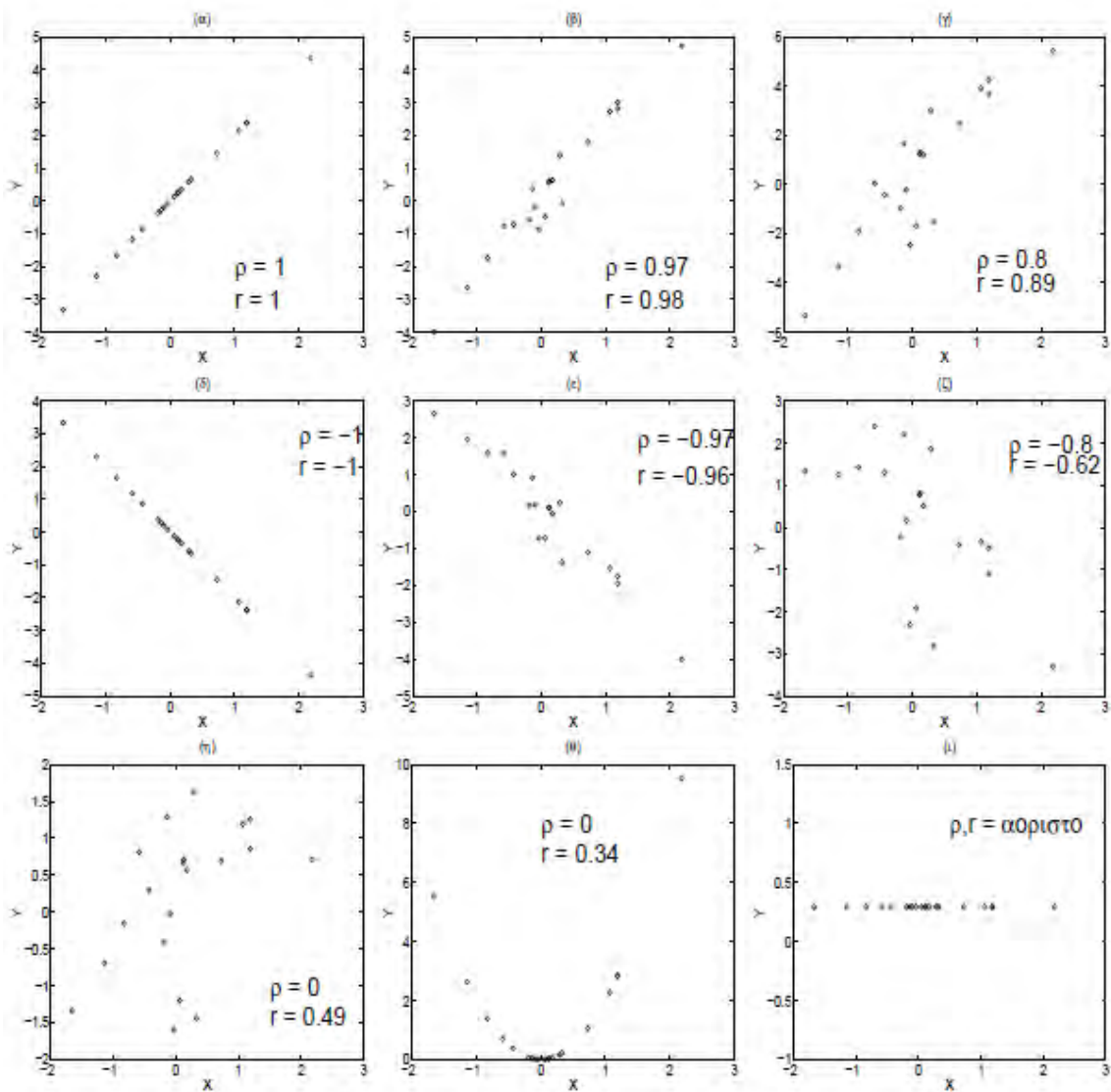
Όταν $\rho = \pm 1$ η σχέση είναι αιτιοκρατική κι όχι πιθανοκρατική γιατί γνωρίζοντας την τιμή της μιας τ.μ. γνωρίζουμε και την τιμή της άλλης τ.μ. ακριβώς. Όταν ο συντελεστής συσχέτισης είναι κοντά στο -1 ή 1 , η γραμμική συσχέτιση των δύο τ.μ. είναι ισχυρή (συνήθως χαρακτηρίζονται ισχυρές τις συσχετίσεις όταν $|\rho| > 0.9$), ενώ όταν είναι κοντά στο 0 οι τ.μ. είναι πρακτικά ασυσχέτιστες.

Ο συντελεστής συσχέτισης ρ δεν εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης των X και Y και είναι συμμετρικός ως προς τις τυχαίες μεταβλητές X και Y .

Όταν έχουμε παρατηρήσεις των δύο τ.μ. X και Y κατά ζεύγη $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, η συσχέτισή τους μπορεί να εκτιμηθεί ποιοτικά από το διάγραμμα διασποράς (scatter diagram), το οποίο αποτελεί την απεικόνιση των σημείων (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$, σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τυπικά διαγράμματα διασποράς για ισχυρές και ασθενείς συσχετίσεις δύο τ.μ. X και Y . Στα Σχήματα 3.1α και 3.1δ η σχέση είναι τέλεια ($\rho = 1$ και $\rho = -1$ αντίστοιχα), στα Σχήματα 3.1β και 3.1ε είναι ισχυρή (θετική με $\rho = 0.97$ κι αρνητική με $\rho = -0.97$ αντίστοιχα) και στα Σχήματα 3.1γ και 3.1ζ είναι λιγότερο ισχυρή (θετική με $\rho = 0.8$ κι αρνητική με $\rho = -0.8$ αντίστοιχα). Στο Σχήμα 3.1η είναι $\rho = 0$ γιατί οι τ.μ. X και Y είναι ανεξάρτητες, ενώ στο Σχήμα 3.1θ είναι πάλι $\rho = 0$ αλλά οι X και Y δεν είναι ανεξάρτητες αλλά συσχετίζονται μόνο μη-γραμμικά. Τέλος, για το Σχήμα 3.1ι ο συντελεστής συσχέτισης δεν ορίζεται γιατί η Y είναι σταθερή ($\sigma_Y = 0$ στον ορισμό του ρ στην (3.4)). Η σημειακή εκτίμηση του συντελεστή συσχέτισης ρ του πληθυσμού από το δείγμα των n ζευγαρωτών παρατηρήσεων των X και Y γίνεται με την αντικατάσταση στη σχέση (3.4)

της συνδιασποράς s_{XY} και των διασπορών s_x^2 και s_y^2 από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις από το δείγμα (Κουγιουμτζής, 2011)

$$\hat{\rho} \equiv r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} \quad (3.5)$$



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα διασποράς δύο τ.μ. X και Y από $n = 20$ παρατηρήσεις για θετική συσχέτιση στα σχήματα (α), (β) και (γ), για αρνητική συσχέτιση στα σχήματα (δ), (ε) και (ζ) και για ασυσχέτιστες τ.μ. στα σχήματα (η), (θ) και (ι). Σε κάθε σχήμα δίνεται η πραγματική τιμή του συντελεστή συσχέτισης ρ κι η δειγματική r . Στο (ι) ο συντελεστής συσχέτισης δεν ορίζεται (Κουγιουμτζής, 2011).

Μια στατιστική υπόθεση είναι μια υπόθεση σχετικά με τις τιμές μιας ή περισσότερων παραμέτρων ενός στατιστικού μοντέλου, το οποίο περιγράφεται από μια συνάρτηση κατανομής. Ο έλεγχος μιας υπόθεσης είναι μια δισήμαντη στατιστική διαδικασία που οδηγεί είτε στην απόρριψη είτε στην αποδοχή (ακριβέστερα: μη απόρριψη της υπόθεσης).

Με τον έλεγχο σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y , μπορούμε να αποφαινόμαστε αν οι μεταβλητές είναι γραμμικά συσχετισμένες, οπότε και ο συντελεστής συσχέτισής τους $\rho = \rho_{XY}$ θα είναι διαφορετικός από 0, αλλιώς θα είναι 0.

Το κρίσιμο όριο r_c του δειγματικού συντελεστή συσχέτισης, το οποίο ορίζει την κρίσιμη περιοχή R_c για τη στατιστική συνάρτηση R , δίνεται από τη σχέση:

$$r_c = \frac{2}{\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

Κατά συνέπεια, μπορούμε να κάνουμε έλεγχο της υπόθεσης με άμεσο τρόπο, συγκρίνοντας την απόλυτη τιμή του r με την κρίσιμη τιμή r_c .

Αν $|r| > r_c$ τότε θεωρούμε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στις μεταβλητές (Κουτσογιάννης, 1997).

3.5 Λογισμικά

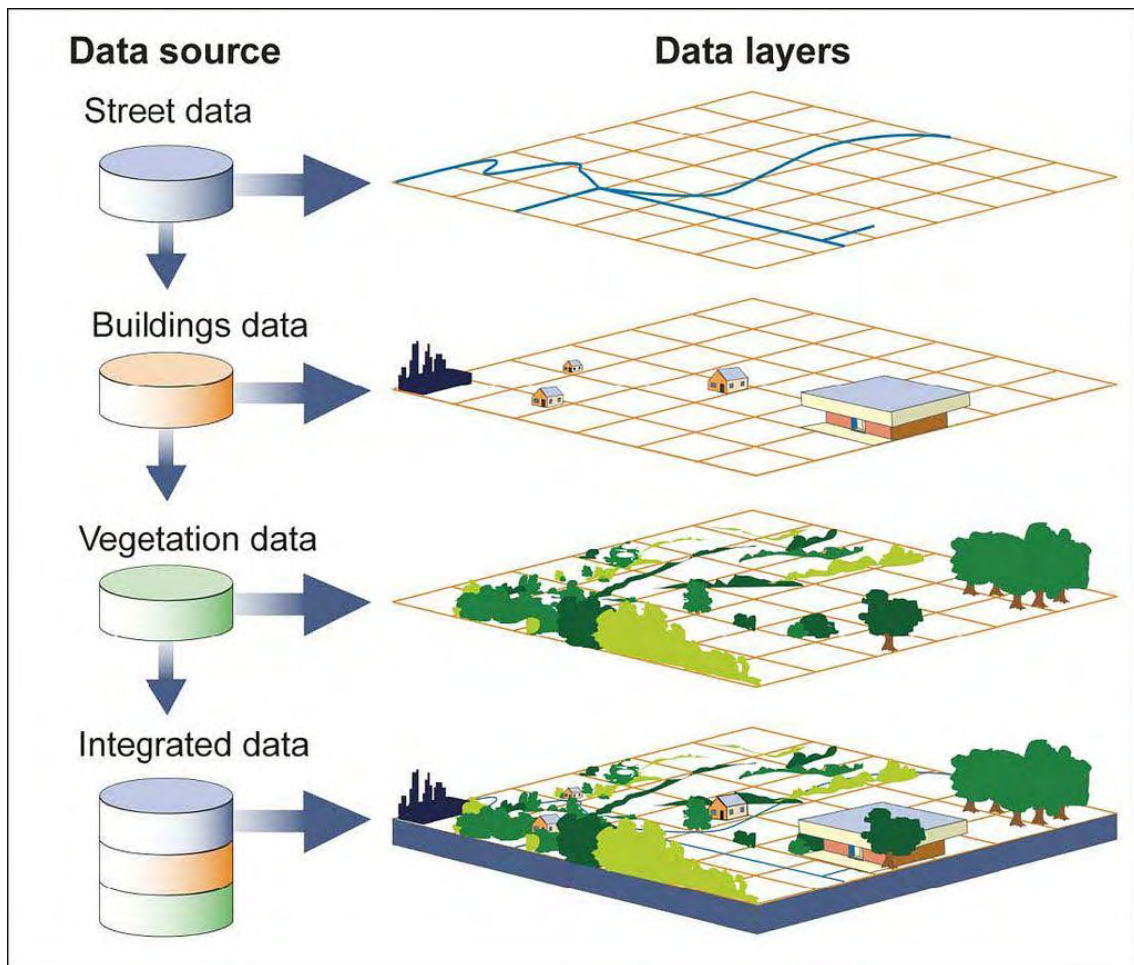
Σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση των διαθέσιμων πληροφοριών στην περιοχή μελέτης, αποτέλεσε η χωρική ανάλυσή τους, δηλαδή η χρήση και ανάπτυξη του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (Geographical Information System, GIS), όπου αποθηκεύτηκαν, επεξεργάστηκαν, παρουσιάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για προσομοίωση όλες οι απαραίτητες φυσικές πληροφορίες της περιοχής, δηλαδή οι χρήσεις γης και οι επιμέρους αγροτικές καλλιέργειες.

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ) ή Geographical Information Systems (GIS) αποτελούν ένα εργαλείο επεξεργασίας, οργάνωσης, διάθεσης και συνδυασμού μεγάλου όγκου πληροφοριών, με δυνατότητα ταυτόχρονης απεικόνισης της πληροφορίας στο χώρο (με τη μορφή ψηφιακών χαρτών). Τα GIS επιτρέπουν το στρατηγικό σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων (decision making tool) σε συνολικό και εποπτικό επίπεδο, βοηθώντας το μελλοντικό σχεδιασμό των χρήσεων γης.

Η γεωγραφική βάση δεδομένων η οποία αναπτύχθηκε, αποθηκεύτηκε σε ένα σύστημα GIS. Αυτή η βάση δεδομένων περιέχει τοπογραφικά στοιχεία της λεκάνης απορροής και της περιοχής της λίμνης, στοιχεία χρήσεων γης που ανακτήθηκαν από διεθνείς βάσεις δεδομένων (π.χ. βάση δεδομένων CORINE), στοιχεία των καλλιεργούμενων αγροτικών εκτάσεων κ.α.

Με τη βοήθεια του συστήματος GIS πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων εισόδου, αλλά και η προσαρμογή της απεικόνισης των αποτελεσμάτων υπό μορφή ψηφιακών θεματικών χαρτών, σχεδιαγραμμάτων και συνθετικών εκθέσεων.

Η στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ευρύτατα διαδεδομένου λογιστικού φύλλου MS Excel, το οποίο αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για όλες τις στατιστικές συναρτήσεις και την ανάλυση δεδομένων. Το εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα οργάνωσης των δεδομένων, επεξεργασίας των δεδομένων με ταχύτητα και ακρίβεια, αυτοματοποίηση στην εκτέλεση πράξεων, επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων και παρουσίαση των πληροφοριών που εμπεριέχονται στα δεδομένα με τη μορφή γραφημάτων.



Σχήμα 3.2: Παράδειγμα με επίπεδα πληροφορίας σε ένα σύστημα GIS (Πηγή: GAO)

3.6 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Συνοπτικά, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Συλλογή δεδομένων χρήσεων γης, καλλιεργειών, μετεωρολογικών στοιχείων, υδρολογικών στοιχείων, στοιχείων απόδοσης καλλιεργειών, στοιχείων διεθνών τιμών προϊόντων και στοιχείων υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών. Οι πηγές τους αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.
- Ομογενοποίηση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από διαφορετικές πηγές και σε διαφορετική μορφή, με σκοπό την δημιουργία χρονοσειρών με κοινές κατηγορίες χρήσεων γης, με το λογισμικό φύλλων επεξεργασίας και ψηφιακή επεξεργασία των στοιχείων σε raster μορφή με τη βοήθεια λογισμικού GIS.
- Η κατηγοριοποίηση των ανωτέρω χρήσεων γης έγινε ως εξής: αστική, βιομηχανική, αγροτική και κτηνοτροφική. Για την αγροτική χρήση γης πραγματοποιήθηκε περαιτέρω κατηγοριοποίηση στις 10 κυριότερες καλλιέργειες. Οι τελικές χρονοσειρές αφορούν την περίοδο 2005-2015.
- Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Πιο αναλυτικά εξήχθησαν μέσες, ελάχιστες, μέγιστες τιμές, διακυμάνσεις. Επίσης διερευνήθηκε η συσχέτιση των χρονοσειρών με στόχο την εύρεση των σχέσεων που συνδέουν τις παραμέτρους που μελετήθηκαν. Συνεπώς μπορεί να διευκολυνθεί η διαχείριση και η λήψη αποφάσεων

λαμβάνοντας υπόψη πολλούς διαφορετικούς παράγοντες που εμπλέκονται σε θέματα υδατικών πόρων.

- Κατάστρωση εναλλακτικών διαχειριστικών σεναρίων με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου βήματος.
- Αξιολόγηση και σύγκριση των σεναρίων ως προς τις υδατικές απαιτήσεις και το υδατικό ισοζύγιο που εξάγονται.

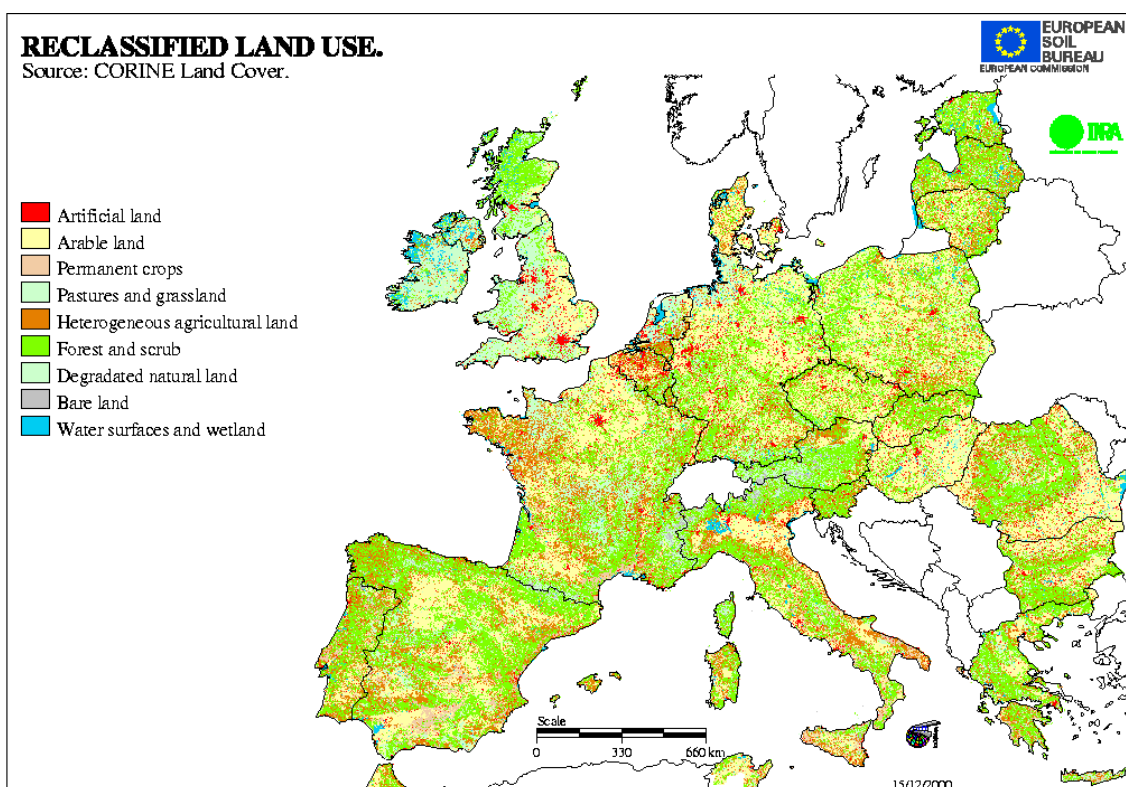
4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4.1 Δεδομένα χρήσεων γης

Ο όρος χρήση γης σχετίζεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα ή την οικονομική λειτουργία (function) που συνδέεται με ένα ειδικό κομμάτι γης και ο όρος κάλυψη γης σχετίζεται με τον τύπο των χαρακτηριστικών που εμφανίζονται πάνω στην επιφάνεια της γης (Lillesand and Kiefer, 1994).

Η καταγραφή των χρήσεων γης αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη διαχείριση και το σχεδιασμό κάθε είδους ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η ανάλυση διαχρονικών αλλαγών είναι κρίσιμη για την κατανόηση των διαδικασιών που λειτουργούν στο χώρο, καθώς και για την αποτίμηση των εφαρμοζόμενων πολιτικών.

Στο Σχήμα 4.1, δίνονται οι χρήσεις γης που επικρατούν στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όπως είναι φανερό, στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες χώρες της νότιας Ευρώπης κυριαρχούν οι δασικές εκτάσεις και δευτερευόντως οι αγροτικές εκτάσεις, ενώ αντίθετα στη βόρεια Ευρώπη παρατηρείται έντονη αστικοποίηση και εντοπίζονται μεγάλες εκτάσεις υδατικών σωμάτων.



Σχήμα 4.1: Χρήσεις γης στις χώρες της Ε.Ε. (Πηγή: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu>)

Κάθε αλλαγή στη χρήση γης μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές στις καλλιέργειες που προκαλούνται από ανθρωπογενείς παράγοντες, από πυρκαγιές, ή από διακυμάνσεις στο κλίμα που με τη σειρά τους ασκούν επίδραση σε βιοχημικούς κύκλους, στο ανάγλυφο της περιοχής, στη διάβρωση, στην ερημοποίηση και κατ' επέκταση στην οικονομία της

εκάστοτε περιοχής. Αυτοί οι λόγοι ενισχύουν ακόμη περισσότερο την σημασία της χωροχρονικής ανάλυσης χρήσεων γης στην διαχείριση υδατικών πόρων.

4.1.1 Δεδομένα συνολικών χρήσεων γης

Τα δεδομένα πληροφόρησης όσον αφορά τις μορφές κάλυψης και χρήσεων γης και τις μεταβολές αυτών σε εθνικό επίπεδο προέρχονται από το πρόγραμμα εδαφικής κάλυψης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Corine (CORINE Land Cover project). Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine αποτελεί ένα πρόγραμμα εντοπισμού, καταγραφής και χαρτογραφικής απεικόνισης της εδαφικής κάλυψης της γης των κρατών – μελών που συμμετέχουν σ' αυτό, προκειμένου αυτές να χρησιμοποιηθούν για την ορθότερη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Στη χώρα μας, τα αποτελέσματα του προγράμματος Corine, τα οποία προέκυψαν μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος «GMS/Copernicus Initial Operations (GIO) Land Monitoring» ή GIO LAND, παρέχονται από το Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε. (ΕΚΧΑ Α.Ε.).

Για την υλοποίηση του GIO LAND χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες LANDSAT 7, SPOT και IRS της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας και γεωχωρικά δεδομένα της Ε.Κ.ΧΑ. Α.Ε. και συγκεκριμένα τα ενιαία χαρτογραφικά υπόβαθρα μεγάλης κλίμακας 1:5.000, δεδομένα Δασικών Χαρτών, δεδομένα του έργου «Οριοθέτηση δασών και δασικών εκτάσεων» και ακτογραμμής, καθώς και δεδομένα από άλλες πηγές, όπως οικισμοί, υγρά τοπία, οδικό δίκτυο, κ.λπ.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την καταγραφή των μορφών κάλυψης/χρήσεων γης κατά τα έτη 1995, 2000, 2006 και 2012 (<http://www.ktimatologio.gr/forestmaps/Pages/xrasis-gis.aspx>).

4.1.2 Δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών

Τα διαθέσιμα δεδομένα των αγροτικών εκμεταλλεύσεων στην περιοχή μελέτης προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Οργανισμού Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α.). Ο ΕΛ.Γ.Α. είναι οργανισμός κοινής ωφέλειας που εποπτεύεται από το Υπουργείο Γεωργίας και ανήκει εξολοκλήρου στο δημόσιο. Ιδρύθηκε με το Νόμο 1790/16.6.88 (ΦΕΚ 134/Α'/20.6.88) περί «Οργάνωσης και Λειτουργίας Οργανισμού ΕΛΓΑ και άλλες διατάξεις» και αποτελεί τον κεντρικό φορέα ασφαλιστικής κάλυψης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων στην Ελλάδα, ενώ επιδίωξή του είναι η στήριξη του γεωργικού εισοδήματος των ασφαλισμένων του.

Με το Νόμο 3877/2010 (ΦΕΚ 160/Α'/20.9.2010) καθιερώθηκε η ενιαία δήλωση καλλιέργειας/ εκτροφής, η οποία υποβάλλεται από τους παραγωγούς σε ετήσια βάση. Η υποβολή της Δήλωσης Καλλιέργειας / Εκτροφής είναι υποχρεωτική για όλους όσους διατηρούν αγροτική εκμετάλλευση είτε είναι κατά κύριο επάγγελμα αγρότες είτε όχι.

Η δήλωση καλλιέργειας/ εκτροφής αποτελεί μία συμφωνία μεταξύ του παραγωγού και του ΕΛ.Γ.Α., υποχρεωτική σύμφωνα με το Νόμο και έχει ισχύ ένα (1) χρόνο. Στη Δήλωση αναφέρεται το σύνολο των αγροτικών εκμεταλλεύσεων που ο παραγωγός έχει την κυριότητα ή την εκμετάλλευση και υποβάλλεται μαζί με την Αίτηση Ενίσχυσης του

Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ).

Για ορισμένα έτη (2009, 2015), τα διαθέσιμα στοιχεία ήταν διαθέσιμα σε αρχείο .shp για την περιοχή μελέτης, ενώ για τα υπόλοιπα έτη τα στοιχεία ήταν διαθέσιμα σε μορφή πινάκων, χωρισμένα κατά νομούς, δήμους και τύπο καλλιέργειας αλλά και στο επίπεδο της ποικιλίας, επομένως ακολουθήθηκε η κατάλληλη επεξεργασία τους προκειμένου να απομονωθούν μόνο οι εκτάσεις εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, αλλά και να ταξινομηθούν οι επιμέρους κατηγορίες καλλιεργειών και ποικιλίες στις κύριες κατηγορίες καλλιεργούμενων εκτάσεων.

Ακόμη, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των καλλιεργούμενων εκτάσεων, όπως αυτά προέκυψαν από το ερευνητικό πρόγραμμα «Υδρομέντωρ», το οποίο αφορά την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και διαχείρισης ποσότητας και ποιότητας υδατικών πόρων αγροτικών λεκανών απορροής υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, με εφαρμογή στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Τα στοιχεία προέκυψαν από τα δεδομένα του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Εκμεταλλεύσεων (ΟΣΔΕ) και εναλλακτικά έγινε επίσης και δορυφορική απεικόνιση των χρήσεων γης με τη χρήση δορυφορικών εικόνων από τον ιστότοπο USGS GLOBAL Visualization Center EROS.

Το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την καταγραφή των αγροτικών εκμεταλλεύσεων για τα έτη 2005 έως και 2015.

4.2 Μετεωρολογικά - κλιματολογικά στοιχεία

Το κλίμα αποτελεί σημαντικό έμμεσο παράγοντα στη διαμόρφωση της γεωμορφολογίας μιας περιοχής. Τα στοιχεία του κλίματος που επηρεάζουν τη διαμόρφωση της περιοχής είναι η θερμοκρασία, τα κατακρημνίσματα και ο άνεμος.

Στην περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας, η θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο, δεδομένου ότι συνδέονται με την επιφανειακή κυκλοφορία του νερού στους περιφερειακούς χειμάρρους της λίμνης Κάρλας, στους οποίους οφείλεται η διαμόρφωση χαρακτηριστικών μορφών διάβρωσης και αποθέσεων στο χώρο της λίμνης (πριν την επανασύστασή της).

Γενικά, η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από κλίμα εύκρατο μεσογειακού τύπου με ψυχρούς και υγρούς χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια (από Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο υγρό κλίμα με βροχές και ομίχλες, καλοκαίρια με υψηλές θερμοκρασίες). Η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 14 °C έως 16 °C, η μέση ελάχιστη θερμοκρασία 8 - 9 °C (η χαμηλότερη θερμοκρασία που έχει παρατηρηθεί στην περιοχή είναι -21.6 °C), ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι 21 - 22 °C (η υψηλότερη μέγιστη θερμοκρασία που έχει παρατηρηθεί είναι 45,2 °C). Στα ορεινά της υδρολογικής λεκάνης παρατηρούνται και συχνές χιονοπτώσεις, ιδιαίτερα κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

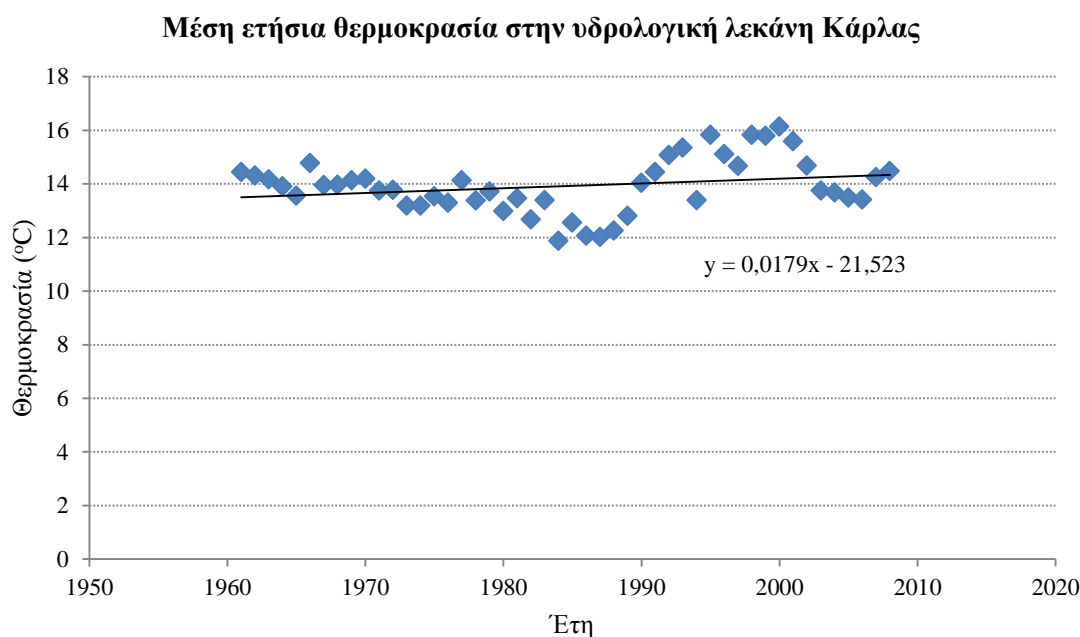
Για τη δημιουργία των χρονοσειρών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, λήφθηκαν τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης και εφαρμόστηκαν τυπικές μεθοδολογίες για τη μετατροπή της σημειακής πληροφορίας σε επιφανειακή.

Η μέση θερμοκρασία υπολογίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου της θερμοβαθμίδας, όπου η σημειακή τιμή της θερμοκρασίας, η οποία λαμβάνεται από τους

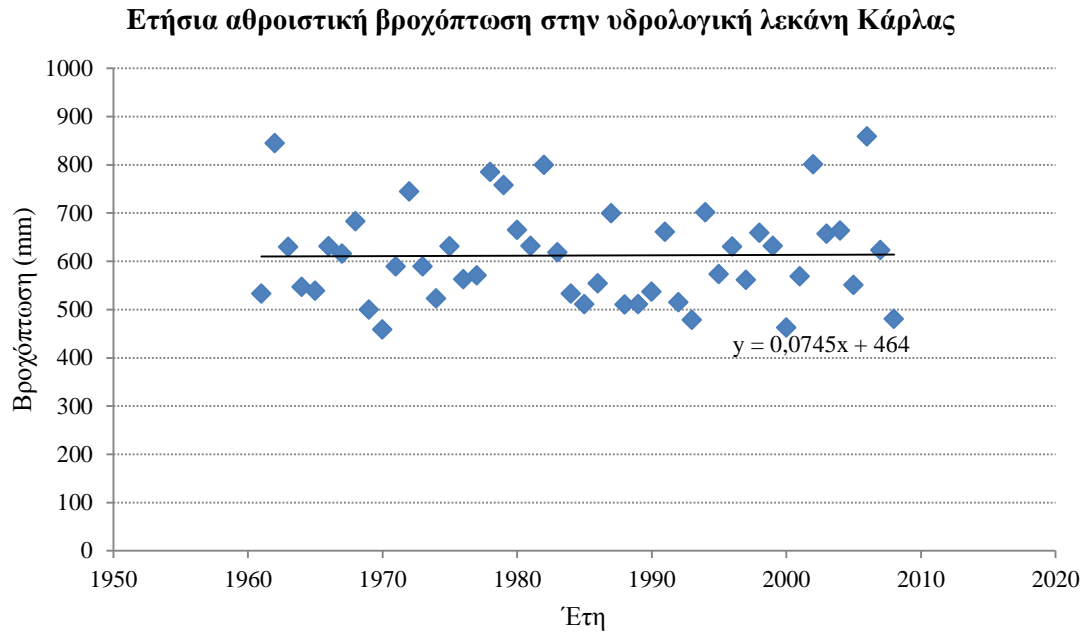
μετεωρολογικούς σταθμούς μετατρέπεται σε επιφανειακή, στο μέσο υψόμετρο της υδρολογικής λεκάνης. Η μέθοδος της θερμοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί την ετήσια θερμοβαθμίδα που περιγράφει την μείωση της ετήσιας θερμοκρασίας ανά 100 μέτρα αύξηση του υψομέτρου.

Αντίστοιχα, η επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε με εφαρμογή της μεθόδου της βροχοβαθμίδας για την αναγωγή των τιμών στο μέσο υψόμετρο της υδρολογικής λεκάνης. Τα δεδομένα λήφθηκαν από τους βροχομετρικούς σταθμούς υετόπτωσης. Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι ο όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου ύψους ανά 100 μέτρα αύξηση του υψομέτρου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0.70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο (Παπαμιχαήλ, 2001).

Τα μετεωρολογικά - κλιματολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντιστοιχούν στη μέση θερμοκρασία και τη συνολική βροχόπτωση της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας για τα έτη 1961-2008, όπως αυτά προέκυψαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης. Τα σχηματικά διαγράμματα δίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 4.2: Μέση ετήσια θερμοκρασία στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας για τα έτη 1960-2009



Σχήμα 4.3: Ετήσια αθροιστική βροχόπτωση στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας για τα έτη 1961-2008

Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στη λεκάνη απορροής είναι σχετικά μεγάλο στο ορεινό ανατολικό τμήμα, αλλά μειώνεται στο κεντρικό πεδινό. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της λεκάνης απορροής για τα εξεταζόμενα έτη είναι περίπου 600 mm. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67% μέχρι 72% και παρουσιάζει μεταβολές τόσο στη διάρκεια του 24ώρου όσο και του έτους. Η εξάτμιση της λεκάνης είναι σημαντική τους ξηρούς μήνες από Μαΐο μέχρι και Σεπτέμβριο, γεγονός το οποίο δεν οφείλεται μόνο στην μεγάλη ένταση της ακτινοβολίας, αλλά και στην έντονη παρουσία της χλωρίδας τόσο στα πεδινά από τις καλλιεργείες όσο και στα ορεινά από τα δασικά οικοσυστήματα. Η μέση ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι 770 mm (Σιδηρόπουλος, 2014).

