

# EMERGY

ΒΙΩΣΙΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ EMERGY ΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ.



ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΗΤΡΗΣ ΜΠΑΚΑΛΙΑΝΟΣ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 9051/1  
Ημερ. Εισ.: 29-11-2010  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
333.913 094 954  
ΜΠΑ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Μ.Π.Σ : « ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ &  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ »**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΒΙΩΣΙΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ  
ΜΕΘΟΔΟΥ EMERGY ΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΜΠΑΚΑΛΙΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΛΟΥΚΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ : ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ**

**ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης αγροτικών περιοχών ζητούμενο είναι η διατήρηση της αρδευόμενης γεωργίας ως βασική οικονομική δραστηριότητα, παράλληλα όμως με αποδοτική χρήση των πόρων. Ειδικότερα, στόχος είναι η αποδοτική χρήση των ανανεώσιμων και μη πόρων, για την παράγωγή προϊόντων ποιότητας με την ελαχίστη δυνατή επίπτωση στο περιβάλλον. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η χρησιμοποίηση της Emergy ανάλυσης για την αξιολόγηση της χρήσης των υδατικών πόρων στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας, η μελλοντική κατάσταση της περιοχής μελέτης με τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και η σύγκριση με την υφισταμένη κατάσταση, όπως και η μελέτη εναλλακτικών καλλιεργειών για τις περιοχές μελέτης, στην υφισταμένη κατάσταση αλλά και για μελλοντική περίοδο. Από τα δεδομένα της Emergy ανάλυσης μπορεί να υπολογιστεί η τιμή ορισμένων δεικτών, ώστε να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα του εξεταζόμενου συστήματος. Η βιωσιμότητα στην ανάλυση Emergy καθορίζεται από το βαθμό εξάρτησης σε ανανεώσιμους πόρους και εισαγόμενη ενέργεια και από το φορτίο που διατίθεται στο περιβάλλον. Έτσι, το σύστημα δύναται να συγκριθεί με αλλά παρόμοια και μπορούν να αναγνωριστούν τάσεις στο χρόνο, αλλά και να αξιολογηθούν εναλλακτικές και προτεινόμενες διεργασίες για την επιλογή της βέλτιστης. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι δείκτες της Emergy ανάλυσης των καλλιεργειών των λεκανών λίμνης Κάρλας και η μεταβολή τους σε εναλλακτικά σενάρια της χρήσης των πόρων των δυο περιοχών

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας « Εφαρμοσμένη Μηχανική και Προσομοίωση Συστημάτων ».

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και αγαπητούς συνεργάτες Παντελή Σιδηρόπουλο και Γιώργο Παπανικολάου τόσο για τη υπερπολύτιμη βοήθεια τους για την ολοκλήρωση της διατριβής μου όσο και για τη στήριξη τους στις δύσκολες στιγμές.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	I
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	II
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>Ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>Ο</sup> : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	5
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	5
2.2 Η ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ.....	6
2.3 ΚΛΙΜΑ.....	8
2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	9
2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ..	10
2.6 ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	10
2.7 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΕΡΓΑ.....	12
2.8 ΒΙΟΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	15
2.9 ΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	16
2.10 ΓΕΩΡΓΟΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ.....	16
2.11 ΕΡΓΑΣΙΑΚΗ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>Ο</sup> : ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b> .....	18
3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	18
3.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	22
3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ...25	
3.3.1 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης.....	26
3.3.2 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.....	33
3.3.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.....	35
3.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>Ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ</b> .....	42
4.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	42
4.1.1 Ζήτηση καλλιεργειών-εξατμισοδιαπνοή.....	44
4.1.2 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών με τη μέθοδο Blaney Criddle.....	44
4.1.3 Ωφέλιμη (ενεργός) βροχόπτωση.....	45
4.1.4 Αποδοτικότητα Άρδευσης.....	46

4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ EMERGY ΑΝΑΛΥΣΗ.....	51
4.2.1 Σχεδιασμός του συστήματος προς ανάλυση.....	52
4.2.2 Emergy ανάλυση.....	54
4.2.3 Emergy δείκτες.....	56
4.2.4 Βήματα υπολογισμού Emergy .....	58
4.2.5 Συντελεστές Μετατροπής και Τύποι Υπολογισμού.....	58
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	63
4.4 ΣΕΝΑΡΙΑ.....	65
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....</b>	<b>67</b>
5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	67
5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ.....	69
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY.....	72
5.3.1 Βαμβάκι.....	72
5.3.2 Αραβόσιτος.....	74
5.3.3 Σιτηρά.....	76
5.3.4 Μηδική.....	78
5.3.5 Ελιές.....	79
5.3.6 Τεύτλα.....	80
5.3.7 Αμπέλια.....	82
5.3.8 Καρποί με κέλυφος (ξηροί καρποί).....	83
5.3.9 Ντομάτα (βιομηχανική).....	84
5.3.10 Μηλιές.....	85
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....</b>	<b>86</b>
6.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ.....	86
6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ.....	96
6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY.....	97
6.3.1 Βαμβάκι.....	97
6.3.2 Αραβόσιτος.....	99
6.3.3 Σιτηρά.....	101
6.3.4 Μηδική.....	102
6.3.5 Ελιές.....	104
6.3.6 Τεύτλα.....	105
6.3.7 Αμπέλια.....	106
6.3.8 Καρποί με κέλυφος (ξηροί καρποί).....	108

---

6.3.9 Ντομάτα (βιομηχανική).....	108
6.3.10 Μηλιές.....	109
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....</b>	<b>110</b>
7.1 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	110
7.1.1 Ηλίανθος.....	110
7.1.2 Αγριαγκινάρα.....	111
7.1.3 Ελαιοκράμβη.....	112
7.1.4 Σόργο.....	113
7.1.5 Μίσχανθος.....	114
7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2005.....	115
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2049..	117
7.3.1 Ζώνη 1.....	117
7.3.2 Ζώνη 2.....	118
7.3.3 Ζώνη 3.....	119
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>121</b>
8.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1998 – 2005.....	121
8.1 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2020 – 2049.....	123
8.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ.....	124
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>126</b>

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θέματα που αφορούν τη δομή των καλλιεργειών και το σχεδιασμό στον γεωργικό τομέα απαιτούν μια πολυκριτηριακή ανάλυση, καθώς οι αποφάσεις που λαμβάνονται και οι νόρμες που ακολουθούνται έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην οικονομία, στο περιβάλλον και ως εκ τούτου στην κοινωνία και την ανάπτυξη αυτής. Συνήθως τα ανεπαρκή διαθέσιμα δεδομένα και η έλλειψη γνώσεων και επιστημονικής κατάρτισης οδηγεί τους λήπτες αποφάσεων σε μια εμμονή στο να ακολουθούνται απλοϊκές τεχνικές και μεθοδολογίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση μιας απλά ικανοποιητικής λύσης και όχι της βελτιστοποίησης της απόδοσης του σχεδιασμού.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης αγροτικών περιοχών ζητούμενο είναι η διατήρηση της αρδευόμενης γεωργίας ως βασική οικονομική δραστηριότητα, παράλληλα όμως με αποδοτική χρήση των πόρων. Ειδικότερα, στόχος είναι η αποδοτική χρήση των ανανεώσιμων και μη πόρων, για την παράγωγή προϊόντων ποιότητας με την ελαχίστη δυνατή επίπτωση στο περιβάλλον. Εξάλλου κρίνεται επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης εργαλείων που να εντάσσουν σε ένα κοινό πλαίσιο αξιολόγησης οικονομικούς, φυσικούς και ανθρωπογενείς πόρους. Ένα τέτοιο εργαλείο ανάλυσης των επιμέρους τομέων της γεωργικής δραστηριότητας είναι η ανάλυση Emergy.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η χρησιμοποίηση της Emergy ανάλυσης για την αξιολόγηση της διαχρονικής και μελλοντικής χρήσης των υδατικών πόρων στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κάρλας καθώς και τη διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης και αναδιάρθρωσης των καλλιεργειών. Η ανάγκη που υπαγόρευσε αυτή τη



μελέτη συνίσταται σε ένα πλήθος προβλημάτων που σχετίζονται με την ανορθολογική χρήση των υδατικών πόρων των περιοχών και τα οποία χρήζουν άμεσης επίλυσης. Τα προβλήματα αυτά δεν είναι μόνο συνέπειες της πραγματικής έλλειψης νερού ή ακραίων υδρολογικών καταστάσεων, αλλά οφείλονται κυρίως στην ανθρώπινη παρέμβαση.

Η βασική αρχή της μεθοδολογίας είναι πως τα οικονομικά και οικολογικά συστήματα μπορούν να περιγράφουν από ένα κοινό θερμοδυναμικό πλαίσιο, μιας και τόσο τα οικονομικά όσο και τα οικολογικά συστήματα αποτελούν συστήματα αυτό-οργάνωσης, και επομένως ακολουθούν τους νομούς της θερμοδυναμικής. Το κοινό αυτό πλαίσιο είναι η ηλιακή ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία τους, που καλείται *emergy* και μονάδα μέτρησής της είναι το *sej* (solar emergy joules) ή τα *Emdollars* (Em\$), όταν αναφέρεται σε οικονομικά μεγέθη. Έτσι όλα τα μέρη των συστημάτων μπορούν να αποτιμηθούν ποσοτικά με μια κοινή μονάδα.

Το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης *Emergy* είναι ένας πίνακας που παρουσιάζει όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα του συστήματος μελέτης. Αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε σύνολα, όπως ανανεώσιμοι πόροι, μη ανανεώσιμοι πόροι, οικονομικά αγαθά, απόδοση, προκειμένου να αξιολογείται η συνεισφορά κάθε ομάδας στην παραγωγική διαδικασία του συστήματος. Ανάλογα με το είδος του πόρου, η ποσότητα πολλαπλασιάζεται είτε με το συντελεστή μετατροπής για φυσικά αγαθά είτε με τους λόγους *emergy/χρήμα* για οικονομικά αγαθά, με αποτέλεσμα να εκφράζονται όλες οι παράμετροι σε ηλιακή *Emergy*.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ολοκλήρωση της μελέτης είναι τα εξής::

- Αναζήτηση όλων των απαραίτητων δεδομένων, χαρτών, μελετών, άρθρων που αφορούν τις περιοχές μελέτης και τις μεθοδολογίες, στην βιβλιοθήκη του πανεπιστημίου, στο διαδίκτυο, σε άλλες βιβλιοθήκες, σε δημόσιες υπηρεσίες και ιδιωτικούς φορείς και καταγραφή αυτών.
- Επεξεργασία των τεχνοοικονομικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση.
- Διαχωρισμός της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας σε τρεις περιοχές διαχείρισης αρδευτικού νερού.
- Εκτίμηση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών κάθε περιοχής μελέτης
- Σχεδιασμός του συστήματος προς ανάλυση με τη μέθοδο *Emergy*

- Ανάπτυξη σεναρίων διαχείρισης
- Εισαγωγή όλης της βάσης δεδομένων στο σύστημα της ανάλυσης Emergy και υπολογισμός των δεικτών Emergy
- Σύγκριση των περιοχών διαχείρισης και εξαγωγή συμπερασμάτων

Αναλυτικότερα, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια περιγραφή της περιοχής μελέτης όπου παρατίθενται γενικές πληροφορίες για τη γεωγραφική θέση, κλίμα, τη μορφολογία των υδρολογικών λεκανών, τα υφιστάμενα εργάτης οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες και τους υδατικούς πόρους της κάθε περιοχής μελέτης.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται όλη η βάση δεδομένων που αξιοποιήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης όπως εκτάσεις, μετεωρολογικά στοιχεία, στοιχεία καλλιεργειών, αλλά και διαδικασίες επεξεργασίας των μετεωρολογικών στοιχείων όπως εκτίμηση μέσης επιφανειακής υετόπτωσης και θερμοκρασίας, και υπολογισμός θερμοκρασιακής εξατμισοδιαπνοής.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναπτύσσονται οι μεθοδολογίες που ακολουθηθήκαν, δηλαδή η εκτίμηση αρδευτικών αναγκών και η emergy ανάλυση καθώς και τα εναλλακτικά σενάρια που διαμορφώθηκαν και ερευνηθήκαν για τις περιοχές μελέτης.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης άρδευσης και τα αποτελέσματα της ανάλυσης Emergy για την υφισταμένη κατάσταση των περιοχών μελέτης.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετάται η μελλοντική κατάσταση των περιοχών μελέτης με συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και η σύγκριση με την υφισταμένη κατάσταση.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετούνται εναλλακτικές καλλιέργειες για τις περιοχές μελέτης, στην υφισταμένη κατάσταση αλλά και για μελλοντική περίοδο.

Οι πηγές λήψης των αναγκαίων (γενικών και ειδικών) στοιχείων, που αφορούν ή αναφέρονται ή σχετίζονται με τις υπό μελέτη περιοχές και χρησιμοποιούνται για τη σύνταξη της παρούσας εργασίας, έχουν ως εξής:

- Οι Τεχνοοικονομικοί Δείκτες Φυτικής παράγωγης και τα στοιχεία των εκτάσεων των καλλιεργειών για τη λεκάνη της λίμνης Κάρλας που ελήφθησαν από την Διεύθυνση γεωργικής ανάπτυξης της Περιφέρειας Θεσσαλίας και τις Διευθύνσεις Εγγειοβελτιωτικών Έργων της Νομαρχίας Μαγνησίας και Λάρισας.

- Πληροφορίες σχετικές με τη χρήση και τα κόστη σπορών, φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων που ελήφθησαν από τις Ενώσεις Γεωργικών Συναιτερισμών Βόλου
- Πληροφορίες σχετικές με τη χρήση και τα κόστη σπορών, φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων που ελήφθησαν από την εταιρία Αγρομηχανική Βόλου Α.Ε.
- Πληροφορίες σχετικές με τις εναλλακτικές καλλιέργειες ελήφθησαν από το Εργαστήριο Γεωργίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

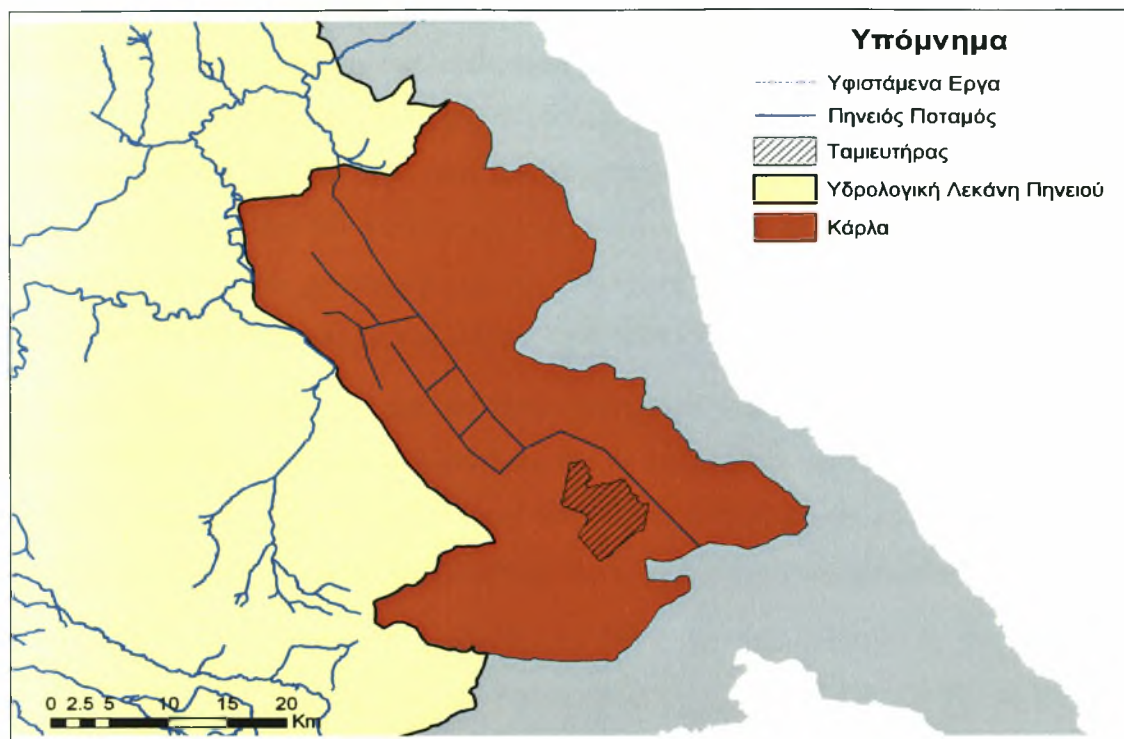
## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η λεκάνη της λίμνης Κάρλας βρίσκεται στο ΝΑ άκρο της πεδιάδας της Λάρισας και παρουσιάζει μορφή κλειστής επιμήκους λεκάνης μήκους 35 km. και πλάτους 9- 15 km. Η λεκάνη έχει όρια στο Βορρά τον ποταμό Πηνειό και τον ορεινό όγκο της Όσσας, στην Ανατολή τους ορεινούς όγκους του Μαυροβουνίου και του Πηλίου, στο Νότο το Χαλκοδόσιο όρος και το Μεγαβούνι και στη Δύση το Φυλλήιον όρος (Σχήμα 2.1.1.). Η φυσική λεκάνη της λίμνης Κάρλας έχει συνολική έκταση 1663 km<sup>2</sup>. Στο μέσο της λεκάνης αυτής βρίσκεται το βαθύτερο τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας, τα χαμηλότερα τμήματα της οποίας μέχρι το 1961, κάλυπταν 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. Το μέγιστο βάθος της Κάρλας από 5,5 m που ήταν πριν από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, μειώθηκε στα 2 m το 1950-51. Οι διακυμάνσεις της στάθμης, η απόπλυση των εδαφών, το ιδιόμορφο ιδιοκτησιακό καθεστώς και η μείωση των αλιευμάτων συνετέλεσαν στο να αποξηρανθεί εντελώς η Κάρλα, παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο.