4.3 Υδρολογικά στοιχεία

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα υδρολογικά στοιχεία που αφορούν το υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου υδροφορέα Κάρλας, στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας παρατηρείται έλλειμμα νερού κατά 59,3 hm³ κατά μέσο όρο κάθε υδρολογικό έτος.

Σύμφωνα με το γράφημα του Σχήματος 4.4, με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι ετήσιοι όγκοι αντλούμενων παροχών από τα υπόγεια ύδατα, ενώ με μπλε χρώμα παρουσιάζονται οι ετήσιοι όγκοι ανανεώσιμων παροχών. Πιο αναλυτικά, τα στοιχεία των ετήσιων υδατικών ισοζυγίων φαίνονται στον Πίνακα 4.1.

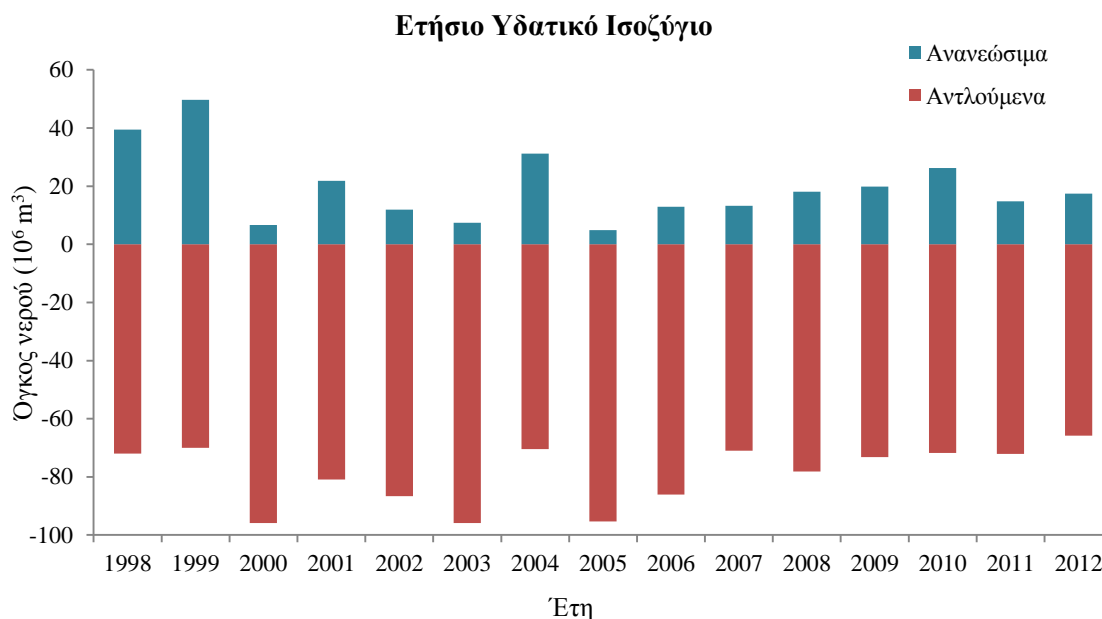
Για να καλυφθεί το ετήσιο υδατικό ισοζύγιο, γίνεται υπεράντληση από τον υπόγειο υδροφορέα, με αποτέλεσμα αυτός να επιβαρύνεται σημαντικά και να παρατηρείται ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των υδατικών αποθεμάτων. Ο υπόγειος υδροφορέας

βρίσκεται σε καθεστώς υπερεκμετάλλευσης των υδατικών αποθεμάτων, η οποία φτάνει κάποιες χρονιές μέχρι και τα 90 hm³ ετησίως (Σιδηρόπουλος, 2014). Εκτιμάται ότι η ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα φτάνει μέχρι και τα 100 m.

Οι μήνες εμπλουτισμού του υδροφορέα κατά τη διάρκεια του έτους με ανανεώσιμα ύδατα έχουν μειωθεί. Αυτό το γεγονός οφείλεται καθαρά στην αλλαγή της διάρκειας των βροχοπτώσεων μέσα στο έτος. Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται έντονες βροχοπτώσεις, αλλά μικρής διάρκειας. Αυτό όμως το φαινόμενο αποτελεί απειλή για τη βιωσιμότητα των υπόγειων υδροφορέων, διότι υπό αυτές τις συνθήκες απορρέει ακόμη περισσότερο επιφανειακό νερό, με αποτέλεσμα η ποσότητα που εμπλουτίζει τα υπόγεια υδατικά συστήματα να μειώνεται (Σιδηρόπουλος, 2014).

Πίνακας 4.1: Ετήσια στοιχεία αντλούμενων και ανανεώσιμων αποθεμάτων νερού στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Έτος	Όγκος νερού (10 ⁶ m ³)		
	Αντλούμενα	Ανανεώσιμα	Σύνολο
1998	-71,96397748	39,4349191	-32,5290584
1999	-69,95280354	49,64378916	-20,3090144
2000	-95,93062608	6,684446616	-89,2461795
2001	-80,93062608	21,84383314	-59,0867929
2002	-86,63062608	11,91041621	-74,7202099
2003	-95,84604544	7,352891278	-88,4931542
2004	-70,42647862	31,17746166	-39,2490170
2005	-95,32647862	4,854697144	-90,4717815
2006	-86,02647862	12,86324951	-73,1632291
2007	-71,00884543	13,28641224	-57,7224332
2008	-78,12426478	18,08066546	-60,0435993
2009	-73,20243989	19,85993488	-53,3425050
2010	-71,77919565	26,25488762	-45,524308
2011	-72,13861499	14,78925277	-57,3493622
2012	-65,82612944	17,37139422	-48,4547352
M.O.	-79,00757538	19,69388340	-59,31369198



Σχήμα 4.4: Ετήσιο υδατικό ισοζύγιο του υπόγειου υδροφορέα Κάρλας (Πηγή: Σιδηρόπουλος, 2014)

4.4 Στατιστικά δεδομένα αγροτικών καλλιεργειών

4.4.1 Απόδοση καλλιεργειών

Τα δεδομένα που αφορούν τη διαχρονική εξέλιξη των αγροτικών καλλιεργειών και τα στοιχεία στρεμματικής τους απόδοσης προήλθαν από τις διαθέσιμες στατιστικές χρονολογικές σειρές που διαθέτει το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για μια σειρά προϊόντων φυτικής παραγωγής.

Σε ό,τι αφορά την ποιότητα των στοιχείων αυτών και τη σχετική μεθοδολογία συγκέντρωσής τους, η τρέχουσα Γεωργική Στατιστική πληροφόρηση στην Ελλάδα εξυπηρετείται από δύο φορείς, την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ) και το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων.

Η ΕΛ.ΣΤΑΤ. διενεργεί το σύνολο των ερευνών της σε επίπεδο γεωργικής εκμετάλλευσης, καθώς και μία έρευνα σε επίπεδο Δήμου ή Κοινότητας, την Ετήσια Γεωργική Στατιστική. Το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων συγκεντρώνει τα στατιστικά στοιχεία και τις πληροφορίες που αφορούν τόσο στις προβλέψεις των εκτάσεων για τις ετήσιες καλλιέργειες και την παραγωγή των φυτικών και ζωικών προϊόντων, όσο και στα τελικά στοιχεία των παραπάνω οικονομικών μεγεθών με την μέθοδο των εκτιμήσεων των εμπειρογνομόνων των περιφερειακών υπηρεσιών του. Παράλληλα με τις παραπάνω πηγές, χρησιμοποιούνται από διάφορους άλλους φορείς (λ.χ. υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης) άλλες προσεγγίσεις, όπως είναι οι καταγραφές εκτάσεως διάφορων χρήσεων γης με φωτοερμηνευτικές, κυρίως, μεθόδους κλπ.

Οι αποδόσεις των σιτηρών ποικίλλουν κάθε χρονιά επειδή εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν.

Τα στοιχεία χρονολογικών σειρών φυτικής παραγωγής που ήταν διαθέσιμα και αφορούν τις κύριες κατηγορίες καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης όπως αυτές ταξινομήθηκαν στην παρούσα εργασία (μηδική, βαμβάκι, αραβόσιτος κ.α.) αντιστοιχούν στην χρονική περίοδο 1961-2008.

4.4.2 Διεθνείς τιμές προϊόντων

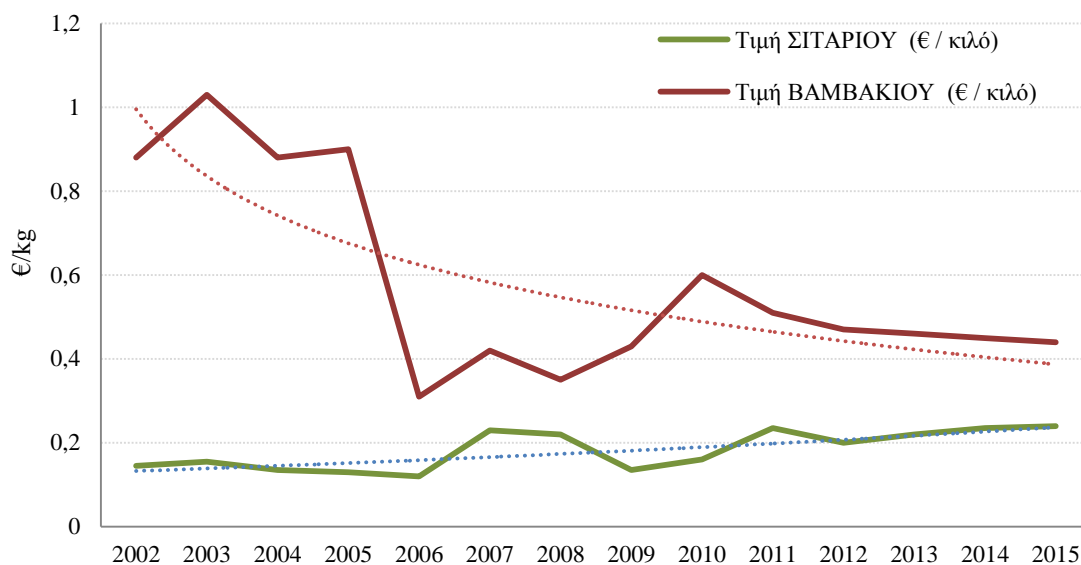
Τα στοιχεία που αφορούν τις διεθνείς τιμές προϊόντων αγροτικής καλλιέργειας προέρχονται από τα διαθέσιμα δεδομένα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και του Οργανισμού Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ), ο οποίος είναι ο Ελληνικός Οργανισμός πληρωμών των κοινοτικών ενισχύσεων συστάθηκε με το Νόμο 2637 (ΦΕΚ 200/Α'/1998) και εποπτεύεται από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Από τα διαθέσιμα δεδομένα των διεθνών τιμών προϊόντων αγροτικής καλλιέργειας παρατηρείται μια όλο και αυξανόμενη τάση αντικατάστασης της καλλιέργειας βάμβακος με άλλες καλλιέργειες, λιγότερο υδροβόρες, όπως η αντικατάσταση ποσοστού της θερινής καλλιέργειας βαμβακιού με χειμερινή καλλιέργεια σιταριού. Το κόστος άρδευσης παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανομή των καλλιεργειών. Θεσμικά, τα παραπάνω ενισχύονται από τους στόχους που θέτει η νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ 2014-2020). Στα πλαίσια των διαχειριστικών μέτρων εξοικονόμησης νερού, το ύψος της ετήσιας ενίσχυσης για το βαμβάκι είναι αισθητά μειωμένο, δεδομένου ότι στόχος είναι η βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων με δράσεις για την κλιματική αλλαγή ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα σε καθεστώς περιορισμένων πόρων.

Πίνακας 4.2: Χρονοσειρά μέσων ετήσιων Διεθνών Τιμών Προϊόντων (Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015)

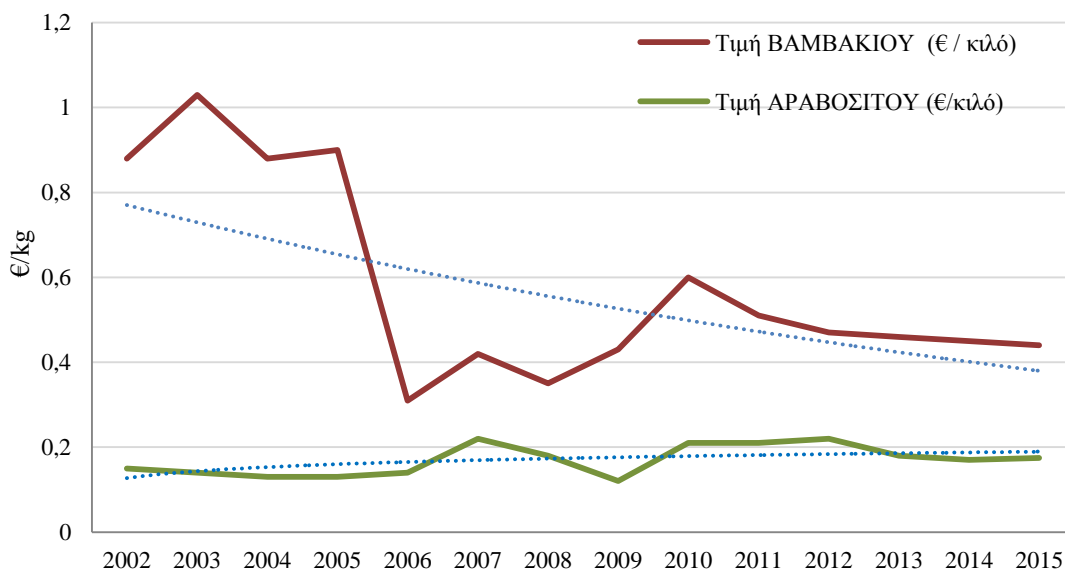
Έτος	Τιμή σιταριού (€/κιλό)	Τιμή βαμβακιού (€/κιλό)	Τιμή αραβόσιτου (€/κιλό)
2002	0.145	0.880	0.150
2003	0.155	1.030	0.140
2004	0.135	0.880	0.130
2005	0.130	0.900	0.130
2006	0.120	0.310	0.140
2007	0.230	0.420	0.220
2008	0.220	0.350	0.180
2009	0.135	0.430	0.120
2010	0.160	0.600	0.210
2011	0.235	0.510	0.210
2012	0.200	0.470	0.220
2013	0.220	0.460	0.180
2014	0.235	0.450	0.170
2015	0.240	0.440	0.175

Διεθνείς Τιμές Προϊόντων και γραμμές τάσεις



Σχήμα 4.5: Γράφημα χρονοσειράς και γραμμών τάσης ΔΤΠ σιταριού και βαμβακιού

Διεθνείς Τιμές Προϊόντων και γραμμές τάσεις



Σχήμα 4.6: Γράφημα χρονοσειράς και γραμμών τάσης ΔΤΠ αραβοσίτου και βαμβακιού

4.4.3 Υδατικές απαιτήσεις

Οι υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας. Οι καθαρές απαιτήσεις μίας καλλιέργειας σε νερό αποτελούν μέρος του υδατικού ισοζυγίου για ικανοποίηση των αναγκών των φυτών σε νερό. Οι ολικές ανάγκες σε νερό διαφέρουν από τις καθαρές, καθώς σε αυτές συνυπολογίζονται και άλλες παράμετροι που διαφοροποιούν το ισοζύγιο νερού, όπως για παράδειγμα οι

απώλειες νερού κατά τη μεταφορά και διανομή του νερού στο χωράφι, οι πρόσθετες ποσότητες νερού που πρέπει να δίνονται για έκπλυση των αλάτων σε βαθύτερα στρώματα του ριζικού συστήματος, το ποσοστό των αναγκών σε νερό που καλύπτονται από τη βροχόπτωση ή ακόμα και την πιθανή ανοδική κίνηση του νερού από τον υπόγειο υδροφόρο.

Στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό των υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης, λαμβάνονται οι ολικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό, σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 4.3: Υδατικές απαιτήσεις καλλιεργειών (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2012)

A/A	Καλλιέργεια	Υδατικές απαιτήσεις καλλιεργειών (m ³ /στρ/έτος)
1	ΜΗΔΙΚΗ	800
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	720
3	ΣΙΤΑΡΙ	150
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	650
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	500
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	700
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	750
8	ΕΛΙΕΣ	500
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	500
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	700
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	-
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	600

4.5 Δημογραφικά στοιχεία

Τα στοιχεία για το κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον της λεκάνης απορροής Κάρλας προήλθαν από τα δημογραφικά στοιχεία απογραφής ΕΣΥΕ (1991, 2001 και 2011), καθώς και τα στοιχεία απασχόλησης.

Η πληθυσμιακή εξέλιξη των δημοτικών διαμερισμάτων, της λεκάνης απορροής της Κάρλας, παρουσιάζεται στον Πίνακα που ακολουθεί. Με βάση τα στοιχεία αυτά, ο πληθυσμός της περιοχής μελέτης παρουσιάζει πτωτικές τάσεις. Κατά τη δεκαετία 1991-2001, ο πληθυσμός μειώθηκε κατά 15,3%, ενώ κατά τη δεκαετία 2001-2011 παρουσίασε μια σχετική σταθεροποίηση, καθώς μειώθηκε μόλις κατά 1,4%.

Πίνακας 4.4: Πληθυσμιακή εξέλιξη στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Περιοχή	Πραγματικός πληθυσμός (1991)	Πραγματικός πληθυσμός (2001)	Πραγματικός πληθυσμός (2011)
ΔΗΜΟΣ ΚΑΡΛΑΣ	5531	5198	4747
Δ.Δ. Στεφανοβικείου	1835	1963	1970

Στεφανοβίκειον, το	1835	1963	1970
Δ.Δ. Καναλίων	1424	1213	1015
Κανάλια, τα	1424	1213	1015
Δ.Δ. Κερασέας	437	368	280
Κερασέα, η	437	368	280
Δ.Δ. Ριζομύλου	1835	1654	1482
Ριζόμυλος, ο	1835	1654	1482
ΔΗΜΟΣ ΦΕΡΩΝ	6855	6116	5.752
Δ.Δ. Βελεστίνου	3852	3659	3.403
Βελεστίνον, το	3448	327	3.044
Χλόη, η	404	389	359
Δ.Δ. Αγίου Γεωργίου Φερών	1088	939	681
Άγιος Γεώργιος Φερών, ο	1088	939	681
Δ.Δ. Μικρού Περιβολακίου	399	274	343
Μικρόν Περιβολάκιον, το	399	274	343
ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	114334	126076	146926
Δ.Δ. Λαρίσης	11309	124786	144934
Αμφιθέα, η	42	63	33
Κουλούριον, το	271	329	250
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ	7411	6458	5.855
Δ.Δ. Αγιάς	4014	3027	3.169
Αγιά, η	4014	3027	3.169
Δ.Δ. Αετολόφου	405	382	323
Αετόλοφος, ο	405	382	323
Δ.Δ. Ανάβρας	760	705	678
Ανάβρα, η	618	583	599
Πρινιάς, ο	142	122	79
Δ.Δ. Γερακαρίου	346	365	266
Γερακάρτιον, το	346	365	266
Δ.Δ. Ελάφου	301	258	219
Έλαφος, η	301	258	219
Δ.Δ. Μεγαλοβρύσου	328	438	199
Μεγαλόβρυσον, το	328	438	199
Δ.Δ. Μεταξοχωρίου	616	559	478
Μεταξοχώριον, το	616	559	478
Δ.Δ. Νερομύλων	329	393	261
Νερόμυλοι, οι	329	393	261
ΔΗΜΟΣ ΑΜΠΙΕΛΩΝΟΣ	8545	8407	8.055
Δ.Δ. Βρυοτόπου	761	668	585
Μικρόλιθος, ο	36	60	25
ΔΗΜΟΣ ΑΡΜΕΝΙΟΥ	2626	2273	2.096
Δ.Δ. Αρμενίου	1036	800	756
Αρμένιον, το	1036	800	756
Δ.Δ. Μεγάλου Μοναστηρίου	657	627	543
Μέγα Μοναστήριον, το	657	627	543
Δ.Δ. Νίκης	577	554	480
Νίκη, η	376	339	277
Αχίλλειον, το	201	215	203
Δ.Δ. Σωτηρίου	356	292	317

Σωτήριον, το	356	292	317
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΕΛΕΡ	3096	2834	2.038
Δ.Δ. Κιλελέρ (Κυψέλης)	894	698	551
Κιλελέρ, το (τ.Κυψέλη, η)	644	546	481
Κοκκίνοι, αι	250	152	70
Δ.Δ. Αγναντερής	276	307	243
Αγροκήπιον, το	73	99	66
Δ.Δ. Καλαμακίου	672	623	486
Καλαμάκιον, το	672	623	486
Δ.Δ. Μελίσσης	650	590	350
Μέλισσα, η	462	435	99
Λοφίσκος, ο	188	155	251
ΔΗΜΟΣ ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	2109	1763	1.481
Δ.Δ. Δήμητρας	408	379	315
Δήμητρα, η	408	379	315
Δ.Δ. Αμυγδαλής	525	478	360
Κάτω Αμυγδαλή, η	507	452	352
Αμυγδαλή, η	18	26	8
Δ.Δ. Ανατολής	397	217	265
Ανατολή, η	397	217	265
Τσαϊρι, το	0	0	0
Δ.Δ. Καστρίου	377	338	248
Καστρίον, το	300	282	207
Νεοχώριον, το	77	56	41
Δ.Δ. Μαρμαρίνης	402	351	293
Μαρμαρίνη, η	402	351	293
ΔΗΜΟΣ ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	3004	2976	2553
Δ.Δ. Μακρυχωρίου	1773	1863	1689
Γυρτώνη, η	107	76	74
ΔΗΜΟΣ ΝΕΣΣΩΝΟΣ	5588	5486	4750
Δ.Δ. Συκουρίου	2554	2379	2.316
Συκούριον, το	2554	2379	2.316
Δ.Δ. Καλοχωρίου	987	1038	756
Καλοχώριον, το	670	708	543
Χειμάδιον, το	317	330	213
Δ.Δ. Νέσσωνος	168	153	94
Νέσσω, ο	168	153	94
Κόρακας, ο	0	0	0
Δ.Δ. Όσσης	651	586	530
Όσσα, η	651	586	530
Δ.Δ. Σπηλιάς	324	376	370
Σπηλιά, η	324	376	370
ΔΗΜΟΣ ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	8203	8292	7.896
Δ.Δ. Πλατυκάμπου	1669	1826	1.804
Πλατύκαμπος, ο	1669	1826	1.804
Δ.Δ. Γαλήνης	856	874	1.030
Γαλήνη, η	856	874	1.030
Δ.Δ. Γλαύκης	912	844	707
Γλαύκη, η	854	800	686

Πρόδρομος, ο	58	44	21
Δ.Δ. Ελευθερίου	466	383	347
Ελευθέριον, το	466	383	347
Δ.Δ. Μελίας	821	841	501
Μελία, η	469	501	309
Αναγέννησις, η	164	154	68
Μόδεστος, ο	188	186	124
Δ.Δ. Μελισσοχωρίου	646	770	854
Μελισσοχώριον, το	646	770	854
Δ.Δ. Ναμάτων	160	142	105
Νάματα, τα	160	142	105
Δ.Δ. Ομορφοχωρίου	664	730	743
Ομορφοχώριον, το	664	730	743
Σύνολο	36327	30770	30336

Στον Πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα στοιχεία απογραφής του 2011 σχετικά με το μέγεθος και τη δομή της απασχόλησης ανά τομέα στις Δημοτικές Ενότητες της περιοχής μελέτης. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, η απασχόληση στον αγροτικό τομέα είναι κυρίαρχη, ενώ και η ανεργία κινείται σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Πίνακας 4.5: Απασχολούμενοι ανά παραγωγικό τομέα και άνεργοι στους δήμους της υπό μελέτη περιοχής (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ)

Περιγραφή	Σύνολο	Οικονομικά ενεργοί	Οικονομικά μη ενεργοί	Απασχολούμενοι	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Άνεργοι
Δημοτική Ενότητα Αγιάς	5.855	2.102	3.753	1.813	776	233	804	289
Δημοτική Ενότητα Νίκαιας	6.535	2.511	4.024	2.136	557	331	1.248	375
Δημοτική Ενότητα Αρμενίου	2.096	789	1.307	637	341	69	227	152
Δημοτική Ενότητα Πλατυκάμπου	7.896	3.167	4.729	2.626	871	460	1.295	541
Δημοτική Ενότητα Φερών	5.752	2.307	3.445	1.872	557	406	909	435
Δημοτική Ενότητα Κάρλας	4.747	1.666	3.081	1.339	500	250	589	327

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο φαίνονται τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

5.1 Χρήσεις γης λεκάνης Κάρλας

Όπως προέκυψε, η δεσπόζουσα χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας είναι η αγροτική, επομένως η περιοχή μελέτης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αγροτική λεκάνη. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα διατριβή, η διερεύνηση των συνθηκών διαχείρισης υδατικών πόρων επικεντρώνεται στην αγροτική χρήση, η οποία αποτελεί και τον κύριο χρήστη νερού τόσο στην υπό μελέτη περιοχή όσο και στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο.

Όσον αφορά την αγροτική χρήση, στην κατηγορία αυτή συμπεριλήφθηκαν η μη αρδύσιμη αρόσιμη γη, η μόνιμα αρδευόμενη γη, οι ορυζώνες, τα σπυροφόρα δένδρα και οι φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, οι ελαιώνες, τα λιβάδια, τα σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, αλλά και η γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης.

5.1.1 Διαχρονική εξέλιξη αγροτικής χρήσης

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται συνολικά οι εκτάσεις οι οποίες δηλώνονται ετησίως από τους παραγωγούς ως αγροτικές καλλιέργειες μέσω της ενιαίας δήλωσης καλλιέργειας/εκτροφής. Από τις εκτάσεις αυτές προέρχεται η παραγωγή αγροτικών προϊόντων, αποτελούν τον κύριο χρήστη νερού στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας και διαμορφώνουν τις κοινωνικο-οικονομικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Η χρονοσειρά των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών για τα έτη 2005 έως και 2015, δηλαδή πριν και μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.1: Πλήρης χρονοσειρά αγροτικών καλλιεργειών στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας ανά ζώνη

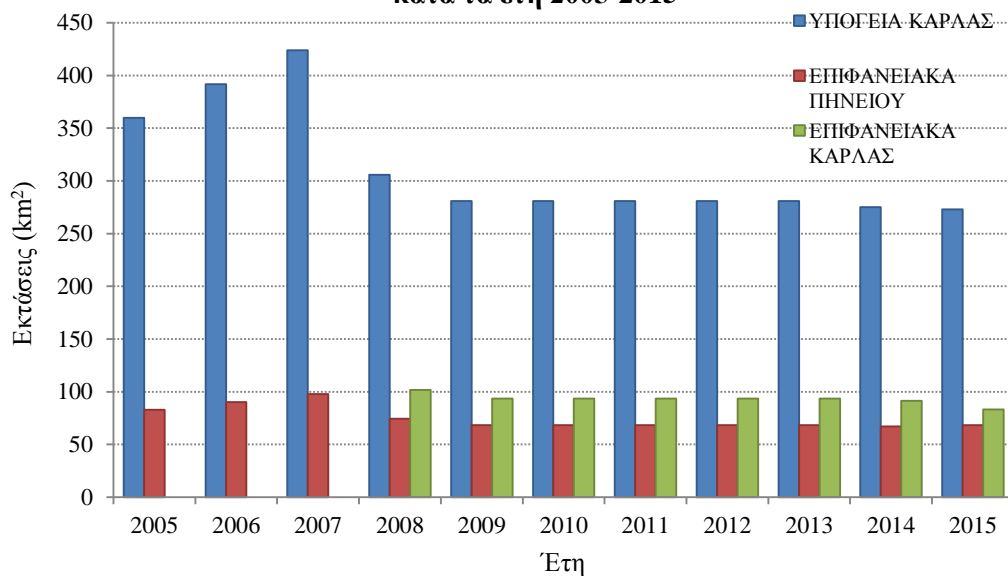
ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΡΛΑΣ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	4,52	10,37	16,22	11,61	8,46	8,20	7,90	8,27	8,56	10,94	11,57
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	15,58	12,19	8,80	7,75	9,30	4,56	7,29	10,99	13,71	11,97	11,75
3	ΣΙΤΑΡΙ	9,02	99,37	189,72	142,04	145,98	98,47	89,77	95,09	97,70	108,77	129,38
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	226,97	179,42	131,88	97,83	88,64	72,79	82,09	72,74	57,63	75,54	88,15
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	29,17	25,89	22,62	8,91	0,03	6,10	6,89	7,48	7,66	3,91	0,04
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	14,86	9,20	3,55	4,40	5,73	1,95	0,15	1,24	1,48	1,49	1,31
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	1,02	4,42	7,82	6,69	9,47	3,84	1,78	2,59	2,69	4,06	7,42
8	ΕΛΙΕΣ	19,24	18,77	18,30	7,81	1,40	3,57	3,52	3,49	3,08	2,39	1,92
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,36	0,55	0,73	0,44	0,39	0,32	0,28	0,38	0,41	0,45	0,69
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	3,28	3,12	2,96	1,82	1,52	1,44	1,74	1,69	1,62	1,35	1,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	1,08	1,05	1,02	1,54	0,41	2,55	2,21	5,11	6,18	8,00	9,57
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	34,66	27,41	20,16	14,99	9,45	77,08	77,24	71,81	80,17	46,24	9,85
	ΣΥΝΟΛΟ	359,76	391,77	423,79	305,83	280,77	280,87	280,87	280,87	280,87	275,12	272,92

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	1,04	2,39	3,74	2,83	2,72	2,00	1,92	2,01	2,08	2,66	2,72
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	3,59	2,81	2,03	1,89	1,28	1,11	1,77	2,68	3,34	2,92	1,28
3	ΣΙΤΑΡΙ	2,08	22,90	43,72	34,59	28,68	23,98	21,86	23,16	23,79	26,49	28,68
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	52,31	41,35	30,39	23,82	31,63	17,73	19,99	17,71	14,03	18,39	31,63
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	6,72	5,97	5,21	2,17	0,21	1,48	1,68	1,82	1,86	0,95	0,21

6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	3,42	2,12	0,82	1,07	0,84	0,47	0,04	0,30	0,36	0,36	0,84
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,24	1,02	1,80	1,63	0,12	0,94	0,43	0,63	0,66	0,99	0,12
8	ΕΛΙΕΣ	4,43	4,33	4,22	1,90	0,00	0,87	0,86	0,85	0,75	0,58	0,00
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,08	0,13	0,17	0,11	0,00	0,08	0,07	0,09	0,10	0,11	0,00
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,75	0,72	0,68	0,44	0,06	0,35	0,42	0,41	0,39	0,33	0,06
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,25	0,24	0,23	0,37	2,28	0,62	0,54	1,24	1,50	1,95	2,28
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	7,99	6,32	4,65	3,65	0,53	18,77	18,81	17,49	19,52	11,26	0,53
	ΣΥΝΟΛΟ	82,91	90,29	97,67	74,47	68,35	68,39	68,39	68,39	68,39	66,99	68,35

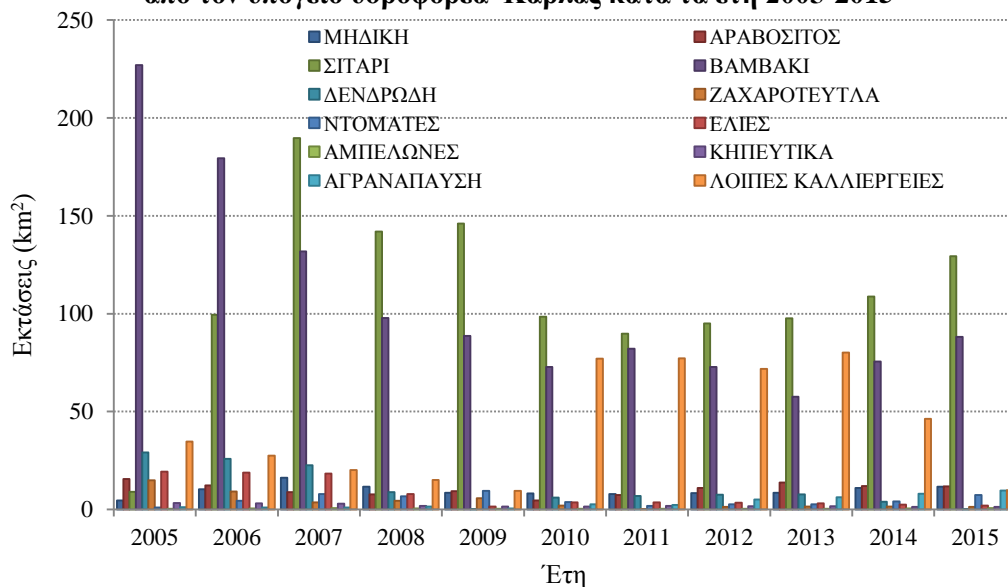
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	0,00	0,00	0,00	3,86	5,45	2,73	2,63	2,75	2,85	3,64	6,70
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	0,00	0,00	0,00	2,58	3,01	1,52	2,42	3,65	4,56	3,98	3,10
3	ΣΙΤΑΡΙ	0,00	0,00	0,00	47,23	39,61	32,74	29,85	31,62	32,49	36,17	30,80
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	0,00	0,00	0,00	32,53	25,83	24,21	27,30	24,19	19,16	25,12	27,52
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,00	0,00	0,00	2,96	0,00	2,03	2,29	2,49	2,55	1,30	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	0,00	0,00	0,00	1,46	2,94	0,65	0,05	0,41	0,49	0,50	0,23
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,00	0,00	0,00	2,22	1,87	1,28	0,59	0,86	0,90	1,35	1,02
8	ΕΛΙΕΣ	0,00	0,00	0,00	2,60	0,71	1,19	1,17	1,16	1,02	0,79	0,77
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,00	0,00	0,00	0,15	0,09	0,11	0,09	0,13	0,14	0,15	0,09
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,00	0,00	0,00	0,60	0,51	0,48	0,58	0,56	0,54	0,45	0,39
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,00	0,00	0,00	0,51	0,91	0,85	0,74	1,70	2,05	2,66	3,65
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	0,00	0,00	0,00	4,99	12,47	25,63	25,68	23,88	26,66	15,38	9,02
	ΣΥΝΟΛΟ	0,00	0,00	0,00	101,70	93,41	93,40	93,40	93,40	93,40	91,49	83,28

**Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών ανά πηγή άρδευσης
κατά τα έτη 2005-2015**



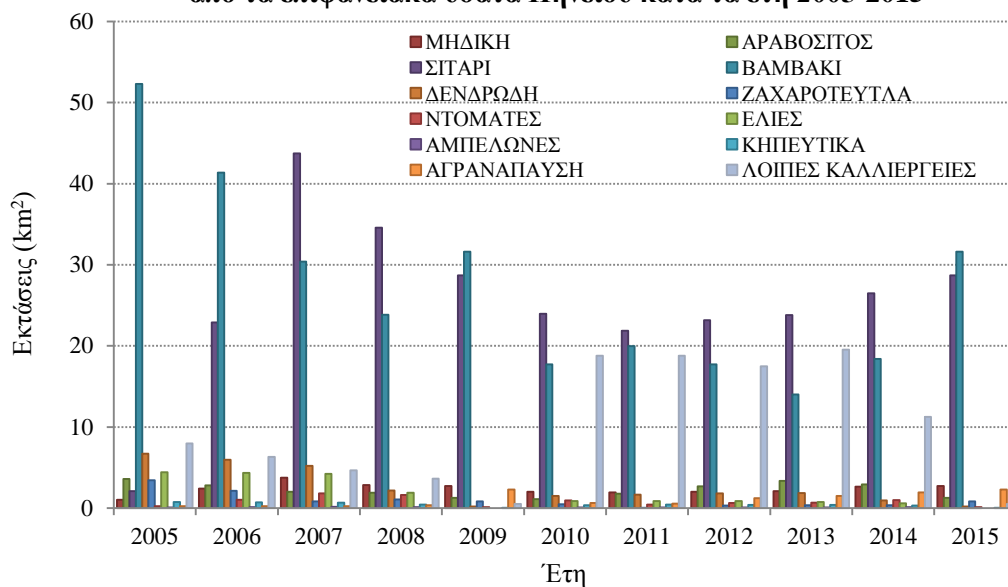
Σχήμα 5.1: Μεταβολή συνολικής έκτασης αγροτικών καλλιεργειών ανά ζώνη - πηγή άρδευσης κατά τα έτη 2005-2015

**Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων
από τον υπόγειο υδροφόρα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015**



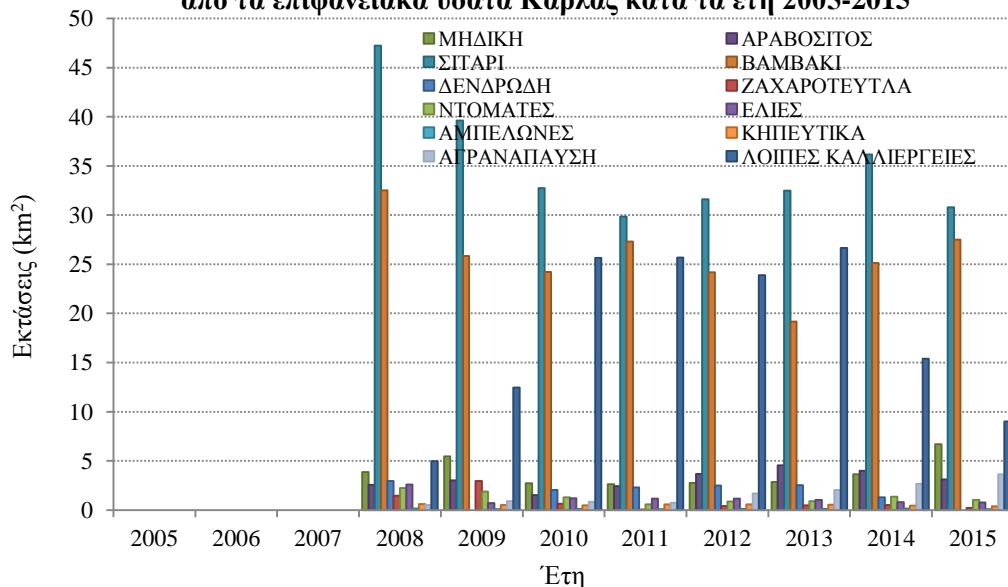
Σχήμα 5.2: Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τον υπόγειο υδροφόρα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015

Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Πηνειού κατά τα έτη 2005-2015



Σχήμα 5.3: Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Πηνειού κατά τα έτη 2005-2015

Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015



Σχήμα 5.4: Μεταβολή αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, κατά τα έτη πριν την επανασύσταση του ταμιευτήρα Κάρλας, η κυρίαρχη καλλιέργεια και στις δύο ζώνες της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας είναι το βαμβάκι. Παρατηρείται όμως μια τάση μείωσης των εκτάσεων με καλλιέργεια βαμβακιού. Αντίθετα, η καλλιέργεια σιτηρών εμφανίζει αλματώδη αύξηση στην περιοχή μελέτης. Οι καλλιέργειες μηδικής, ντομάτας και οι αμπελώνες φαίνεται ότι ενισχύονται με την πάροδο των ετών και στις δύο ζώνες, ενώ οι υπόλοιπες καλλιέργειες παραμένουν σχετικά σταθερές σε καλυπτόμενη έκταση. Τέλος, στη ζώνη του υπόγειου υδροφορέα, παρατηρείται σημαντική μείωση της καλλιέργειας αραβόσιτου.

Αντίστοιχα, κατά τα εξεταζόμενη έτη μετά την έναρξη επαναλειτουργίας του ταμιευτήρα Κάρλας, η κυρίαρχη καλλιέργεια και στις τρεις ζώνες της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας είναι πλέον το σιτάρι. Βέβαια, ενώ παρατηρήθηκε μια καμπή των εκτάσεων με καλλιέργεια σιταριού, στη συνέχεια αυτές αυξήθηκαν και στις τρεις εξεταζόμενες ζώνες. Το ίδιο συνέβη και όσον αφορά την καλλιέργεια βαμβακιού. Επίσης, σχετικά με την καλλιέργεια ζαχαρότευτλων, παρατηρήθηκε μια πολύ σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια των ετών. Οι υπόλοιπες καλλιέργειες δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτες μεταβολές. Τέλος, οι εκτάσεις με αγρανάπαυση αυξήθηκαν με την πάροδο των ετών και στις τρεις ζώνες.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται η διακύμανση των τιμών των καλλιεργούμενων εκτάσεων συγκριτικά με το μέσο όρο της δεκαετίας 2005-2015. Οι τιμές εξετάζονται ξεχωριστά ανά ζώνη.

Πίνακας 5.2: Διακύμανση τιμών εκτάσεων δεκαετίας ανά αγροτική καλλιέργεια ανά ζώνη στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΡΛΑΣ				
A/A	Καλλιέργεια	Μέσος όρος 10ετίας	MIN 10ετίας (%)	MAX 10ετίας (%)
1	ΜΗΔΙΚΗ	9,69	46,62	167,38
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	10,35	44,05	150,49
3	ΣΙΤΑΡΙ	109,57	8,23	173,14
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	106,70	54,01	212,72
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	10,79	0,26	270,33
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	4,12	3,75	360,28
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	4,71	21,76	201,00
8	ΕΛΙΕΣ	7,59	18,41	253,50
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,45	62,36	161,15
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,98	63,90	165,23
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	3,52	11,70	271,91
12	ΛΟΠΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	42,64	22,17	188,01

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ				
A/A	Καλλιέργεια	Μέσος όρος 10ετίας	MIN 10ετίας (%)	MAX 10ετίας (%)
1	ΜΗΔΙΚΗ	2,38	43,85	157,43
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	2,25	49,47	159,95
3	ΣΙΤΑΡΙ	25,45	8,17	171,82
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	27,18	51,62	192,44
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	2,57	8,23	261,34
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	0,97	3,88	353,59
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,78	15,46	231,40
8	ΕΛΙΕΣ	1,71	0,00	259,61
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,08	0,00	199,04
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,42	13,16	179,75
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	1,05	22,42	217,55
12	ΛΟΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,95	5,33	196,09

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ				
A/A	Καλλιέργεια	Μέσος όρος 10ετίας	MIN 10ετίας (%)	MAX 10ετίας (%)
1	ΜΗΔΙΚΗ	2,78	94,49	240,86
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	2,26	67,21	202,01
3	ΣΙΤΑΡΙ	25,50	117,06	185,21
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	18,71	102,40	173,84
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	1,24	0,00	239,26
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	0,61	8,39	480,26
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,92	64,38	242,61
8	ΕΛΙΕΣ	0,86	83,27	303,42
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,09	107,19	175,46
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,37	103,78	161,90
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	1,19	43,10	306,84
12	ΛΟΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	13,06	38,16	204,07

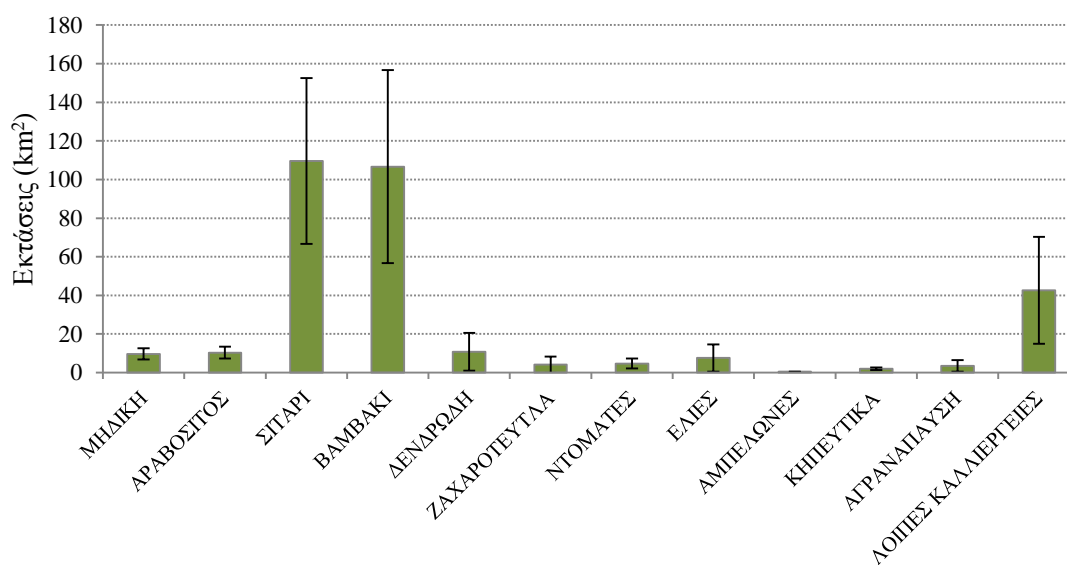
Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα, για τη ζώνη που αρδεύεται από τα υπόγεια ύδατα του υδροφορέα Κάρλας, η μεγαλύτερη συρρίκνωση παρατηρήθηκε για τις δενδρώδεις καλλιέργειες, αλλά και τα ζαχαρότευτλα. Για τα ζαχαρότευτλα παρατηρήθηκε όμως και η μεγαλύτερη αύξηση σε εκτάσεις, δηλαδή για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες αυξομειώσεις, ενώ αυτό συνέβη και για τις δενδρώδεις καλλιέργειες. Σημαντική είναι και η αύξηση των εκτάσεων με αγρανάπαυση και σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1, οι αγρανάπαυσεις αυξάνονται συνεχώς από το 2012 και έπειτα. Ως προς την καλλιέργεια του αραβόσιτου, αυτή μπορεί να θεωρηθεί σχετικά σταθερή στο διάστημα της δεκαετίας, ενώ οι καλλιέργειες σιταριού και βαμβακιού παρουσιάζουν μικρή αύξηση και μικρή μείωση αντίστοιχα.

Αντίστοιχα, για τη ζώνη η οποία αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού ποταμού, οι ελαιώνες και οι αμπελώνες παρουσιάζουν τάση συρρίκνωσης έως και

μηδενισμού των εκτάσεών τους, αφού μόνο πριν το 2009 παρατηρούνται αξιόλογες εκτάσεις. Και στη ζώνη αυτή, η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αυξομειώσεις ως προς την καλλιεργούμενη έκταση. Οι αγραναπαύσεις είναι σχετικά σταθερές, όπως και η καλλιέργεια του αραβόσιτου. Οι καλλιέργειες σιταριού και βαμβακιού παρουσιάζουν μικρή αύξηση και μικρή μείωση αντίστοιχα και σ' αυτή τη ζώνη.

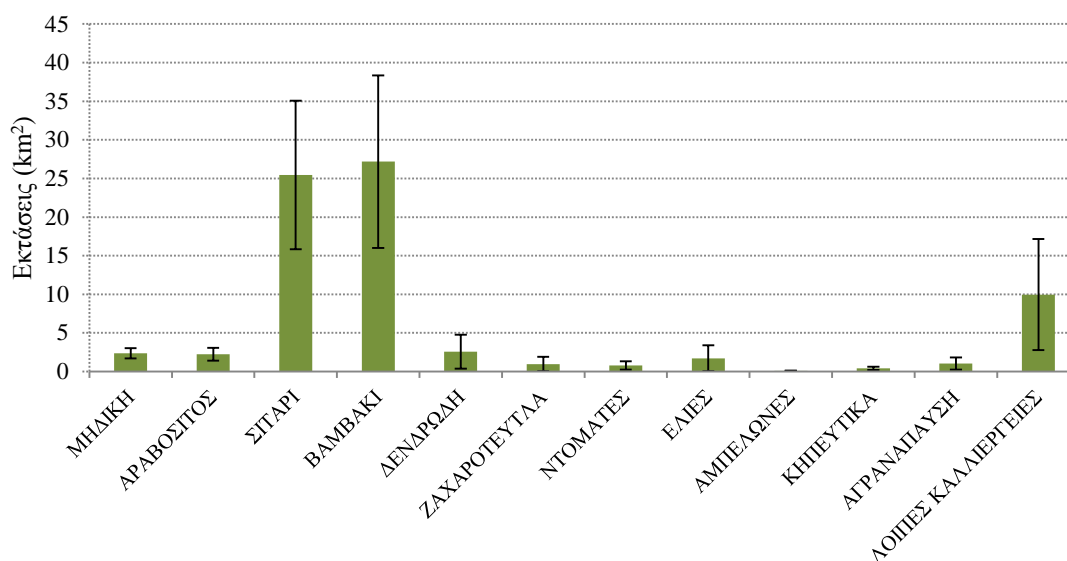
Τέλος, στη ζώνη που αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα της λίμνης Κάρλας, για τα ζαχαρότευτλα και τις δενδρώδεις καλλιέργειες παρατηρήθηκε επίσης η μεγαλύτερη αυξομείωση σε εκτάσεις, οι ελαιώνες παρουσιάζουν τάση συρρίκνωσης, οι αμπελώνες παραμένουν σχετικά σταθεροί σε έκταση, ενώ οι αγραναπαύσεις αυξάνονται σταδιακά. Στη ζώνη του ταμιευτήρα, η καλλιέργεια του αραβόσιτου είχε διπλασιαστεί το έτος 2013 και στη συνέχεια μειώθηκε κατά 50%, η καλλιέργεια σιταριού παρουσιάζει σταθερή αυξητική τάση, ενώ και η καλλιέργεια βαμβακιού, ενώ παρουσίαζε μείωση, από το 2013 και έπειτα παρουσιάζει αύξηση αρκετά πάνω από το μέσο όρο της δεκαετίας.

Διακύμανση αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τον υπόγειο υδροφόρα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015



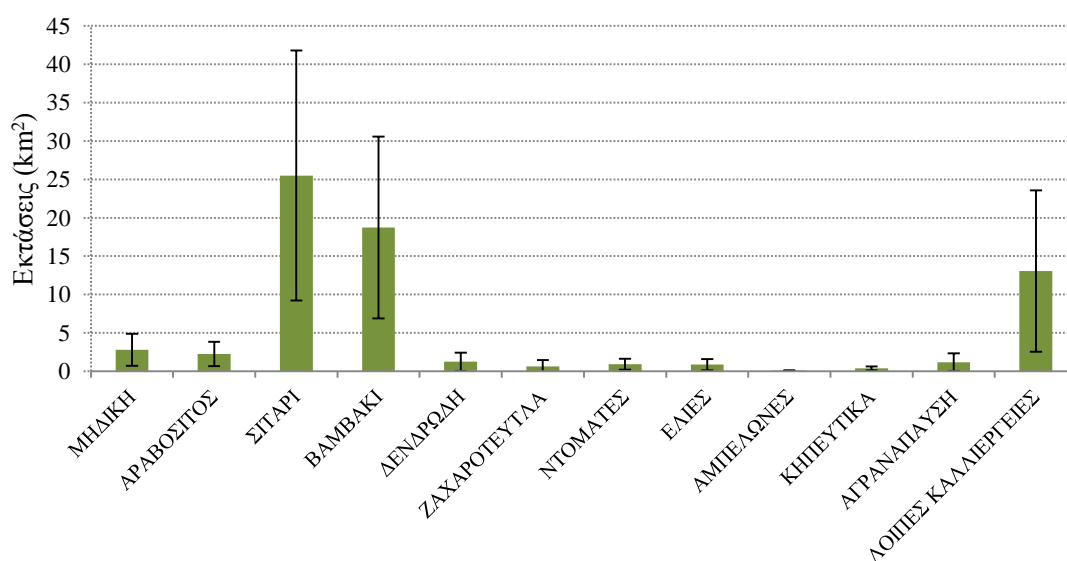
Σχήμα 5.5: Διακύμανση εκτάσεων αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τον υπόγειο υδροφόρα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015

Διακύμανση αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Πηνειού κατά τα έτη 2005-2015



Σχήμα 5.6: Διακύμανση εκτάσεων αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Πηνειού κατά τα έτη 2005-2015

Διακύμανση αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015



Σχήμα 5.7: Διακύμανση εκτάσεων αγροτικών καλλιεργειών αρδευόμενων από τα επιφανειακά ύδατα Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015

Η μεγαλύτερη διακύμανση τιμών παρατηρείται για τις εκτάσεις με καλλιέργεια βαμβακιού, πλην της ζώνης που αρδεύεται από το νεοσύστατο ταμιευτήρα Κάρλας όπου η μεγαλύτερη διακύμανση τιμών παρατηρείται για τις εκτάσεις με καλλιέργεια σιταριού.

Οι επιμέρους αγροτικές χρήσεις, καθώς και οι διαχρονικές μεταβολές τους ενδεικτικά για τα έτη 1995, 2000, 2006 και 2012 δίνονται στον ακόλουθο πίνακα και διαγραμματικά στο Σχήμα 5.8.

Πίνακας 5.3: Επιμέρους κατηγορίες αγροτικής χρήσης γης

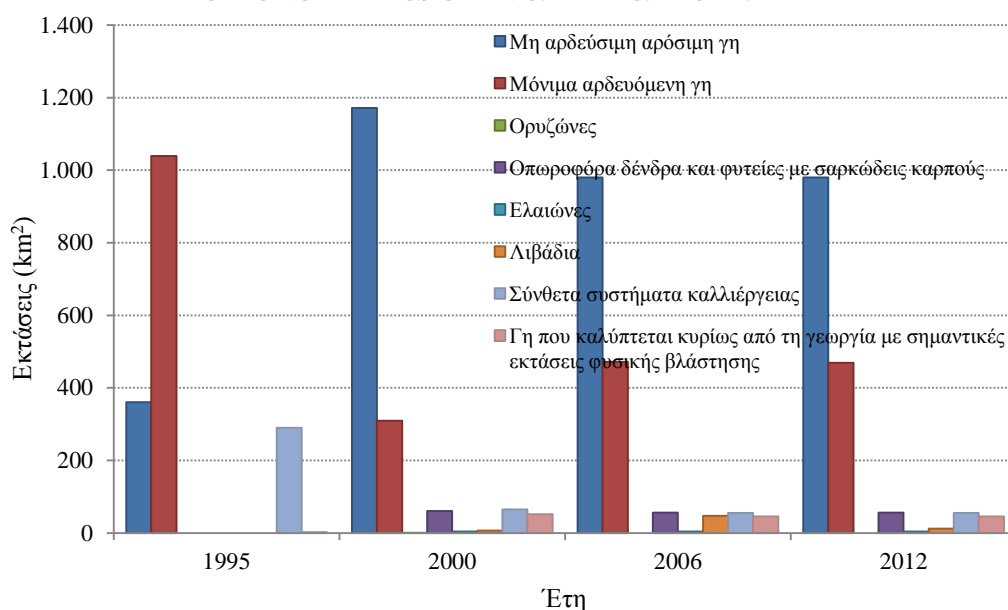
Κωδικός Corine	Κατηγορία αγροτικής χρήσης	Έκταση (km ²)			
		1995	2000	2006	2012
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	360,96	1171,72	980,31	979,56
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	1038,86	309,90	471,53	468,83
213	Ορυζώνες	0,00	0,31	0,00	0,00
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0,00	60,28	56,50	56,47
223	Ελαιώνες	0,00	3,90	4,10	4,10
231	Λιβάδια	0,00	6,62	47,11	12,00
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	290,29	64,87	55,75	55,75
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	2,72	51,79	46,02	46,02

Στην αρόσιμη γη περιλαμβάνονται εκτάσεις που καλύπτονται από καλλιέργειες οι οποίες υπόκεινται στο σύστημα της εναλλαγής των καλλιεργειών (αμειψισπορά), περιλαμβανομένων των αγροαναπαύσεων.

Περιλαμβάνονται εκτάσεις που καλλιεργούνται για την παραγωγή σιτηρών, οσπρίων, βιομηχανικών φυτών, φυτά με ριζώματα, βολβών και κονδύλων (πατάτες, τεύτλα, ζαχαρότευτλα κλπ.), λαχανικών (εδώ περιλαμβάνονται εκτός των άλλων και τα πεπονοειδή, οι φράουλες, τα σπαράγγια και οι αγκινάρες), τα θερμοκήπια, οι ετήσιες ή πολυετείς καλλιέργειες (1-5 έτη) κτηνοτροφικών φυτών ξηράς ζωοτροφής, που συγκομίζονται ή/ και καταναλώνονται χλωρά.

Επίσης, περιλαμβάνονται φυτώρια δένδρων, διακοσμητικών φυτών, ανθέων, καθώς και φυτείες σποροπαραγωγής και τα σπορόφυτα.

Μεταβολή αγροτικών χρήσεων γης λεκάνης Κάρλας 1995-2000-2006-2012



Σχήμα 5.8: Διαχρονική μεταβολή των επιμέρους κατηγοριών αγροτικής χρήσης γης

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, τόσο η μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη όσο και η γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης παρουσίασαν μια αλματώδη αύξηση μετά το 1995 και κατά την τελευταία δεκαετία σταθεροποιήθηκαν.

Η μόνιμα αρδευόμενη γη περιλαμβάνει καλλιέργειες που δε βρίσκονται σε καθεστώς αμειψισποράς, το οποίο παρέχει δυνατότητα για πολλές συγκομιδές και καταλαμβάνουν τη γη για μεγάλο χρονικό διάστημα, πριν οργωθεί και ξαναφυτευτεί. Περιλαμβάνονται φυτείες δασικής καλλιέργειας, ελαιώνες, οπωροφόρα δένδρα, δέντρα με καρπούς με κέλυφος, εσπεριδοειδή, αμπέλια. Δεν περιλαμβάνονται λιβάδια, βοσκότοποι και δάση.

Η κατηγορία αυτή παρουσίασε σημαντική μείωση μετά το 1995 και κατά την τελευταία δεκαετία σταθεροποιήθηκε. Αντίστοιχα, την ίδια εικόνα παρουσιάζουν και οι εκτάσεις με σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.

Στην περιοχή μελέτης δεν συναντώνται ορυζώνες, ενώ οι εκτάσεις με οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς, καθώς και οι εκτάσεις με ελαιώνες παραμένουν σχετικά αμετάβλητες κατά τη διάρκεια των ετών.

Τέλος, αναφέρονται τα λιβάδια που αποτελούν εκτάσεις οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στον κύκλο της αμειψισποράς και χρησιμοποιούνται περισσότερο από πέντε (5) έτη, για τη μόνιμη παραγωγή χλωρών κτηνοτροφικών φυτών, είτε σπαρμένων είτε αυτοφυών, ασχέτως αν χρησιμοποιούνται για βοσκή ή συγκομιδή για χορτονομή. Στις εκτάσεις αυτές περιλαμβάνονται και οι άγονοι (φυσικοί) βοσκότοποι, δηλαδή εκτάσεις με αυτοφυές χόρτο, συνήθως ζώνες εδαφών περιορισμένης γονιμότητας που χρησιμοποιούνται για βοσκή ζώων. Οι εκτάσεις αυτές παρουσίασαν μια αυξομείωση κατά τη διάρκεια των ετών.

Ως προς τη διερεύνηση της αγροτικής χρήσης διαχρονικά, έγινε περαιτέρω κατηγοριοποίηση αυτής, με την ταξινόμηση της γεωργικής γης που καλλιεργείται, σύμφωνα με τις δηλούμενες κατηγορίες καλλιεργειών. Έτσι, στην κατηγοριοποίηση της καλλιεργούμενης αγροτικής γης συμπεριλήφθηκαν η μηδική, ο αραβόσιτος, το σιτάρι, το βαμβάκι, οι δενδρώδεις καλλιέργειες, τα ζαχαρότευτλα, οι ντομάτες, οι ελαιώνες, οι αμπελώνες, τα κηπευτικά, οι λοιπές καλλιέργειες και η αγρανάπαυση.

5.1.2 Καθορισμών ζωνών αγροτικής χρήσης

5.1.2.1 Καθορισμών δύο (2) ζωνών αγροτικής χρήσης

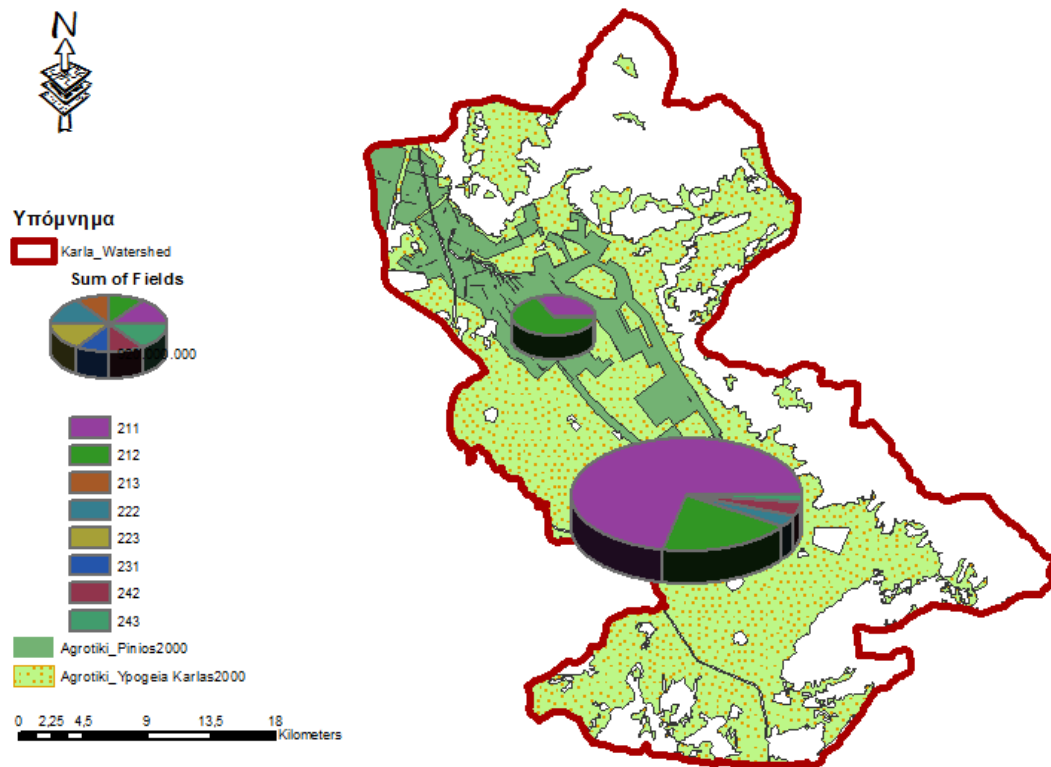
Όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο της μεθοδολογίας, για την πληρέστερη καταγραφή των αλλαγών της κάλυψης/χρήσης γης ή αλλιώς των χρονοσειρών των χρήσεων γης, η περιοχή μελέτης διαχωρίστηκε σε ζώνες ανάλογα με την προέλευση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού.

Για το χρονικό διάστημα πριν την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, επιλέχθηκε ο διαχωρισμός της μελετούμενης λεκάνης σε δύο (2) ζώνες, δηλαδή τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί υπόγεια ύδατα του υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας και τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού.

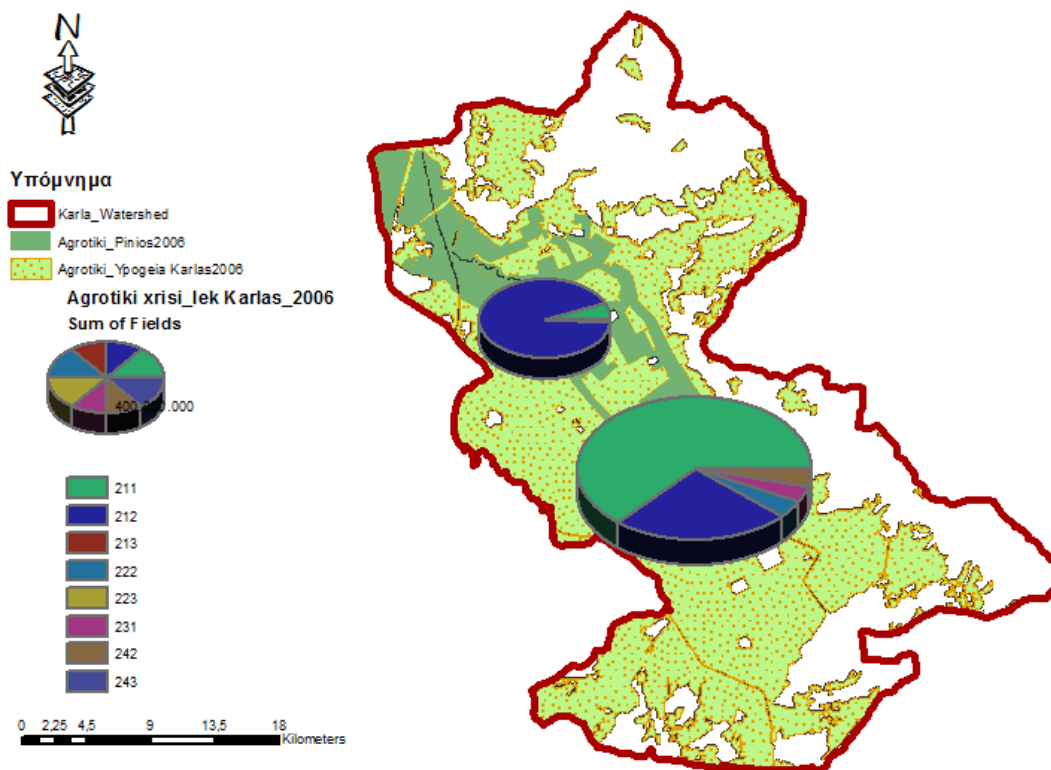
Οι ζώνες αυτές περιλαμβάνουν την αγροτική χρήση μέχρι και το έτος 2007, οπότε και ξεκίνησε η επανασύσταση της λίμνης Κάρλας.

Οι γενικές κατηγορίες αγροτικών χρήσεων, όπως αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, δίνονται σχηματικά ανά ζώνη για τα έτη 2000 και 2006 ακολούθως. Οι θεματικοί χάρτες προέκυψαν μετά από επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.

Όσον αφορά τις δηλούμενες αγροτικές καλλιέργειες στις εξεταζόμενες ζώνες, αυτές ήταν διαθέσιμες για τα έτη 2005, 2006 και 2007 ανά κατηγορία καλλιέργειας. Οι εκτάσεις αυτές δηλώνονται ετησίως από τους παραγωγούς ως αγροτικές καλλιέργειες μέσω της ενιαίας δήλωσης καλλιέργειας/ εκτροφής.