Σχήμα 2.1.1 Η θέση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας.

## 2.2 Η ΛΙΜΝΗ ΚΑΡΛΑ

Η λίμνη Κάρλα, ή αρχαία Βοιβής καταλάμβανε μέχρι το 1962 το χαμηλότερο σημείο της Θεσσαλικής πεδιάδας. Η λίμνη δεχόταν σημαντικές εισροές γλυκού νερού διότι, πέρα από τα νερά της λεκάνης απορροής της, ήταν αποδέκτης μέρους της πλημμυρικής παροχής του Πηνειού μέσω του ρεύματος Ασμάκι. Οι εκροές νερού από τη λίμνη οφείλονταν κυρίως στην εξάτμιση και τις απώλειες νερού από τον πυθμένα και τις όχθες της. Η εισροή σημαντικών όγκων νερού, σε συνδυασμό με το μικρό βάθος της λίμνης, ευνοούσαν την ιχθυοπαραγωγή, την υδρόβια βλάστηση και τη φιλοξενία υδρόβιων πτηνών. Αν υπήρχε σήμερα η Κάρλα, θα ήταν ένας από τους πέντε σημαντικότερους υγροτόπους στην Ελλάδα

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 km<sup>2</sup>. Αυτό είχε ως επακόλουθο η παγίδευση πλημμυρικών υδάτων στη λίμνη να συνοδεύεται από την κατάκλυση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων γύρω από αυτή, ενώ παράλληλα προκαλούσε προβλήματα στράγγισης και αλατότητας στα εδάφη της γύρω περιοχής.

Η ανάγκη για την αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής και την απόκτηση γεωργικών εκτάσεων, αποτέλεσαν την αιτία για την εκπόνηση διαφόρων μελετών που πραγματοποιήθηκαν μετά την απελευθέρωση της Θεσσαλίας, το 1881. Σύμφωνα με αυτές 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 αυτός 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 συλλεκτήρες και τα αναχώματα του Πηνειού, περιορίστηκε η λεκάνη απορροής της κατά το 1/3 και αποκόπηκε η τροφοδοσία της από τον ποταμό. Συνέπεια αυτού ήταν η μείωση των εισροών και η υποβάθμιση του υδροτόπου.

Η τελική αποστράγγιση της λίμνης το 1962, με την κατασκευή της σήραγγας αποστράγγισης και μέρους του αποστραγγιστικού δικτύου, δεν έλυσε πλήρως τα προβλήματα διότι δεν κατασκευάστηκαν: 1) ο προβλεπόμενος από τις μελέτες ταμιευτήρας και 2) τα έργα που συνδέονταν με αυτόν. Ο ταμιευτήρας αυτός δεν κατασκευάστηκε λόγω αντιρρήσεων όσον αφορά τη θέση εγκατάστασης, την έκταση που θα καταλάμβανε και το κατά πόσο πέραν από την αντιπλημμυρική προστασία θα χρησίμευε και για την αποθήκευση νερού για άρδευση. Τελικά, ύστερα από σειρά μελετών ο ταμιευτήρας αυτός βρίσκεται σήμερα στη φάση κατασκευής.

Η αναστολή των έργων κατασκευής του ταμιευτήρα δεν επέτρεψε να ολοκληρωθούν τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας και αποθήκευσης νερού, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των εξής περιβαλλοντικών συνεπειών:

- εξάντληση και πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, ανεπάρκεια αρδευτικού νερού,
- κατακλύσεις των χαμηλών περιοχών και πλημμυρική στράγγιση,
- ρύπανση του Παγασητικού με βιομηχανικούς και γεωργικούς ρύπους που εισέρχονται στις αποστραγγιστικές τάφρους.

Με την αποξήρανση της λίμνης χάθηκε η πλούσια ιχθυοπαραγωγή, καταστράφηκε το ενδιαίτημα εκατοντάδων χιλιάδων υδρόβιων και παρυδάτιων πουλιών και αποκόπηκε ο σπουδαιότερος κρίκος μεταξύ των υδροτόπων της Βόρειας και Νότιας Ελλάδας. Επίσης, η

περιοχή έχασε την οικολογική της ταυτότητα και την μοναδική πολιτιστική της κληρονομιά, η οποία συνδεόταν με το υγρό στοιχείο.

Μεγάλο μέρος των προβλημάτων που υφίστανται σήμερα στην περιοχή προήλθε από την απώλεια των πολύτιμων λειτουργιών του υγροτόπου. Οι λειτουργίες αυτές ήταν:

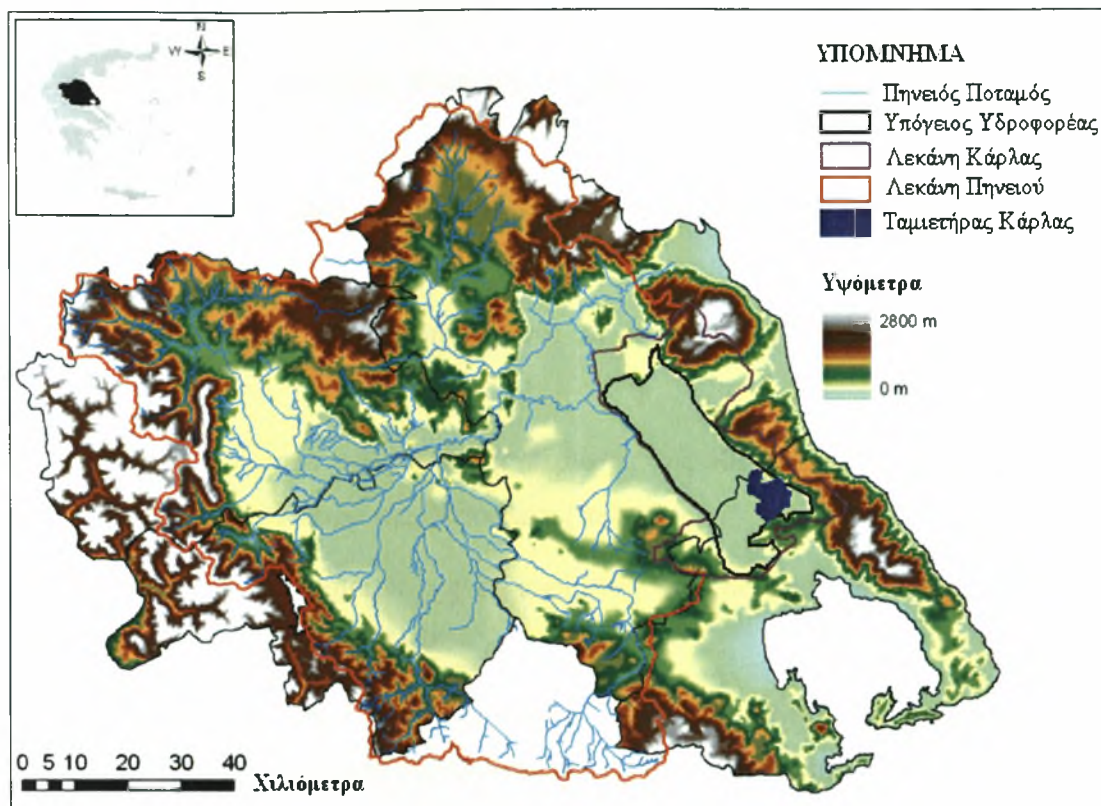
- ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων,
- η παγίδευση των πλημμυρικών νερών,
- η απομάκρυνση και η μετατροπή των θρεπτικών στοιχείων,
- η κατακράτηση και των ιζημάτων και των τοξικών ουσιών,
- η αποθήκευση και ελευθέρωση της θερμότητας,
- η δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας
- η στήριξη των τροφικών αλυσίδων.

Οι άμεσες και έμμεσες αξίες του υγροτόπου, που απορρέουν από τις λειτουργίες του και αποτελούν τη δυναμική του ενέργεια είναι:

- η αποταμίευση νερού
- η βελτίωση της ποιότητάς του νερού
- η βιολογική ποικιλότητα,
- η αλιευτική,
- η θηραματική κ.α.

## 2.3 ΚΛΙΜΑ

Το κλίμα στην περιοχή κατατάσσεται στο ηπειρωτικό ημίξηρο χαρακτηριζόμενο από θερμό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό και υγρό χειμώνα. Η μέση θερμοκρασία είναι πάντα πάνω από το μηδέν, αλλά η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε κατά το χειμώνα είναι  $-21,6^{\circ}$  C. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι ήταν  $45,2^{\circ}$  C. Επίσης, στην περιοχή παρατηρούνται παγετοί κατά την περίοδο Δεκεμβρίου-Μαρτίου και σπανιότερα κατά τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο. Η μέση σχετική υγρασία στην περιοχή είναι 66%.



**Σχήμα 2.3.1** Χάρτης Θεσσαλίας με τη λεκάνη, τον υπόγειο υδροφόρα και τον Ταμιευτήρα της Κάρλας.

## 2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η περιοχή της Κάρλας αποτελεί τεκτονικό βύθισμα που σχηματίστηκε κατά τους πρόσφατους γεωλογικούς χρόνους. Ακολούθησε πλήρωση με υλικά που μετέφερε ο Πηνειός και οι γύρω από αυτόν χείμαρροι από τις λεκάνες απορροής τους. Το κεντρικό τμήμα, στη μεγαλύτερη του έκταση αποτελείται από μεγάλο πάχους λεπτόκοκκες νεογενείς αποθέσεις, ενώ στην περιμετρική ζώνη επικρατούν μικρότερου πάχους στρώσεις αδρομερέστερων υλικών. Οι ορεινοί όγκοι που περιβάλλουν την πεδιάδα από Β.Α. αποτελούνται από κρυσταλλικά πετρώματα ταλκικών σχιστολίθων και χλωριτικών γνεύσιων που φθάνουν μέχρι την περιοχή του Καλαμακίου και στη συνέχεια από καρστικοποιημένα μάρμαρα. Σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων εμφανίζονται και στα βόρεια και νότια του χωριού Κανάλια, ενώ οι ίδιοι σχηματισμοί συνεχίζονται και στα Ν.Α. Στο ΝΔ τμήμα η πεδιάδα καλύπτεται από αργιλικές αποθέσεις της Πλειόκαινου.



## 2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Η μορφολογία της λεκάνης απορροής της Κάρλας μπορεί να περιγραφεί από τα παρακάτω στοιχεία.

- Το έδαφος είναι ομαλό με κλίσεις μικρότερες του 1%, ενώ στα άκρα συναντώνται κλίσεις μέχρι και 5%
- Στην περιοχή της πρώην λίμνης οι κλίσεις του εδάφους είναι πρακτικά ανύπαρκτες.
- Το χαμηλότερο υψόμετρο της περιοχής της Κάρλας είναι +44 που είναι το ελάχιστο υψόμετρο της Θεσσαλικής πεδιάδας.
- Τα μέγιστα υψόμετρα της περιοχής της Κάρλας φθάνουν στο +52 και κατά τόπους μέχρι +56 και +58.
- Ο πυθμένας της λίμνης παρουσιάζει καλή στεγανότητα, ενώ παρουσιάζονται διαρροές σε τμήματα της φυσικής περιμέτρου της λίμνης.
- Ο ταμιευτήρας των 38 km<sup>2</sup> χωροθετείται στο χαμηλότερο τμήμα της πρώην λίμνης Κάρλας κοντά στο χωριό Κανάλια.
- Ο ταμιευτήρας καταλαμβάνει σε μέγιστο ποσοστό εκτάσεις του Δημοσίου και έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα απαλλοτριώσεων.
- Τα εδάφη που θα κατακλύσει είναι υποβαθμισμένα και κατώτερης ποιότητας.

## 2.6 Η ΑΠΟΞΗΡΑΝΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Το μέγιστο βάθος της Κάρλας από 5,5 m που ήταν πριν από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, μειώθηκε στα 2 m το 1950-51. Οι διακυμάνσεις της στάθμης, η απόπλυση των εδαφών, το ιδιόμορφο ιδιοκτησιακό καθεστώς και η μείωση των αλιευμάτων συνετέλεσαν στο να αποξηρανθεί εντελώς η Κάρλα, παρά τις σχετικές μελέτες που δεν προέβλεπαν κάτι τέτοιο.

Το 1954 ο μηχανικός Παπαδάκης (ΤΕΕ Τμήμα Μαγνησίας) παρουσιάζει μια μελέτη εγγειοβελτιωτικών έργων της Παρακάρλιου περιοχής που του είχε ανατεθεί από το Υπουργείο Γεωργίας. Η μελέτη αυτή αφορούσε στην αξιοποίηση του μεγαλύτερου

τμήματος της Παρακάρλιας περιοχής που εκτείνεται μεταξύ της Ν.Δ. όχθης της λίμνης και της παλαιάς Εθνικής οδού Βόλου- Λάρισας, Β.Δ. μέχρι την οδό Λάρισας- Αγίας και Ν.Α. ορίζεται από το κοινοτικό όριο του χωριού Ριζόμυλος. Η συνολική έκταση της περιοχής αυτής είναι 197 km<sup>2</sup>.

Η μελέτη προέβλεπε την κατασκευή αρδευτικού και αποστραγγιστικού δικτύου αποτελούμενου από τάφρους και διώρυγες. Η λίμνη θα περιοριζόταν σε μια έκταση 64,7 km<sup>2</sup> στο Ν.Α. τμήμα της. Στο δυτικό όριο της λίμνης θα κατασκευαζόταν ανάχωμα για την προστασία της περιοχής από υπερχειλίσεις της λίμνης. Η λίμνη θα χρησιμοποιούνταν για άρδευση με δίκτυο από διώρυγες και αρδευτικά κανάλια και θα τροφοδοτούνταν από το υδρολογικό δίκτυο της απομένουσας λεκάνης απορροής. Προβλεπόταν ακόμη η δυνατότητα τροφοδοσίας της λίμνης με νερά που θα αντλούνταν από τον Πηνειό. Το νερό της περιοχής που θα συλλεγόταν με δίκτυο αποστραγγιστικών τάφρων θα εκκενώνονταν στον Παγασητικό Κόλπο μέσω σήραγγας μήκους 11,5 km, παροχευετικής ικανότητας 8,5 m<sup>3</sup>/s. Υπήρχε ακόμη πρόβλεψη η υπερχειλίση της λίμνης να αποχετεύεται στη σήραγγα. Με την κατασκευή της σήραγγας, που άρχισε τον Ιανουάριο του 1957 και τέλειωσε τον Οκτώβριο του 1960, άρχισε η εκκένωση της λίμνης η οποία ολοκληρώθηκε το 1962.