Σχήμα 5.9: Κατανομή κατηγοριών αγροτικών χρήσεων γης ανά ζώνη για το έτος 2000



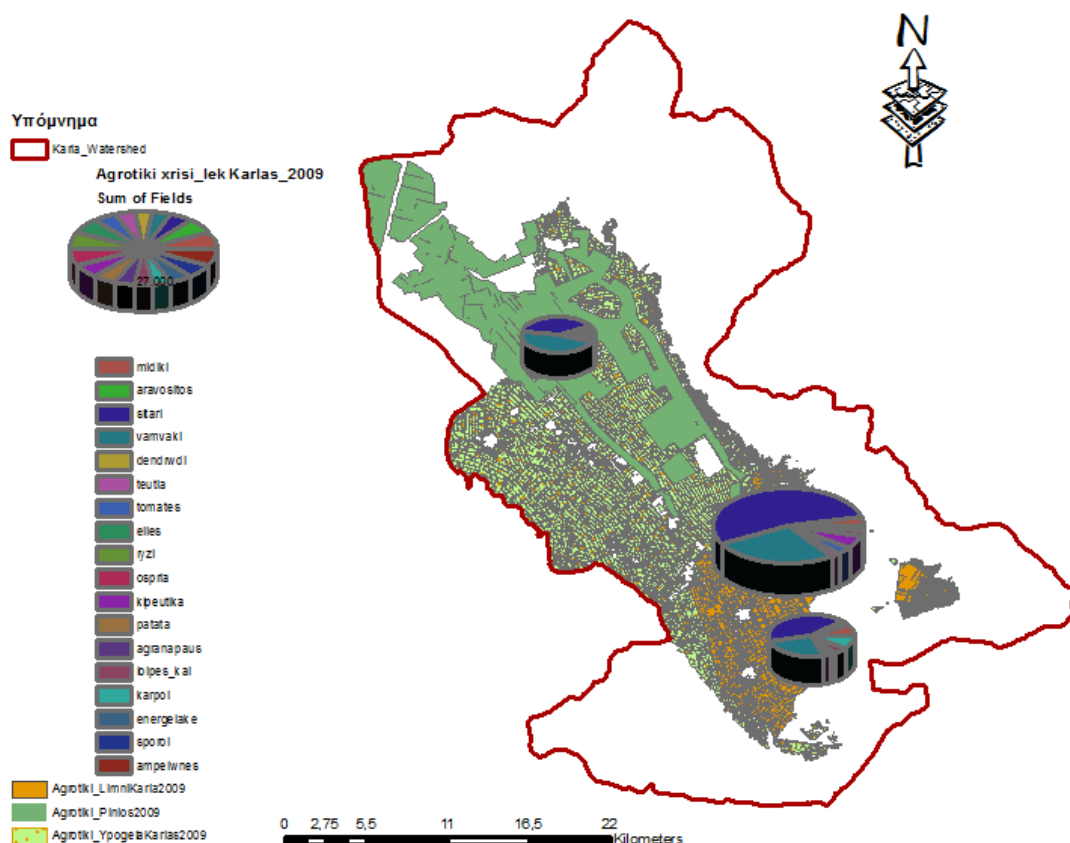
Σχήμα 5.10: Κατανομή κατηγοριών αγροτικών χρήσεων γης ανά ζώνη για το έτος 2006

5.1.2.2 Καθορισμών τριών (3) ζωνών αγροτικής χρήσης

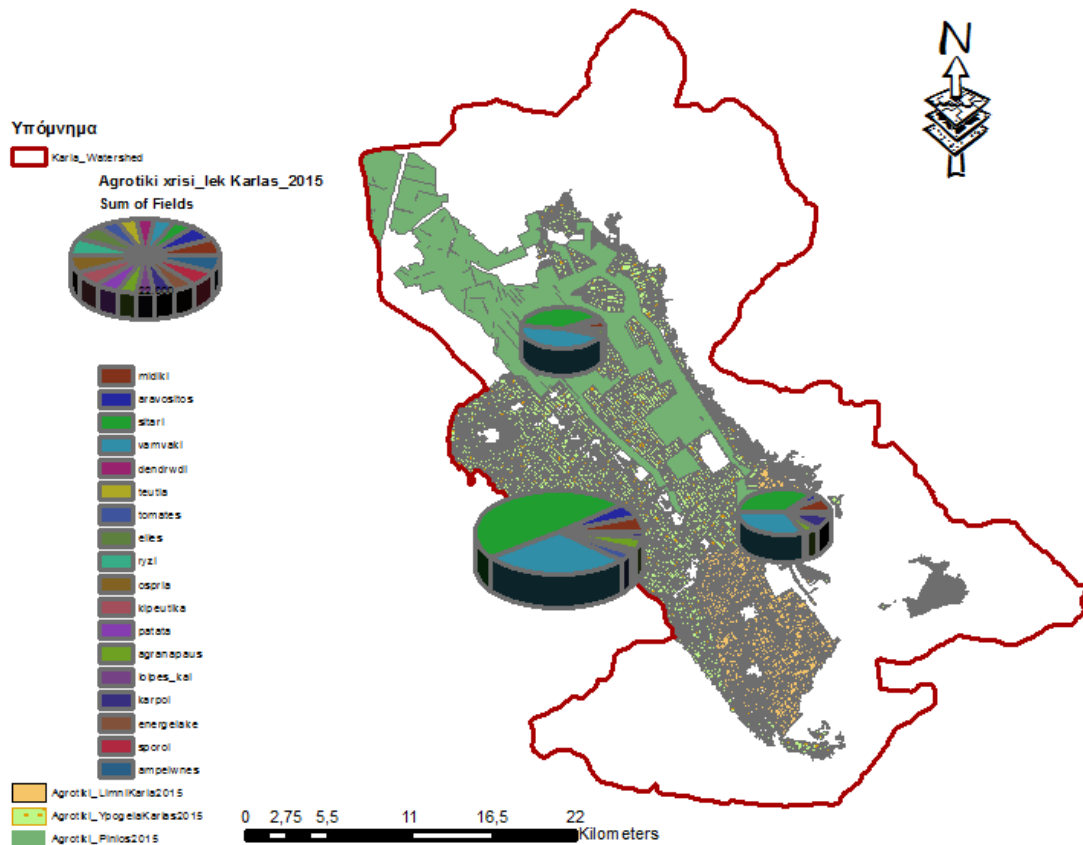
Για το χρονικό διάστημα μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, επιλέχθηκε ο διαχωρισμός της μελετούμενης λεκάνης σε τρεις (3) ζώνες, δηλαδή τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί υπόγεια ύδατα του υδροφορέα της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας, τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού και τη ζώνη η οποία χρησιμοποιεί επιφανειακά ύδατα της νεοσύστατης λίμνης Κάρλας.

Οι ζώνες αυτές περιλαμβάνουν την αγροτική χρήση από το έτος 2008 μέχρι και το έτος 2015, δηλαδή μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας.

Οι δηλούμενες αγροτικές καλλιέργειες στις εξεταζόμενες ζώνες αγροτικών χρήσεων όπως αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, δίνονται σχηματικά ανά ζώνη για τα έτη 2009 και 2015 ακολούθως ανά κατηγορία καλλιέργειας. Οι θεματικοί χάρτες προέκυψαν μετά από επεξεργασία σε περιβάλλον GIS.



Σχήμα 5.11: Κατανομή κατηγοριών αγροτικών χρήσεων γης ανά ζώνη για το έτος 2009



Σχήμα 5.12: Κατανομή κατηγοριών αγροτικών χρήσεων γης ανά ζώνη για το έτος 2015

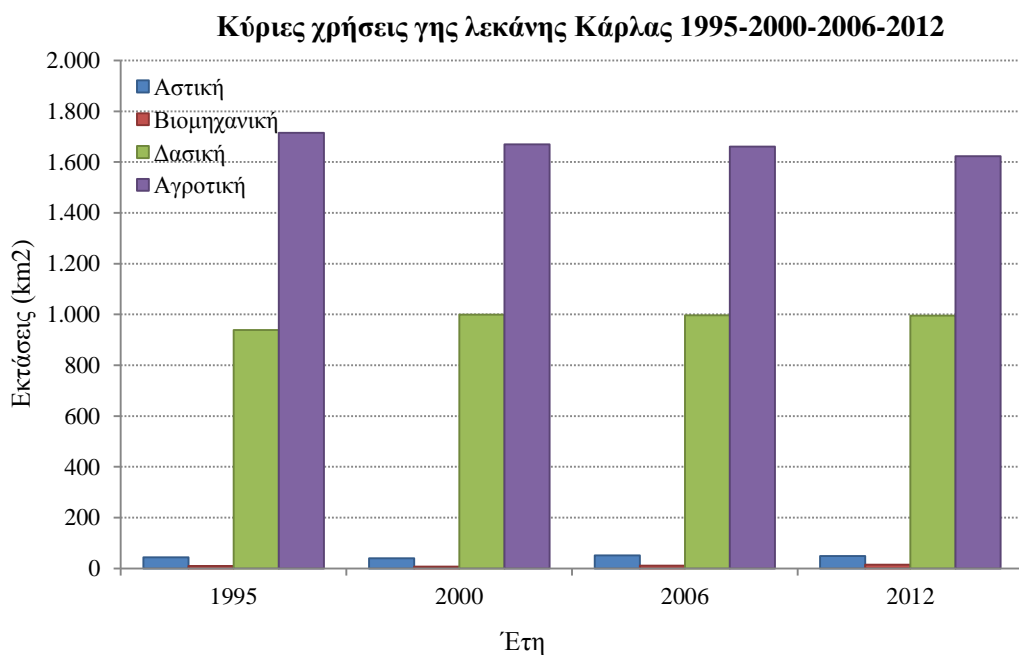
5.1.2.3 Άλλες χρήσεις γης

Όσον αφορά τις υπόλοιπες χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, και με βάση τις τέσσερις (4) κύριες κατηγορίες χρήσεων γης, παρατηρείται ότι, όπως και προαναφέρθηκε, κυρίαρχη χρήση γης στην περιοχή μελέτης είναι η αγροτική, καταλαμβάνοντας το 59,48% της συνολικής έκτασης, ακολουθεί η δασική χρήση η οποία καταλαμβάνει το 36,5% της συνολικής έκτασης, ενώ η αστική και η βιομηχανική χρήση καταλαμβάνουν το 1,78% και το 0,54% αντίστοιχα (έτος 2012).

Διαχρονικά, παρατηρείται σταθερά μείωση της αγροτικής χρήσης στην περιοχή μελέτης κατά 5,4% για τη χρονική περίοδο 1995-2012 (Σχήμα 5.13). Αντίθετα, οι υπόλοιπες χρήσεις εμφανίζουν αύξηση και ειδικότερα η δασική χρήση αυξήθηκε κατά 6,2%, ενώ η αστική και η βιομηχανική χρήση κατά 54% και 10% αντίστοιχα. Αναλυτικά, οι εκτάσεις ανά έτος των κύριων χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.4: Διαχρονική εξέλιξη κύριων χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

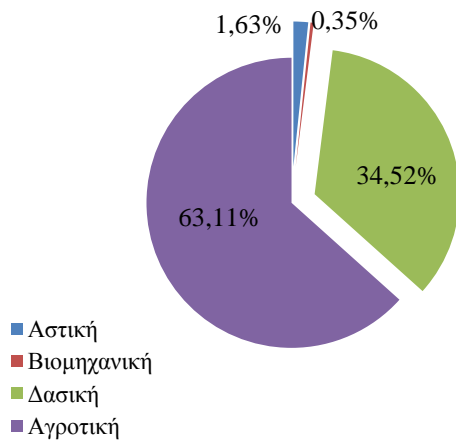
Α/Α	Χρήση γης	Έκταση (km ²)			
		1995	2000	2006	2012
1	Αστική	44,31	39,55	51,76	48,70
2	Βιομηχανική	9,51	7,86	11,29	14,68
3	Δασική	938,29	998,86	997,22	996,00
4	Αγροτική	1715,40	1669,40	1661,31	1622,73



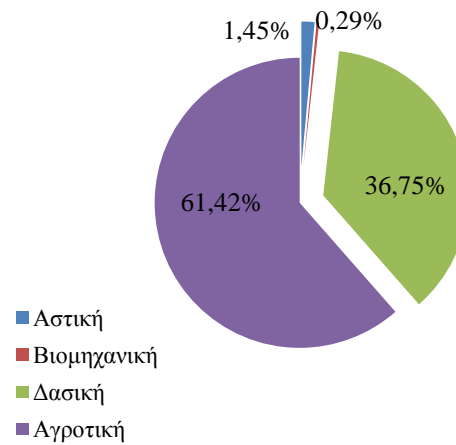
Σχήμα 5.13: Γράφημα διαχρονικής εξέλιξης κύριων χρήσεων γης

Οι ποσοστιαίες μεταβολές των κύριων χρήσεων γης κατά τη διάρκεια των ετών 1995 έως και 2006, δίνονται σχηματικά ακολούθως.

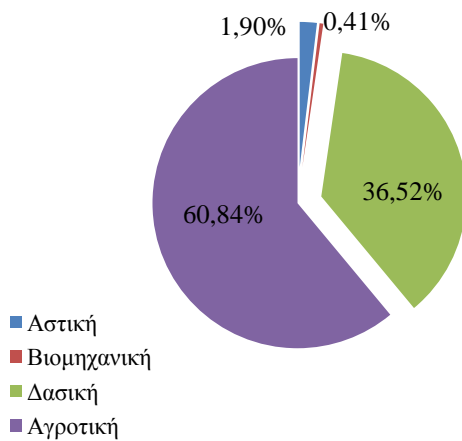
**Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης
λεκάνης Κάρλας
(Corine land cover 1995)**



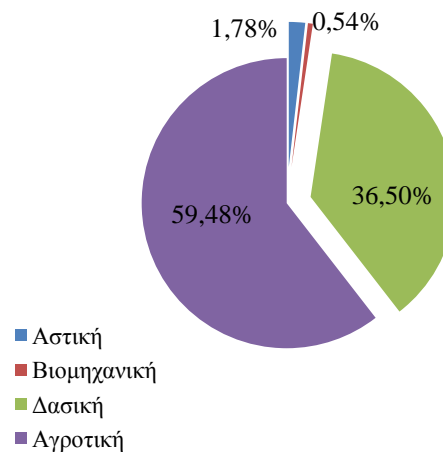
**Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης
λεκάνης Κάρλας
(Corine land cover 2000)**



**Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης
λεκάνης Κάρλας
(Corine land cover 2006)**

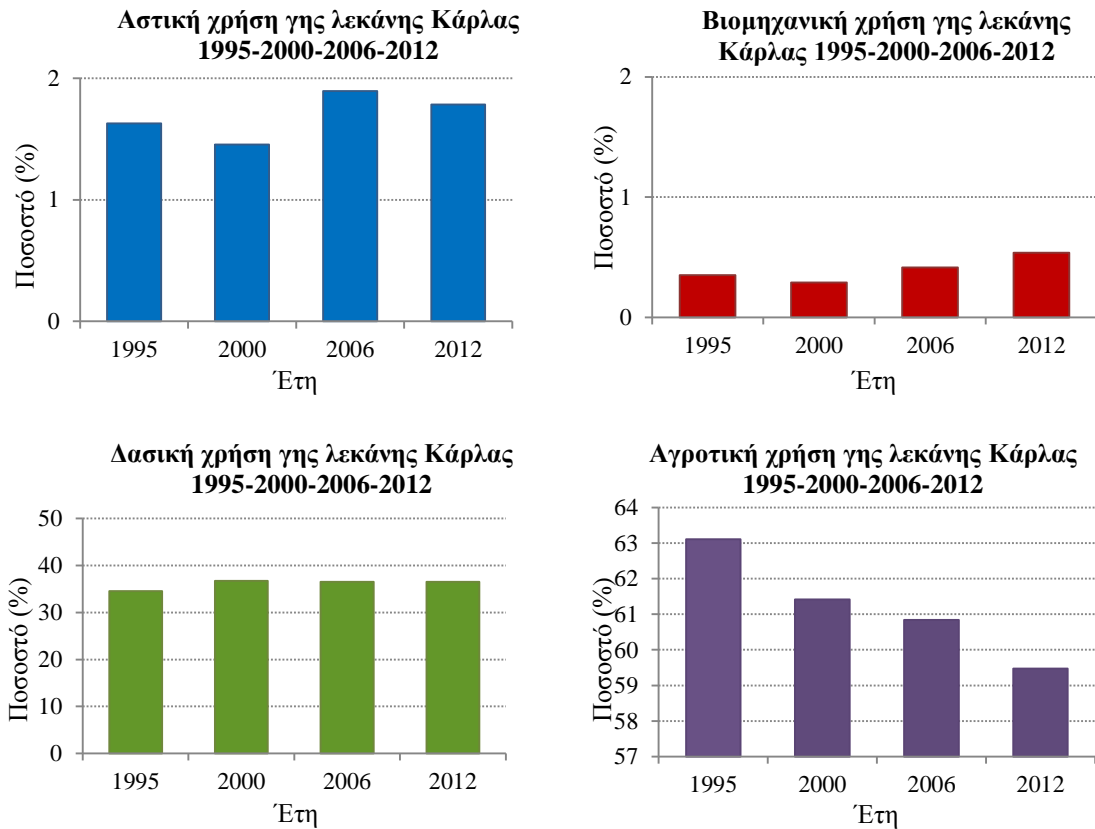


**Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης
λεκάνης Κάρλας
(Corine land cover 2012)**



Σχήμα 5.14: Ποσοστιαία κάλυψη κύριων χρήσεων γης στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας για τα έτη 1995, 2000, 2006 και 2012

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της κάθε κατηγορίας κύριας χρήσης γης ξεχωριστά.

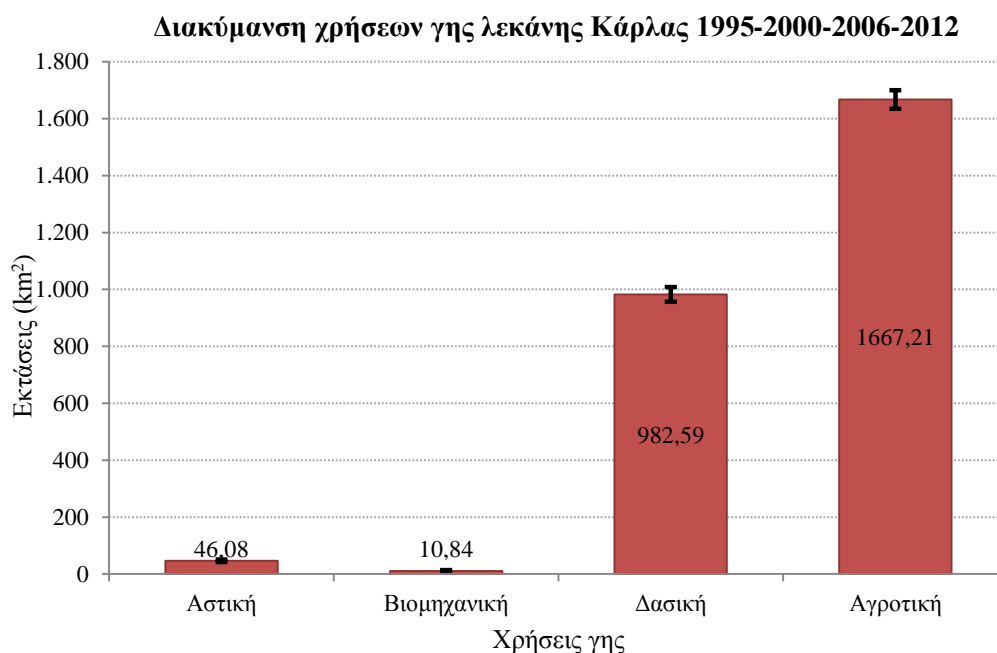


Σχήμα 5.15: Ποσοστιαία μεταβολή χρήσεων γης στην περιοχή της υδρολογικής λεκάνης Κάρλας για τα έτη 1995, 2000, 2006 και 2012

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση και η διακύμανση του πληθυσμού κάθε κατηγορίας χρήσεων γης. Όπως είναι αναμενόμενο, η μεγαλύτερη διακύμανση τιμών παρατηρείται για την αγροτική χρήση.

Πίνακας 5.5: Στατιστικά μεγέθη των κύριων χρήσεων γης

Α/Α	Χρήσεις γης	Έκταση (km ²)				Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση	Διακύμανση πληθυσμού
		1995	2000	2006	2012			
1	Αστική	44,31	39,55	51,76	48,70	46,08	4,61	21,25
2	Βιομηχανική	9,51	7,86	11,29	14,68	10,84	2,53	6,39
3	Δασική	938,29	998,86	997,22	996,00	982,59	25,60	655,29
4	Αγροτική	1715,40	1669,40	1661,31	1622,73	1667,21	32,94	1084,94



Σχήμα 5.16: Διακύμανση κύριων χρήσεων γης

5.2 Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών

Οι ολικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό ανά ζώνη στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, με βάση την έκταση που αυτές καταλαμβάνουν και ανά έτος, υπολογίστηκαν με βάση τον Πίνακα 4.3 και δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, από το έτος 2008 και έπειτα (έναρξη επανασύστασης του ταμιευτήρα Κάρλας), η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα υπόγειου νερού για άρδευση των καλλιεργειών στη ζώνη του υδροφορέα Κάρλας μειώθηκε σημαντικά, καθώς μέρος των καλλιεργειών αρδεύονταν πλέον από τον ταμιευτήρα. Η εξέλιξη των υδατικών αναγκών των αγροτικών καλλιεργειών ανά υδατικό σώμα στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015 δίνονται στο Σχήμα 5.17.

Με την πάροδο των ετών, οι ολικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών μειώνονται, καθώς επιλέγεται η αντικατάσταση των υδροβόρων καλλιεργειών με λιγότερο υδροβόρες.

Πίνακας 5.6: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας ανά ζώνη

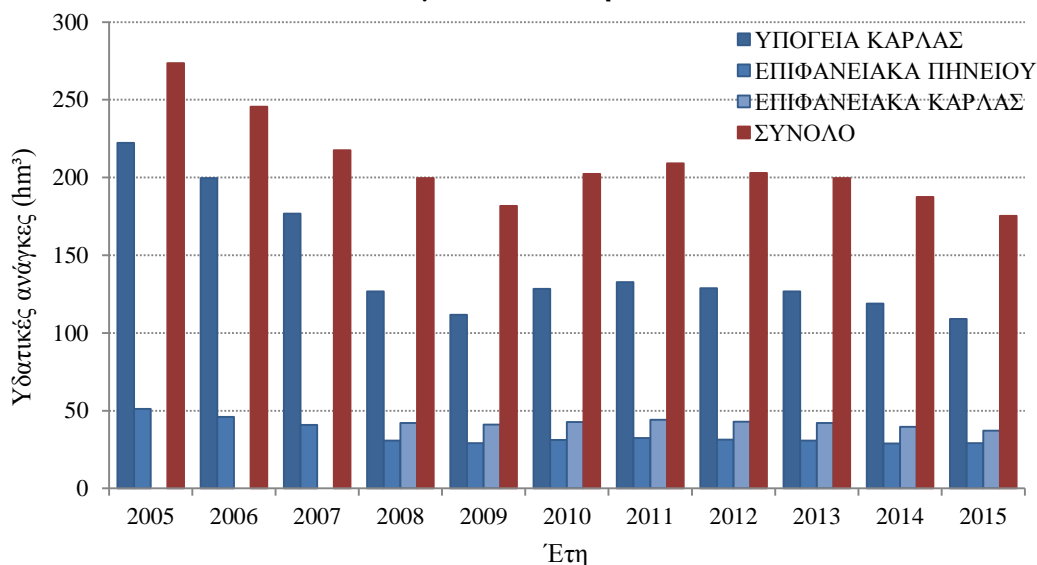
ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΚΑΡΛΑΣ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Υδατικές ανάγκες (hm ³)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	3,61	8,30	12,98	9,29	6,77	6,56	6,32	6,62	6,85	8,75	9,25
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,22	8,78	6,34	5,58	6,70	3,28	5,25	7,91	9,87	8,62	8,46
3	ΣΙΤΑΡΙ	1,35	14,91	28,46	21,31	21,90	14,77	13,47	14,26	14,66	16,32	19,41
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	147,53	116,63	85,73	63,59	57,61	47,32	53,36	47,28	37,46	49,10	57,30
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	14,58	12,95	11,31	4,45	0,01	3,05	3,45	3,74	3,83	1,95	0,02
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	10,40	6,44	2,48	3,08	4,01	1,37	0,11	0,87	1,03	1,05	0,92
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,77	3,32	5,87	5,02	7,10	2,88	1,33	1,94	2,02	3,05	5,56
8	ΕΛΙΕΣ	9,62	9,39	9,15	3,91	0,70	1,79	1,76	1,75	1,54	1,20	0,96
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,18	0,27	0,37	0,22	0,19	0,16	0,14	0,19	0,20	0,23	0,35
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	2,29	2,18	2,07	1,27	1,07	1,01	1,22	1,18	1,13	0,95	0,89
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	20,80	16,45	12,09	9,00	5,67	46,25	46,34	43,09	48,10	27,74	5,91
	ΣΥΝΟΛΟ	222,36	199,60	176,85	126,71	111,73	128,43	132,74	128,82	126,69	118,95	109,02

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Υδατικές ανάγκες (hm ³)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	0,83	1,91	2,99	2,26	2,18	1,60	1,54	1,61	1,67	2,13	2,18
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	2,59	2,02	1,46	1,36	0,92	0,80	1,28	1,93	2,40	2,10	0,92
3	ΣΙΤΑΡΙ	0,31	3,44	6,56	5,19	4,30	3,60	3,28	3,47	3,57	3,97	4,30
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	34,00	26,88	19,76	15,48	20,56	11,52	12,99	11,51	9,12	11,96	20,56
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	3,36	2,98	2,61	1,08	0,11	0,74	0,84	0,91	0,93	0,48	0,11

6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	2,40	1,48	0,57	0,75	0,59	0,33	0,03	0,21	0,25	0,25	0,59
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,18	0,76	1,35	1,22	0,09	0,70	0,32	0,47	0,49	0,74	0,09
8	ΕΛΙΕΣ	2,22	2,16	2,11	0,95	0,00	0,43	0,43	0,43	0,37	0,29	0,00
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,04	0,06	0,08	0,05	0,00	0,04	0,03	0,05	0,05	0,06	0,00
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,53	0,50	0,48	0,31	0,04	0,25	0,30	0,29	0,28	0,23	0,04
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	4,79	3,79	2,79	2,19	0,32	11,26	11,28	10,49	11,71	6,76	0,32
	ΣΥΝΟΛΟ	51,25	46,00	40,76	30,85	29,11	31,27	32,32	31,37	30,85	28,96	29,11

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ												
Α/Α	Καλλιέργεια	Υδατικές ανάγκες (hm ³)										
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	ΜΗΔΙΚΗ	0,00	0,00	0,00	3,09	4,36	2,18	2,10	2,20	2,28	2,91	5,36
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	0,00	0,00	0,00	1,86	2,17	1,09	1,74	2,63	3,28	2,87	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	0,00	0,00	0,00	7,08	5,94	4,91	4,48	4,74	4,87	5,43	4,62
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	0,00	0,00	0,00	21,15	16,79	15,73	17,74	15,72	12,46	16,33	17,88
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,00	0,00	0,00	1,48	0,00	1,01	1,15	1,24	1,27	0,65	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	0,00	0,00	0,00	1,02	2,06	0,45	0,04	0,29	0,34	0,35	0,16
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,00	0,00	0,00	1,67	1,40	0,96	0,44	0,65	0,67	1,01	0,76
8	ΕΛΙΕΣ	0,00	0,00	0,00	1,30	0,36	0,59	0,59	0,58	0,51	0,40	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,00	0,00	0,00	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	0,00	0,00	0,00	0,42	0,36	0,33	0,41	0,39	0,38	0,31	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	0,00	0,00	0,00	2,99	7,48	15,38	15,41	14,33	16,00	9,23	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	0,00	0,00	0,00	42,14	40,96	42,71	44,14	42,84	42,13	39,55	37,13

Εξέλιξη υδατικών αναγκών αγροτικών καλλιεργειών ανά υδατικό σώμα κατά τα έτη 2005-2015



Σχήμα 5.17: Εξέλιξη υδατικών αναγκών αγροτικών καλλιεργειών ανά υδατικό σώμα στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας κατά τα έτη 2005-2015

5.3 Συσχέτιση χρονοσειρών

Στην παρούσα ενότητα, επιδιώχθηκε να εξεταστεί η μεταβολή των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, της παραγωγικής τους απόδοσης καθώς και των υδατικών τους αναγκών σε συνάρτηση με διάφορες παραμέτρους όπως οι κλιματικές συνθήκες στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, οι δείκτες τιμών προϊόντων, αλλά και το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διερευνηθεί ο ρόλος των προαναφερόμενων παραγόντων στη διαμόρφωση της αγροτικής φυσιονομίας στην περιοχή μελέτης.

Η μεθοδολογία για τη στατιστική συσχέτιση των χρονοσειρών των εξεταζόμενων μεγεθών που ακολουθήθηκε βασίστηκε σε στοιχεία της βιβλιογραφίας και μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί. Ενδεικτικά, αναφέρεται η εξέταση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στις μεταβολές της απόδοσης των καλλιεργειών στις Η.Π.Α., καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ κλιματικών, γεωργικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επικεντρώνονται στις κλιματικές επιπτώσεις σ' ότι αφορά την αύξηση των θρεπτικών ουσιών σε επιφανειακά υδάτινα σώματα και την εξάντληση των υδάτων υπόγειων υδροφορέων με τη χρήση και επεξεργασία χρονοσειρών, κατά Reilly et al. (2003), καθώς επίσης και η κατάστρωση γραμμικών σχέσεων συσχέτισης μεταξύ της απόδοσης και του δείκτη Κατάστασης Βλάστησης VCI (Vegetation Condition Index), με τη χρήση χρονοσειρών, για την πρόωρη εκτίμηση της απόδοσης του βαμβακιού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας κατά Domenikiotis et al. (2010).

5.3.1 Συσχέτιση απόδοσης καλλιεργειών και μετεωρολογικών δεδομένων

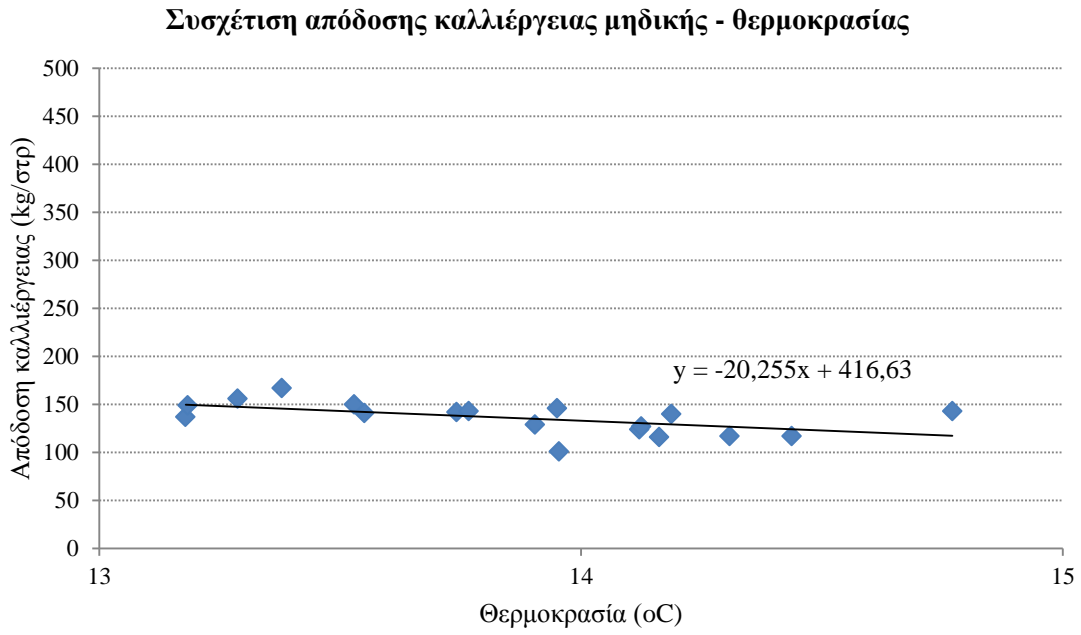
Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στην παραγωγική απόδοση (yield) των επικρατέστερων καλλιεργειών

στην περιοχή μελέτης και των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων, δηλαδή τη μέση ετήσια θερμοκρασία και την ετήσια αθροιστική βροχόπτωση, προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R², ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c. Όταν R>R_c συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν R<R_c, η γραμμική συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα.

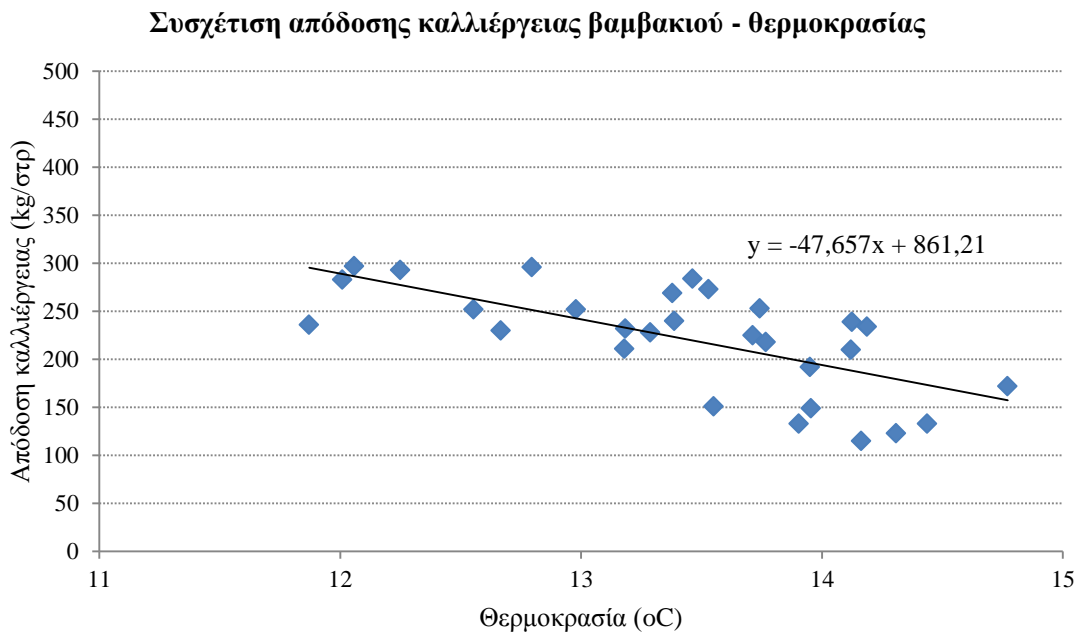
Πίνακας 5.7: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ της απόδοσης των επικρατέστερων καλλιεργειών (yield) και των μετεωρολογικών δεδομένων

Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Θερμοκρασία (°C)			
	R ²	R	R _c	Έλεγχος
Μηδική	0,30429	-0,55162	0,48507	R>R _c
Βαμβάκι	0,45027	-0,67102	0,37796	R>R _c
Αραβόσιτος	0,69702	-0,83488	0,37796	R>R _c
Σιτάρι	0,58945	-0,76775	0,37796	R>R _c
Ζαχαρότευτλα	0,27740	-0,52669	0,37796	R>R _c
Αμπελώνες	0,40823	-0,63893	0,37796	R>R _c
Κηπευτικά	0,73209	-0,85562	0,37796	R>R _c

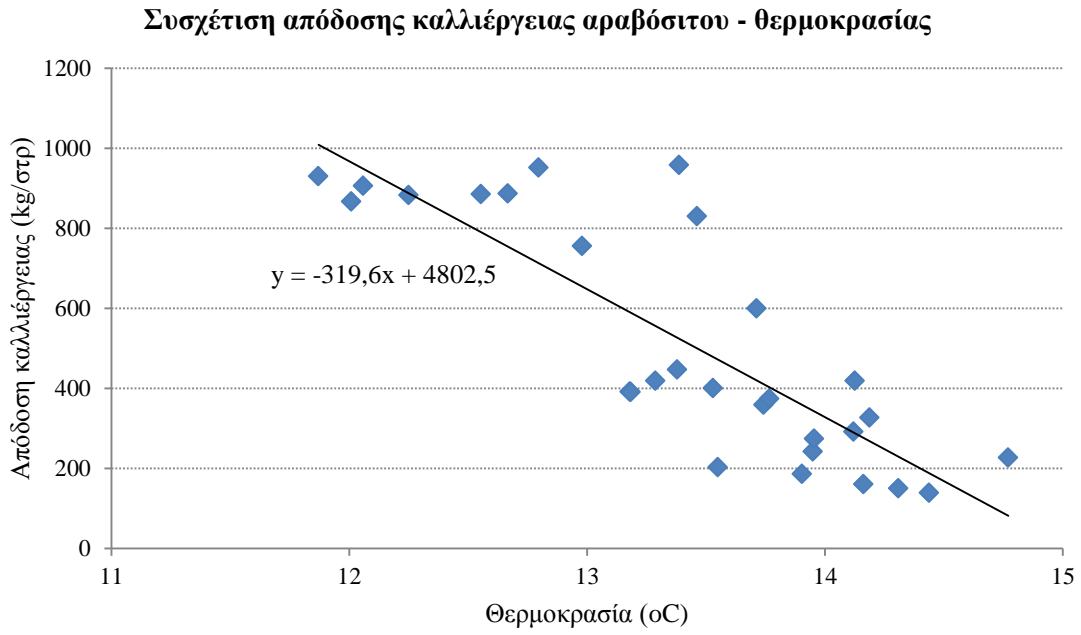
Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Βροχόπτωση (mm)			
	R ²	R	R _c	Έλεγχος
Μηδική	0,02923	0,17098	0,29173	R<R _c
Βαμβάκι	0,01307	0,11434	0,37796	R<R _c
Αραβόσιτος	0,14223	0,37713	0,37796	R<R _c
Σιτάρι	0,05053	0,22480	0,37796	R<R _c
Ζαχαρότευτλα	0,04035	0,20088	0,29488	R<R _c
Αμπελώνες	0,06711	0,25905	0,37796	R<R _c
Κηπευτικά	0,08602	0,29328	0,37796	R<R _c