Πρέπει να τονιστεί ότι στην παραπάνω μελέτη δεν προβλεπόταν η ολική αποξήρανση της Κάρλας, ενώ αντίθετα προβλεπόταν η κατασκευή ταμιευτήρα. Η κατασκευή του ταμιευτήρα σε τμήματα της τέως λίμνης θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί μετά την αποξήρανση και την απομάκρυνση των επιβαρημένων με άλατα νερών της λίμνης. Τα μελετημένα, όμως, έργα για την Κάρλα δεν κατασκευάστηκαν στο σύνολό τους και οι προτάσεις της εγκεκριμένης μελέτης σχετικά με τη διαχείριση των έργων και το καθεστώς της περιοχής δεν υιοθετήθηκαν.

Βεβαίως, δεν είχε προηγηθεί μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η διεθνής εμπειρία από παρόμοια έργα, καθώς και το επίπεδο της επιστημονικής γνώσης στον τομέα αυτό τη δεκαετία 1950-60 ήταν σε εμβρυακό ακόμα στάδιο. Έτσι, στην αποξήρανση δεν υπήρξε αντίλογος ούτε από τους ενδιαφερόμενους πληθυσμούς, ούτε από επιστημονικούς ή άλλους φορείς. Ένα τέτοιο μεγάλο τεχνικό έργο που έγινε χωρίς πρακτικά να έχει μελετηθεί ή, θα λέγαμε, ενάντια στις προτάσεις των μελετητών, είχε σοβαρές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

## 2.7 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΕΡΓΑ

Η φυσική λεκάνη απορροής της περιοχής Λάρισας-Κάρλας έχει συνολική έκταση 1663 τ. χλμ. Μετά το 1950 με την κατασκευή του Συλλεκτήρα Σ1 αποκόπηκε τμήμα της λεκάνης και η έκταση της λεκάνης απορροής της Κάρλας είναι πλέον 1093 τ. χλμ. Η ιδέα περιορισμού της έκτασης των περιοδικών κατακλύσεων και η δημιουργία ταμιευτήρα με καθορισμένη έκταση σε τμήμα της άλλοτε λίμνης Κάρλας, έχει εξεταστεί από εκατονταετίας, σε συνδυασμό με έργα αξιοποίησης της ευρύτερης πεδιάδας Λάρισας-Κάρλας.

Αναφέρεται σε μελέτες (ΤΕΕ Τμήμα Μαγνησίας) :

- Γαλλικής αποστολής το 1887
- Του ιταλού μηχανικού Nobile το 1913
- Της εταιρείας Jackson το 1921
- Του μηχανικού Παπαδάκη το 1954
- Του μηχανικού Ν. Νικολαΐδη το 1959-60



Σχήμα 2.6.1 Υπάρχοντα έργα στην λεκάνη απορροής της Κάρλας.

Το 1960 περατώθηκε η διάνοιξη της σήραγγας Κάρλας, ως πρώτο στάδιο έργων για την κατασκευή στην συνέχεια και του ταμιευτήρα της Κάρλας. Με τη σήραγγα αποχετεύεται η κλειστή λεκάνη Κάρλας προς τον Παγασητικό. Την ίδια περίπου εποχή κατασκευάστηκαν οι τάφροι 1Τ, 2Τ και διάφορες άλλες δευτερεύουσες τάφροι που αποχετεύουν την πεδιάδα προς την σήραγγα (Σχήμα 1.5).

Παρακάτω περιγράφονται τα έργα που έχουν κατασκευασθεί στην περιοχή.

### ***Αναχώματα Πηνειού από Λάρισα μέχρι Γυρτώνη***

Πρόκειται για αναχώματα εγκιβωτισμού του ποταμού Πηνειού τα οποία κατασκευάστηκαν με σκοπό την προστασία της πεδιάδας Λάρισας-Κάρλας από τα νερά του ποταμού που ξεχειλίζουν και κατέκλυζαν μεγάλες εκτάσεις. Η διαμόρφωση των αναχωμάτων αυτών στο τμήμα του ποταμού από Λάρισα μέχρι Γυρτώνη έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε η δημιουργούμενη κοίτη να έχει παροχευτική ικανότητα 2000 m<sup>3</sup>/s. Τα αναχώματα αυτά λειτουργούν ικανοποιητικά από της κατασκευής τους μέχρι σήμερα και προστατεύουν την περιοχή από τις πλημμύρες του Πηνειού.

### ***Συλλεκτήρας Σ1***

Ο Συλλεκτήρας Σ1, συλλέγει τα νερά των περισσότερων ρευμάτων της Ν.Δ. λεκάνης και τα κατευθύνει στον ποταμό Πηνειό, στις βόρειες παρυφές της Λάρισας. Το συνολικό μήκος του Συλλεκτήρα αυτού είναι 37 km περίπου. Στον Συλλεκτήρα Σ1 συμβάλλουν : α) ο Συλλεκτήρας Ι8 της ΒΟΟΤ και β) ο χειμάρρος Νέας Λεύκης, ο οποίος λίγο προ της συμβολής του στον Σ1, δέχεται τα νερά του χειμάρρου Νέας Καρυάς. Ο Συλλεκτήρας αυτός διευρύνθηκε από τη Χ.Θ. 0+200 έως την Χ.Θ. 11+925 με ενιαία κατά μήκος κλίση πυθμένα  $J=0.06\%$  και πλάτος πυθμένα κυμαινόμενο από  $b=30$  m ως  $b=35$  m. Αλλά και η διευρυμένη διατομή του Συλλεκτήρα δε φαίνεται να εξασφαλίζει την πλήρη προστασία της περιοχής, κυρίως στο τελευταίο τμήμα του αμέσως ανάντη της συμβολής του με τον ποταμό Πηνειό. Υπάρχει επομένως ανάγκη επανεξέτασης του στο τμήμα μεταξύ της διασταύρωσής του με τη Σιδηροδρομική Γραμμή μέχρι την εκβολή του στον ποταμό Πηνειό.

### ***Τάφρος 1Τ***

Η Τάφρος 1Τ ή Κύρια Τάφρος της Κάρλας συλλέγει τα νερά των χαμηλών εκτάσεων της πεδιάδας και τα κατευθύνει στην Σήραγγα της Κάρλας. Στο αρχικό τμήμα της Τάφρου συμβάλλουν οι Τάφροι 8Τ και 9Τ. Η Τάφρος αυτή κατασκευάστηκε μεταγενέστερα από



τις Τάφρους 2Τ κ.λ.π. και οι διαστάσεις της κοίτης της αποδείχθηκαν επαρκείς για την εκπλήρωση των σκοπών της.

### **Τάφρος 2Τ**

Η Τάφρος 2Τ ή Κύρια Τάφρος της Νίκης συλλέγει τα νερά των Ν.Δ. μεσαίων εκτάσεων της πεδιάδας και τα κατευθύνει στην Σήραγγα της Κάρλας. Στην Τάφρο αυτή συμβάλλουν οι Τάφροι 3Τ, 4Τ, 5Τ, 6Τ και 7Τ που συγκεντρώνουν τα νερά διάφορων τμημάτων όλης της έκτασης. Αργότερα οι διατομές των τάφρων διευρύνθηκαν, με αποτέλεσμα να έχουν σήμερα επαρκή αποχετευτική ικανότητα.

### **Σήραγγα Κάρλας**

Η Σήραγγα της Κάρλας κατασκευάστηκε με βάση μελέτη της Υπηρεσίας Υδραυλικών Έργων του Υπουργείου Δημοσίων Έργων και αποτελεί την μοναδική διέξοδο για τα νερά της κλειστής λεκάνης της πεδιάδας Λάρισας –Κάρλας, τα οποία κατευθύνει στον Παγασητικό Κόλπο.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της σήραγγας που κατασκευάστηκε είναι:

- Μήκος: 10,12 m
- Επιφάνεια πεταλοειδούς διατομής: 4,35 m<sup>2</sup>
- Υψόμετρο εισόδου: 38,23 m
- Κλίση: 0,15%
- Παροχετευτική ικανότητα: 8,5 m<sup>3</sup>/s

Η παροχετευτική ικανότητα της Σήραγγας Κάρλας είναι τελείως ανεπαρκής για την απομάκρυνση όλων των υδάτων της λεκάνης απορροής της περιοχής Κάρλας που δεν μπορούν να κατευθυνθούν προς τον ποταμό Πηνειό και συγκεντρώνονται στις δύο κύριες Τάφρους 1Τ και 2Τ.

### **Αρδευτικά έργα**

Στην ευρύτερη περιοχή της πεδιάδας Κάρλας δεν υπάρχουν συστηματικά αρδευτικά έργα, δηλαδή έργα που περιλαμβάνουν δίκτυα άρδευσης, αποχέτευσης-στράγγισης και αγροτικής οδοποιίας. Τα υπάρχοντα αρδευτικά έργα είναι απλά έργα (κινητά σωληνωτά δίκτυα, χάνδακες, μικρά αντλιοστάσια κ.λ.π.) που αποτελούν ατομικές ή ομαδικές προσπάθειες για άρδευση περιορισμένων εκτάσεων με τη χρησιμοποίηση νερού ιδιωτικών γεωτρήσεων ή γεωτρήσεων του Π.Α.Υ.Υ.Θ. ή του νερού των αποχετευτικών και

αποστραγγιστικών τάφρων. Επίσης χρησιμοποιείται το νερό ορισμένων υδατοδεξαμενών που έχουν κατασκευασθεί πρόσφατα. Οι υδατοδεξαμενές αυτές είναι οι εξής :

- Οι υδατοδεξαμενές Ελευθερίου και Δήμητρας που καλύπτουν έκταση  $0,3 \text{ km}^2$  και έχουν ωφέλιμη χωρητικότητα  $0,7 \text{ hm}^3$  η κάθε μία.
- Η υδατοδεξαμενή Πλατύκαμπου που καλύπτει έκταση  $0,25 \text{ km}^2$  και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα  $1,95 \text{ hm}^3$ .
- Η υδατοδεξαμενή Ναμάτων που καλύπτει έκταση  $0,57 \text{ km}^2$  και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα  $1,5 \text{ hm}^3$ .
- Η υδατοδεξαμενή Στεφανοβικείου που καλύπτει έκταση  $4 \text{ km}^2$  και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα  $10 \text{ hm}^3$ .
- Η υδατοδεξαμενή Καλαμακίου που καλύπτει έκταση  $2 \text{ km}^2$  και έχει ωφέλιμη χωρητικότητα  $6 \text{ hm}^3$

## 2.8 ΒΙΟΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Οι οικιστικές συνθήκες της περιοχής βελτιώνονται σταθερά από πλευράς ανέσεως και ευκολιών των αγροτικών νοικοκυριών. Σε αυτό βοήθησε σοβαρά η ευχέρεια διαθέσεως στεγαστικών δανείων από την Αγροτική Τράπεζα. Οι κατοικίες είναι συγκεντρωμένες σε οργανωμένους οικισμούς με σχετικά καλό δίκτυο κοινοτικών και επαρχιακών δρόμων. Η αύξηση του αγροτικού εισοδήματος τα τελευταία χρόνια συνετέλεσε στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης του αγροτικού πληθυσμού, ιδιαίτερα από απόψεως διατροφής, ενδυμασίας και υγιεινής περίθαλψης. Στον τομέα της ψυχαγωγίας η διάδοση της τηλεόρασης έπαιξε σημαντικό ρόλο. Όλες οι κοινότητες εξυπηρετούνται για την ύδρευση τους με κλειστά εσωτερικά δίκτυα διανομής νερού. Η ηλεκτροδότηση των κατοίκων σε όλους ανεξαιρέτων του οικισμούς έχει πραγματοποιηθεί από χρόνια μετά τη διασύνδεσή τους με το Εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος (ΔΕΗ). Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για φωτισμό των οικιών και των αγροτικών εγκαταστάσεων για τη λειτουργία των οικιακών συσκευών και τελευταία άρχισε με γοργά βήματα η χρησιμοποίησή της για τη λειτουργία αντλητικών συγκροτημάτων και άλλων γεωργικών μηχανημάτων

## 2.9 ΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Κατά τα τελευταία 20 χρόνια το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού της περιοχής γενικότερα, και του αγροτικού πληθυσμού ειδικότερα, έχει βελτιωθεί σημαντικά και κυρίως των ατόμων νεώτερων ηλικιών. Το ποσοστό των αγραμμάτων είναι μικρό και περιορίζεται κυρίως σε άτομα μεγάλης ηλικίας και ιδιαίτερα στις γυναίκες. Η εκπαίδευση παρέχεται από τα σχολεία στοιχειώδους εκπαίδευσης, που λειτουργούν σ' όλους τους οικισμούς της περιοχής, τα Γυμνάσια και Λύκεια που υπάρχουν στις πόλεις της περιοχής και τα ανώτερα ή ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα που λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή.

## 2.10 ΓΕΩΡΓΟΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Η γεωργοτεχνική εκπαίδευση και κατάρτιση του αγροτικού πληθυσμού της περιοχής συνεχώς βελτιώνεται κατά τα τελευταία χρόνια. Προς τούτο συνέβαλαν η γενίκευση της εκμηχάνισης των γεωργικών εργασιών η ανάπτυξη των συγκοινωνιών, η τηλεόραση, η άνοδος του μορφωτικού επιπέδου του πληθυσμού, η προσπάθεια και τα προγράμματα που εφαρμόζονται από τους Γεωπόνους Γεωργικής ανάπτυξης και ΑΤΕ και τέλος από την ασκούμενη γενικότερα από το κράτος Αγροτική Πολιτική. Η χρήση των λιπασμάτων και των βελτιωμένων σπόρων και φυτών, η εφαρμογή των βελτιωμένων μεθόδων άρδευσης, όπου αυτή είναι δυνατή, τεχνικά και οικονομικά, η καταπολέμηση των ασθενειών των καλλιεργειών και των ζιζανίων, καθώς επίσης και η καλυτέρευση των συνθηκών διατροφής και σταυλισμού των ζώων έχει γίνει συνείδηση στους παραγωγούς και εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί η μεγάλη και θετική συμβολή στην γεωργοτεχνική κατάρτιση του αγροτικού πληθυσμού της περιοχής των ιδιωτών Γεωπόνων εμπόρων.

## 2.11 ΕΡΓΑΣΙΑΚΗ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Ο συνολικός αριθμός των ημερών εργασίας του αγροτικού πληθυσμού στην ύπαιθρο υπολογίζεται, μετά την αφαίρεση από το σύνολο, των ημερών βροχής, χιονιού, πολύ

χαμηλών θερμοκρασιών, αργιών, Κυριακών, ασθενειών κλπ, σε 228 ημέρες. Ο αγροτικός πληθυσμός, μπορεί να απασχοληθεί σε εργασίες κάτω από στέγη μέχρι 65 ημέρες το χρόνο, οι οποίες μοιράζονται κυρίως κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών. Με βάση τις ημέρες εργασίας υπαίθρου, την κατανομή του αγροτικού πληθυσμού κατά φύλλο και ομάδες ηλικιών και τη χρησιμοποίηση των συντελεστών μετατροπής των διαφόρων κατηγοριών ημερομισθίων σε ακέριες εργασιακές μονάδες, υπολογίζεται το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό του αγροτικού πληθυσμού της ευρύτερης περιοχής του έργου σε 4.889 ημερομίσθια για κάθε μία εργάσιμη ημέρα και 1.114.692 ημερομίσθια για όλο το χρόνο.

Λαμβανομένου υπόψη ότι στην περιοχή του έργου υπάρχουν 1.845 Γεωργικές εκμεταλλεύσεις, προκύπτει ότι σε κάθε αγροτική εκμετάλλευση αντιστοιχούν 604 ακέριες εργασιακές μονάδες το χρόνο ή 2,65 ακέριες εργασιακές μονάδες την ημέρα.. Με βάση τα στοιχεία και το συνολικά διαθέσιμο εργασιακό δυναμικό, προκύπτει ότι μόνο το 50,6% του εργασιακού δυναμικού της περιοχής απορροφάται.