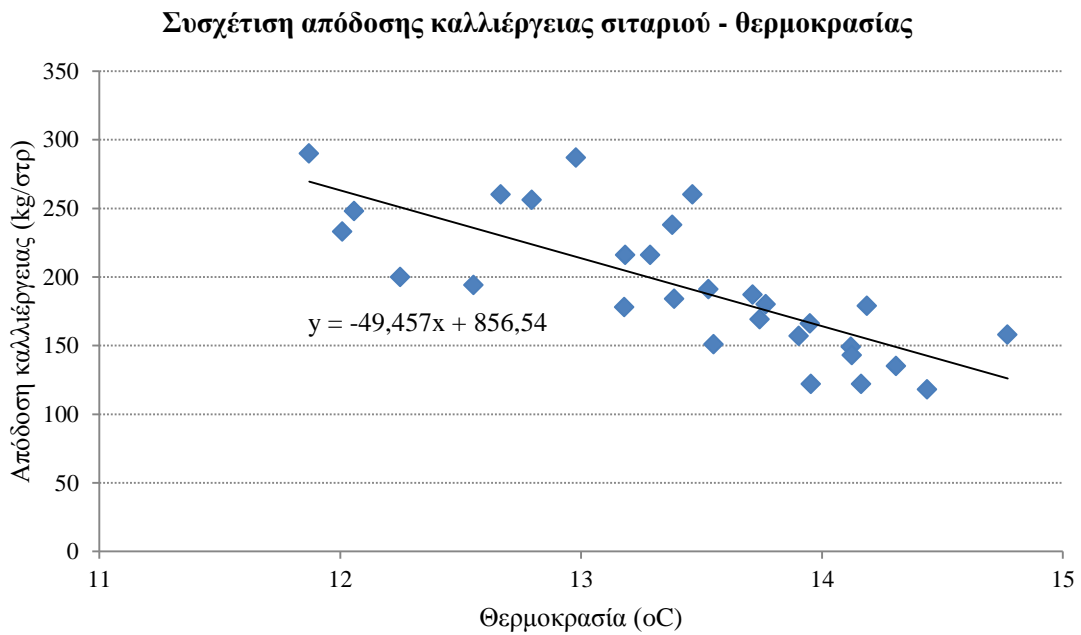
Σχήμα 5.18: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας μηδικής και θερμοκρασίας



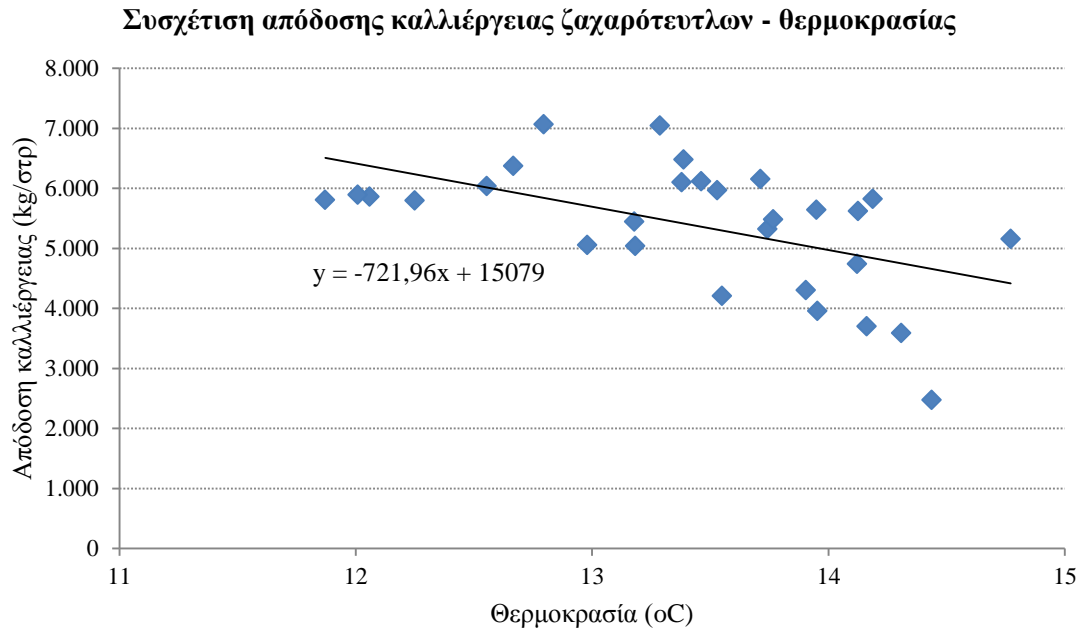
Σχήμα 5.19: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας βαμβακιού και θερμοκρασίας



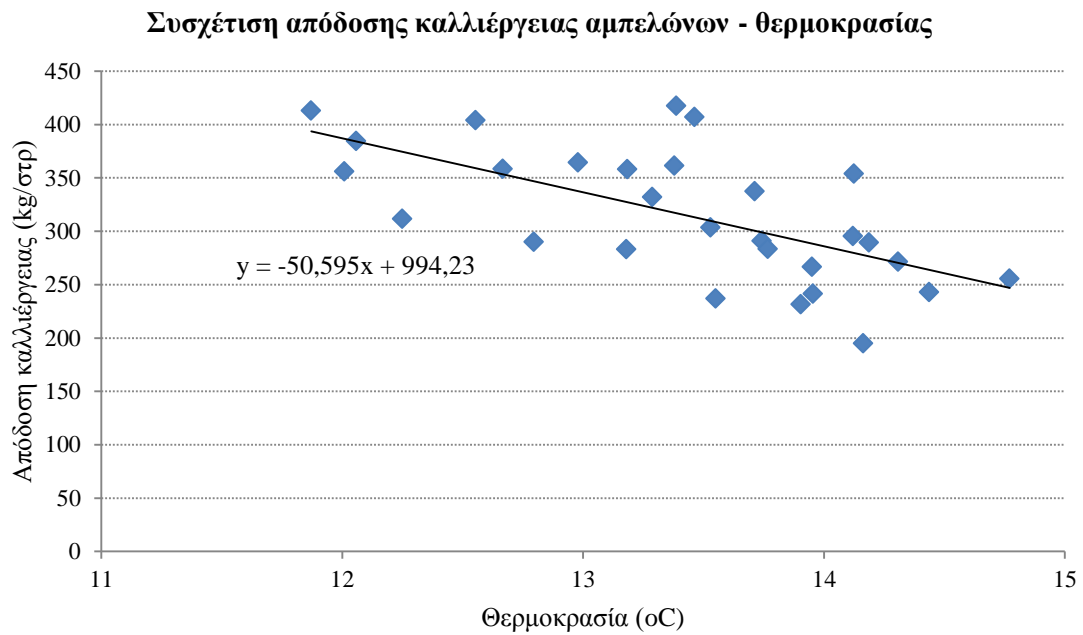
Σχήμα 5.20: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας αραβόσιτου και θερμοκρασίας



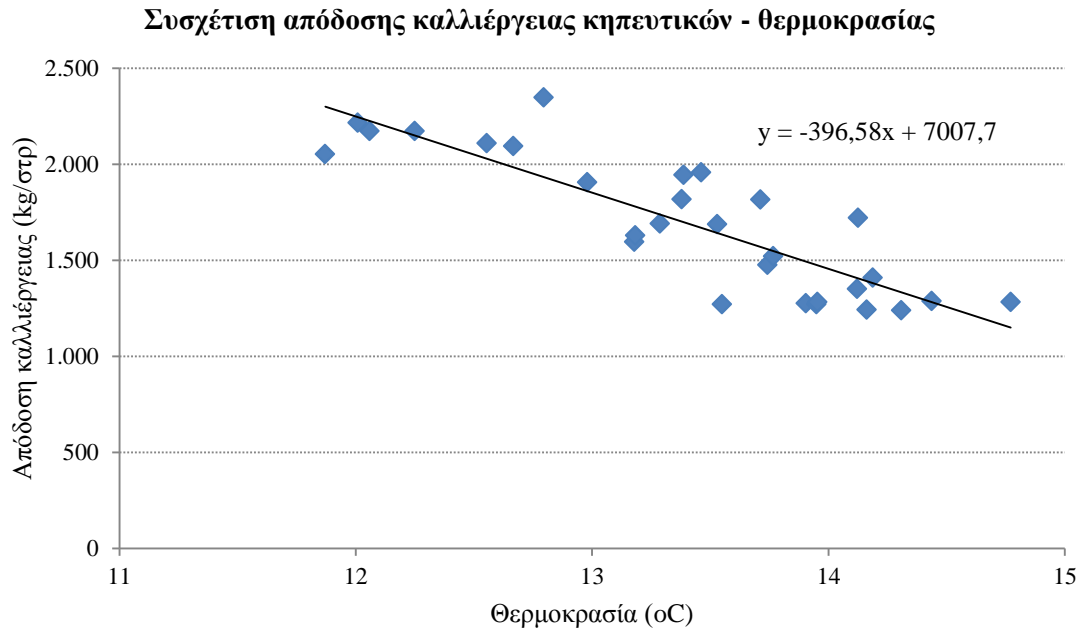
Σχήμα 5.21: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας σιταριού και θερμοκρασίας



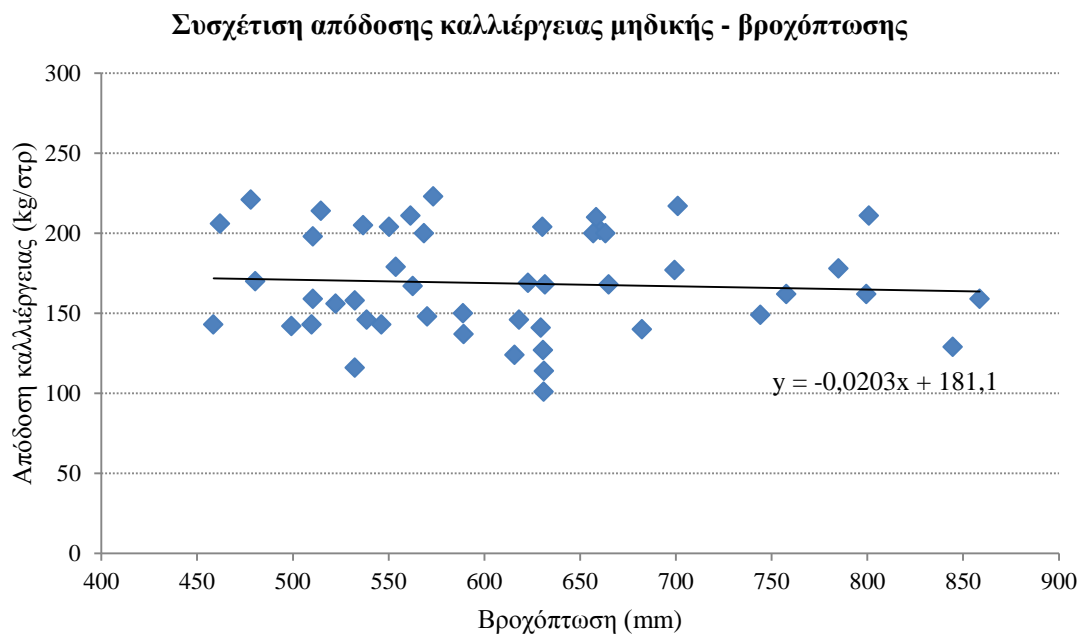
Σχήμα 5.22: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας ζαχαρότευτλων και θερμοκρασίας



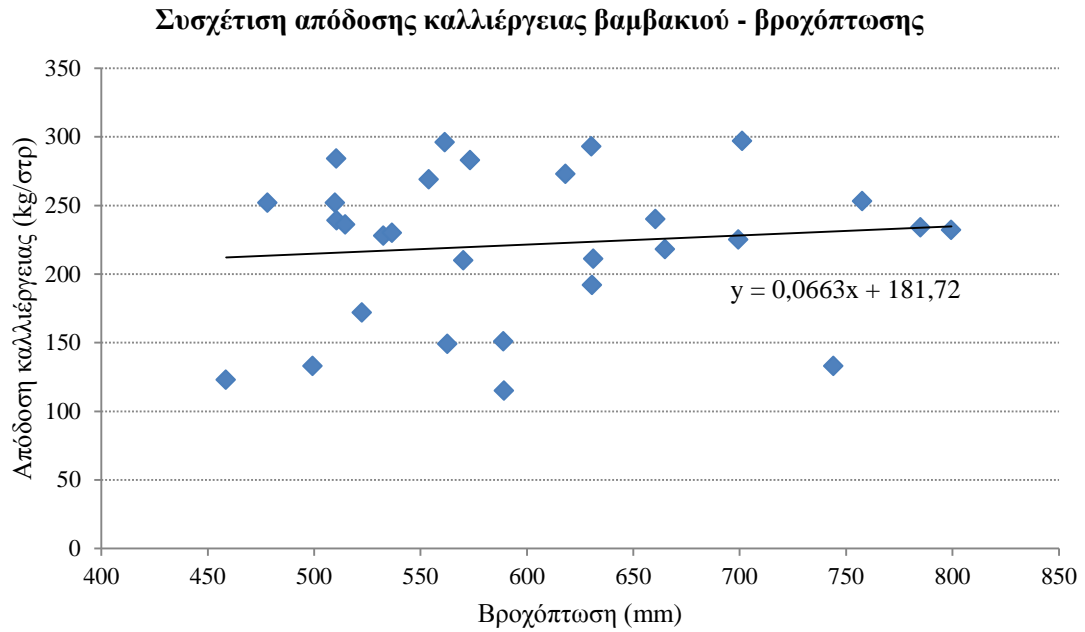
Σχήμα 5.23: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας αμπελώνων και θερμοκρασίας



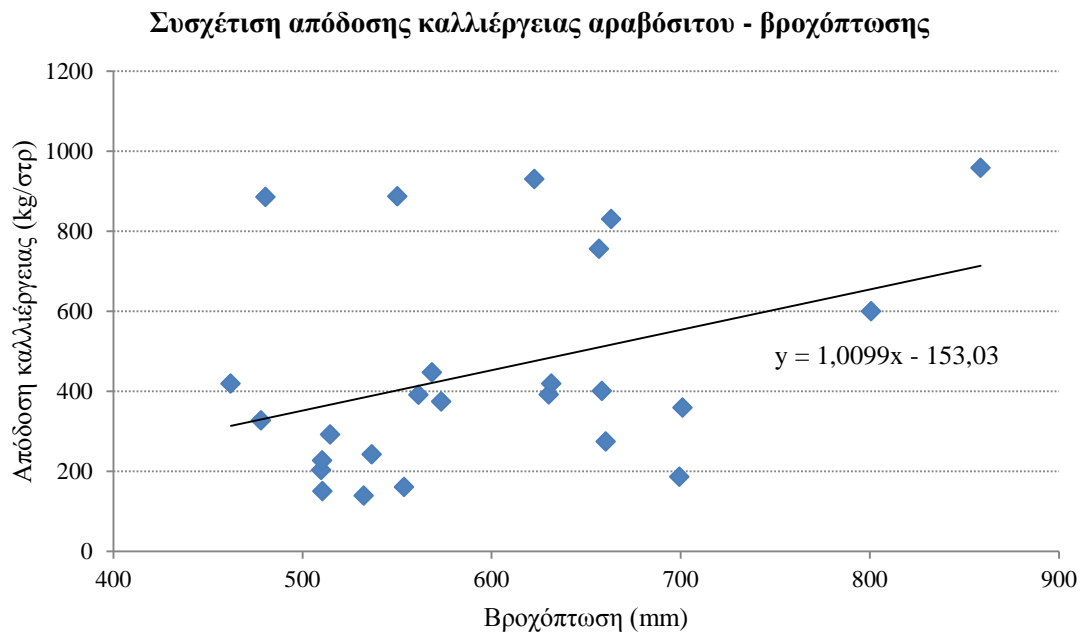
Σχήμα 5.24: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας κηπευτικών και θερμοκρασίας



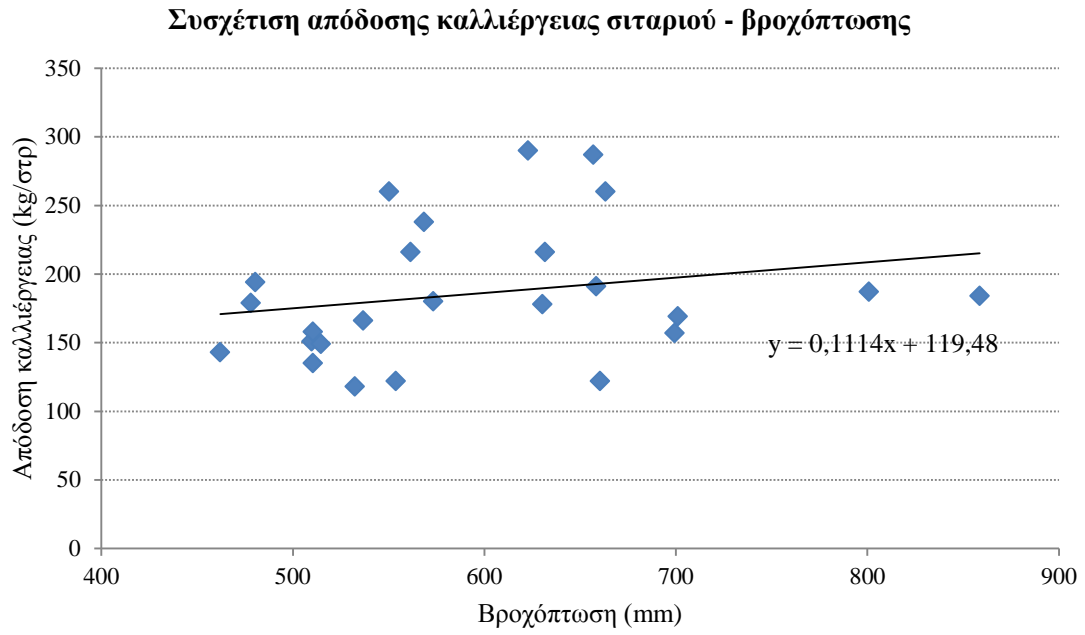
Σχήμα 5.25: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας μηδικής και βροχόπτωσης



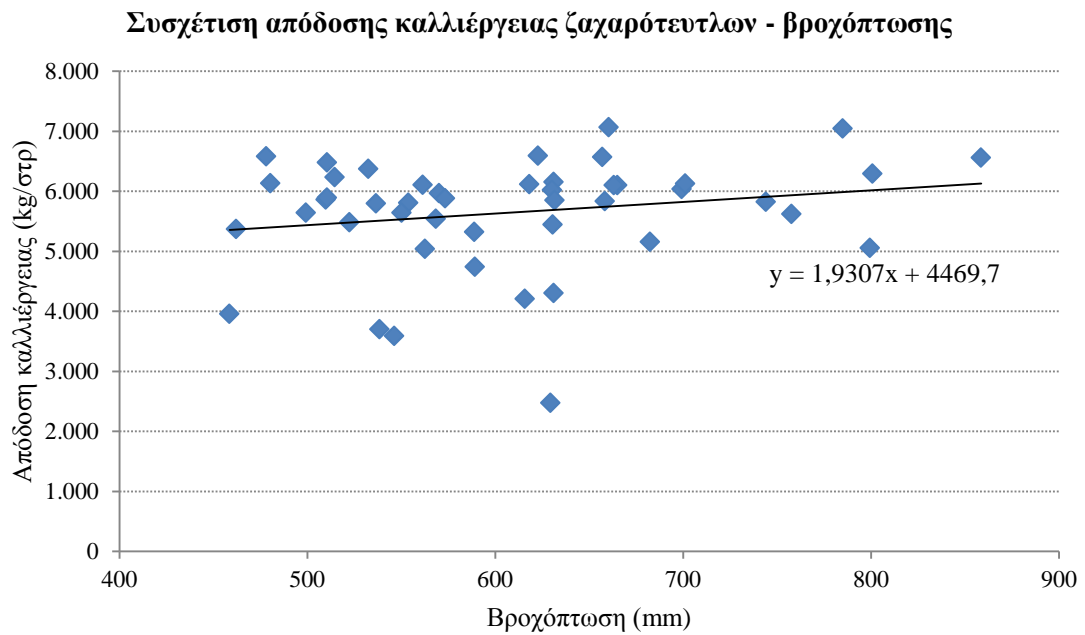
Σχήμα 5.26: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας βαμβακιού και βροχόπτωσης



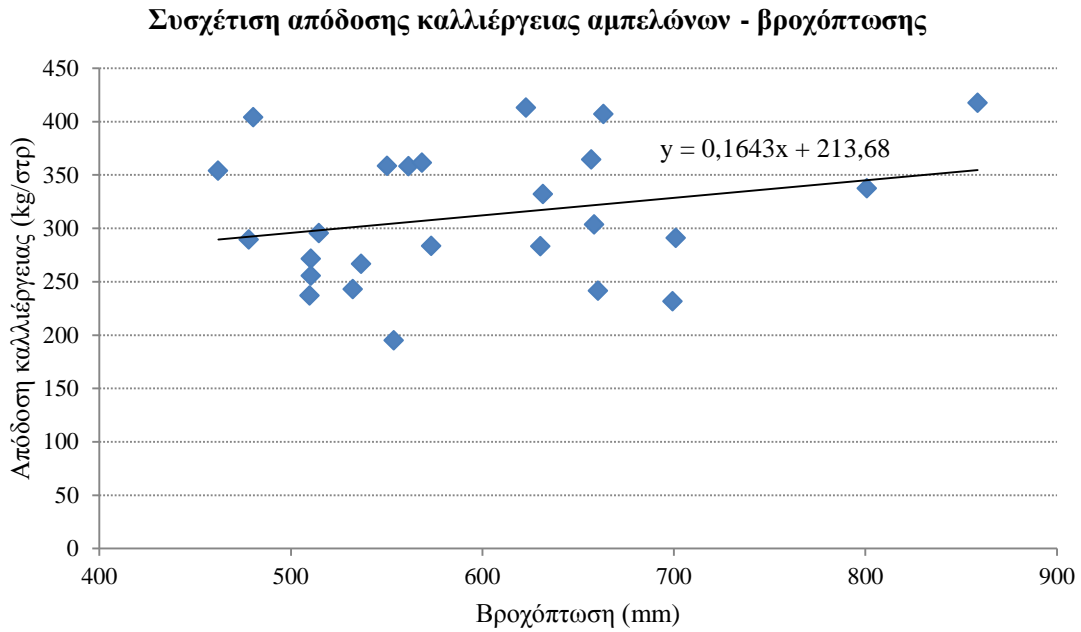
Σχήμα 5.27: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας αραβόσιτου και βροχόπτωσης



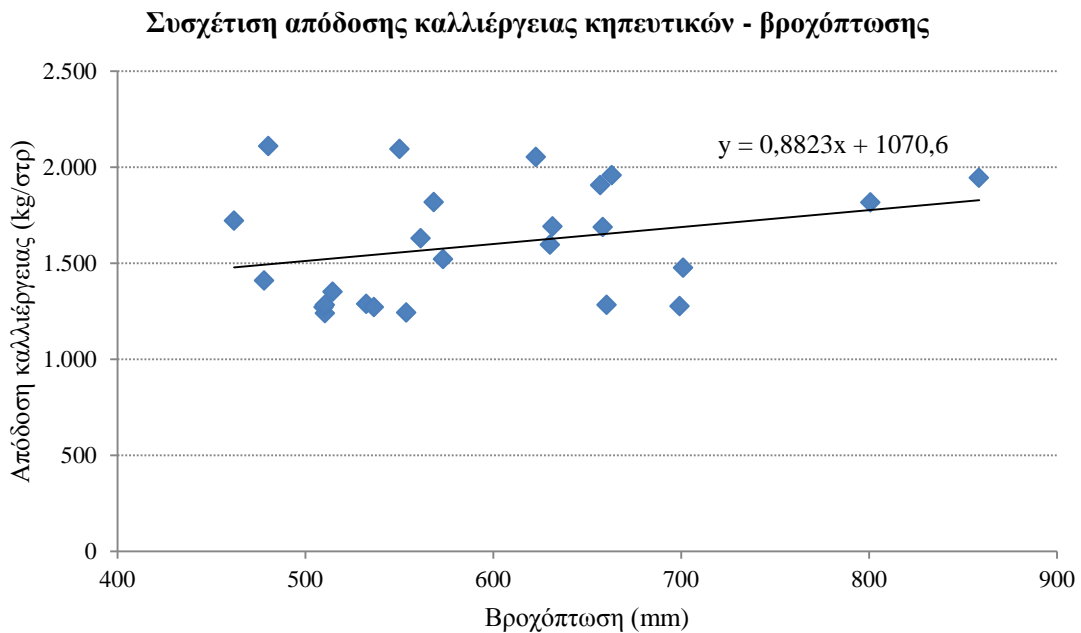
Σχήμα 5.28: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας σιταριού και βροχόπτωσης



Σχήμα 5.29: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας ζαχαρότευτλων και βροχόπτωσης



Σχήμα 5.30: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας αμπελώνων και βροχόπτωσης



Σχήμα 5.31: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας κηπευτικών και βροχόπτωσης

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση (αρνητική συσχέτιση) μεταξύ της παραγωγικής απόδοσης των καλλιεργειών με τις επικρατούσες θερμοκρασίες, γεγονός που σημαίνει ότι η απόδοση μιας καλλιέργειας επηρεάζεται αρνητικά από την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι καλλιέργειες που επηρεάζονται περισσότερο είναι ο αραβόσιτος και τα κηπευτικά. Αντίθετα, παρατηρήθηκε στατιστικά μη σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγικής απόδοσης των καλλιεργειών με τις βροχοπτώσεις ($R < 0,5$), δηλαδή η απόδοση των

καλλιεργειών επηρεάζονται σε μικρό βαθμό από τις βροχοπτώσεις στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, η απόδοση των καλλιεργειών αυξάνεται με την αύξηση των βροχοπτώσεων, αλλά ο βαθμός συσχέτισης των δύο μεγεθών είναι μικρός. Αυτό το εύρημα δικαιολογείται από το γεγονός ότι ακόμη και σε συνθήκες ανομβρίας θα εφαρμοστεί η κατάλληλη ποσότητα αρδευτικού νερού από τους γεωργούς, ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική απόδοση.

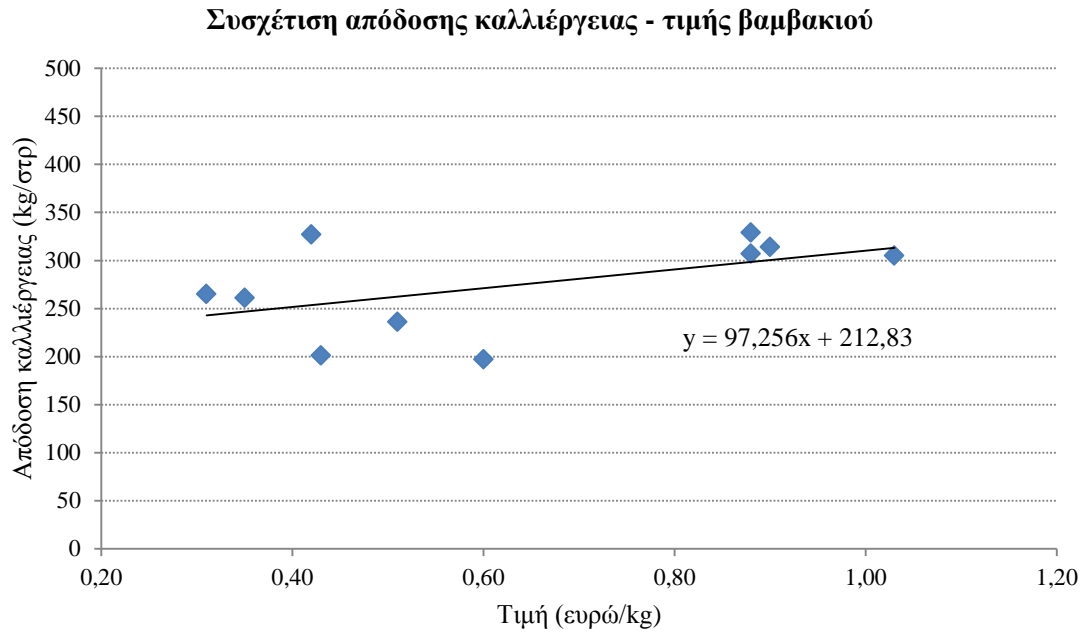
5.3.2 Συσχέτιση απόδοσης καλλιεργειών και τιμών προϊόντων

Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στην παραγωγική απόδοση (yield) των επικρατέστερων καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης και του δείκτη τιμών προϊόντων (ΔΤΠ), προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c .

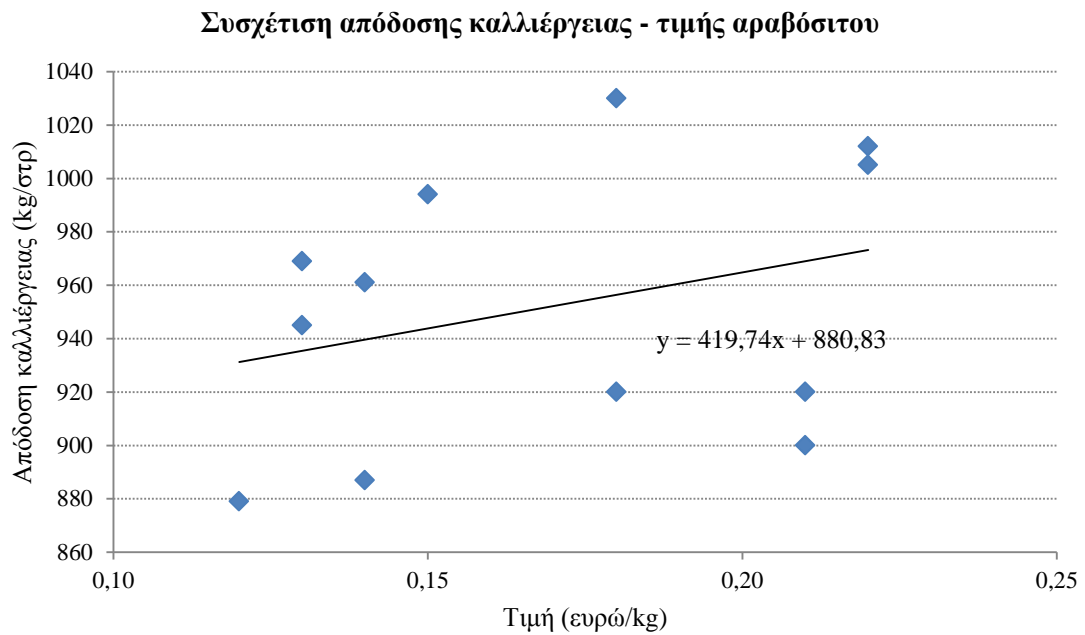
Όταν $R > R_c$ συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν $R < R_c$, η γραμμική συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα. Σημειώνεται ότι οι δείκτες τιμών προϊόντων ήταν διαθέσιμοι για τις καλλιέργειες βαμβακιού, αραβόσιτου και σιταριού, οπότε και πραγματοποιήθηκαν οι σχετικές στατιστικές συσχέτισεις.

Πίνακας 5.8: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ της απόδοσης των επικρατέστερων καλλιεργειών (yield) και του δείκτη τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)

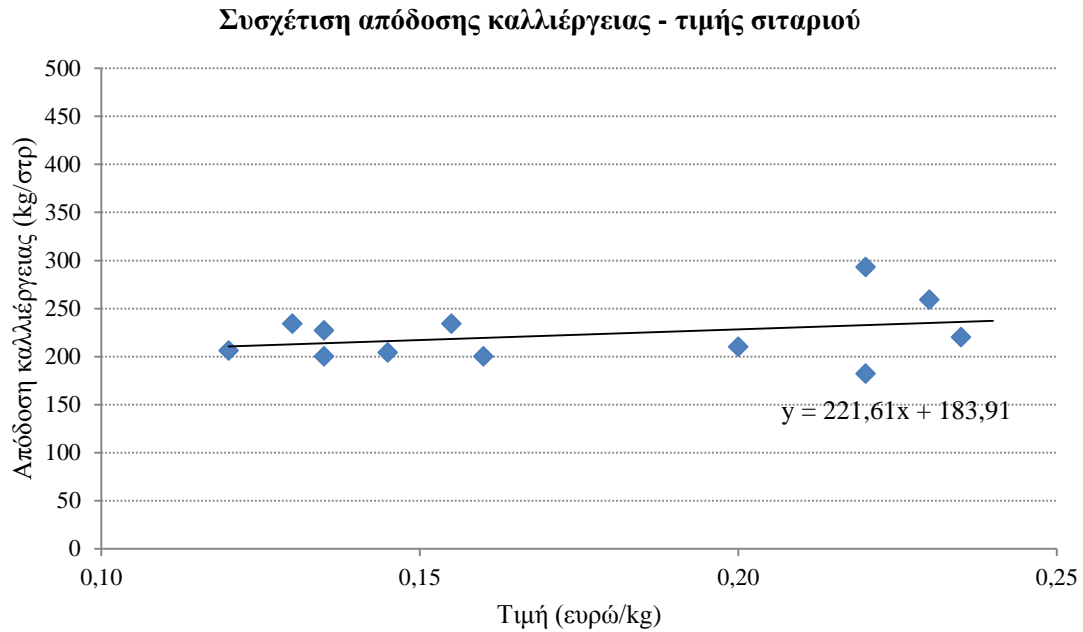
Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Δείκτης τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)			
	R^2	R	R_c	Έλεγχος
Βαμβάκι	0,26901	0,51867	0,55470	$R < R_c$
Αραβόσιτος	0,09904	0,31471	0,55470	$R < R_c$
Σιτάρι	0,10323	0,32130	0,55470	$R < R_c$



Σχήμα 5.32: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας και τιμής καλλιέργειας βαμβακιού



Σχήμα 5.33: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας και τιμής καλλιέργειας αραβόσιτου



Σχήμα 5.34: Συσχέτιση απόδοσης καλλιέργειας και τιμής καλλιέργειας σιταριού

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρήθηκε πολύ μικρή συσχέτιση μεταξύ της παραγωγικής απόδοσης των καλλιεργειών και του δείκτη τιμών προϊόντων, δηλαδή η αύξηση της απόδοσης στα καλλιεργούμενα είδη δεν οδηγεί σε αντίστοιχη μεταβολή των τιμών των αγροτικών προϊόντων ή και το αντίστροφο. Επιπρόσθετα, από το στατιστικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών, δηλαδή δεν παρατηρείται σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο μεγεθών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι υπάρχουν άλλοι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν πιο άμεσα στην απόδοση των καλλιεργειών συγκριτικά με το δείκτη τιμών προϊόντων.

5.3.3 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιεργειών και μετεωρολογικών δεδομένων

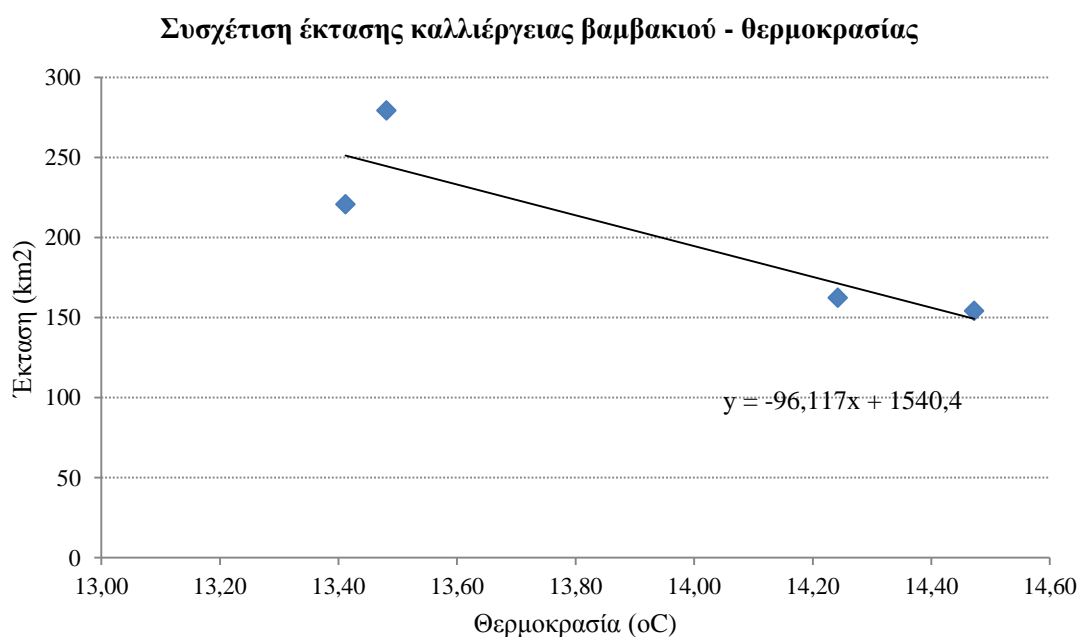
Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στις εκτάσεις (area) των επικρατέστερων καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης και των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων, δηλαδή τη μέση ετήσια θερμοκρασία και την ετήσια αθροιστική βροχόπτωση, προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c . Όταν $R > R_c$ συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν $R < R_c$, η γραμμική συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα.

Πίνακας 5.9: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των εκτάσεων των επικρατέστερων καλλιεργειών (area) και των μετεωρολογικών δεδομένων

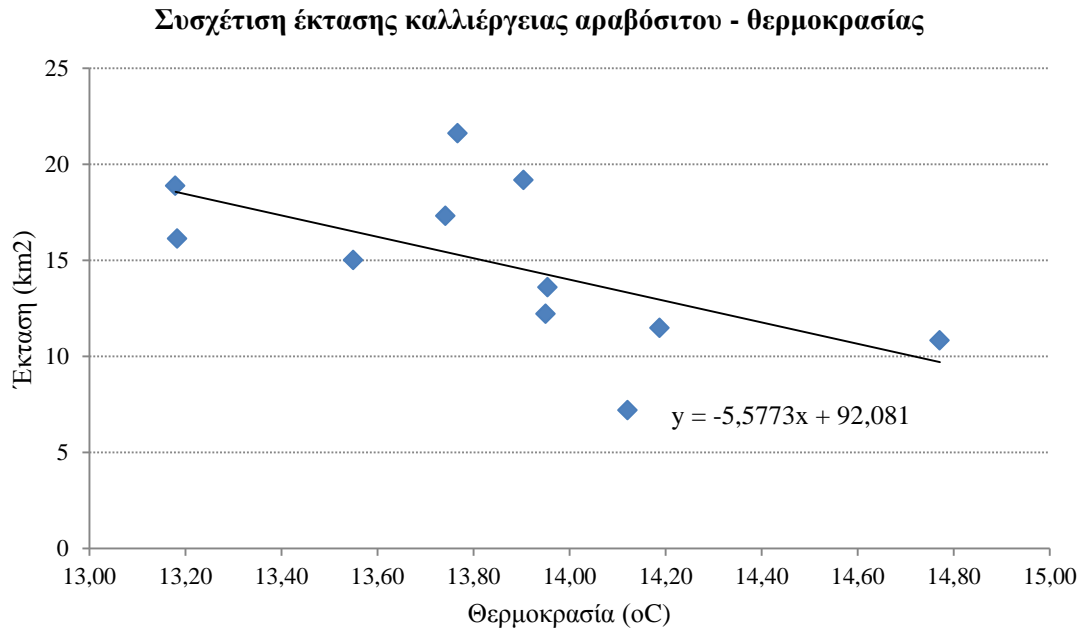
Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Θερμοκρασία (°C)			
	R ²	R	Rc	Έλεγχος
Μηδική	0,26845	-0,51812	0,63246	R<Rc
Βαμβάκι	0,77990	-0,88312	0,63246	R>Rc
Αραβόσιτος	0,35057	-0,59209	0,63246	R>Rc
Σιτάρι	0,43978	-0,66316	0,63246	R>Rc
Ζαχαρότευτλα	0,63676	-0,79797	0,63246	R>Rc
Αμπελώνες	0,42707	-0,65351	0,63246	R>Rc
Κηπευτικά	0,65696	-0,81053	0,63246	R>Rc

Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Βροχόπτωση (mm)			
	R ²	R	Rc	Έλεγχος
Μηδική	0,46944	0,68516	0,63246	R>Rc
Βαμβάκι	0,48492	0,69636	0,63246	R>Rc
Αραβόσιτος	0,32880	0,57341	0,63246	R<Rc
Σιτάρι	0,23548	0,48526	0,63246	R<Rc
Ζαχαρότευτλα	0,29811	0,54599	0,63246	R<Rc
Αμπελώνες	0,17142	0,41403	0,63246	R<Rc
Κηπευτικά	0,51005	0,71418	0,63246	R>Rc

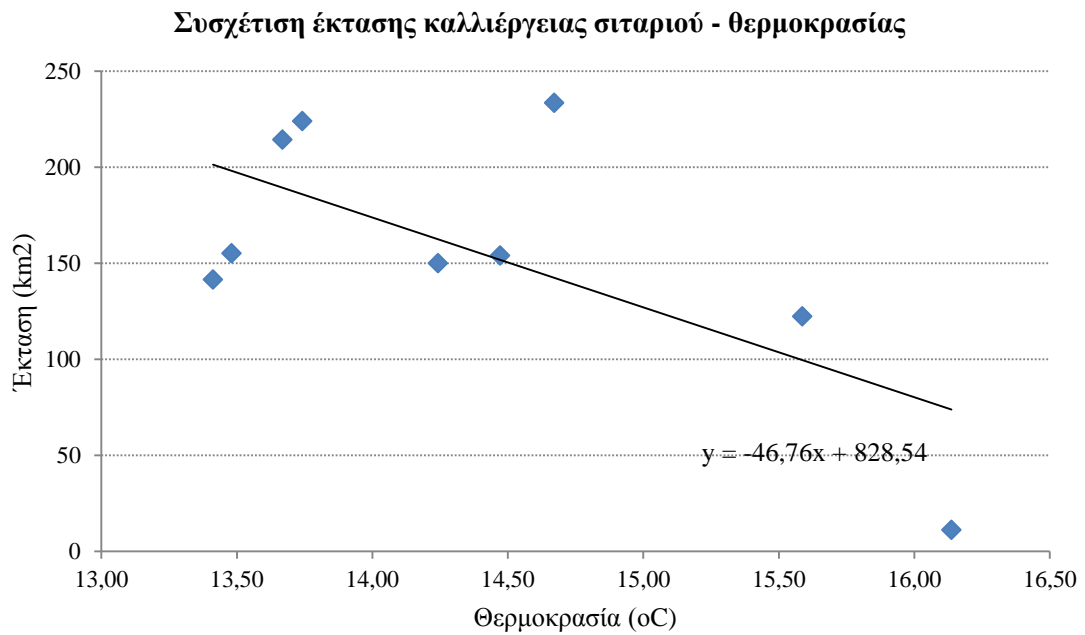
Στη συνέχεια δίνονται τα γραφήματα των συσχετιζόμενων μεγεθών για τις επικρατέστερες καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5.35: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας βαμβακιού και θερμοκρασίας

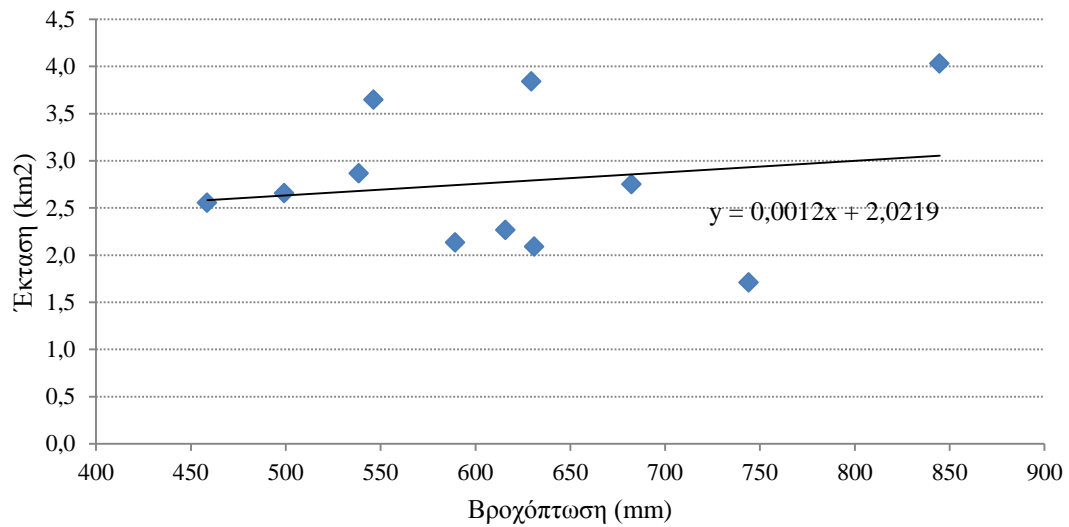


Σχήμα 5.36: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας αραβόσιτου και θερμοκρασίας



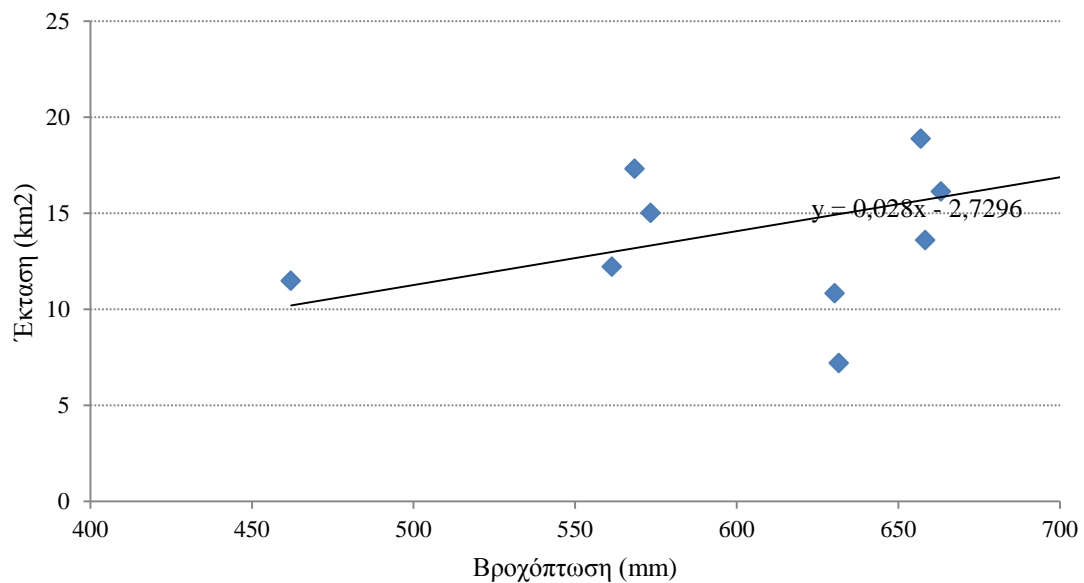
Σχήμα 5.37: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας σιταριού και θερμοκρασίας

Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας βαμβακιού - βροχόπτωσης

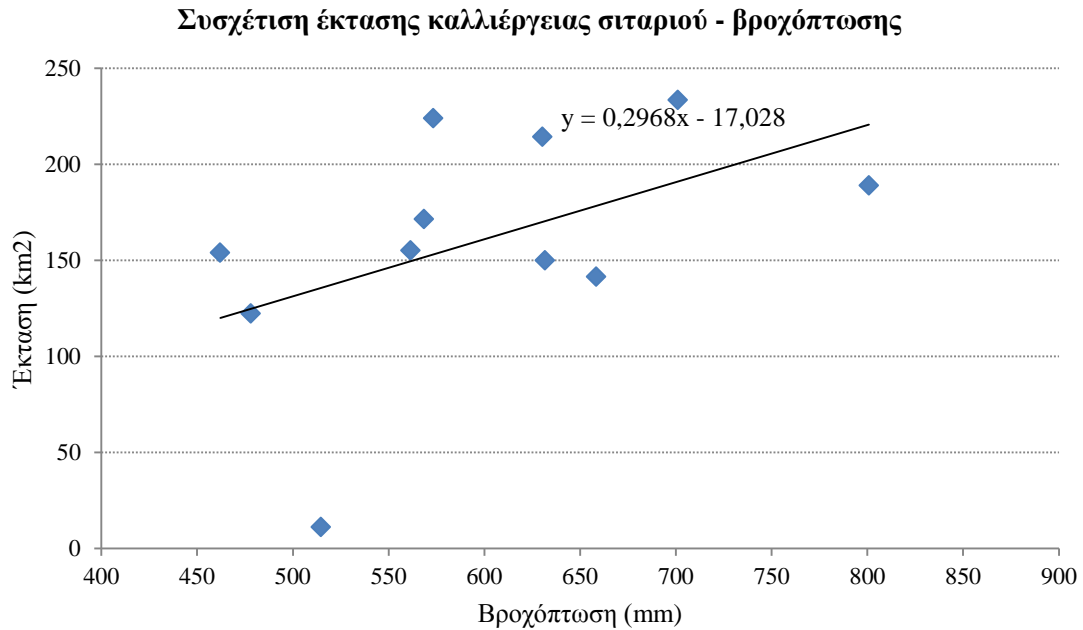


Σχήμα 5.38: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας βαμβακιού και βροχόπτωσης

Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας αραβόσιτου - βροχόπτωσης



Σχήμα 5.39: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας αραβόσιτου και βροχόπτωσης



Σχήμα 5.40: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας σιταριού και βροχόπτωσης

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στις εκτάσεις των καλλιεργειών και τις επικρατούσες θερμοκρασίες, γεγονός που σημαίνει ότι η έκταση μιας καλλιέργειας επηρεάζεται αρνητικά από την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι καλλιέργειες που επηρεάζονται περισσότερο είναι το βαμβάκι και τα κηπευτικά. Για όλες τις καλλιέργειες, πλην της μηδικής, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Αντίθετα, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση ανάμεσα στις εκτάσεις των καλλιεργειών και τις βροχοπτώσεις, δηλαδή η αύξηση των βροχοπτώσεων ευνοεί την αύξηση της καλλιεργούμενης γης. Οι καλλιέργειες που επηρεάζονται περισσότερο είναι το βαμβάκι, η μηδική και τα κηπευτικά και σε αυτές παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση των δύο μεγεθών.

Τελικά δεν μπορούμε να οδηγηθούμε σε ασφαλές συμπέρασμα αφού για να έχουμε κάποια αλλαγή στις εκτάσεις η οποία θα οφείλεται αποκλειστικά στα μετεωρολογικά φαινόμενα θα πρέπει να έχει προέλθει από κάποιο έντονο μετεωρολογικό φαινόμενο μεγάλης χρονικής διάρκειας.

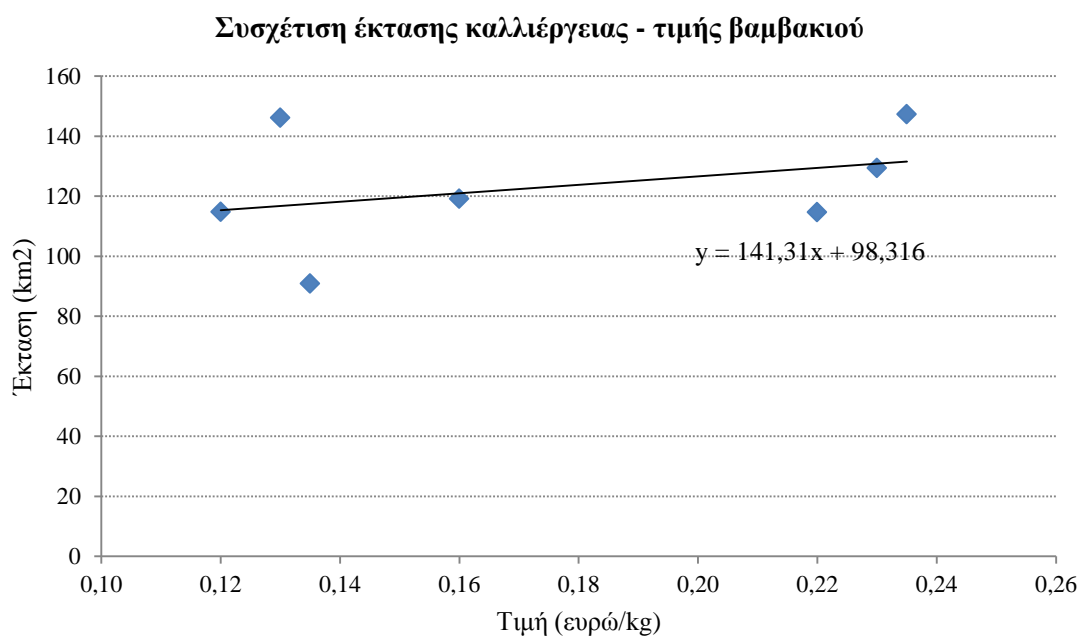
5.3.4 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιεργειών και τιμών προϊόντων

Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στις εκτάσεις (area) των επικρατέστερων καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης και του δείκτη τιμών προϊόντων (ΔΤΠ), προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c . Όταν $R > R_c$ συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν $R < R_c$, η γραμμική

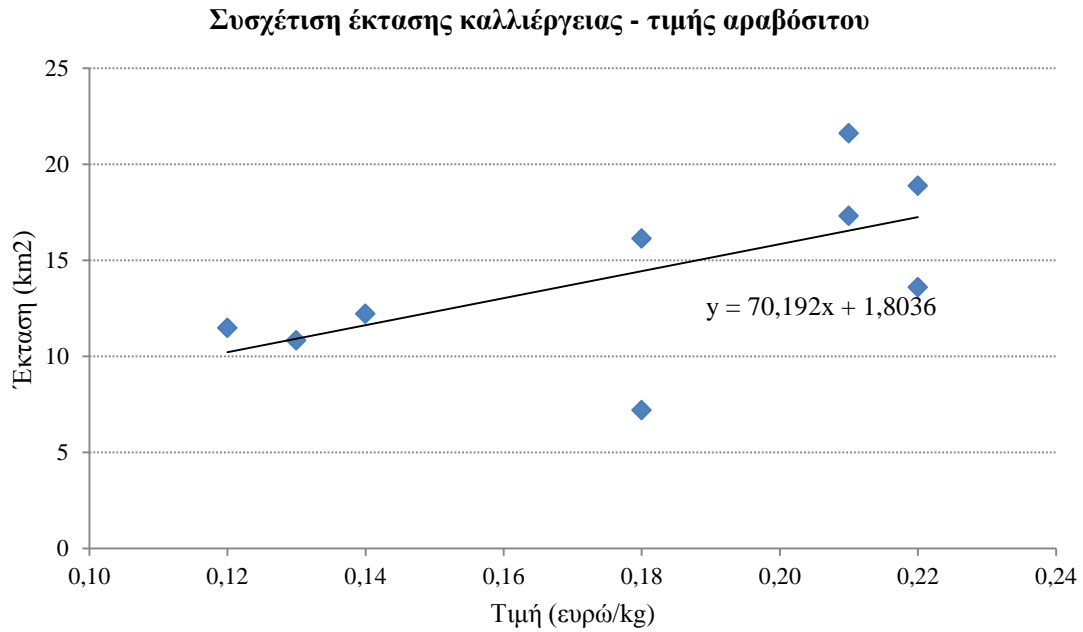
συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα. Σημειώνεται ότι οι δείκτες τιμών προϊόντων ήταν διαθέσιμοι για τις καλλιέργειες βαμβακιού, αραβόσιτου και σιταριού, οπότε και πραγματοποιήθηκαν οι σχετικές στατιστικές συσχετίσεις.

Πίνακας 5.10: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των εκτάσεων των επικρατέστερων καλλιεργειών (area) και του δείκτη τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)

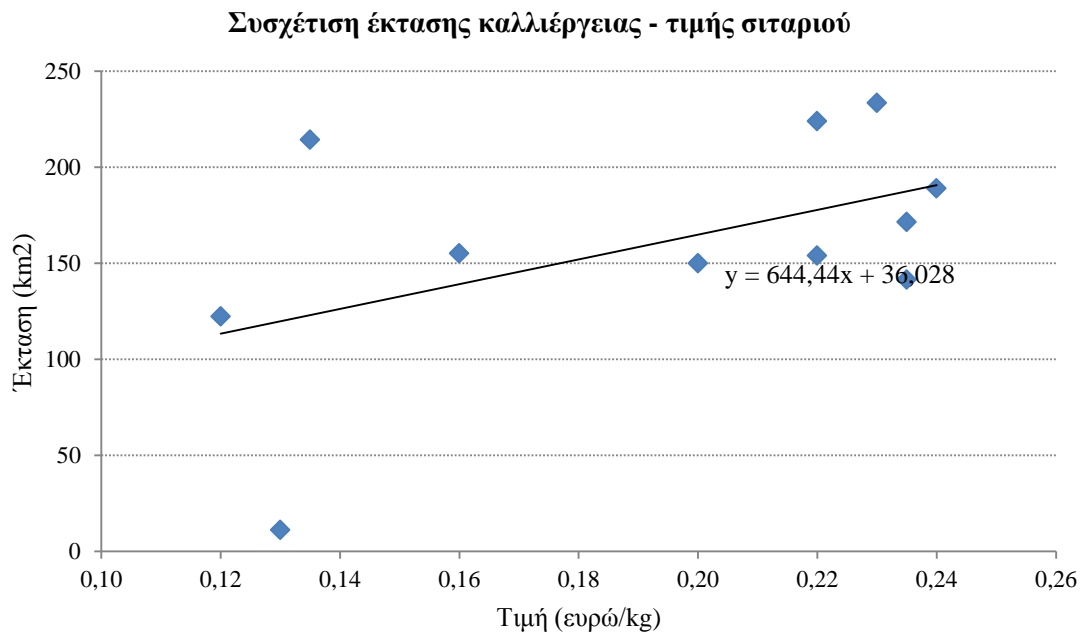
Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Δείκτης τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)			
	R ²	R	Rc	Έλεγχος
Βαμβάκι	0,13166	0,36285	0,81650	R<Rc
Αραβόσιτος	0,38570	0,62105	0,70711	R<Rc
Σιτάρι	0,24784	0,49783	0,63246	R<Rc



Σχήμα 5.41: Συσχέτιση έκτασης και τιμής καλλιέργειας βαμβακιού



Σχήμα 5.42: Συσχέτιση έκτασης και τιμής καλλιέργειας αραβόσιτου



Σχήμα 5.43: Συσχέτιση έκτασης και τιμής καλλιέργειας σιταριού

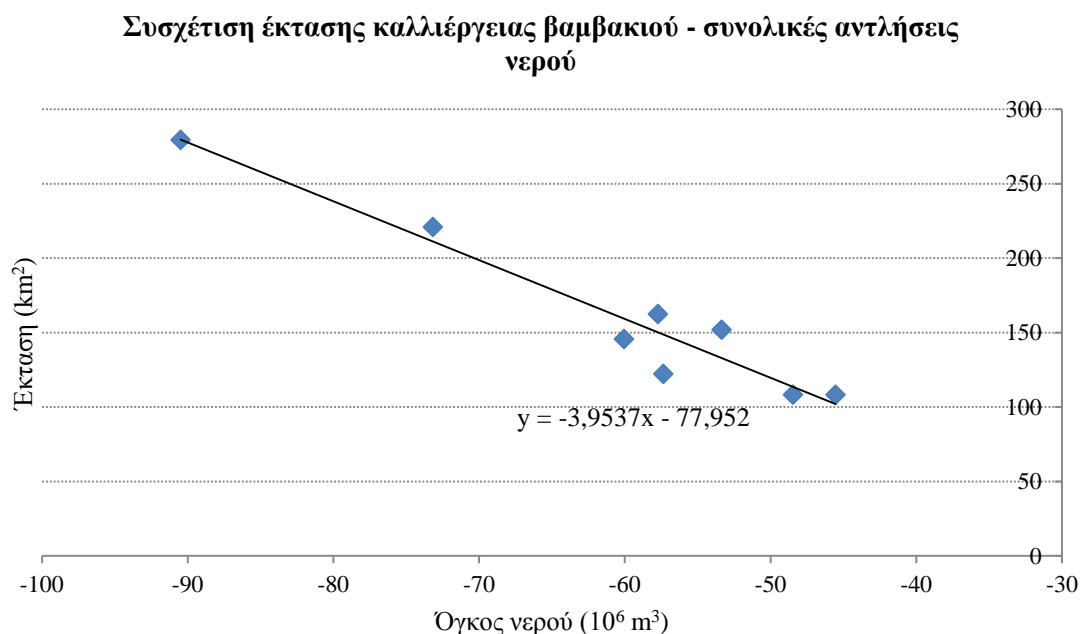
Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ των εκτάσεων των επικρατέστερων καλλιεργειών καλλιέργειας και του δείκτη τιμών προϊόντων, η οποία όμως δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση, δηλαδή οι καλλιεργούμενες εκτάσεις δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη αύξηση των τιμών των αντίστοιχων αγροτικών προϊόντων. Η μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρήθηκε για την καλλιέργεια του αραβόσιτου.

5.3.5 Συσχέτιση εκτάσεων καλλιέργειών και συνολικών υδατικών αποθεμάτων

Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στις εκτάσεις (area) των επικρατέστερων καλλιέργειών στην περιοχή μελέτης και των συνολικών αποθεμάτων νερού στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c . Όταν $R > R_c$ συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν $R < R_c$, η γραμμική συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα.

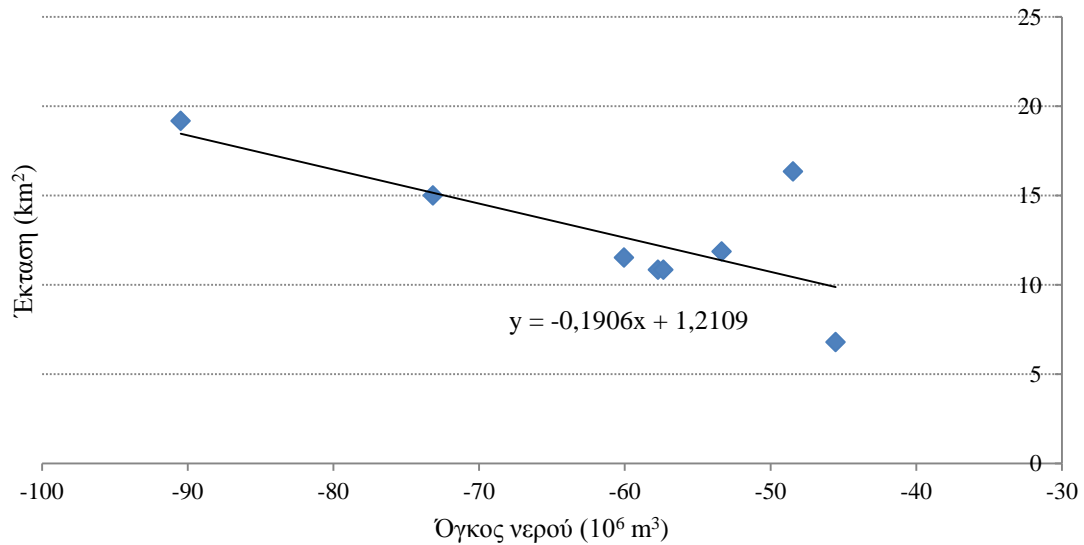
Πίνακας 5.11: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των εκτάσεων των επικρατέστερων καλλιέργειών (area) και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων

Είδος καλλιέργειας	Παράμετρος συσχέτισης: Συνολικά υδατικά αποθέματα (hm^3)			
	R^2	R	R_c	Έλεγχος
Βαμβάκι	0,93708	-0,96803	0,75593	$R > R_c$
Αραβόσιτος	0,52078	-0,72165	0,75593	$R < R_c$
Σιτάρι	0,48136	0,69380	0,75593	$R < R_c$



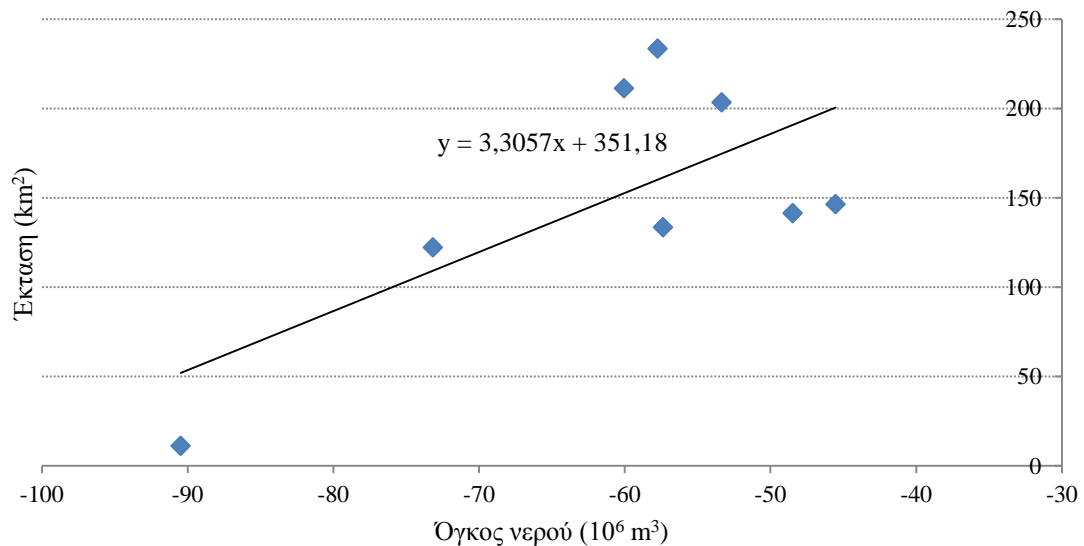
Σχήμα 5.44: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας βαμβακιού και συνολικών αντλήσεων νερού

Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας αραβόσιτου - συνολικές αντλήσεις νερού



Σχήμα 5.45: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας αραβόσιτου και συνολικών αντλήσεων νερού

Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας σιταριού - συνολικές αντλήσεις νερού



Σχήμα 5.46: Συσχέτιση έκτασης καλλιέργειας σιταριού και συνολικών αντλήσεων νερού

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για τις καλλιέργειες βαμβακιού και αραβοσίτου παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση της έκτασής τους με τα συνολικά αποθέματα νερού στην περιοχή μελέτης, η οποία όμως θεωρείται στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση, μόνο στην περίπτωση της καλλιέργειας βαμβακιού. Στην περίπτωση αυτή, υφίσταται αρνητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών, γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση των εκτάσεων με καλλιέργεια βαμβακιού οδηγεί σε μείωση των

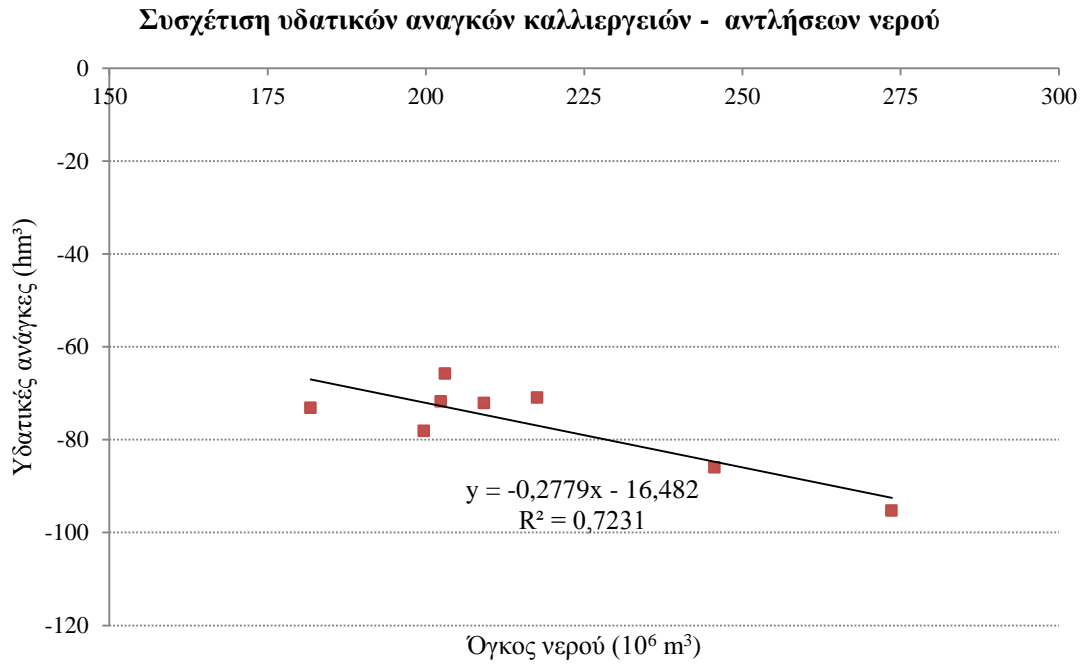
υδατικών αποθεμάτων, καθώς το βαμβάκι αποτελεί μια ιδιαίτερα υδροβόρα καλλιέργεια. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου. Αντίθετα, για την καλλιέργεια σιτηρών προκύπτει γραμμική θετική συσχέτιση ($R=0,69$), δηλαδή η αύξηση της καλλιέργειας σιταριού δεν σχετίζεται με τη μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Δεδομένου ότι πρόκειται για χειμερινή καλλιέργεια, η οποία αρδεύεται από τα νερά των βροχοπτώσεων και δεν απαιτείται η άρδυσή της, η καλλιέργεια σιταριού δεν απαιτεί άντληση αρδευτικού νερού, άρα δεν επιβαρύνει τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα.

5.3.6 Συσχέτιση υδατικών αναγκών καλλιεργειών και συνολικών υδατικών αποθεμάτων

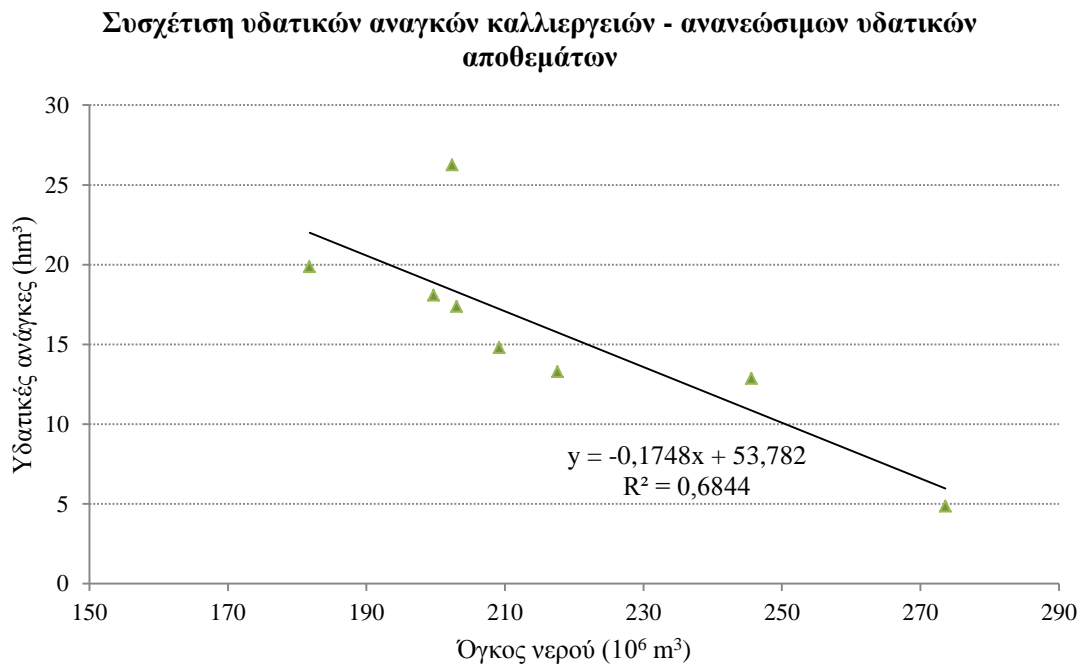
Στα πλαίσια της στατιστικής επεξεργασίας και της διερεύνησης της συναρτησιακής σχέσης ανάμεσα στις υδατικές ανάγκες των επικρατέστερων καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης και των συνολικών αντλούμενων υδάτων, των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, προέκυψαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου Πίνακα, όπου υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R μεταξύ των δύο εξεταζόμενων μεγεθών κάθε φορά, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 , ο οποίος προκύπτει από το συντελεστή συσχέτισης, ενώ πραγματοποιείται και ο έλεγχος σημαντικότητας του συντελεστή συσχέτισης με σύγκριση της απόλυτης τιμής του R με την κρίσιμη τιμή R_c . Όταν $R > R_c$ συμπεραίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών, ενώ όταν $R < R_c$, η γραμμική συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η γραμμική σχέση μεταξύ των εξεταζόμενων μεγεθών δίνεται στα σχετικά γραφήματα.

Πίνακας 5.12: Παράμετροι στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των υδατικών αναγκών των επικρατέστερων καλλιεργειών και του υδατικού ισοζυγίου

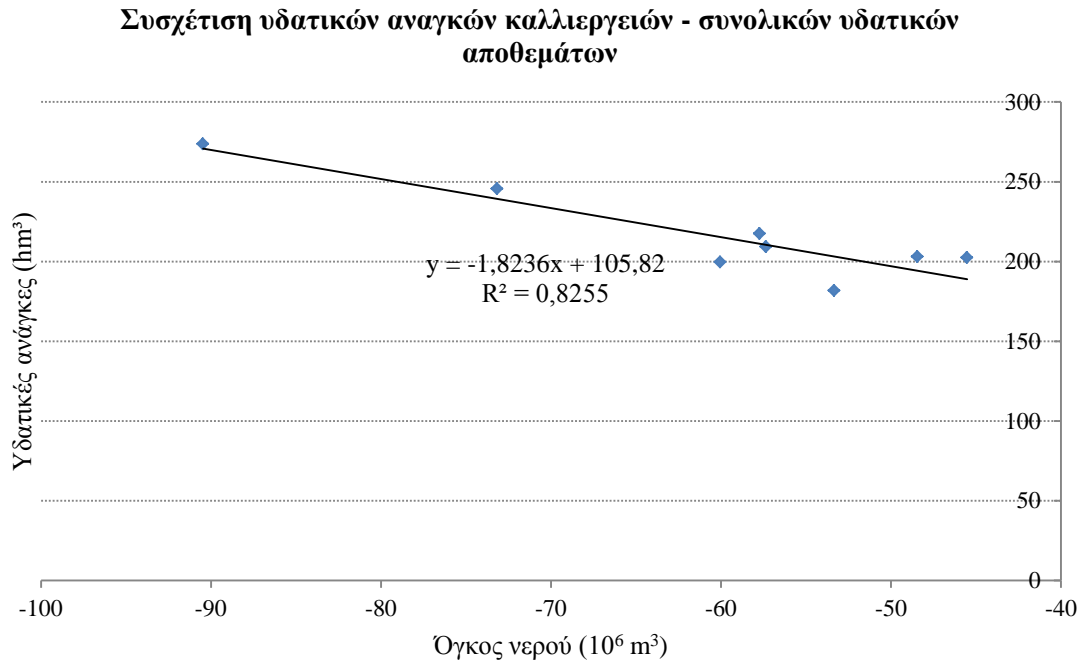
Όγκος νερού (hm^3)	Παράμετρος συσχέτισης: Υδατικές ανάγκες (hm^3)			
	R^2	R	R_c	Έλεγχος
Αντλούμενα ύδατα	0,72312	-0,85036	0,75593	$R > R_c$
Ανανεώσιμα ύδατα	0,68441	-0,82729	0,75593	$R > R_c$
Σύνολο υδάτων	0,82550	-0,90857	0,75593	$R > R_c$



Σχήμα 5.47: Συσχέτιση υδατικών αναγκών καλλιεργειών και συνολικών αντλήσεων νερού



Σχήμα 5.48: Συσχέτιση υδατικών αναγκών καλλιεργειών και ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων



Σχήμα 5.49: Συσχέτιση υδατικών αναγκών καλλιεργειών και συνολικών υδατικών αποθεμάτων

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρήθηκε αρνητική γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στις υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης και των συνολικών αντλούμενων υδάτων, των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, η οποία σύμφωνα με τον στατιστικό έλεγχο είναι στατιστικά σημαντική. Ειδικότερα, τα παραπάνω σημαίνουν ότι οι αυξανόμενες υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών οδηγούν σε μείωση των διαθέσιμων αντλούμενων υδάτων και των ανανεώσιμων υδάτων από τον υδροφορέα της Κάρλας, άρα και σε μείωση των συνολικών διαθέσιμων αποθεμάτων του υδροφορέα.

5.3.7 Αποτίμηση συσχέτισης χρονοσειρών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατικής επεξεργασίας των διαθέσιμων χρονοσειρών, όπου εξετάστηκε η μεταβολή των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, της παραγωγικής τους απόδοσης, καθώς και των υδατικών τους αναγκών σε συνάρτηση με διάφορες παραμέτρους όπως οι κλιματικές συνθήκες στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, οι δείκτες τιμών προϊόντων, αλλά και το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, προέκυψαν ορισμένα αποτελέσματα, χαρακτηριστικά της κατάστασης της αγροτικής φυσιογνωμίας που επικρατεί στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα αυτά, δίνονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο Πίνακα, όπου και γίνεται αναφορά στο αν συνίσταται ή όχι η χρήση των εξισώσεων που προέκυψαν σε σχέση πάντα με τους ελέγχους στατιστικής συσχέτισης.

Πίνακας 5.13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα στατιστικής συσχέτισης χρονοσειρών

A/A	Εξεταζόμενη παράμετρος	Παράμετρος συσχέτισης	Έλεγχος - αποτέλεσμα	Παρατηρήσεις
1	Απόδοση καλλιεργειών (yield)	Θερμοκρασία (T)	Στατιστική συσχέτιση	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
2	Απόδοση καλλιεργειών (yield)	Βροχόπτωση (P)	Μη στατιστική συσχέτιση	Δεν συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
3	Απόδοση καλλιεργειών (yield)	Δείκτες τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)	Μη στατιστική συσχέτιση	Δεν συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
4	Εκτάσεις καλλιεργειών (area)	Θερμοκρασία (T)	Στατιστική συσχέτιση	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
5	Εκτάσεις καλλιεργειών (area)	Βροχόπτωση (P)	Στατιστική συσχέτιση σε ορισμένες καλλιέργειες	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων όπου $R > R_c$
6	Εκτάσεις καλλιεργειών (area)	Δείκτες τιμών προϊόντων (ΔΤΠ)	Μη στατιστική συσχέτιση	Δεν συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
7	Εκτάσεις καλλιεργειών (area)	Συνολικά υδατικά αποθέματα	Στατιστική συσχέτιση σε ορισμένες καλλιέργειες	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων όπου $R > R_c$
8	Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών	Συνολικές αντλήσεις νερού	Στατιστική συσχέτιση	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
9	Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών	Συνολικά ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα	Στατιστική συσχέτιση	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων
10	Υδατικές ανάγκες καλλιεργειών	Συνολικά υδατικά αποθέματα	Στατιστική συσχέτιση	Συνίσταται η χρήση των εξισώσεων

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των διαθέσιμων χρονοσειρών για την περιοχή μελέτης, συμπεραίνεται ότι η παραγωγική απόδοση των καλλιεργειών (yield) επηρεάζεται σημαντικά από τις επικρατούσες θερμοκρασίες, αλλά δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τις βροχοπτώσεις στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας.

Όπως και στην περίπτωση της παραγωγικής απόδοσης, έτσι και σ'ότι αφορά την επιλογή των καλλιεργούμενων ειδών στην περιοχή μελέτης, αυτή φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τις επικρατούσες θερμοκρασίες, ενώ μόνο για ορισμένες καλλιέργειες επηρεάζεται από τις βροχοπτώσεις. Ενδεικτικά, αναφέρεται η καλλιέργεια του βαμβακιού, η οποία ως ιδιαίτερα υδροβόρα, απαιτεί και σημαντικές βροχοπτώσεις.

Όπως διαπιστώθηκε, η απόδοση των καλλιεργειών δεν αλληλοεπηρεάζεται από τις τιμές των αγροτικών προϊόντων, καθώς όπως προέκυψε δεν υπάρχει στατιστική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών. Επιπρόσθετα, οι τιμές των αγροτικών προϊόντων δεν συσχετίζονται και με τις εκτάσεις των καλλιεργειών, καθώς και σ' αυτή την περίπτωση δεν παρατηρήθηκε στατιστική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών.

Τα συνολικά υδατικά αποθέματα της περιοχής επηρεάζουν σημαντικά το είδος των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, δηλαδή η έλλειψη νερού οδηγεί σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες, αλλά και αντίστροφα δηλαδή η αύξηση των υδροβόρων καλλιεργειών, οδηγεί σε μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Έτσι, για υδροβόρες καλλιέργειες, υπάρχει σημαντική στατιστική συσχέτιση μεταξύ επιλεγόμενων καλλιεργειών και υδατικών αποθεμάτων. Για τις ξηρικές καλλιέργειες δεν παρατηρείται η αντίστοιχη συσχέτιση, δεδομένου ότι αυτές λαμβάνουν το απαιτούμενο νερό από τις βροχοπτώσεις και δεν αρδεύονται με άντληση.

Τέλος, παρατηρείται ότι οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης συσχετίζονται σημαντικά και επηρεάζουν αρνητικά το διαθέσιμο όγκο αντλούμενων υδάτων, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα και εν γένει τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα Κάρλας.

Να σημειωθεί ότι η συσχέτιση των παραπάνω συνδυασμών παραμέτρων έγινε με τη διαδικασία trial and error, βρίσκοντας το χρόνο απόκρισης της σχέσης μεταξύ κάθε ζεύγους παραμέτρων που ελέγχθηκε, μετατοπίζοντας κατάλληλα τις χρονοσειρές. Συνήθως η απόκριση των μεταβολών της μίας από τις δύο παραμέτρους στην άλλη γίνεται αισθητή έπειτα από 2-3 χρόνια.

5.4 Διαχειριστικά σενάρια

Στην παρούσα ενότητα, αναπτύσσονται μια σειρά από σενάρια με στόχο την πρόβλεψη των μελλοντικών καταναλώσεων αρδευτικού νερού. Με την εφαρμογή των συγκεκριμένων σεναρίων θα εξεταστεί κατά πόσο επηρεάζεται η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα νερού για άρδευση από τη μείωση των περισσότερο υδροβόρων καλλιεργειών σε λιγότερο υδροβόρες, γεγονός που μπορεί να δώσει κατευθύνσεις ως προς τις διαχειριστικές πρακτικές στις αγροτικές χρήσεις γης.

Ως έτος αναφοράς για την εφαρμογή των διαχειριστικών σεναρίων λαμβάνεται το έτος 2015. Ως ζώνη Α θεωρείται η ζώνη η οποία αρδεύεται από τα υπόγεια ύδατα του υδροφορέα Κάρλας, ως ζώνη Β η ζώνη η οποία αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού ποταμού και ως ζώνη Γ η ζώνη η οποία θα αρδεύεται μελλοντικά από τα επιφανειακά ύδατα του ταμιευτήρα Κάρλας.

5.4.1 Υφιστάμενη κατάσταση

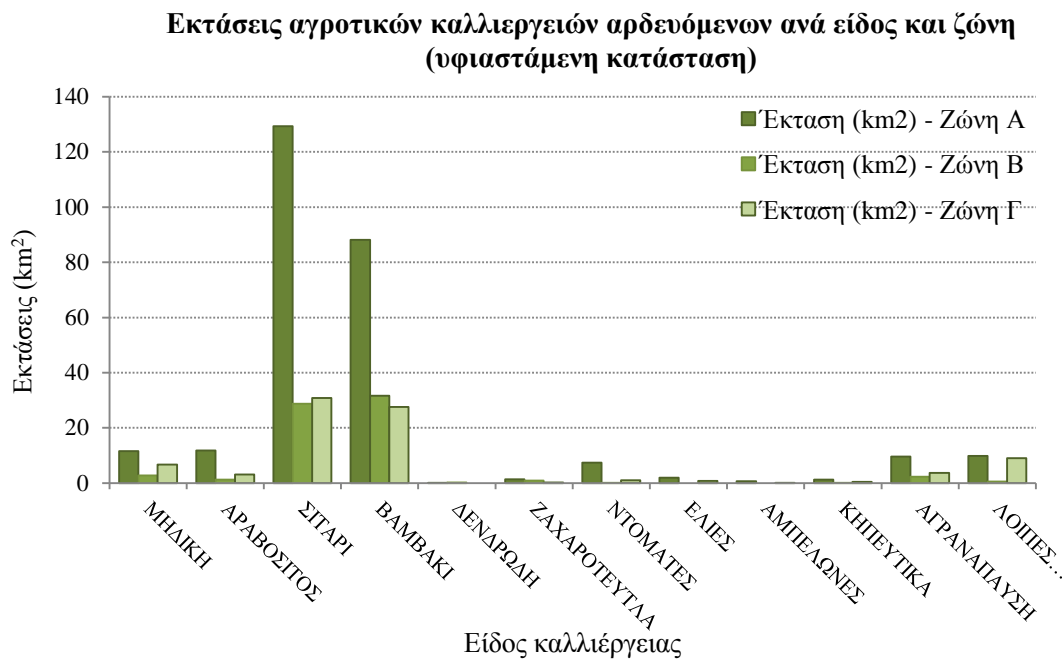
Κατά την υφιστάμενη κατάσταση, λήφθηκαν οι εκτάσεις των αγροτικών καλλιεργειών ανά ζώνη στην περιοχή μελέτης και υπολογίστηκαν οι υδατικές τους ανάγκες για το έτος αναφοράς.

Πίνακας 5.14: Υφιστάμενη κατάσταση αγροτικών εκτάσεων και υδατικών αναγκών ανά ζώνη στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)			Υδατικές ανάγκες (hm ³)		
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
1	ΜΗΔΙΚΗ	11,57	2,72	6,70	9,25	2,18	5,36
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,75	1,28	3,10	8,46	0,92	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	129,38	28,68	30,80	19,41	4,30	4,62
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	88,15	31,63	27,52	57,30	20,56	17,88
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,04	0,21	0,00	0,02	0,11	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	1,31	0,84	0,23	0,92	0,59	0,16
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	7,42	0,12	1,02	5,56	0,09	0,76
8	ΕΛΙΕΣ	1,92	0,00	0,77	0,96	0,00	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,69	0,00	0,09	0,35	0,00	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,27	0,06	0,39	0,89	0,04	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	9,57	2,28	3,65	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,85	0,53	9,02	5,91	0,32	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	272,92	68,35	83,28	109,02	29,11	37,13



Σχήμα 5.50: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (υφιστάμενη κατάσταση)



Σχήμα 5.51: Εκτάσεις αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (υφιστάμενη κατάσταση)

Όπως προέκυψε από το στάδιο των στατιστικών συσχετίσεων χρονοσειρών, για τις υδροβόρες καλλιέργειες, υφίσταται σημαντική στατιστική συσχέτιση μεταξύ επιλεγόμενων καλλιεργειών και υδατικών αποθεμάτων, ενώ παράλληλα οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών συσχετίζονται σημαντικά και επηρεάζουν αρνητικά το διαθέσιμο όγκο αντλούμενων υδάτων, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα και εν γένει τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα Κάρλας. Κατά συνέπεια, και προκειμένου να «ανακουφιστεί» ο υδροφορέας και να μειωθεί η άντληση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων, θα πρέπει να περιοριστούν οι εκτάσεις των περισσότερο υδροβόρων καλλιεργειών, άρα να μειωθούν και οι συνολικές υδατικές ανάγκες των αγροτικών καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης.

Μεταξύ των περισσότερο υδροβόρων καλλιεργειών στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, είναι η καλλιέργεια βαμβακιού, καθώς καταλαμβάνει το 34,7% της συνολικής έκτασης, και η μηδική η οποία καταλαμβάνει το 4,9%, η ντομάτα η οποία καταλαμβάνει το 2%, καθώς και τα ζαχαρότευτλα τα οποία καταλαμβάνουν το 0,6% της συνολικής έκτασης. Με βάση τα προαναφερόμενα, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον οποιαδήποτε μεταβολή αφορά τις εν λόγω καλλιέργειες.

Έτσι, επιλέχθηκε η ανάπτυξη διαχειριστικών σεναρίων που περιλαμβάνουν μεταβολές των εκτάσεων, επομένως και των υδατικών αναγκών των συγκεκριμένων καλλιεργειών.

5.4.2 Σενάριο 1^ο

Στο σενάριο αυτό, μελετάται η μείωση της καλλιέργειας βαμβακιού και η αντικατάστασή της με λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η αντικατάσταση του 10% της καλλιέργειας βαμβακιού με καλλιέργεια σιτηρών.

Πίνακας 5.15: Αγροτικές εκτάσεις και υδατικές ανάγκες ανά ζώνη μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 1 στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)			Υδατικές ανάγκες (hm ³)		
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
1	ΜΗΔΙΚΗ	11,57	2,72	6,70	9,25	2,18	5,36
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,75	1,28	3,10	8,46	0,92	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	138,20	31,84	33,55	20,73	4,78	5,03
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	79,34	28,47	24,76	51,57	18,50	16,10
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,04	0,21	0,00	0,02	0,11	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	1,31	0,84	0,23	0,92	0,59	0,16
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	7,42	0,12	1,02	5,56	0,09	0,76
8	ΕΛΙΕΣ	1,92	0,00	0,77	0,96	0,00	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,69	0,00	0,09	0,35	0,00	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,27	0,06	0,39	0,89	0,04	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΙΑΥΣΗ	9,57	2,28	3,65	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,85	0,53	9,02	5,91	0,32	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	272,92	68,35	83,28	104,61	27,52	35,76



Σχήμα 5.52: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (Σενάριο 1^ο)

5.4.3 Σενάριο 2^ο

Στο σενάριο 2, μελετάται η πλήρης αντικατάσταση της καλλιέργειας μηδικής με καλλιέργεια σιτηρών.

Πίνακας 5.16: Αγροτικές εκτάσεις και υδατικές ανάγκες ανά ζώνη μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 2 στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)			Υδατικές ανάγκες (hm ³)		
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
1	ΜΗΔΙΚΗ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,75	1,28	3,10	8,46	0,92	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	140,95	31,40	37,50	21,14	4,71	5,63
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	88,15	31,63	27,52	57,30	20,56	17,88
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,04	0,21	0,00	0,02	0,11	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	1,31	0,84	0,23	0,92	0,59	0,16
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	7,42	0,12	1,02	5,56	0,09	0,76
8	ΕΛΙΕΣ	1,92	0,00	0,77	0,96	0,00	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,69	0,00	0,09	0,35	0,00	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,27	0,06	0,39	0,89	0,04	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΙΑΥΣΗ	9,57	2,28	3,65	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,85	0,53	9,02	5,91	0,32	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	272,92	68,35	83,28	101,50	27,34	32,78



Σχήμα 5.53: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (Σενάριο 2^ο)

5.4.4 Σενάριο 3^ο

Στο σενάριο 3, μελετάται η μείωση της καλλιέργειας βαμβακιού με την αντικατάσταση του 10% της καλλιέργειάς του με εκτάσεις αγραναπαύσεων.

Πίνακας 5.17: Αγροτικές εκτάσεις και υδατικές ανάγκες ανά ζώνη μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 3 στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)			Υδατικές ανάγκες (hm ³)		
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
1	ΜΗΔΙΚΗ	11,57	2,72	6,70	9,25	2,18	5,36
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,75	1,28	3,10	8,46	0,92	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	129,38	28,68	30,80	19,41	4,30	4,62
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	79,34	28,47	24,76	51,57	18,50	16,10
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,04	0,21	0,00	0,02	0,11	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	1,31	0,84	0,23	0,92	0,59	0,16
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	7,42	0,12	1,02	5,56	0,09	0,76
8	ΕΛΙΕΣ	1,92	0,00	0,77	0,96	0,00	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,69	0,00	0,09	0,35	0,00	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,27	0,06	0,39	0,89	0,04	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	18,39	5,44	6,40	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,85	0,53	9,02	5,91	0,32	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	272,92	68,35	83,28	103,29	27,05	35,35



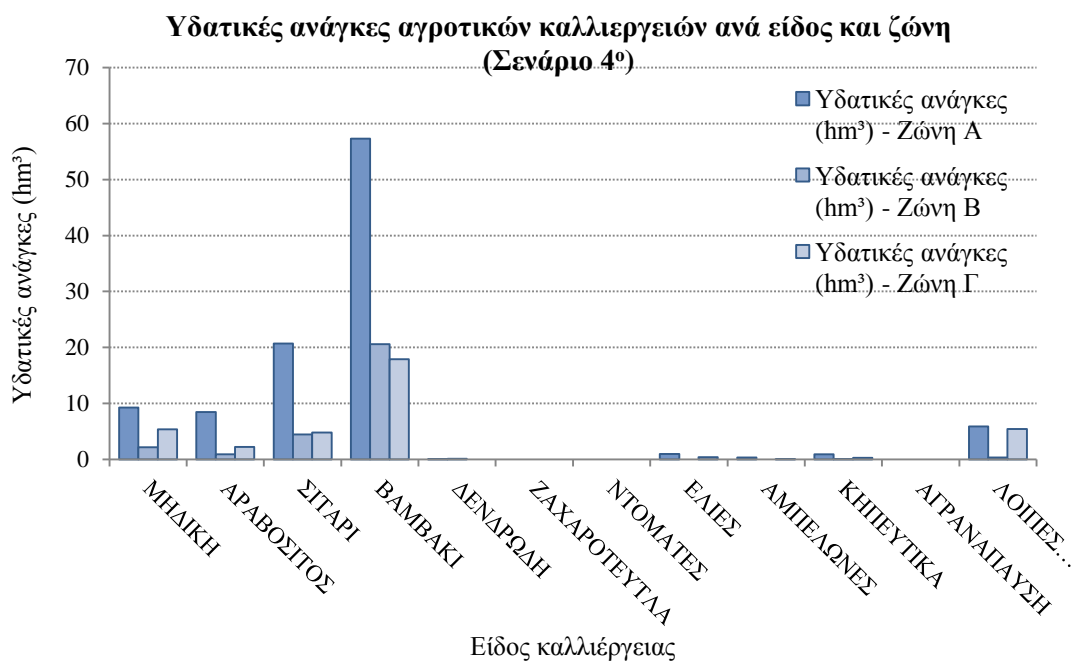
Σχήμα 5.54: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (Σενάριο 3^ο)

5.4.5 Σενάριο 4^ο

Στο τελικό σενάριο, μελετάται η πλήρης αντικατάσταση των καλλιεργειών ντομάτας και ζαχαρότευτλων με εκτάσεις σιτηρών.

Πίνακας 5.18: Αγροτικές εκτάσεις και υδατικές ανάγκες ανά ζώνη μετά την εφαρμογή του Σεναρίου 4 στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Α/Α	Καλλιέργεια	Έκταση (km ²)			Υδατικές ανάγκες (hm ³)		
		Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ
1	ΜΗΔΙΚΗ	11,57	2,72	6,70	9,25	2,18	5,36
2	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	11,75	1,28	3,10	8,46	0,92	2,23
3	ΣΙΤΑΡΙ	138,11	29,64	32,05	20,72	4,45	4,81
4	ΒΑΜΒΑΚΙ	88,15	31,63	27,52	57,30	20,56	17,88
5	ΔΕΝΔΡΩΔΗ	0,04	0,21	0,00	0,02	0,11	0,00
6	ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	ΝΤΟΜΑΤΕΣ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	ΕΛΙΕΣ	1,92	0,00	0,77	0,96	0,00	0,38
9	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	0,69	0,00	0,09	0,35	0,00	0,05
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	1,27	0,06	0,39	0,89	0,04	0,27
11	ΑΓΡΑΝΑΠΙΑΥΣΗ	9,57	2,28	3,65	0,00	0,00	0,00
12	ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	9,85	0,53	9,02	5,91	0,32	5,41
	ΣΥΝΟΛΟ	272,92	68,35	83,28	103,85	28,57	36,40



Σχήμα 5.55: Υδατικές ανάγκες αγροτικών καλλιεργειών ανά είδος και ζώνη (Σενάριο 4^ο)

5.4.6 Αποτίμηση σεναρίων

Τα εναλλακτικά διαχειριστικά σενάρια καταρτίστηκαν σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά το στάδιο των στατιστικών συσχετίσεων αφενός μεταξύ των εκτάσεων των καλλιεργειών και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων αφετέρου μεταξύ των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων. Τα σενάρια στηρίζονται στην παραδοχή ότι η εφαρμογή περισσότερο υδροβόρων καλλιεργειών και επομένως η αύξηση των συνολικών υδατικών αναγκών των καλλιεργειών οδηγούν σε μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, για την καλλιέργεια του βαμβακιού παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση της έκτασής του με τα συνολικά αποθέματα νερού στην περιοχή μελέτης και μάλιστα η γραμμική συσχέτισή τους ($y = -3,9537x - 77,952$, όπου y η έκταση της καλλιέργειας σε km^2 και x ο διαθέσιμος όγκος νερού σε 10^6 m^3) είναι στατιστικά σημαντική, γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση των εκτάσεων με καλλιέργεια βαμβακιού οδηγεί σε μείωση των υδατικών αποθεμάτων, καθώς το βαμβάκι αποτελεί μια ιδιαίτερα υδροβόρα καλλιέργεια. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου.

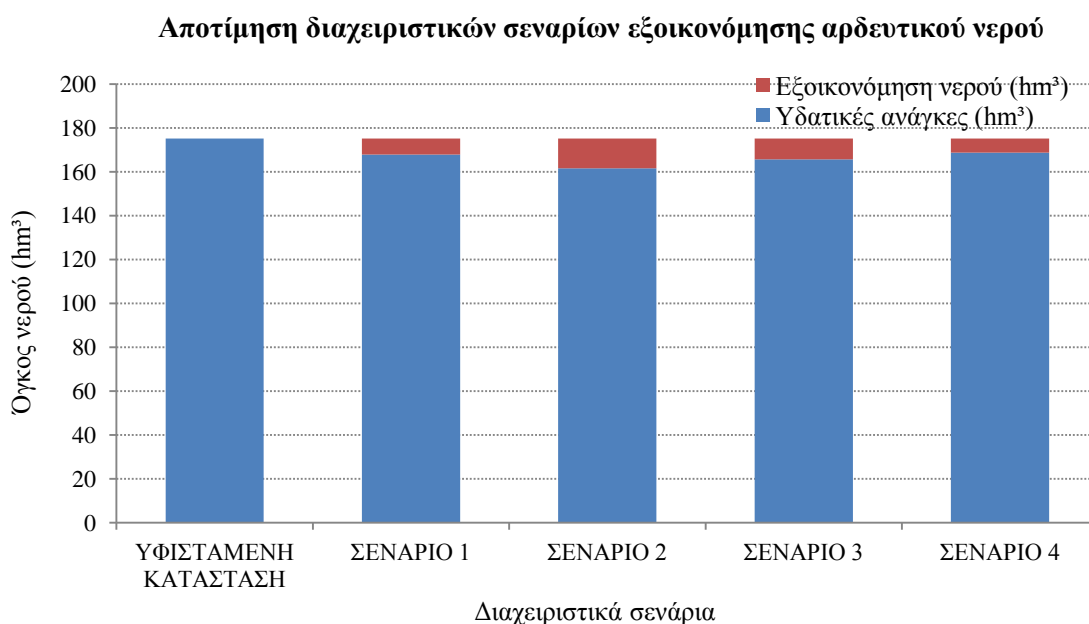
Αντίθετα, για την καλλιέργεια σιτηρών προκύπτει γραμμική θετική συσχέτιση ($R=0,69$), δηλαδή η αύξηση της καλλιέργειας σιταριού δεν σχετίζεται με τη μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων. Δεδομένου ότι πρόκειται για χειμερινή καλλιέργεια, η οποία αρδεύεται από τα νερά των βροχοπτώσεων και δεν απαιτείται η άρδευσή της, η καλλιέργεια σιταριού δεν απαιτεί άντληση αρδευτικού νερού, άρα δεν επιβαρύνει τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα.

Τέλος, σ' ότι αφορά τη συσχέτιση των συνολικών υδατικών αναγκών των καλλιεργειών και των συνολικών υδατικών αποθεμάτων παρατηρήθηκε αρνητική γραμμική συσχέτιση ($y = -1,8236x + 105,82$, όπου y οι υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών σε hm^3 και x ο διαθέσιμος όγκος νερού σε 10^6 m^3), η οποία σύμφωνα με τον στατιστικό έλεγχο είναι στατιστικά σημαντική, δηλαδή οι αυξανόμενες υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών οδηγούν σε μείωση των συνολικών διαθέσιμων αποθεμάτων του υδροφορέα στην περιοχή μελέτης.

Μετά την εφαρμογή των εξεταζόμενων σεναρίων σχετικά με την επιβολή διαχειριστικών μέτρων ως προς τα είδη και τις εκτάσεις των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης, παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα τα συγκριτικά αποτελέσματα αυτών.

Πίνακας 5.19: Σύγκριση αποτελεσμάτων διαχειριστικών σεναρίων στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

A/A	Σενάρια	Υδατικές ανάγκες (hm ³)	Εξοικονόμηση νερού (hm ³)	Εξοικονόμηση νερού (%)
1	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	175,26	0	0,00%
2	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 / ΑΝΤΙΚΑΣΤΑΣΤΑΣΗ 10% ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΣΙΤΗΡΑ	167,90	7,36	4,20%
3	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 / ΑΝΤΙΚΑΣΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΗΔΙΚΗΣ ΜΕ ΣΙΤΗΡΑ	161,62	13,64	7,78%
4	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 / ΑΝΤΙΚΑΣΤΑΣΤΑΣΗ 10% ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ ΜΕ ΑΓΡΑΝΑΠΙΑΥΣΗ	165,69	9,57	5,46%
5	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 / ΑΝΤΙΚΑΣΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΝΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΩΝ ΜΕ ΣΙΤΗΡΑ	168,82	6,44	3,68%



Σχήμα 5.56: Διάγραμμα αποτελεσμάτων διαχειριστικών σεναρίων στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας

Συνοψίζοντας, η αντικατάσταση της καλλιέργειας βαμβακιού σε ποσοστό 10% από μια μη υδροβόρα καλλιέργεια, δηλαδή τα σιτηρά, οδηγεί σε εξοικονόμηση νερού κατά 4,2% (Σενάριο 1^ο) συγκριτικά με τις υφιστάμενες συνθήκες κατανάλωσης νερού.

Αντίστοιχα, η πλήρης αντικατάσταση της καλλιέργειας μηδικής από σιτηρά, οδηγεί σε εξοικονόμηση κατά 7,78% (Σενάριο 2^ο) συγκριτικά με τις υφιστάμενες συνθήκες κατανάλωσης νερού, παρά το γεγονός ότι η καλλιέργεια μηδικής αποτελεί μόλις το 4,9% της συνολικής έκτασης. Αυτό οφείλεται στο ότι η μηδική έχει τις υψηλότερες υδατικές απαιτήσεις (800 m³/στρ/έτος), σύμφωνα και με τον Πίνακα 4.4.

Η αντικατάσταση της καλλιέργειας βαμβακιού σε ποσοστό 10% από αγραναπαύσεις, οδηγεί σε εξοικονόμηση νερού κατά 5,46% (Σενάριο 3^ο) συγκριτικά με τις υφιστάμενες συνθήκες κατανάλωσης νερού. Στην περίπτωση αυτή, εκμηδενίζονται οι υδατικές απαιτήσεις των υπό αγρανάπαυση εκτάσεων, επομένως και γίνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση συγκριτικά με το Σενάριο 1^ο.

Τέλος, εξετάστηκε η πλήρης αντικατάσταση των καλλιεργειών ντομάτας και ζαχαρότευτλων από σιτηρά, γεγονός που οδήγησε σε εξοικονόμηση νερού κατά 3,68% (Σενάριο 4^ο) συγκριτικά με τις υφιστάμενες συνθήκες κατανάλωσης νερού.

Όπως προκύπτει από τα συγκριτικά αποτελέσματα, η μέγιστη αντικατάσταση εκτάσεων υδροβόρων καλλιεργειών με λιγότερο υδροβόρες οδηγεί στη μέγιστη εξοικονόμηση νερού. Ειδικότερα, η επιλογή αντικατάστασης των περισσότερο απαιτητικών σε νερό καλλιεργειών, ακόμα και αν αυτές καταλαμβάνουν πολύ μικρή έκταση, οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση νερού. Βέβαια, συγκρίνοντας την επιλογή μιας λιγότερο υδροβόρας καλλιέργειας και της αγρανάπαυσης, συμπεραίνεται ότι η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση νερού επιτυγχάνεται μόνο μέσω της εφαρμογής αγρανάπαυσης.

Εν κατακλείδι, το Σενάριο 2^ο οδηγεί σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση νερού, όμως δεδομένου ότι η μηδική είναι μια καλλιέργεια απαιτούμενη για κτηνοτροφικούς σκοπούς στην περιοχή μελέτης, δε δύναται να καταργηθεί πλήρως.

Η βέλτιστη διαχειριστική επιλογή συγκριτικά με τα εξεταζόμενα σενάρια στην περιοχή μελέτης θα αποτελούσε ένας συνδυασμός διαχειριστικών μέτρων που θα οδηγούσε σε αύξηση των «ξηρικών» καλλιεργειών, αύξηση της αγρανάπαυσης με την ύπαρξη κινήτρων και παράλληλα μείωση των ιδιαίτερα απαιτητικών σε νερό καλλιεργειών.

Η σπουδαιότητα εφαρμογής των διαχειριστικών σεναρίων ενισχύεται και από τα αποτελέσματα του σταδίου των στατιστικών συσχετίσεων χρονοσειρών, όπου αποδείχθηκε η σημαντική στατιστικά γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στα συνολικά υδατικά αποθέματα της περιοχής και το είδος των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, δηλαδή ότι η έλλειψη νερού οδηγεί σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες, αλλά και αντίστροφα ότι η αύξηση των εκτάσεων των υδροβόρων καλλιεργειών οδηγεί σε μείωση των υδατικών αποθεμάτων. Σημαντική στατιστικά γραμμική συσχέτιση αποδείχθηκε ότι υπάρχει και ανάμεσα στις υδατικές ανάγκες και το διαθέσιμο όγκο αντλούμενων υδάτων, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα και εν γένει τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα.

Με την εφαρμογή των διαχειριστικών σεναρίων, αναμένεται να υπάρξουν μεταβολές, όπως αποδείχθηκε, στις πιέσεις που υφίσταται ο υδροφορέας της περιοχής μελέτης, δηλαδή αναμένεται να μειωθούν οι όγκοι αντλούμενων υδάτων και η διαφορά αυτή θα προστεθεί στους όγκους των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων, κατά συνέπεια θα επηρεαστούν και τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα. Έτσι, στην περίπτωση ενός ιδιαίτερα άνυδρου υδρολογικού έτους και προκειμένου να μην

επιβαρυνθεί επιπρόσθετα ο υδροφορέας, προτείνεται η εφαρμογή ενός ή και συνδυασμού των διαχειριστικών σεναρίων. Τα εν λόγω σενάρια μπορούν να εφαρμοστούν και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα έτσι ώστε να προβλεφθούν οι αρνητικές συνέπειες της υπεράντλησης υπόγειων υδάτων στην ήδη επιβαρυσμένη υδρολογική λεκάνη Κάρλας.

Η δυνατότητα εφαρμογής των διαχειριστικών σεναρίων και ταυτόχρονα η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους μπορεί να συμβάλει στην αλλαγή των διαχειριστικών πρακτικών μέχρι σήμερα, αλλά και γενικά της πολιτικής που ακολουθείται αναφορικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή προσέγγισε τη διερεύνηση των αλλαγών των χρήσεων γης και των αγροτικών καλλιεργειών στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος 1995 έως και 2015, δηλαδή κατά την περίοδο πριν και μετά την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας. Δευτερευόντως, εξετάστηκε η εφαρμογή της στατιστικής συσχέτισης, προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός επιρροής ποικίλων περιβαλλοντικών και μη παραγόντων (βροχή, θερμοκρασία, κ.α.) στη διαμόρφωση των εκτάσεων, της απόδοσης, αλλά και των υδατικών αναγκών των αγροτικών καλλιεργειών. Τέλος, εξετάστηκαν τέσσερα (4) εναλλακτικά διαχειριστικά σενάρια για την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής, ήταν σημαντικό να αντιμετωπιστούν ορισμένες δυσκολίες που αφορούσαν κυρίως τη διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των στοιχείων των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, αυτά δεν ήταν διαθέσιμα για κάθε έτος ή για προγενέστερα έτη. Έτσι, επιλέχθηκε η χρήση και επεξεργασία των στοιχείων που αφορούσαν τη δεκαετία 2005-2015, δεδομένου ότι γι' αυτά τα έτη υπήρχε μεγαλύτερη πληρότητα στοιχείων.

Παρά το γεγονός ότι οι καλλιεργούμενες εκτάσεις δηλώνονται ετησίως και επίσημα από τους παραγωγούς στον αρμόδιο φορέα, εντούτοις παρουσιάζονται αποκλίσεις ως προς τα στοιχεία άλλων πηγών. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι ως προς τα εφαρμοζόμενα είδη καλλιεργειών, δεν ασκείται διαχειριστική πολιτική από τις αρμόδιες αρχές, παρά μόνο ως προς την ελεγκτική τους αρμοδιότητα. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να καταστήσει ιδιαίτερα σημαντικά τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, καθώς θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για των άσκηση ορθολογικών διαχειριστικών πρακτικών στην περιοχή μελέτης.

Η επεξεργασία (λογιστική και στατιστική) αποτέλεσε το πιο χρονοβόρο στάδιο της παρούσας διατριβής, καθώς απαιτούνταν σημαντικός αριθμός υπολογισμών με ακρίβεια, αλλά και η δημιουργία των σχετικών διαγραμμάτων απεικόνισης των υπό επεξεργασία στοιχείων.

Με βάση τα παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα αναφορικά με τις κατηγορίες χρήσεων γης:

- Κυρίαρχη χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας είναι η αγροτική και καταλαμβάνει το 59,48% της συνολικής έκτασης.
- Διαχρονικά, παρατηρείται μείωση της αγροτικής χρήσης, ενώ οι υπόλοιπες χρήσεις (δασική, αστική και βιομηχανική χρήση) εμφανίζουν αύξηση.
- Οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στις υποκατηγορίες της αγροτικής χρήσης είναι οι εξής:
 - Η μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη και η γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης παρουσίασαν μια αλματώδη αύξηση μετά το 1995 και κατά την τελευταία δεκαετία σταθεροποιήθηκαν.
 - Η μόνιμα αρδευόμενη γη και οι εκτάσεις με σύνθετα συστήματα καλλιέργειας παρουσίασαν σημαντική μείωση μετά το 1995 και κατά την τελευταία δεκαετία σταθεροποιήθηκαν.

Ως προς την περαιτέρω διερεύνηση της αγροτικής χρήσης και το διαχωρισμό της σε ζώνες για την αναλυτικότερη εξέταση των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- Πριν την επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, η κυρίαρχη καλλιέργεια στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας ήταν το βαμβάκι, το οποίο όμως εμφάνιζε μια τάση μείωσης.
- Η καλλιέργεια σιτηρών εμφάνιζε αλματώδη αύξηση, ενώ οι καλλιέργειες μηδικής, ντομάτας και οι αμπελώνες ενισχύθηκαν με την πάροδο των ετών.
- Οι υπόλοιπες καλλιέργειες παρέμειναν σχετικά σταθερές σε καλυπτόμενη έκταση.
- Στη ζώνη του υπόγειου υδροφορέα, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της καλλιέργειας αραβόσιτου.
- Μετά την επαναλειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας, η κυρίαρχη καλλιέργεια είναι το σιτάρι.
- Παρατηρήθηκε μια καμπή των εκτάσεων με καλλιέργεια σιταριού και βαμβακιού, όμως στη συνέχεια αυτές αυξήθηκαν.
- Στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων, παρατηρήθηκε μια πολύ σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια των ετών.
- Οι υπόλοιπες καλλιέργειες δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτες μεταβολές.
- Οι εκτάσεις με αγρανάπαυση αυξήθηκαν με την πάροδο των ετών.

Πιο αναλυτικά, ως προς τη διακύμανση των τιμών των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών ανά ζώνη, διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- Στη ζώνη που αρδεύεται από τα υπόγεια ύδατα του υδροφορέα Κάρλας, οι καλλιέργειες σιταριού και βαμβακιού παρουσιάζουν μικρή αύξηση και μικρή μείωση αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερες αυξομειώσεις παρατηρήθηκαν για τις δενδρώδεις καλλιέργειες, αλλά και τα ζαχαρότευτλα. Σημαντική είναι η αύξηση των εκτάσεων με αγρανάπαυση. Η καλλιέργεια του αραβόσιτου μπορεί να θεωρηθεί σχετικά σταθερή στο διάστημα της δεκαετίας.
- Στη ζώνη η οποία αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού ποταμού, οι καλλιέργειες σιταριού και βαμβακιού παρουσιάζουν μικρή αύξηση και μικρή μείωση αντίστοιχα. Οι ελαιώνες και οι αμπελώνες παρουσιάζουν τάση συρρίκνωσης έως και μηδενισμού των εκτάσεών τους. Η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αυξομειώσεις ως προς την καλλιεργούμενη έκταση. Οι αγραναπαύσεις είναι σχετικά σταθερές, όπως και η καλλιέργεια του αραβόσιτου.
- Τέλος, στη ζώνη που αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα της λίμνης Κάρλας, η καλλιέργεια σιταριού παρουσιάζει σταθερή αυξητική τάση, ενώ και η καλλιέργεια βαμβακιού, ενώ παρουσίαζε μείωση, από το 2013 και έπειτα παρουσιάζει αύξηση αρκετά πάνω από το μέσο όρο της δεκαετίας. Για τα ζαχαρότευτλα και τις δενδρώδεις καλλιέργειες παρατηρήθηκε επίσης η μεγαλύτερη αυξομείωση σε εκτάσεις, οι ελαιώνες παρουσιάζουν τάση συρρίκνωσης, οι αμπελώνες παραμένουν σχετικά σταθεροί σε έκταση, ενώ οι αγραναπαύσεις αυξάνονται σταδιακά. Στη ζώνη του ταμιευτήρα, η καλλιέργεια του αραβόσιτου είχε διπλασιαστεί το έτος 2013 και στη συνέχεια μειώθηκε κατά 50%.

- Η μεγαλύτερη διακύμανση τιμών παρατηρείται για τις εκτάσεις με καλλιέργεια βαμβακιού, πλην της ζώνης που αρδεύεται από το νεοσύστατο ταμιευτήρα Κάρλας όπου η μεγαλύτερη διακύμανση τιμών παρατηρείται για τις εκτάσεις με καλλιέργεια σιταριού.

Με τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών, διαπιστώθηκε ότι από το έτος 2008 και έπειτα (έναρξη λειτουργίας του ταμιευτήρα Κάρλας), η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα υπόγειου νερού για άρδευση των καλλιεργειών στη ζώνη του υδροφορέα Κάρλας μειώθηκε σημαντικά, καθώς μέρος των καλλιεργειών αρδεύονταν πλέον από τον ταμιευτήρα.

Με την πάροδο των ετών, οι ολικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών μειώνονται, καθώς επιλέγεται η αντικατάσταση των υδροβόρων καλλιεργειών με λιγότερο υδροβόρες.

Στη συνέχεια, εξετάστηκε η μεταβολή των εκτάσεων των αγροτικών καλλιεργειών της περιοχής μελέτης, καθώς και της παραγωγικής τους απόδοσης σε συνάρτηση με διάφορες παραμέτρους όπως οι κλιματικές συνθήκες στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, οι δείκτες τιμών προϊόντων, αλλά και το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- Η παραγωγική απόδοση των καλλιεργειών επηρεάζεται σημαντικά από τις επικρατούσες θερμοκρασίες, ενώ μόνο για ορισμένες καλλιέργειες επηρεάζεται από τις βροχοπτώσεις. Ενδεικτικά, αναφέρεται η καλλιέργεια του βαμβακιού, η οποία ως ιδιαίτερα υδροβόρα, απαιτεί και σημαντικές βροχοπτώσεις.
- Οι τιμές των αγροτικών προϊόντων δεν συσχετίζονται στατιστικά με την απόδοση των καλλιεργειών, αλλά ούτε και με από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, σύμφωνα και με το στατιστικό έλεγχο.
- Τα συνολικά υδατικά αποθέματα της περιοχής επηρεάζουν σημαντικά το είδος των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, δηλαδή η έλλειψη νερού οδηγεί σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες, αλλά και αντίστροφα δηλαδή η αύξηση των υδροβόρων καλλιεργειών, οδηγεί σε μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων.
- Οι υδατικές ανάγκες των υδροβόρων καλλιεργειών συσχετίζονται σε σημαντικό βαθμό με τα αντλούμενα ύδατα, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα και τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα Κάρλας. Για τις ξηρικές καλλιέργειες δεν παρατηρείται η αντίστοιχη συσχέτιση, δεδομένου ότι αυτές λαμβάνουν το απαιτούμενο νερό από τις βροχοπτώσεις και δεν αρδεύονται με άντληση.

Τέλος, από τα εναλλακτικά διαχειριστικά σενάρια που εξετάστηκαν, συμπεραίνεται ότι βέλτιστη διαχειριστική επιλογή συγκριτικά με τα εξεταζόμενα σενάρια στην περιοχή μελέτης θα αποτελούσε ένας συνδυασμός διαχειριστικών μέτρων που θα οδηγούσε σε αύξηση των «ξηρικών» καλλιεργειών, αύξηση της αγρανάπαυσης με την ύπαρξη κινήτρων και παράλληλα μείωση των ιδιαίτερα απαιτητικών σε νερό καλλιεργειών.

Η σπουδαιότητα εφαρμογής των διαχειριστικών σεναρίων ενισχύεται και από τα αποτελέσματα του σταδίου των στατιστικών συσχετίσεων χρονοσειρών, όπου αποδείχθηκε η σημαντική στατιστικά γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στα συνολικά υδατικά αποθέματα της περιοχής και το είδος των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, δηλαδή ότι η έλλειψη νερού οδηγεί σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες, αλλά και αντίστροφα ότι η αύξηση των εκτάσεων των υδροβόρων καλλιεργειών οδηγεί σε

μείωση των υδατικών αποθεμάτων. Σημαντική στατιστικά γραμμική συσχέτιση αποδείχθηκε ότι υπάρχει και ανάμεσα στις υδατικές ανάγκες και το διαθέσιμο όγκο αντλούμενων υδάτων, τα ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα και εν γένει τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα.

Με την εφαρμογή των διαχειριστικών σεναρίων, αναμένεται να υπάρξουν μεταβολές, όπως αποδείχθηκε, στις πιέσεις που υφίσταται ο υδροφορέας της περιοχής μελέτης, δηλαδή αναμένεται να μειωθούν οι όγκοι αντλούμενων υδάτων και η διαφορά αυτή θα προστεθεί στους όγκους των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων, κατά συνέπεια θα επηρεαστούν και τα συνολικά υδατικά αποθέματα του υδροφορέα. Έτσι, στην περίπτωση ενός ιδιαίτερα άνυδρου υδρολογικού έτους και προκειμένου να μην επιβαρυνθεί επιπρόσθετα ο υδροφορέας, προτείνεται η εφαρμογή ενός ή και συνδυασμού των διαχειριστικών σεναρίων. Τα εν λόγω σενάρια μπορούν να εφαρμοστούν και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα έτσι ώστε να προβλεφθούν οι αρνητικές συνέπειες της υπεράντλησης υπόγειων υδάτων στην ήδη επιβαρυνμένη υδρολογική λεκάνη Κάρλας.

Η δυνατότητα εφαρμογής των διαχειριστικών σεναρίων και ταυτόχρονα η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων τους μπορεί να συμβάλει στην αλλαγή των διαχειριστικών πρακτικών μέχρι σήμερα, αλλά και γενικά της πολιτικής που ακολουθείται αναφορικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην περιοχή μελέτης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δυσκολία κατάρτισης χρονοσειρών των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για μεγαλύτερη χρονική περίοδο πέραν της δεκαετίας, θα μπορούσε να συμβάλει στην αύξηση της στατιστικά σημαντικής γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των συσχετιζόμενων μεγεθών και για περισσότερα είδη καλλιεργειών πέραν πχ. του βαμβακιού. Το γεγονός αυτό οδηγεί σ'ένα βαθμό αβεβαιότητας αναφορικά με τις συναρτησιακές σχέσεις που δημιουργήθηκαν, καθώς εμπεριέχεται και ο κίνδυνος στατιστικού σφάλματος εξαιτίας του δείγματος.

Συνοψίζοντας, η υδρολογική λεκάνη Κάρλας αποτελεί μια αγροτική λεκάνη. Ωστόσο, με την πάροδο των ετών, η αγροτική χρήση μειώνεται προς επέκταση των άλλων χρήσεων γης, ενώ διαπιστώνεται ότι σ' ό,τι αφορά την αγροτική χρήση, οι αρδευόμενες εκτάσεις διαχρονικά μειώνονται σε αντίθεση με τη μη αρδευόμενη γη, η οποία επεκτείνεται.

Ορόσημο για τη διαμόρφωση του είδους των αγροτικών καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης αποτελεί η επανασύσταση της λίμνης Κάρλας, καθώς πριν το γεγονός αυτό κυριαρχούσε στην περιοχή η καλλιέργεια βαμβακιού, ενώ μετέπειτα κυρίαρχη καλλιέργεια είναι το σιτάρι. Βέβαια, στη νέα ζώνη καλλιεργειών, η οποία αρδεύεται από τα επιφανειακά ύδατα του ταμιευτήρα, οι εκτάσεις με βαμβάκι τείνουν να αυξηθούν. Οι υπόλοιπες καλλιέργειες, πλην των ζαχαρότευτλων, δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτες μεταβολές, ενώ η αγρανάπαυση αυξάνεται διαχρονικά.

Με την πάροδο των ετών, οι ολικές υδατικές ανάγκες των καλλιεργειών μειώνονται, καθώς επιλέγεται η αντικατάσταση των υδροβόρων καλλιεργειών με λιγότερο υδροβόρες, γεγονός που πιστοποιείται από τη χρονοσειρά των υπολογιζόμενων αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι υφίσταται μια τάση εγκατάλειψης μέρους της αγροτικής γης. Το γεγονός αυτό σε συσχετισμό με την τάση μείωσης του πληθυσμού στη λεκάνη της Κάρλας, αλλά και το γεγονός ότι ο αγροτικός τομέας είναι κυρίαρχος σ'ό,τι αφορά την απασχόληση στην περιοχή, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι προκειμένου να συγκρατηθεί ο αγροτικός πληθυσμός στην περιοχή, θα πρέπει να ληφθούν τα απαραίτητα διαχειριστικά μέτρα έτσι ώστε να δοθούν δυνατότητες στους αγρότες για αύξηση του εισοδήματος με τη χρήση περισσότερο κερδοφόρων καλλιεργειών. Εξάλλου, ένας από τους στόχους της ανασύστασης της λίμνης Κάρλας ήταν η μείωση του πληθυσμιακού μαρασμού στην περιοχή.

Αναφορικά με την επιλογή του είδους των καλλιεργειών, η διαθεσιμότητα του νερού φαίνεται να αποτελεί σημαντικό παράγοντα με μια πρώτη ανάγνωση. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται και από τη στατιστική συσχέτιση που πραγματοποιήθηκε και διαπιστώθηκε ότι τα συνολικά υδατικά αποθέματα της περιοχής επηρεάζουν σημαντικά το είδος των εφαρμοζόμενων καλλιεργειών, δηλαδή η έλλειψη νερού οδηγεί σε λιγότερο υδροβόρες καλλιέργειες και αυτός είναι ο καθοριστικότερος παράγοντας στην επιλογή των καλλιεργειών. Εξάλλου, στην κατεύθυνση αυτή συνηγορεί και το γεγονός ότι μετά την επανασύσταση της Κάρλας, στη νέα ζώνη που αρδεύεται από τον ταμιευτήρα, οι υδροβόρες καλλιέργειες (βαμβάκι) αυξήθηκαν.

Δεδομένου ότι το υδατικό ισοζύγιο του υδροφορέα στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας είναι διαχρονικά αρνητικό, είναι σημαντικό να ληφθούν διαχειριστικά μέτρα για την ενίσχυση της αντικατάστασης των υδροβόρων καλλιεργειών με άλλες λιγότερο υδροβόρες. Όπως διαπιστώθηκε, για τη μέγιστη εξοικονόμηση νερού, αυτό θα πρέπει να συνδυαστεί με παράλληλη εφαρμογή αγρανάπαυσης σε σημαντικό αριθμό εκτάσεων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι μετά την επαναλειτουργία του ταμιευτήρα Κάρλας, η απαιτούμενη ετήσια ποσότητα υπόγειου νερού για άρδευση των καλλιεργειών στη ζώνη του υδροφορέα Κάρλας μειώθηκε σημαντικά, καθώς μέρος των καλλιεργειών αρδεύονται πλέον από τον ταμιευτήρα. Έτσι, ο υπόγειος υδροφορέας «ανακουφίστηκε» ως ένα βαθμό.

Τα διαχειριστικά μέτρα που προτάθηκαν στα πλαίσια των εναλλακτικών σεναρίων, θα μπορούσαν να συνδυαστούν με τον καθορισμό μιας ανώτατης ποσότητας νερού άρδευσης ανά στρέμμα ανά είδος καλλιέργειας για την περιοχή μελέτης και σε συνάρτηση με τις ανάγκες σε νερό της κάθε καλλιέργειας ανά στάδιο ανάπτυξης, τη μέθοδο άρδευσης και τις απαιτήσεις του Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής και του εγκεκριμένου Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΣΔΛΑΠ) του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08), αλλά και με την εφαρμογή μέτρων ελέγχου για τη συμμόρφωση των χρηστών - παραγωγών προς αυτή την κατεύθυνση, αλλά και δράσεις περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης των αγροτών.

Σημαντική είναι και η ποιότητα των προς διάθεση υδατικών αποθεμάτων, αν και δεν εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Η υψηλή συγκέντρωση νιτρικών γεωργικής προέλευσης στη λεκάνη απορροής Κάρλας οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Για τη μείωση της ρύπανσης των υδάτων που προκαλείται έμμεσα ή άμεσα από νιτρικά ιόντα γεωργικής προέλευσης και στην πρόληψη της περαιτέρω ρύπανσης αυτού του είδους, σύμφωνα και τα οριζόμενα στην Οδηγία 676/91/EK, στις

χαρακτηρισμένες ευπρόσβλητες στη νιτρορύπανση ζώνες θα πρέπει να εφαρμοστούν κατάλληλα προγράμματα δράσης σε συνδυασμό με τους κώδικες γεωργικής πρακτικής για τον περιορισμό της εφαρμοζόμενης ποσότητας αζωτούχων λιπασμάτων.

Εν κατακλείδι, η παρούσα διατριβή μπορεί να αποτελέσει ένα σημείο αναφοράς για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης στην υδρολογική λεκάνη Κάρλας, προκειμένου αφενός να διατηρηθεί ο αγροτικός χαρακτήρας της περιοχής αφετέρου να αποφευχθεί η υποβάθμιση των υδάτων και εν γένει της ευρύτερης περιοχής λόγω της υπεράντλησης από τον υδροφορέα Κάρλας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλαμάνος Α., Μπέτσιος Α., 2014. Ζήτηση νερού στην πόλη της Σκιάθου - εναλλακτικά σενάρια πρόβλεψης της μελλοντικής κατανάλωσης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Βαβίζος Γ., Διαβάτης Η., Λαζαρίδης Λ., Ξαρχάκου Στ., Παπαγρηγορίου Σπ., Χατζημπίρος Κ., 2005. Έργα Εκτροπής στον Αχελώο. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Αθήνα

Γ.Γ.Δ.Ε./Γ.Δ.Υ.Ε. Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), 2010. Σύστημα διαχείρισης νερών, εδαφών και οικοσυστημάτων Κάρλας

Γκίνη Μ., 1996. Μοντέλα Ολοκληρωμένης διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Εφαρμογή στην Ήπειρο Πρακτικά Συνεδρίου ΤΕΕ- Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας «Διαχείριση Υδατικών πόρων», Λάρισα, Τόμος Ι. 13-16 Νοεμβρίου, Λάρισα

Γκουτής Α., 2013. Βελτιστοποίηση συνδυασμένου μοντέλου υδροφορέα - ταμιευτήρα της Λίμνης Κάρλας σε σχέση με τη ζήτηση νερού. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ζησοπούλου Α., Παρλάντζα Α., 2016. Ανάλυση του χρηματοοικονομικού κόστους αρδευτικού νερού στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καλογήρου Σ., 2015. Εφαρμογές Χωρικής Ανάλυσης με τη γλώσσα R. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 9, Αθήνα

Καλύβα Π., 2014. Υδρολογική αποτύπωση της ποσοτικής κατάστασης της λεκάνης απορροής της Λίμνης Κάρλας και του υπόγειου υδροφορέα της. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καραβίτης Χρ. & Σ. Αγγελίδης, 2005. Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Περιβάλλον. Διαχείριση Περιβάλλοντος. 3ο εξάμηνο Πανεπιστημιακές Διαλέξεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Καραμόσχος Π. & Συνεργάτες, Μυλόπουλος Ι., Α.Π.Θ., Μυλόπουλος Ν., Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2005. Οργάνωση της Παρακολούθησης σε Βάση Δεδομένων των Μετρήσεων Επιφανειακών και Υπόγειων Υδάτων και της Αξιολόγησης των Εγγειοβελτιωτικών Έργων της Θεσσαλίας. Περιφερειακό Ταμείο Ανάπτυξης της Περιφέρειας Θεσσαλίας

Καρυώτη Α., 2013. Καταγραφή των χρήσεων γης και των υδατικών απαιτήσεων των καλλιεργειών στη λεκάνη απορροής της Λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κοζάνης Σ., Χριστοφίδης Α., και Ευστρατιάδης Α., 2010. Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό Υδρογνώμων (έκδοση 4), Ανάπτυξη βάσης δεδομένων και εφαρμογών λογισμικού σε διαδικτυακό περιβάλλον για την «Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας», Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 173 pages, Αθήνα

Κουτσογιάννης Δ., 1997. Στατιστική Υδρολογία, Έκδοση 4, 312 pages, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κουτσογιάννης Δ., 2007. Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Μέρος 1, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Κουτσογιάννης Δ., Α. Ανδρεαδάκης, Α. Μαυροδήμου κ.ά., 2008. Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, ΥΠΕΧΩΔΕ - Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Λουκάς Α., 2012. «Νέα Δυναμική στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Το Σχέδιο Διαχείρισης Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας», Ημερίδα ΤΕΕ Μαγνησίας “Σχέδια Διαχείρισης Υδατικών Πόρων”, Βόλος

Μαμάσης Ν., 2011. Παρουσιάσεις μαθήματος Υδατικό περιβάλλον και Ανάπτυξη. ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Εργαστήριο υδρολογίας και αξιοποίησης υδατικών πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Μεντές Α., 2001. Διαχείριση της Ζήτησης στον Τομέα της Ύδρευσης. Ανάπτυξη Ολοκληρωμένου Συστήματος Αξιολόγησης Εναλλακτικών Πολιτικών Διαχείρισης της Ζήτησης του Νερού, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Μυλόπουλος Α.Γ, 2000. «Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων», Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Μυλόπουλος Γ., Κολοκυθά Ε., 1996. Το νερό ως οικονομικό αγαθό. Πρακτικά Διεθνούς Συνεδρίου «Διαχείριση Υδατικών Πόρων». Λάρισα. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (ΤΕΕ). τόμ.Ι.

Μυλόπουλος Ν., 2001. Διαχείριση υδατικών πόρων. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ξανθόπουλος Θ., 1996. Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Θεωρητικές Ελπίδες και Ρεαλιστική προσέγγιση Πρακτικά Συνεδρίου ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας. «Διαχείριση Υδατικών πόρων», Τόμος Ι. 13-16 Νοεμβρίου, Λάρισα

Παπακωνσταντίνου Α., Μπέλτσιος Σ., 1996. Έλεγχος επιφανειακών νερών Θεσσαλίας Πρακτικά Συνεδρίου ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας «Διαχείριση Υδατικών πόρων», Τόμος Ι. 13-16 Νοεμβρίου, Λάρισα

Σιδηρόπουλος Π., 2016. Παρουσιάσεις μαθήματος Ύδρευση και Αποχέτευση Οικισμών, Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σιδηρόπουλος Π., 2014. Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε συνθήκες αβεβαιότητας: η αξία της πληροφορίας σε περιβαλλοντικά υποβαθμισμένους υδροφορείς. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

- Σιδηρόπουλος Π. και Μυλόπουλος Ν., 2012. Στοχαστική βελτιστοποίηση σε υδροφορέα υπό καθεστώς υπερ-εκμετάλλευσης: Η περίπτωση της λίμνης Κάρλας, 2ο Κοινό Συνέδριο: 12ο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 8ο της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ), Πάτρα, Ελλάδα, 11-13 Οκτωβρίου 2012
- Σιδηρόπουλος Π. και Μυλόπουλος Ν., Λουκάς Α. και Βασιλειάδης Λ., 2012. Αειφορική και ολοκληρωμένη διαχείριση του υπόγειου υδροφορέα της λίμνης Κάρλας με τη λειτουργία του ταμιευτήρα, 1ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σκιάθος, Ελλάδα, 8-10 Σεπτεμβρίου 2012
- Τζιάτζιος Γ., 2010. Λίμνη Κάρλα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Τσακίρης Γ., 2001. Διαχείριση Υδατικών Πόρων για την Ειρήνη την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
- Τσιούστα Π., 2015. Αποτίμηση των αρδευτικών αναγκών και προτάσεις για τη διαχείρισή τους στον Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Υπουργείο Ανάπτυξης, Ε.Μ.Π., Ι.Γ.Μ.Ε., 1996. «Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Χώρας»
- Φαρμάκη Μ., 2007. Θεσμικό Πλαίσιο Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων. Συγκρούσεις Και Συντονισμός. Τμήμα Γενικού Δικαίου. Πάντειο Πανεπιστήμιο Κοινωνικών Και Πολιτικών Επιστημών. Αθήνα
- Aggarwal, C. C., 2015. Data Mining: The Textbook, Springer
- Archontoulis S.V., Struik P.C., Yin X., Bastiaans L., Vos J., Danalatos N. G., 2010. Inflorescence characteristics, seed composition, and allometric relationships predicting seed yields in the biomass crop *Cynara cardunculus*, Global Change Biology Bioenergy 2:113–129
- Bailey, T.C., & Gatrell, A.C., 1995. Interactive spatial data analysis. Essex: Addison-Wesley Longman
- Danalatos NG, Archontoulis SV, 2009. Oilseed rape growth, biomass accumulation and seed yield as affected by variety and N-fertilization in a dry year central Greece. In: Proceedings of the 17th European Biomass Conference, Hamburg, Germany, p. 507–511.
- Domenikiotis C., Spiliotopoulos M., Tsiros E., Dalezios N. R., 2004. Early cotton yield assessment by the use of the NOAA/AVHRR derived Vegetation Condition Index (VCI) in Greece, International Journal of Remote Sensing 25(14):2807-2819
- Dunham, M. H., 2003. Data Mining: Introductory and Advanced Topics, New Jersey, Prentice Hall
- Fischer, M.M., & Wang, J., 2011. Spatial Data Analysis: Models, Methods and Techniques. Berlin: Springer
- Han, J., & Kamber, M., 2001. Data Mining: Concepts and Techniques, Academic Press

Johnston, R.J., Gregory, D., Pratt, G., & Watts, M., 2000. The Dictionary of Human Geography, 4th Edition. Oxford: Blackwell Publishers Ltd

Kokkinos, K., Samaras N. and Loukas A., 2015. “An Integrated Modeling Architecture for the Monitoring of Lake Karla Watershed.” 5th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), 14-18 June, 2015, Mykonos Island, Greece

Kokkinos, K., Samaras N., Mylopoulos N., Laspidou C. and Loukas A., 2015. “The Coupling of the Hydrological Models UTHBAL, UTHRL, MODFLOW and the Environmental Model PCLake under a Collaborative Modeling Framework for Water Resources Management of the Lake Karla Watershed.” 5th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), 14-18 June, 2015, Mykonos Island, Greece

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 750

Loukas, A., E. Kolokytha, N. Mylopoulos, L. Vasiliades, A. Mentis and Y. Mylopoulos, 2006. “Policy Options through Water Conservation in Agriculture in the Greater Thessaly Region” 8th International Conference of Protection and Restoration of the Environment, 3- 7 July, Chania

Reilly J., Tubiello F., McCarl B., Abler D., Darwin R., Fuglie K., Hollinger S., Izaurralde C., Jagtap S., Jones J., Mearns L., Ojima D., Paul E., Paustian K., Riha S., Rosenberg N., Rosenzweig C., 2003. U.S. agriculture and climate change: new results, *J. Climatic Change*, Volume 57, p. 43-67

Shiklomanov, I.A. and Rodda, J.C., 2003. World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. Cambridge University Press, Cambridge

Tigka E.L., Beslemes D.F., Danalatos N.G., Tzortziosa S., 2013 Evaluation of cover-cropping managements on productivity and N-utilization efficiency of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), under different nitrogen fertilization rates and soil types, *European Journal of Agronomy*, *Europ. J. Agronomy* 46 (2013) 1– 9

Zalidis G., and A. Gerakis, 1999. Research Evaluating Sustainability of Watershed Resources Management through Wetland Functional Analysis. *Environmental Management* Vol. 24, No. 2, pp. 193-207

Unwin, D., 1981. *Introductory Spatial Analysis*. New York: Methuen.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

<http://www.elga.gr/xrisimes-pliروفories/dilos-i-kalliergeias-ektrofis/eniaia-dilos-i-kalliergeias-ektrofis>

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7_%CE%9A%CE%AC%CF%81%CE%BB%CE%B1

http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/GRIMM/erosion/inra/europe/analysis/maps_and_listings/web_erosion/index.html

<http://www.fdkarlas.gr/History.aspx>

<http://www.ktimatologio.gr/forestmaps/Pages/xrisis-gis.aspx>
http://www.minagric.gr/images/stories/agropol/Greek/Agro_pol/3.htm
<http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/crop-production>
<https://www.nationalgeographic.org/photo/new-gis/>
<http://www.opekepe.gr/vamvaki.asp>
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5030/1/02_chapter_1.pdf
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/5029/1/00_master_document-KOY.pdf
<http://users.auth.gr/dkugiu/Teach/DataAnalysis/>
<http://wfdver.ypeka.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ