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

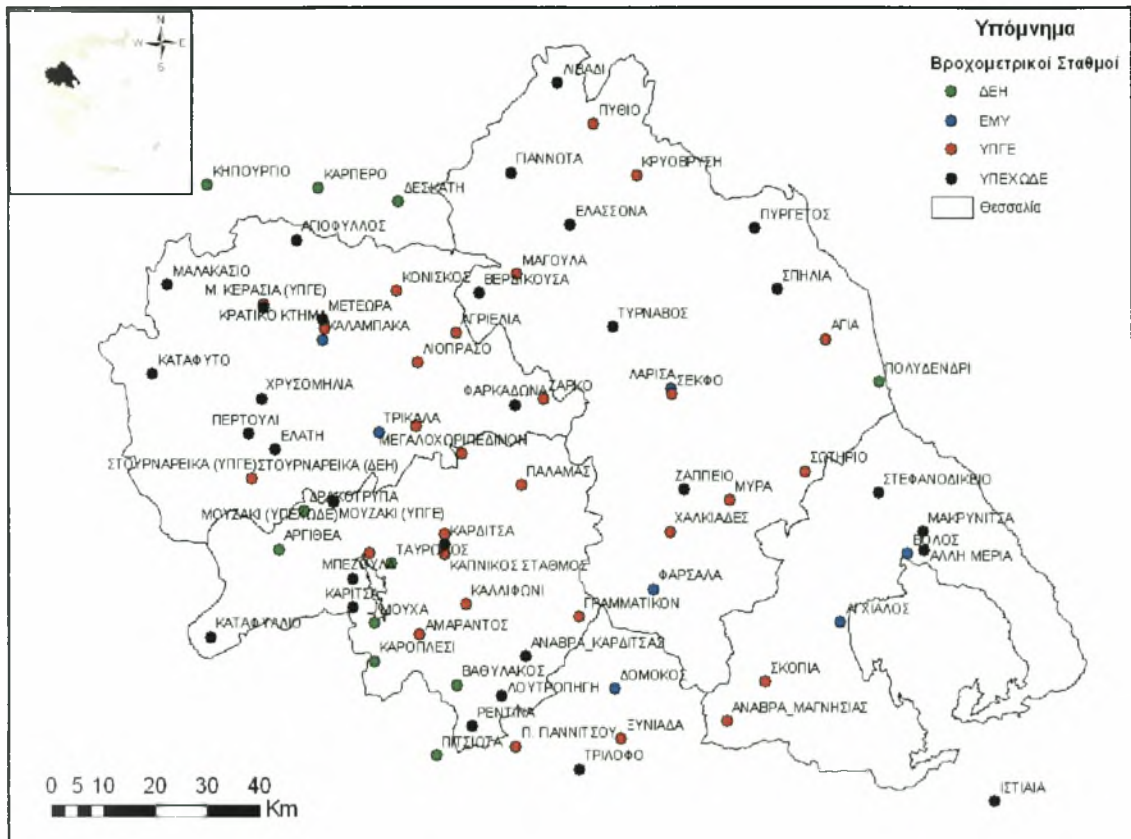
Για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης στη λεκάνη της Κάρλας αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις συνολικά 11 σταθμών. Οι τιμές των περισσότερων σταθμών αφορούσαν μηνιαίες υδατοπτώσεις ενώ για τους σταθμούς για τους οποίους υπήρχαν ημερήσια δεδομένα έγινε συνάθροιση των δεδομένων σε μηνιαία και ετήσια βάση. Στον Πίνακα 3.1.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί υετόπτωσης με τις κυριότερες γενικές πληροφορίες τους.

**Πίνακας 3.1.1** Σταθμοί υετόπτωσης υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Όνομα σταθμού	Υψόμετρο (m)	Νομός
Αγιά	180	Λάρισας
Αγχιάλος	15	Μαγνησίας
Βόλος	3	Μαγνησίας
Λάρισα	73	Λάρισας
Μακρυνίτσα	690	Μαγνησίας
Μύρα	320	Λάρισας
Πολυδένδρι	100	Λάρισας
Σέκφο	80	Λάρισας
Σπηλιά	813	Λάρισας
Στεφανοβίκειο	80	Μαγνησίας
Σωτήριο	51	Λάρισας



Οι σταθμοί δεν βρίσκονται όλοι μέσα στα όρια της επικείμενης λεκάνης μελέτης αλλά ορισμένοι και εκτός αυτής με σκοπό την ακριβέστερη και πιο ολοκληρωμένη χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης. Οι θέσεις των σταθμών απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1.1

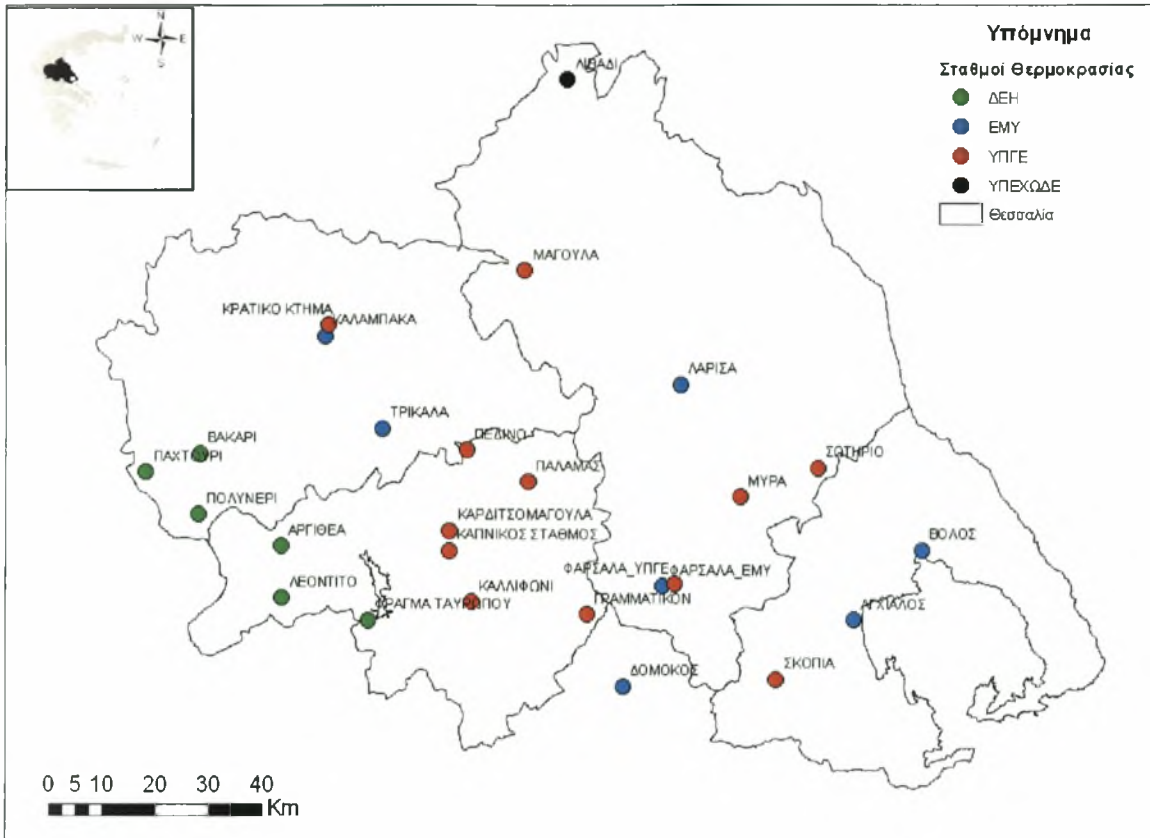


Σχήμα 3.1.1 Σταθμοί υετόπτωσης Θεσσαλίας

Για την εκτίμηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από είκοσι έξι (26) σταθμούς, για το σύνολο των υδρολογικών ετών που υπήρχαν δεδομένα των σταθμών αυτών. Οι σταθμοί δεν βρίσκονται μόνο στους τέσσερις νομούς της Θεσσαλίας αλλά και στους γειτονικούς νομούς ώστε το σύνολο των σταθμών να καλύπτουν χωρικά την περιοχή της Θεσσαλίας. Στον Πίνακα 3.1.2 παρουσιάζονται οι σταθμοί μέτρησης θερμοκρασίας με τις κυριότερες γενικές πληροφορίες τους, και στο Σχήμα 3.1.2 παρουσιάζονται οι θέσεις των σταθμών αυτών.

Πίνακας 3.1.2 Σταθμοί θερμοκρασίας υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Όνομα σταθμού	Νομός	Υψόμετρο (m)
Αγχιάλος	Μαγνησίας	15
Αργιθέα	Καρδίτσας	980
Βακάρι	Τρικάλων	1150
Βόλος	Μαγνησίας	3
Γραμματικόν	Καρδίτσας	95
Δομοκός	Φθιώτιδος	615
Καλαμπάκα	Τρικάλων	222
Καλλιφώνι	Καρδίτσας	100
Καπνικός Σταθμός	Καρδίτσας	110
Καρδιτσομαγούλα	Καρδίτσας	95
Κρατικό Κτήμα Καλαμπάκας	Τρικάλων	532
Λάρισα	Λάρισας	73
Λεοντίτο	Καρδίτσας	950
Λιβάδι	Λάρισας	1183
Μαγούλα	Λάρισας	180
Μύρα	Λάρισας	320
Παλαμάς	Καρδίτσας	95
Παχτούρι	Τρικάλων	950
Πεδινόν	Καρδίτσας	95
Πολυνέρι	Τρικάλων	730
Σκοπιά	Λάρισας	580
Σωτήριο	Λάρισας	51
Φράγμα Ταυρωπού	Καρδίτσας	850
Τρίκαλα	Τρικάλων	149
Φάρσαλα	Λάρισας	148
Φάρσαλα	Λάρισας	434



**Σχήμα 3.1.2** Σταθμοί θερμοκρασίας υδρολογικής λεκάνης της Κάρλας

Οι μετρήσεις νετόπτωσης και θερμοκρασίας των σταθμών βρίσκονται στο παράρτημα Α. Το κλίμα στην περιοχή κατατάσσεται στο ηπειρωτικό ημίξηρο χαρακτηριζόμενο από θερμό και ξηρό καλοκαίρι και ψυχρό και υγρό χειμώνα. Η μέση θερμοκρασία είναι πάντα πάνω από το μηδέν, αλλά η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε κατά το χειμώνα είναι  $-21,6^{\circ}\text{C}$ . Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι ήταν  $45,2^{\circ}\text{C}$ . Επίσης, στην περιοχή παρατηρούνται παγετοί κατά την περίοδο Δεκεμβρίου- Μαρτίου και σπανιότερα κατά τους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο. Η μέση σχετική υγρασία στην περιοχή είναι 66%. Το απόλυτο μέγιστο μηνιαίο ύψος στη λεκάνη της Κάρλας, ανήλθε στα 276 mm και σημειώθηκε τον Σεπτέμβριο του 1978, ενώ το απόλυτο ελάχιστο μηνιαίο ύψος ήταν 3,3 mm και σημειώθηκε τον Αύγουστο του 1974. Η χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι  $0,2^{\circ}\text{C}$  το μήνα Ιανουάριο του 1981 και η μέγιστη  $27,2,0^{\circ}\text{C}$  τον μήνα Αύγουστο του 1999.

### 3.2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

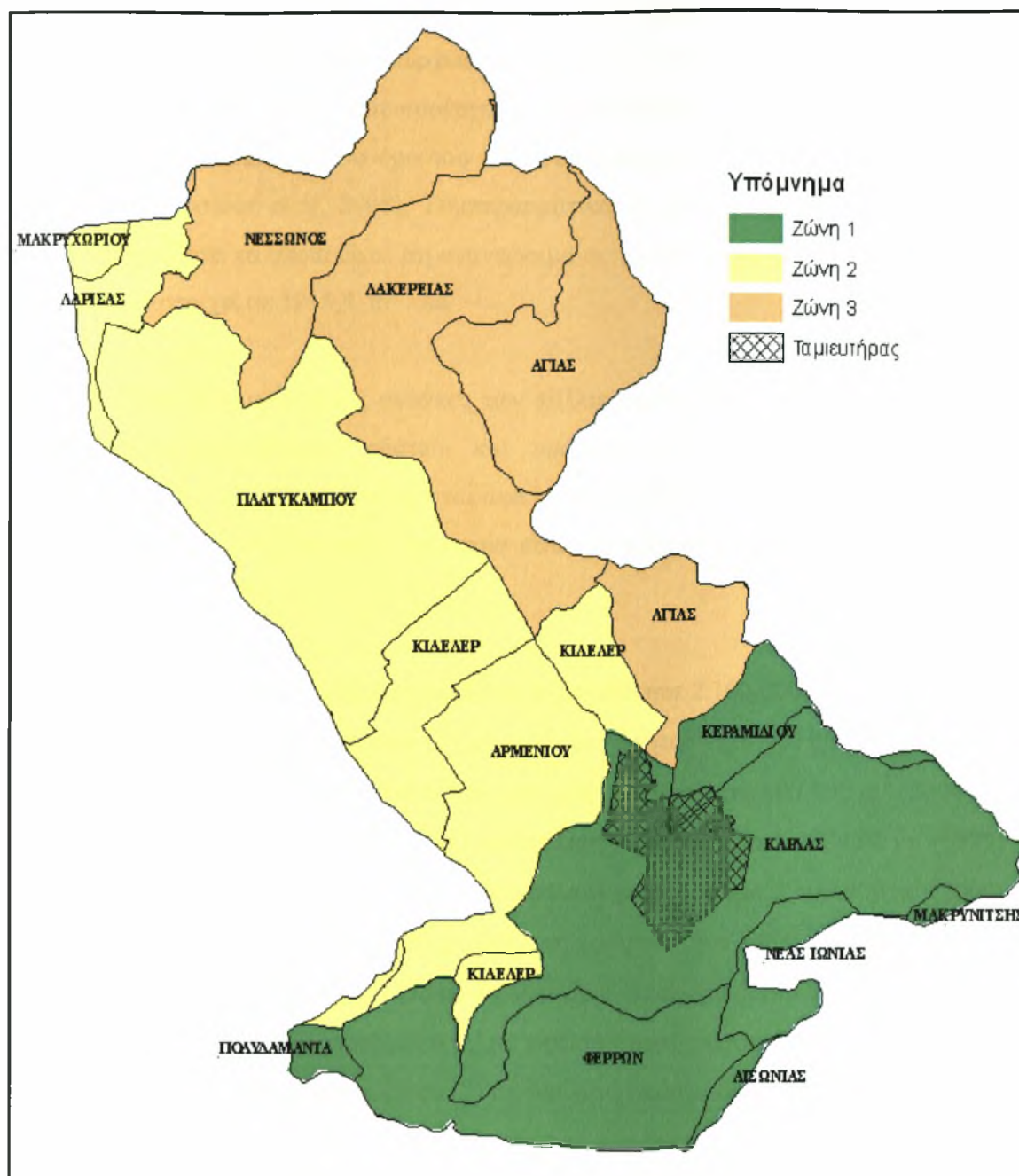
Στην παρούσα εργασία κρίθηκε σκόπιμο να χωρισθεί η λεκάνη της λίμνης Κάρλας σε τρεις περιοχές (ζώνες) μελέτης. Ο διαχωρισμός αυτός πραγματοποιήθηκε λόγω διαφορετικών και πολλαπλών κριτηρίων :

- ✓ Η μορφολογία του ανάγλυφου της λίμνης Κάρλας
- ✓ Οι υδατικοί πόροι της κάθε περιοχής
- ✓ Η διαφορετική διαχείριση των υδατικών πόρων
- ✓ Μεγαλύτερη ακρίβεια στην αποτίμηση της κατάστασης της υπό μελέτη λεκάνης
- ✓ Βέλτιστη πρόβλεψη και αντιμετώπιση των προβλημάτων της κάθε περιοχής ξεχωριστά αλλά και της λεκάνης της λίμνης Κάρλας στο σύνολο της
- ✓ Ανάπτυξη διαφορών σεναρίων διαχείρισης των πόρων
- ✓ Ρεαλιστική και ορθολογικότερη διαχείριση του νερού του υπό κατασκευή ταμιευτήρα και των υπολοίπων πηγών άρδευσης των περιοχών
- ✓ Εφαρμογή και ένταξη των παρόντων προγραμμάτων διαχείρισης των υδατικών πόρων των περιοχών στη μελέτη.

Οι ζώνες στις οποίες διαχωρίστηκε, σε συνάρτηση με τα παραπάνω κριτήρια, η λεκάνη της λίμνης Κάρλας είναι οι εξής :

- **Ζώνη 1** η οποία περιλαμβάνει τη νοτιά περιοχή της λεκάνης δηλαδή τους δήμους **Κάρλας**, **Φερρών** και την κοινότητα **Κεραμιδίου**.
- **Ζώνη 2** η οποία περιλαμβάνει τη δυτική περιοχή της λεκάνης δηλαδή τους δήμους **Κιλελέρ**, **Πλατυκάμπου**, **Αρμενίου**, και τμήματα των δήμων **Λάρισας** και **Μακρυχωρίου**.
- **Ζώνη 3** η οποία περιλαμβάνει τη βορειοανατολική περιοχή της λεκάνης δηλαδή τους δήμους **Λακερείας**, **Νέσσωνος** και τμήμα του δήμου **Αγιάς**.

Οι περιοχές στις οποίες διαχωρίστηκε η λεκάνη της λίμνης Κάρλας παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.2.1 όπου φαίνονται και οι δήμοι που περικλείονται χωρικά σε κάθε περιοχή.



**Σχήμα 3.2.1** Περιοχές Διαχείρισης και Μελέτης της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Η άρδευση των περιοχών μελέτης γίνεται από διαφορετικές πηγές υδατικών πόρων, είτε ανανεώσιμων είτε μη ανανεώσιμων. Εξάλλου, τα αντίστοιχα στοιχεία και η διαχείριση των πόρων προηγούμενων μελετών (Sidiropoulos et al, 2008) οδήγησαν στην επιλογή των συγκεκριμένων ορίων διαχωρισμού της λεκάνης. Οι πηγές άρδευσης των τριών περιοχών μελέτης παρατίθενται παρακάτω.



Στη ζώνη 1 οι καλλιέργειες αρδεύονται από 110 γεωτρήσεις οι οποίες αντλούν συνολικά 39.300.000 m<sup>3</sup> υπογείου νερού, εκ των οποίων τα 9.758.759 m<sup>3</sup> είναι ανανεώσιμα καθώς αποτελούν επιφανειακά ύδατα που κατείσδουν (Sidiropoulos et al, 2008). Το ποσοστό του νερού που προέρχεται από κατείσδυση θεωρήθηκε ίσο με 24,83 %, τιμή η οποία αποτελεί το μέσο όρο του ποσοστού ετήσιας κατείσδυσης για την περίοδο 1987-97(Sidiropoulos et al, 2008). Συμπερασματικά, η ζώνη 1 αρδεύεται εξολοκλήρου από υπόγεια ύδατα τα οποία είναι μη ανανεώσιμα εκτός από το ποσοστό της κατείσδυσης το οποίο αντιστοιχεί σε 1215,4 m<sup>3</sup> / ha.

Στη ζώνη 2 οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών καλύπτονται από συνδυασμό επιφανειακών ανανεώσιμων υδάτων και υπογείων μη ανανεώσιμων υδάτων. Οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι προέρχονται από τα υφιστάμενα έργα ταμίευσης (ταμιευτήρες – λιμνοδεξαμενές ) της περιοχής τα οποία είναι τα εξής (σε παρένθεση το έτος λήξης κατασκευής του έργου) :

- Ο ταμιευτήρας Γλαύκης με ωφέλιμη χωρητικότητα 2.100.000 m<sup>3</sup> (1997)
- Ο ταμιευτήρας Ελευθερίου (1) με ωφέλιμη χωρητικότητα 900.000 m<sup>3</sup> (1991)
- Ο ταμιευτήρας Ελευθερίου (2) με ωφέλιμη χωρητικότητα 800.000 m<sup>3</sup> (2004)
- Ο ταμιευτήρας Καλαμακίου (1) με ωφέλιμη χωρητικότητα 5.500.000 m<sup>3</sup> (1989)
- Ο ταμιευτήρας Καλαμακίου (2) με ωφέλιμη χωρητικότητα 2.500.000 m<sup>3</sup> (2000)
- Ο ταμιευτήρας Ναμάτων (1) με ωφέλιμη χωρητικότητα 1.800.000 m<sup>3</sup> (1989)
- Ο ταμιευτήρας Ναμάτων (2) με ωφέλιμη χωρητικότητα 1.100.000 m<sup>3</sup> (2002)
- Ο ταμιευτήρας Πλατυκάμπου (1) με ωφέλιμη χωρητικότητα 500.000 m<sup>3</sup> (1992)
- Ο ταμιευτήρας Πλατυκάμπου (2) με ωφέλιμη χωρητικότητα 1.450.000 m<sup>3</sup> (2004)

Το έτος της λήξης κατασκευής του κάθε έργου αναφέρεται διότι ο όγκος νερού που αντλείται από τα έργα ταμίευσης είναι για κάθε έτος μελέτης της περιόδου 1998 – 2005 διαφορετικός. Ως εκ τούτου (σε παρένθεση η ποσότητα του νερού ανά εκτάριο) :

- Το 1998 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 10.800.000 m<sup>3</sup> (393,2 m<sup>3</sup> / ha)
- Το 2002 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 13.300.000 m<sup>3</sup> (484,3 m<sup>3</sup> / ha)

- Το 2003 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 14.400.000 m<sup>3</sup> (524,3 m<sup>3</sup> / ha)
- Το 2004 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 14.400.000 m<sup>3</sup> (524,3 m<sup>3</sup> / ha)
- Το 2005 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 16.650.000 m<sup>3</sup> (606,3 m<sup>3</sup> / ha)

Επιπλέον, για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών της ζώνης 2 αντλούνται 34.960.000 m<sup>3</sup> υπογείου νερού από 129 γεωτρήσεις εκ των οποίων τα 14.422.600 m<sup>3</sup> (24,83 %) αποτελούν ανανεώσιμα ύδατα από κατείσδυση (525,1 m<sup>3</sup> / ha).

Στη ζώνη 3 οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών καλύπτονται ως επί το πλείστον από υπόγεια μη ανανεώσιμα ύδατα . Τα υφιστάμενα αρδευτικά έργα της περιοχής είναι :

- Ο ταμιευτήρας Δήμητρας με ωφέλιμη χωρητικότητα 1.000.000 m<sup>3</sup> (1997)
- Ο ταμιευτήρας Καστρίου με ωφέλιμη χωρητικότητα 1.100.000 m<sup>3</sup> (1993)
- Το φράγμα Πουρναρίου (1) με ωφέλιμη χωρητικότητα 350.000 m<sup>3</sup> (2001)
- Το φράγμα Πουρναρίου (2) με ωφέλιμη χωρητικότητα 50.000 m<sup>3</sup> (2001)

Ως εκ τούτου (σε παρένθεση η ποσότητα του νερού ανά εκτάριο)

- Το 1998 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 2.100.000 m<sup>3</sup> (239,3 m<sup>3</sup> / ha)
- Το 2002 ο όγκος του ανανεώσιμου αρδευτικού νερού είναι 2.500.000 m<sup>3</sup> (284,9 m<sup>3</sup> / ha)

### 3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς με κοινή περίοδο δεδομένων Οκτώβριος 1960 έως Σεπτέμβριος 2002 υπολογίστηκε η μέση επιφανειακή υετόπτωση, μέση επιφανειακή θερμοκρασία και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή των περιοχών της λεκάνης της λίμνης Κάρλας.

### 3.3.1 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης

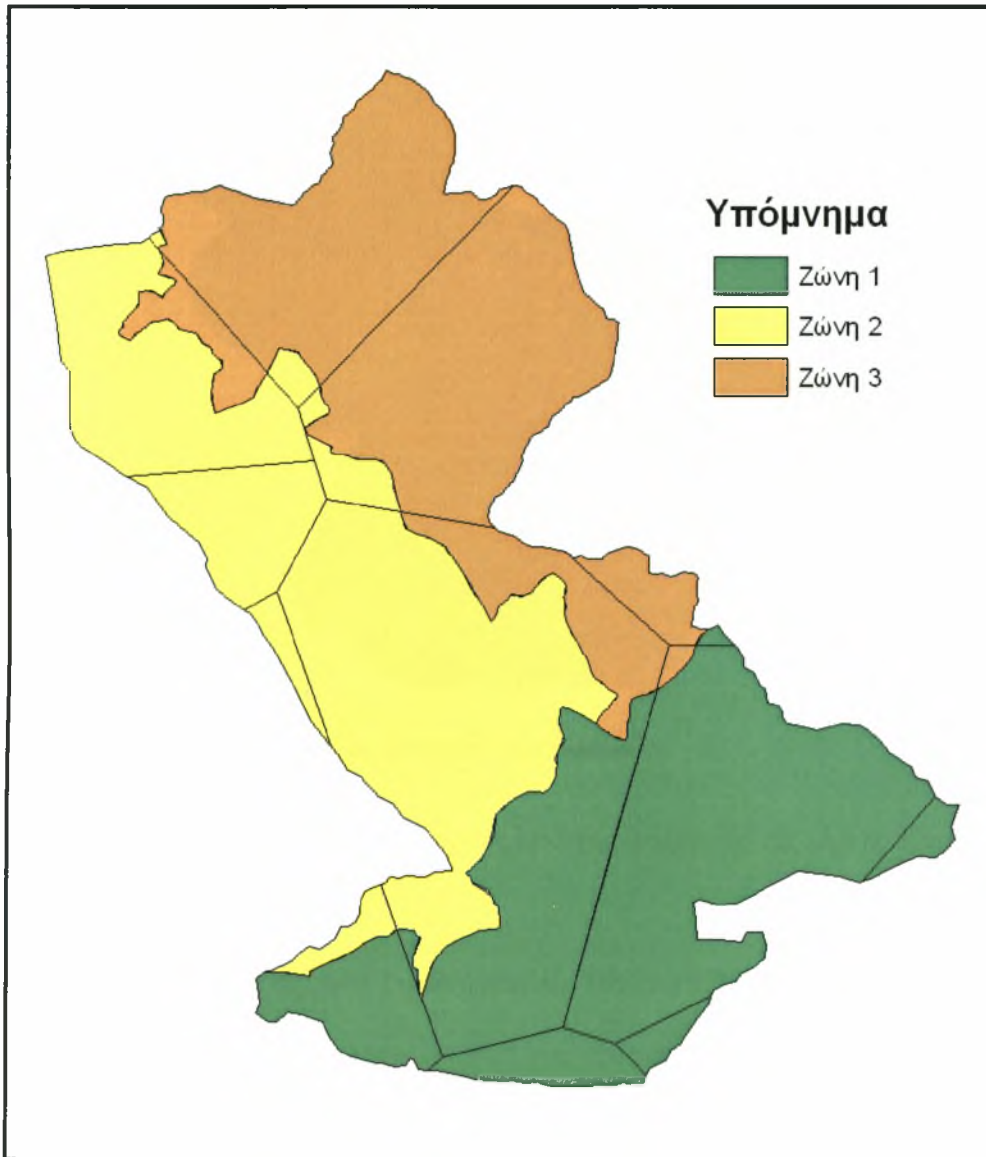
Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της κάθε περιοχής της λεκάνης της λίμνης Κάρλας εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της τροποποιημένης μεθόδου Thiessen, χρησιμοποιώντας τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην περιοχή της λεκάνης απορροής ή κοντά στα όρια αυτής. Με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen υπολογίστηκαν οι συντελεστές στάθμισης για κάθε σταθμό που αντιστοιχούν στα εμβαδά των πολυγώνων επηρεασμού των σταθμών όπως προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης μελέτης  $P_o$  προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων υψών βροχόπτωσης  $P_i$  των σταθμών πολλαπλασιασμένες επί τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης, σύμφωνα με την Εξίσωση 3.3.1:

$$P_o = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + P_3 A_3 + \dots + P' A'}{A} = \sum \left( \frac{A_1}{A} P_1 + \frac{A_2}{A} P_2 + \frac{A_3}{A} P_3 + \dots + \frac{A'}{A} P' \right) \quad (3.3.1)$$

όπου,  $P_1, P_2, P_3 \dots P'$  το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης των σταθμών,  $\frac{A_1}{A}$  το ποσοστό εκτάσεως επηρεασμού του σταθμού με μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης  $P_1$ ,  $\frac{A_2}{A}$  το ποσοστό εκτάσεως επηρεασμού του σταθμού με μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης  $P_2$ ,  $\frac{A_3}{A}$  το ποσοστό εκτάσεως επηρεασμού του σταθμού με μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης  $P_3$  κτλ.

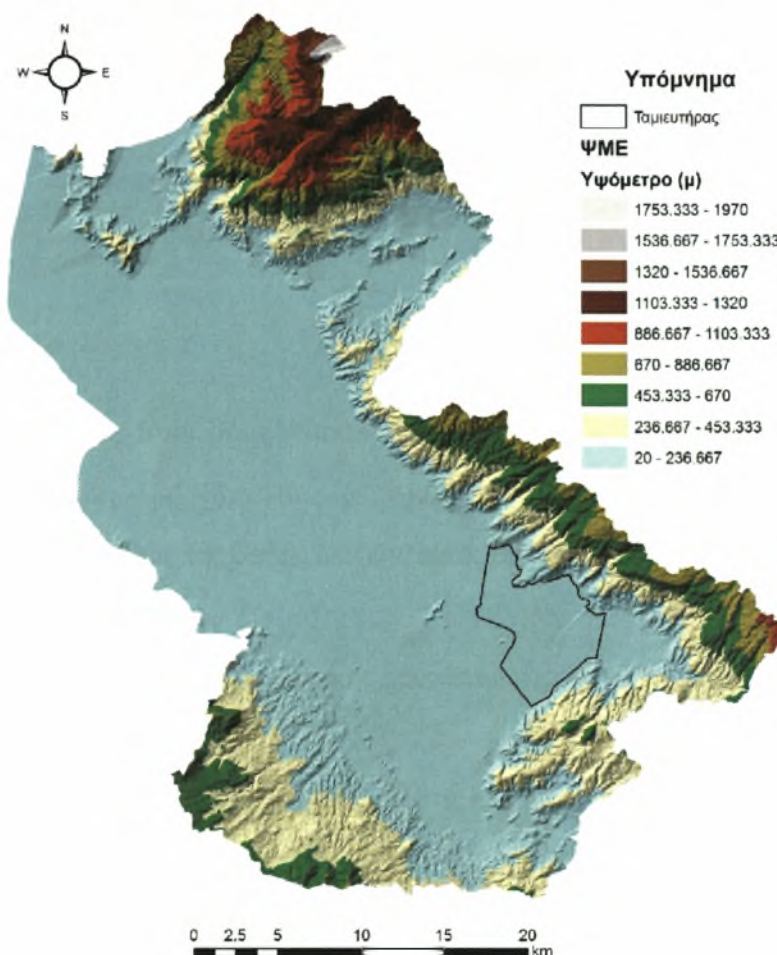
Η τροποποιημένη μέθοδος Thiessen ολοκληρώνεται με τη βοήθεια της μεθόδου της βροχοβαθμίδας. Η υψομετρική μέθοδος ή μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι ο όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξηση του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μία απλή γραμμική σχέση της μορφής  $P = \alpha Y + \beta$ , που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση, η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο. Ιδιαίτερη σημασία για τις υδρολογικές εφαρμογές έχει η ολοκλήρωση των σημειακών πληροφοριών στην επιφάνεια που καλύπτει το βροχομετρικό δίκτυο, δηλαδή ο

υπολογισμός του ισοδύναμου ομοιόμορφου βροχομετρικού ύψους. Ο υπολογισμός αυτός επιτυγχάνεται με την μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Στο Σχήμα 3.3.1 φαίνονται τα εμβαδά των πολυγώνων Thiessen για κάθε περιοχή.



**Σχήμα 3.3.1** Πολύγωνα Thiessen των περιοχών της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Το μέσο υψόμετρο της κάθε ζώνης υπολογίστηκε με ακρίβεια μέσω του προγράμματος ΓΣΠ ArcMap 9 (Version 9.1) χρησιμοποιώντας ισοϋψείς καμπύλες των 20 μέτρων (Σχήμα 3.3.2) και βρέθηκε ίσο με 240,4 m για τη ζώνη 1, 75,4 m για τη ζώνη 2 και 393,7 m για τη ζώνη 3. Σύμφωνα με τα παραπάνω καθορίστηκαν οι σχέσεις μεταξύ του μηνιαίου ύψους βροχής και του υψομέτρου του σταθμού για κάθε μήνα.



Σχήμα 3.3.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας

Τα πολύγωνα Thiessen για τη ζώνη 1 φαίνονται στο Πίνακα 3.3.1

Πίνακας 3.3.1 Πολύγωνα Thiessen ζώνης 1

Όνομα σταθμού	Έκταση(Km <sup>2</sup> )	Έκταση(%)	Υετόπτωση
Αγκίαλος	22,6	5,8	501,72
Βόλος	7,1	1,8	460,68
Μακρυνίτσα	8,1	2,1	836,88
Μύρα	39,8	10,3	535,48
Πολυδένδρι	1,3	0,3	724,15
Στεφανοβίκειο	197,8	51,2	463,72
Σωτήριο	109,7	28,4	409,02



Η εκτίμηση των μηνιαίων υψών βροχόπτωσης που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της ζώνης 1 (240,4 m) για κάθε έτος, γίνεται με τις σχέσεις:

$$P_k = P_{T(k)} - \frac{-60,5 * 48,73}{100}, \text{ και} \quad (3.3.2)$$

$$P_i^k = \frac{P_k * P_{T(i)}^k}{P_{T(k)}} \quad (3.3.3)$$

όπου,  $P_{T(k)}$  το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης που προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων υψών βροχόπτωσης από την σχέση , κατά το έτος k σε mm,

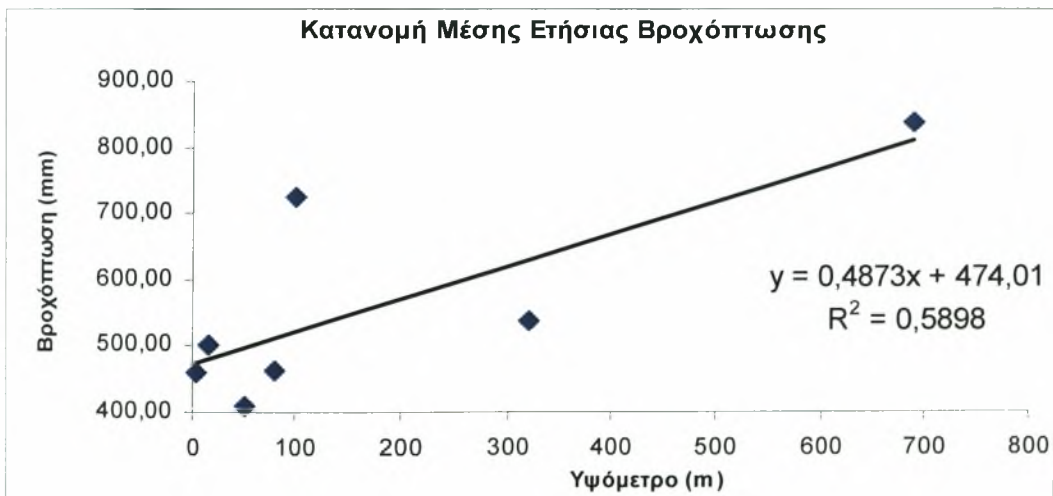
$P_k$  το ετήσιο ύψος της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη , κατά το έτος k σε mm,

$P_i^k$  το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης, κατά το μήνα i και το έτος k, στη λεκάνη σε mm,

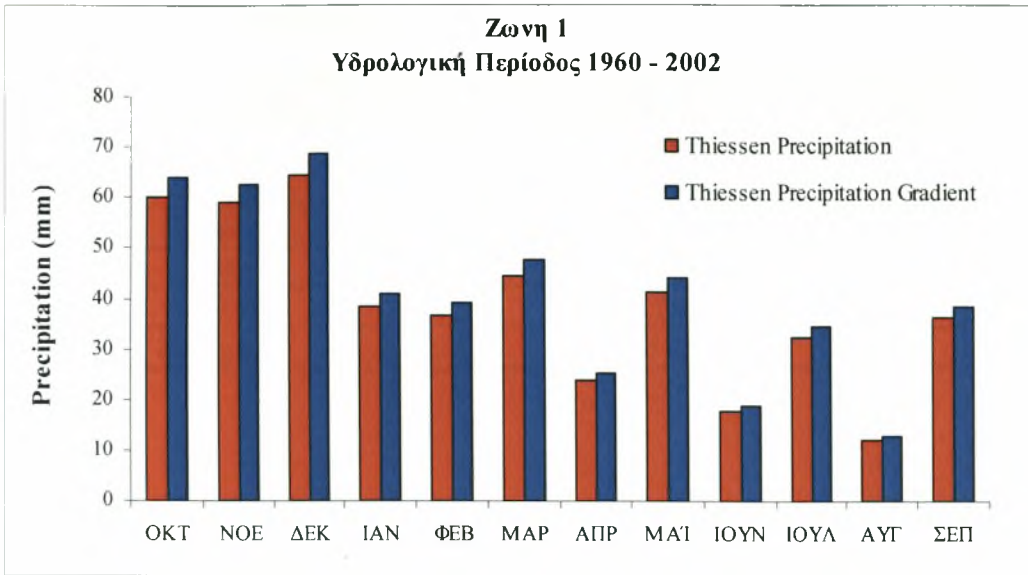
$P_{T(i)}^k$  το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης, κατά το μήνα i και το έτος k, από τα πολύγωνα Thiessen σε mm,

48,73 η βροχοβαθμίδα που υπολογίστηκε,

60,5 η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο των 179,9 m που είναι το μέσο υψόμετρο των σταθμών επηρεασμού της ζώνης 1 και του μέσου υψομέτρου της ζώνης .



**Σχήμα 3.3.3** Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 1.



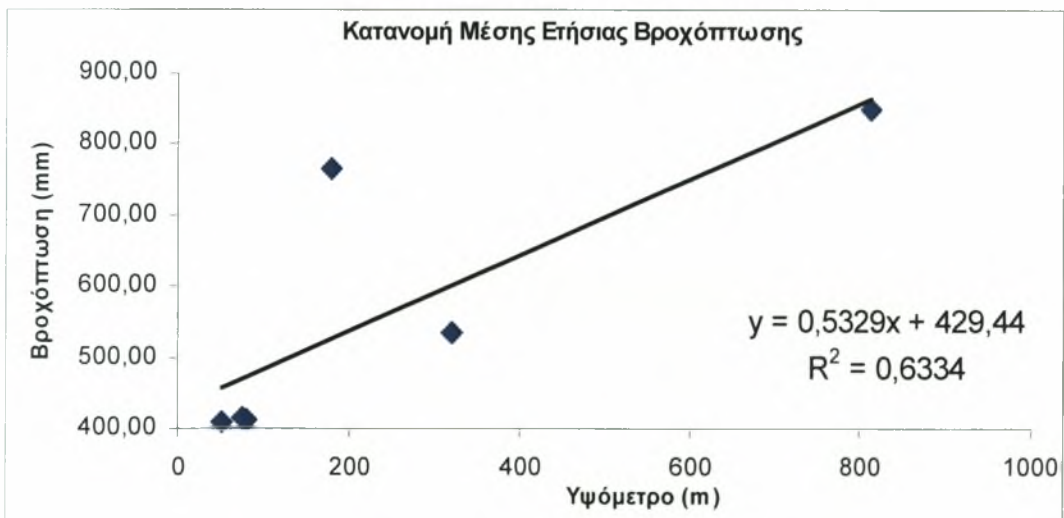
**Σχήμα 3.3.4** Υπολογιζόμενη ετήσια βροχόπτωση στη ζώνη 1

Αντίστοιχα για τη ζώνη 2, η σχέση είναι :

$$P_k = P_{T(k)} - \frac{177,4 * 53,29}{100} \quad (3.3.4)$$

όπου 53,29 η βροχοβαθμίδα που υπολογίστηκε,

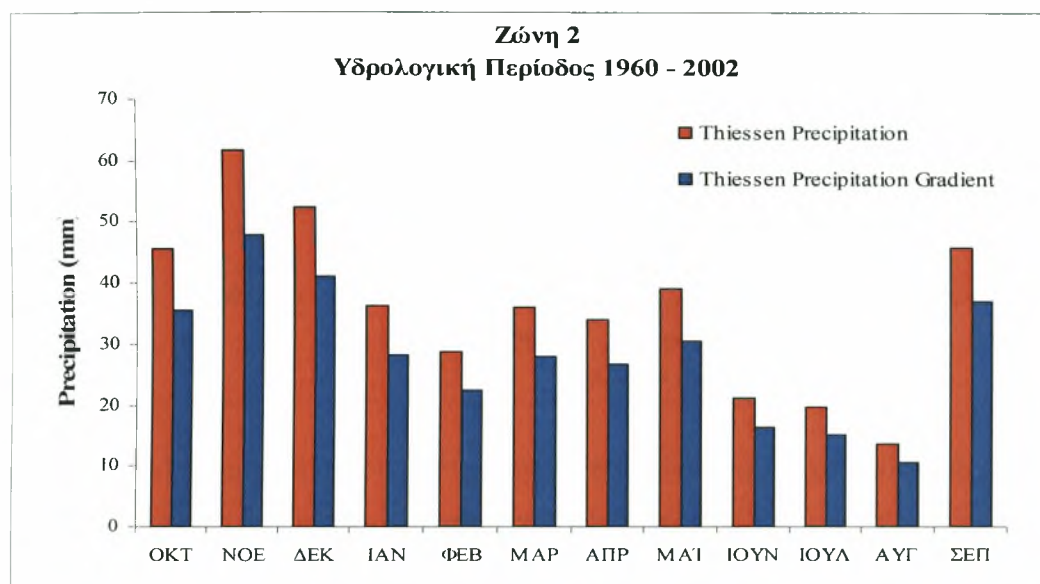
177,4 η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο των 252,8 m που είναι το μέσο υψόμετρο των σταθμών επηρεασμού της ζώνης 2 και του μέσου υψομέτρου της ζώνης 2.



**Σχήμα 3.3.5** Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 2

Πίνακας 3.3.2 Πολύγωνα Thiessen ζώνης 2

Όνομα σταθμού	Έκταση(Km <sup>2</sup> )	Έκταση(%)	Υετόπτωση
Αγιά	12,5	3,2	764,31
Λάρισα	95,7	24,4	414,67
Μύρα	17,2	4,4	535,48
Σέκφο	46,0	11,8	412,74
Σπηλιά	5,5	1,4	848,79
Σωτήριο	214,7	54,8	409,02



Σχήμα 3.3.6 Υπολογιζόμενη ετήσια βροχόπτωση στη ζώνη 2

Τα πολύγωνα Thiessen για τη ζώνη 3 φαίνονται στο Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3.2 Πολύγωνα Thiessen ζώνης 3

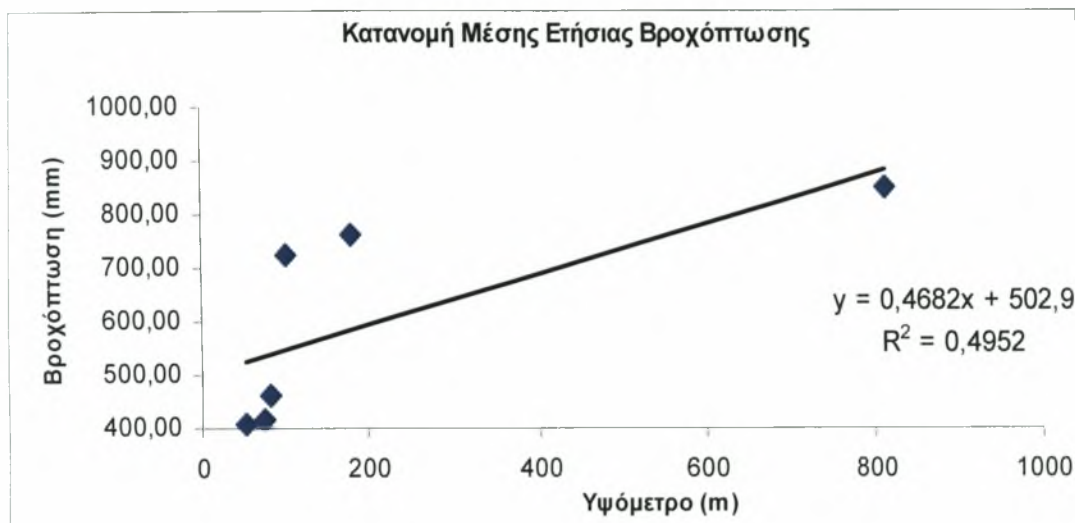
Όνομα σταθμού	Έκταση(Km <sup>2</sup> )	Έκταση (%)	Υετόπτωση
Αγιά	159,0	41,4	764,31
Λάρισα	18,5	4,8	414,67
Πολυδένδρι	17,1	4,5	724,15
Σπηλιά	141,3	36,8	848,79
Στεφανοβίκειο	2,3	0,6	463,72
Σωτήριο	45,5	11,9	409,02

Για τη ζώνη 3, η σχέση είναι :

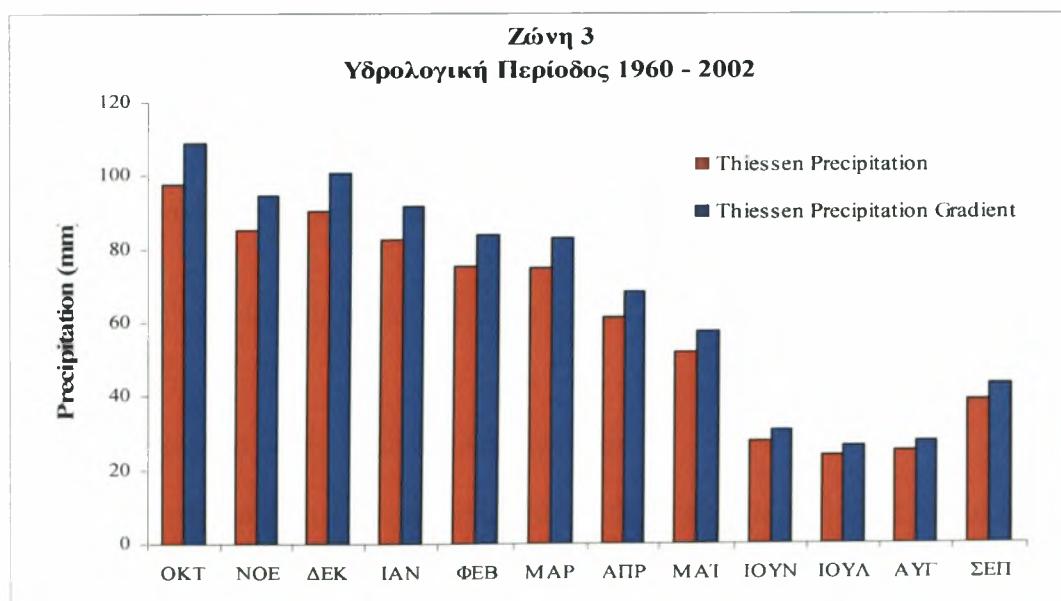
$$P_k = P_{T(k)} - \frac{-177,53 * 46,82}{100} \quad (3.3.5)$$

όπου 46,82 η βροχοβαθμίδα που υπολογίστηκε,

177,3 η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο των 216,17 m, που είναι το μέσο υψόμετρο των σταθμών επηρεασμού της ζώνης και του μέσου υψομέτρου της ζώνης 3.



Σχήμα 3.3.7 Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 3



Σχήμα 3.3.8 Υπολογιζόμενη ετήσια βροχόπτωση στη ζώνη 3

### 3.3.2 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας

*Μέθοδος Θερμοβαθμίδας:*

Η μέθοδος της θερμοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη ετήσια θερμοβαθμίδα που περιγράφει την μείωση της ετήσιας θερμοκρασίας ανά 100 m αύξηση του υψομέτρου. Υπολογίστηκε θερμοβαθμίδα χρησιμοποιώντας τους σταθμούς θερμοκρασίας της Κάρλας.

Για την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του σταθμού του Σωτηρίου ο οποίος επιλέχθηκε ως σταθμός βάσης.

Η εκτίμηση των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο (240,4 m) της ζώνης 1 της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, για κάθε υδρολογικό έτος, γίνεται με τις σχέσεις:

$$T_k = T_{T(k)} - \frac{-189,4 * 0,46}{100} \quad (3.3.6)$$

και

$$T_i^k = \frac{T_k * T_{T(i)}^k}{T_{T(k)}} \quad (3.3.7)$$

$T_{T(k)}$  : μέση ετήσια θερμοκρασία στο σταθμό του Σωτηρίου , κατά το έτος k, σε °C,

$T_k$  : μέση ετήσια θερμοκρασία στη ζώνη 1, κατά το έτος k, σε °C,

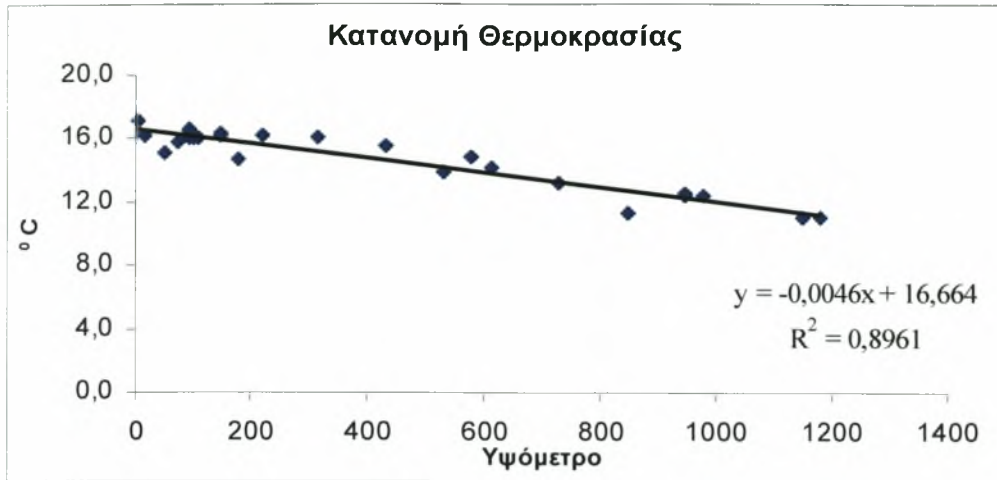
$T_i^k$  : μέση μηνιαία θερμοκρασία, κατά το μήνα i και κατά το έτος k, στη ζώνη 1, σε °C,

$T_{T(i)}^k$  : μέση μηνιαία θερμοκρασία, κατά το μήνα i και κατά το έτος k, στο σταθμό του Σωτηρίου, σε °C,

0,46 : η θερμοβαθμίδα (-0,46 °C ανά 100 μέτρα), και

-189,4 : η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο του σταθμού του Σωτηρίου (51 m) και του μέσου υψομέτρου της ζώνης 1 (189,4 m)





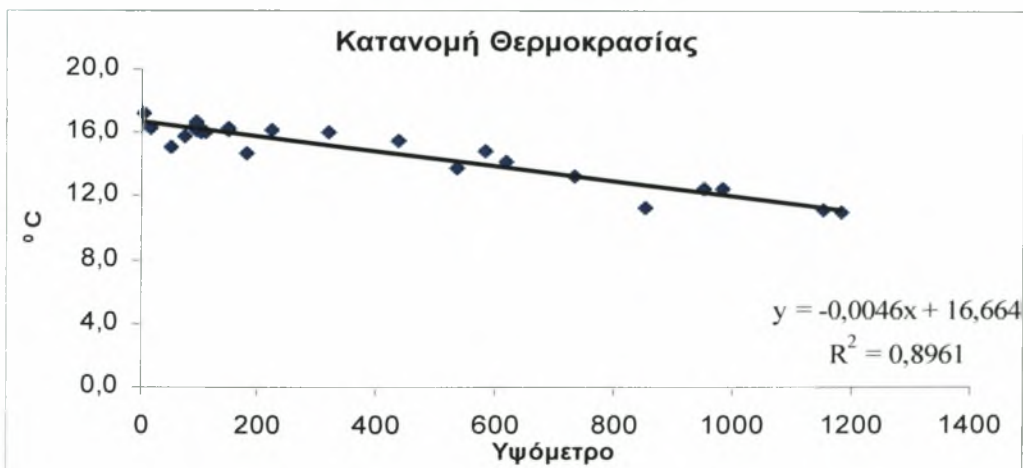
Σχήμα 3.3.9 Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 1

Αντίστοιχα, η σχέση για τη ζώνη 2 είναι :

$$T_k = T_{T(k)} - \frac{-24,4 * 0,46}{100} \quad (3.3.8)$$

Όπου 0,46 : η θερμοβαθμίδα (-0,46 °C ανά 100 μέτρα), και

-24,4 : η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο του σταθμού του Σωτηρίου (51 m) και του μέσου υψόμετρου της ζώνης 2 (75,4 m)



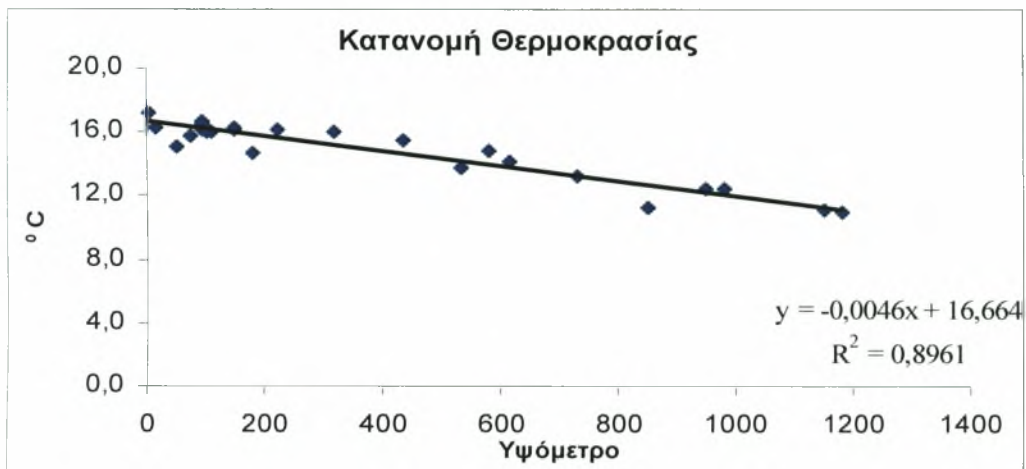
Σχήμα 3.3.10 Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 2

Τέλος, η σχέση για τη ζώνη 3 είναι :

$$T_k = T_{T(k)} - \frac{-342,7 * 0,46}{100} \quad (3.3.9)$$

Όπου 0,46 : η θερμοβαθμίδα (-0,46 °C ανά 100 μέτρα), και

-342,7 : η διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο του σταθμού του Σωτηρίου (51 m) και του μέσου υψόμετρου της ζώνης 3 (393,7 m)



**Σχήμα 3.3.11** Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στη ζώνη 3

### 3.3.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

Η μέθοδος εκτίμησης της μέσης επιφανειακής δυναμικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη μέθοδο Thornthwaite η οποία περιγράφεται παρακάτω.

#### Μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της δυνατής εξατμισοδιαπνοής:

$$E_p = 16 L_d (10 T_a / I)^a \quad (3.3.10)$$

όπου,  $T_a$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία της λεκάνης απορροής σε °C,  $I$  ο δείκτης θερμότητας που δίνεται από την σχέση:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left( \frac{T_n}{5} \right)^{1.514} \quad (3.3.11)$$

όπου,  $T_n$  η κανονική θερμοκρασία κάθε μήνα,  $L_d$  ένας διορθωτικός συντελεστής που υπολογίζεται από μετεωρολογικούς πίνακες ως συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους και  $a$  ένας συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

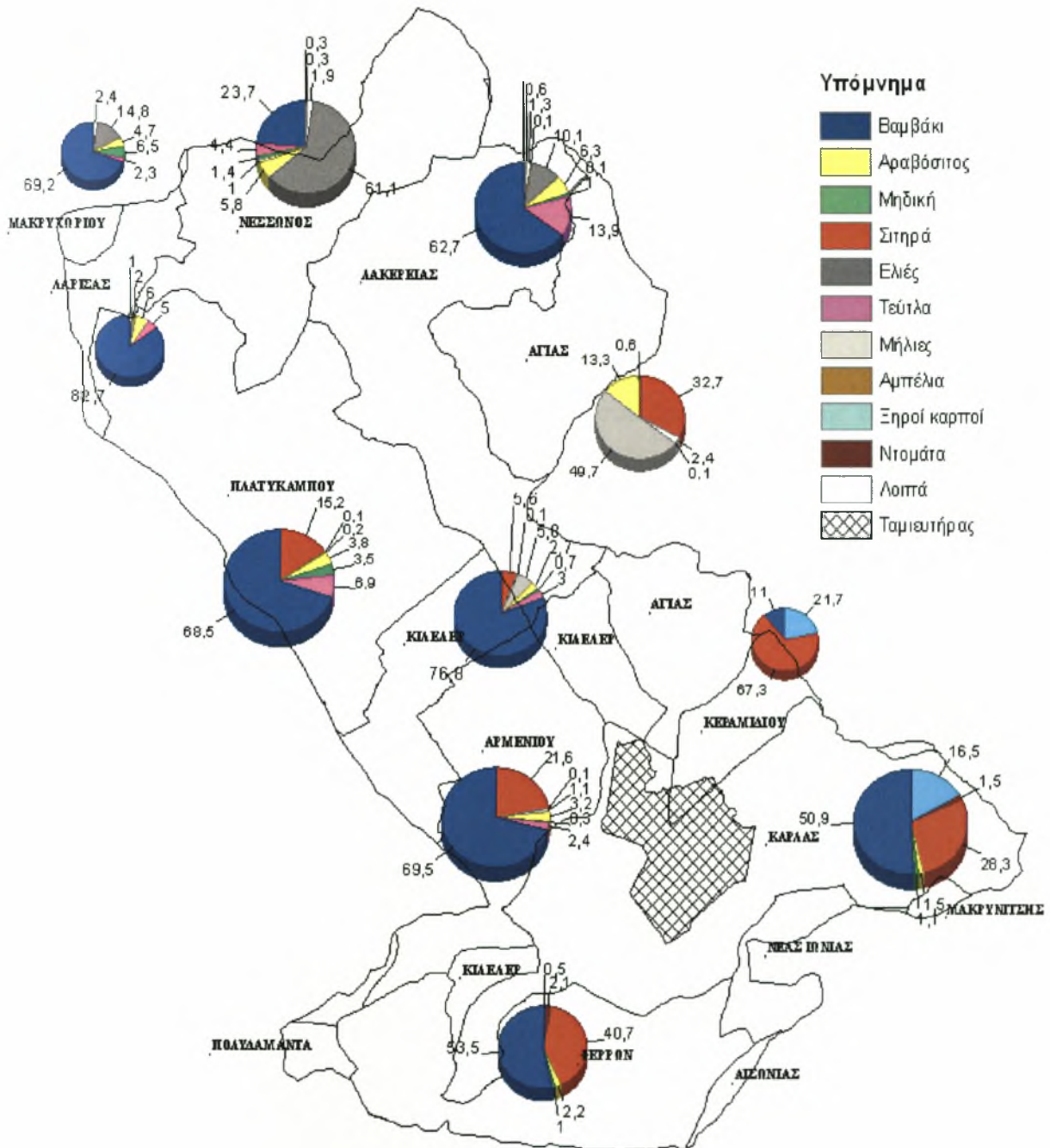
$$a = 0.000000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.01792 I + 0.49239 \quad (3.3.12)$$

Η μέθοδος Thornthwaite παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, αφού η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται, όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη έχει τη μέγιστη τιμή της, δηλαδή στη διάρκεια του καλοκαιριού, και κατά συνέπεια είναι εκτός φάσης το φθινόπωρο. Αυτό αποδίδεται στην χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Μεγάλη υποεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με αυτή την μέθοδο διαφαίνεται στα ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Επίσης η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα δεν είναι κατάλληλη επειδή η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Είναι περισσότερο επιτυχής η μέθοδος για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως μηνιαία, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η εξατμισοδιαπνοή είναι όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες.

### 3.4 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Στοιχεία για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις συλλέχθηκαν για τα έτη 2005, 2006 και 2007. Τα στοιχεία αυτά προήλθαν από τις Διευθύνσεις Εγγειοβελτιωτικών Έργων Λάρισας και Μαγνησίας και τις Διευθύνσεις Γεωργίας. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα ήταν υπολογισμένες ανά δημοτικό διαμέρισμα. Έτσι

πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης με τη χρήση του προγράμματος Arc Map 9 ώστε να αποκλειστούν εκτάσεις από τμήματα δήμων τα οποία δεν περικλείονται στα όρια της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας. Στο Πίνακα 3.4.1 παρουσιάζονται οι εκτάσεις σε στρέμματα ανά ζώνη, ενώ στο Σχήμα 3.4.1 φαίνονται οι εκτάσεις ανά δήμο σε ποσοστό επί της καλλιεργήσιμης έκτασης του κάθε δήμου.

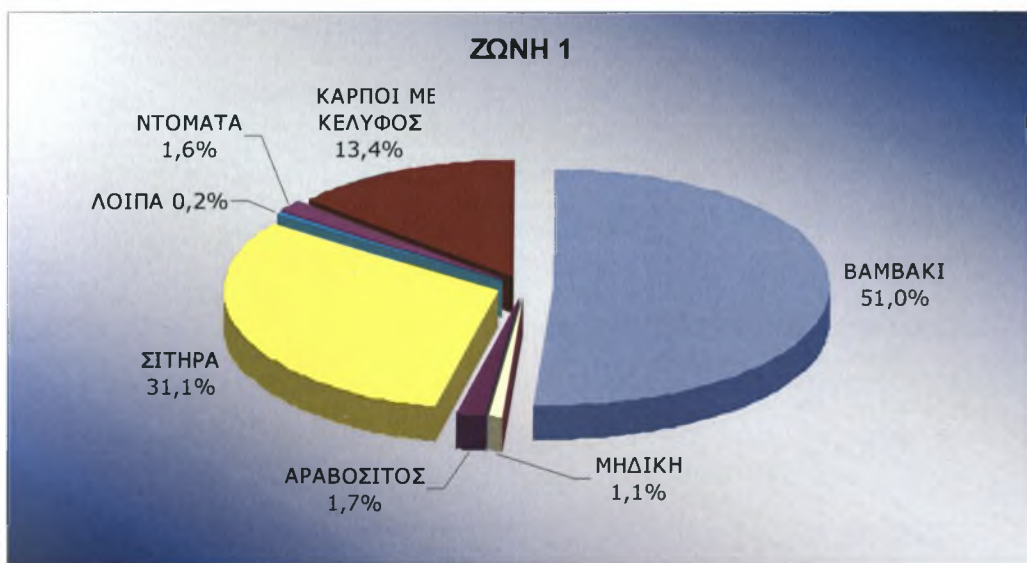


Σχήμα 3.4.1 Εκτάσεις καλλιεργειών ανά δήμο σε ποσοστό %

Πίνακας 3.4.1 Εκτάσεις σε κάθε ζώνη (στρέμματα)

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΖΩΝΗ 1	ΖΩΝΗ 2	ΖΩΝΗ 3	ΣΥΝΟΛΟ
ΒΑΜΒΑΚΙ	40935	194409	24972	260316
ΤΕΥΤΛΑ	-	12976	5303	18279
ΜΗΔΙΚΗ	876	5522	629	7027
ΚΑΠΝΟΣ	-	-	242	242
ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ	1334	9570	7831	18735
ΜΗΛΙΕΣ	-	-	17032	17032
ΕΛΙΕΣ	-	5201	16821	22022
ΑΜΠΕΛΙΑ	-	189	132	321
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	-	2347	1683	4030
ΜΠΟΣΤΑΝΙΑ	-	161	245	406
ΣΙΤΗΡΑ	24969	39468	11392	75829
ΛΟΙΠΑ	126	4795	1456	6377
ΝΤΟΜΑΤΑ	1261	-	-	1261
ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ	10790	-	-	10790
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>80291</b>	<b>274638</b>	<b>87738</b>	<b>442667</b>

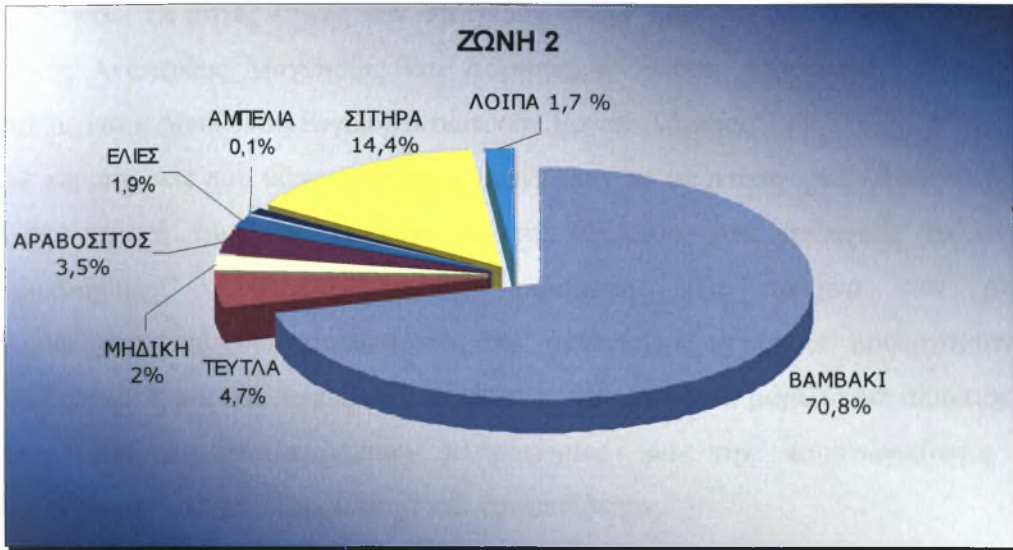
Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 3.4.1 το βαμβάκι αποτελεί επικρατούσα καλλιέργεια στους περισσότερους δήμους που περικλείονται στα όρια της λεκάνης ενώ σημαντική θεωρείται και η καλλιέργεια των σιτηρών. Επιπρόσθετα, στη ζώνη 1 (δήμοι Κάρλας – Φερρών – κοινότητα Κεραμιδίου) (Σχήμα 3.4.2), το ποσοστό των σιτηρών είναι αυξημένο, ενώ παρατηρούνται καλλιέργειες καρπών με κέλυφος (σε σημαντική έκταση) και βιομηχανικής ντομάτας (σε μικρή έκταση).



Σχήμα 3.4.2 Εκτάσεις καλλιεργειών στη ζώνη 1 σε ποσοστό %

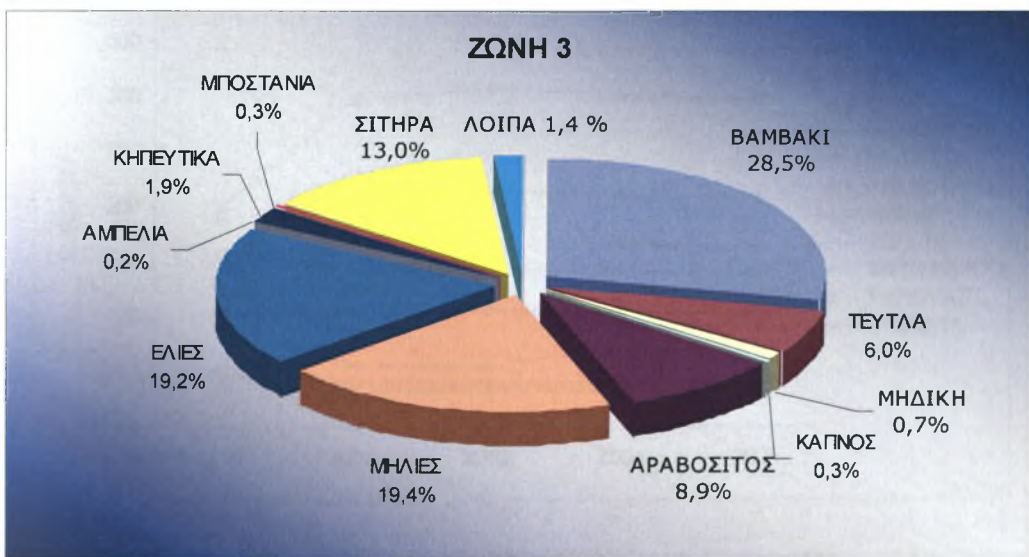


Στη ζώνη 2 (δήμοι Πλατυκάμπου – Αρμενίου – Κιλελέρ – Λάρισας – Μακρυχωρίου) (Σχήμα 3.4.3) το βαμβάκι χαρακτηρίζεται ως καθολική καλλιέργεια φθάνοντας σε ποσοστό 70,8 % ενώ η ζώνη 2 αποτελεί την περιοχή με τη μεγαλύτερη έκταση (274.638 στρ.).



**Σχήμα 3.4.3** Εκτάσεις καλλιεργειών στη ζώνη 2 σε ποσοστό %

Στη ζώνη 3 (δήμοι Νέσσωνος – Λακέρειας – Αγιάς) (Σχήμα 3.4.4) οι καλλιέργειες μηλιών (δήμος Αγιάς) και ελαιόδεντρων (δήμος Νέσσωνος) αποτελούν κύριες καλλιέργειες ενώ το ποσοστό καλλιεργήσιμης έκτασης του βαμβακιού είναι εμφανώς μειωμένο σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές.

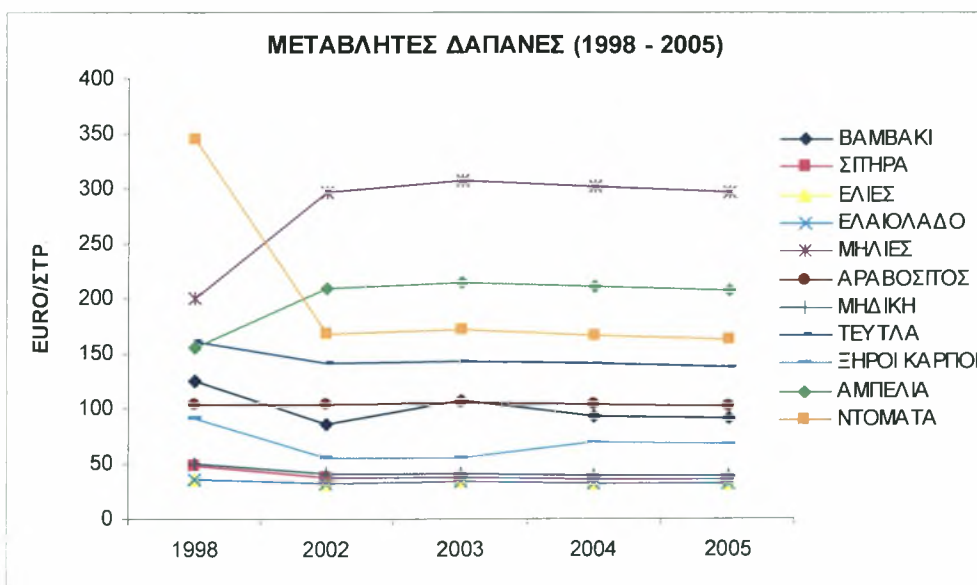


**Σχήμα 3.4.4** Εκτάσεις καλλιεργειών στη ζώνη 3 σε ποσοστό %

Επίσης, αξιοποιήθηκαν οι Τεχνοοικονομικοί Δείκτες Φυτικής Παραγωγής (Παράρτημα Α) των ετών 1998, 2002, 2003, 2004, 2005, οι οποίοι σχετίζονται με τα διάφορα κόστη της κάθε καλλιέργειας όπως λιπάσματα, φυτοφάρμακα, εργατικά, καύσιμα, σπόροι, μηχανική συλλογή, ώρες εργασίας μηχανών και ανθρώπινου δυναμικού, τέλη άρδευσης κτλ. Οι πηγές λήψης των στοιχείων αυτών ήταν : η Διεύθυνση Γεωργίας και Αγροτικής Ανάπτυξης Μαγνησίας και Λάρισας, η Ένωση Αγροτικών Συνεταιρισμών Θεσσαλίας και η Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων Λάρισας.

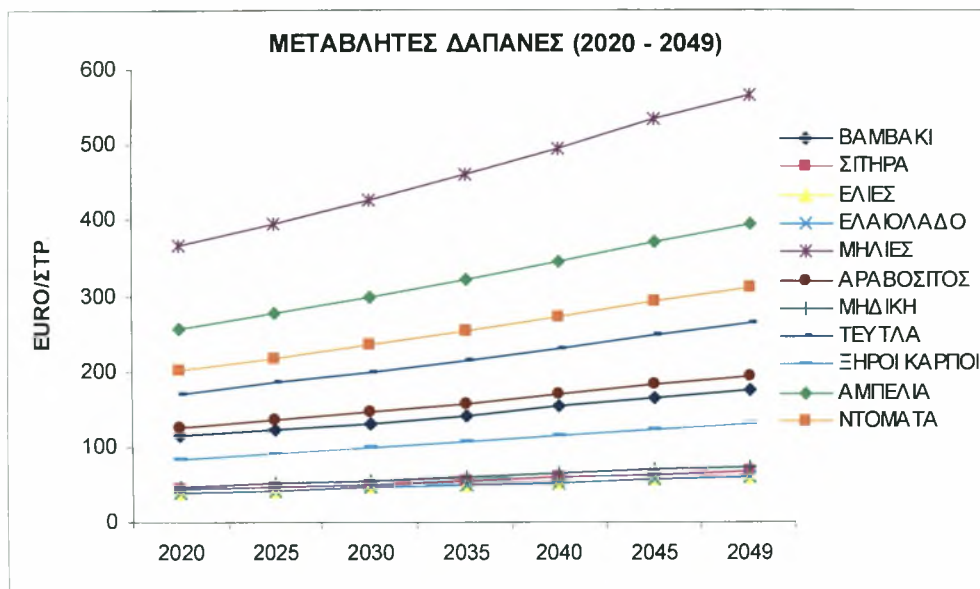
Σε περιπτώσεις που κάποιοι δείκτες χωρίζονταν σε υποκατηγορίες λήφθηκε ο μέσος όρος σαν τελική τιμή του έκαστου δείκτη. Εξάλλου, στις πολυετείς καλλιέργειες χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας ετησίας απόσβεσης. Τα στοιχεία των Δεικτών συμπληρώθηκαν και διασταυρώθηκαν από αντίστοιχα τα οποία προέρχονταν από ιδιωτικούς φορείς και από εμπειρικές αναλύσεις γεωπόνων για μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια. Επίσης, περιλαμβάνουν πληροφορίες για την παραγωγικότητα κάθε καλλιέργειας, την τιμή των προϊόντων και την επιδότηση.

Οι τιμές των μεταβλητών δαπανών (λιπάσματα, σπόροι, εργατικά, καύσιμα, φυτοφάρμακα) όπως και η τιμή προϊόντος και η επιδότηση ανοίχθηκαν σε τιμές του 2009 με σκοπό να είναι δυνατή η σύγκριση τους. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την επιβολή επιτοκίων με ετήσιο ανατοκισμό 2 % έως το έτος 2009 ούτως ώστε οι τιμές να είναι σημερινές (Σχήμα 3.4.5).



**Σχήμα 3.4.5** Εξέλιξη των μεταβλητών δαπανών των καλλιεργειών  
την περίοδο 1998 – 2005 (επιτόκιο 2 %)

Στη μελλοντική περίοδο μελέτης 2020 - 2049 το επιτόκιο ήταν 2 % έως το έτος 2020, και έπειτα ελαττώθηκε σε 1,5 % διότι στο τέλος της περιόδου οι τιμές παύουν να θεωρούνται συγκρίσιμες και ρεαλιστικές (Σχήμα 3.4.6).



**Σχήμα 3.4.6** Εξέλιξη των μεταβλητών δαπανών των καλλιεργειών την περίοδο 2020 – 2049 (επιτόκιο 1,5 %)

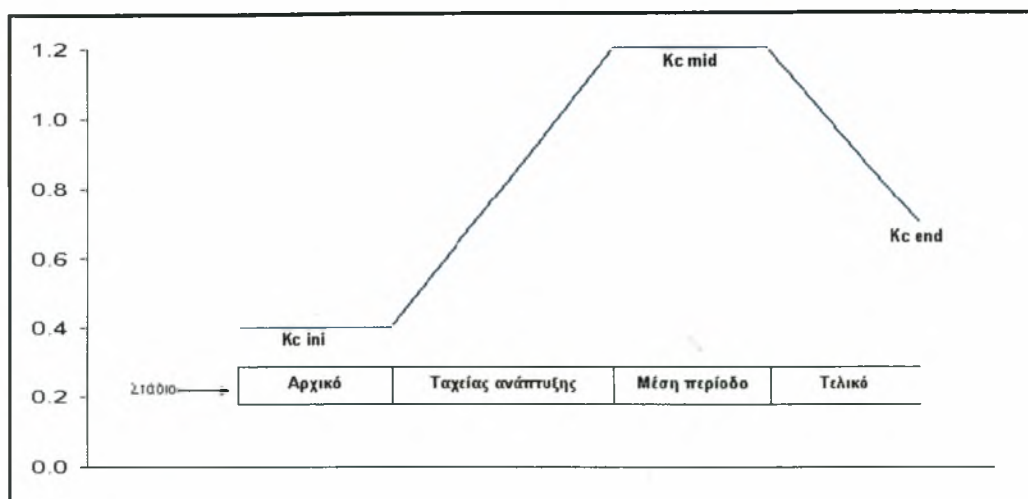
## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ

#### 4.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Οι αγροτικές υδατικές ανάγκες υπολογίζονται ανά υπολεκάνη και εξαρτώνται από τρεις παραμέτρους: το είδος καλλιεργειών, τον τρόπο άρδευσης και τον τρόπο μεταφοράς του νερού στις αρδευόμενες εκτάσεις.

Ο υπολογισμός των αναγκών των καλλιεργειών έγινε με τον δείκτη Near Irrigation Requirement (NIR), (USDA, 1970). Με τον όρο βλαστική περίοδο εννοούμε την περίοδο από την σπορά έως την συγκομιδή της καλλιέργειας και για μόνιμες καλλιέργειες, όπως οπωρώνες την περίοδο από την ανάπτυξη του φυλλώματος έως την συγκομιδή, κατά την οποία οι καλλιέργειες απαιτούν για την σωστή ανάπτυξη τους νερό. Ο Kc είναι ένας εμπειρικός εποχιακός συντελεστής που μας δίνει την σχέση μεταξύ των αναγκών της καλλιέργειας αναφοράς και των άλλων καλλιεργειών. Με τον όρο καλλιέργεια αναφοράς εννοείται μια μηδική καλλιέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με βάση την οποία υπολογίζουμε τις ανάγκες όλων των υπόλοιπων καλλιεργειών. Στην καλλιέργεια αναφοράς το Kc είναι ίσο με την τιμή 1 και οι τιμή του είναι διαφορετική για κάθε καλλιέργεια και ανάλογη με την βλαστική περίοδο στην οποία βρίσκεται αυτή (Σχήμα 4.1.1). Η βλαστική περίοδος όπως φαίνεται στο σχήμα χωρίζεται σε τέσσερα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Η αναλυτική περιγραφή των σταδίων αυτών γίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.1.1 Εξέλιξη του συντελεστή βλάστησης ( $K_c$ ) καλλιέργειας (Loukas et al., 2004).

#### ➤ αρχικό στάδιο

Το στάδιο αυτό αρχίζει από την σπορά ή φύτευση της καλλιέργειας και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της. Στο διάστημα αυτό ο φυτικός συντελεστής  $K_c$  παραμένει σταθερός.

#### ➤ ταχείας ανάπτυξης

Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών, ξεκινάει με το τέλος του αρχικού και τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια, δηλαδή όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης υπερβαίνει το 70%. Το  $K_c$  παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση.

#### ➤ στάδιο μέσης περιόδου

Το στάδιο αυτό ξεκινάει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους, όπως ορίστηκε στο προηγούμενο στάδιο, και περιλαμβάνει την περίοδο της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών με την τιμή του  $K_c$  να παραμένει σταθερή.

#### ➤ τελικό στάδιο

Σε αυτό το στάδιο συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με την συγκομιδή. Στις διαδικασίες αυτές οι καλλιέργειες έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε νερό. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου παρατηρείται μια συνεχή πτώση του  $K_c$ .



#### 4.1.1 Ζήτηση καλλιεργειών-εξατμισοδιαπνοή

Για τον υπολογισμό των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό ο αντικειμενικός σκοπός είναι να υπολογισθεί το απαραίτητο νερό για τον ανεφοδιασμό των καλλιεργειών, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή ανάπτυξη και βελτιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Για την ζήτηση αυτή πρέπει να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, δηλαδή η εξάτμιση από το έδαφος, το φυτό και το φύλλωμα. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από την περίοδο ανάπτυξης, την πυκνότητα του φυλλώματος, την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και τις αποστάσεις μεταξύ των φυτών μέσα στην καλλιέργεια (Παπαζαφειρίου 1999).

#### 4.1.2 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών με τη μέθοδο Blaney Criddle

Η μέθοδος Blaney–Criddle προτιμήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών λόγω των περιορισμένων μετεωρολογικών δεδομένων (θερμοκρασία, βροχόπτωση) που υπάρχουν για την περιοχή μελέτης και των καλών αποτελεσμάτων που μας δίνει με λίγα δεδομένα. Οι άλλες μέθοδοι που θα μπορούσαν να δώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, δεν μπορούν να εφαρμοστούν λόγω έλλειψης δεδομένων όπως ένταση και διεύθυνση ανέμων, ενώ σύμφωνα με διάφορες μελέτες η μέθοδος που επιλέχθηκε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εξατμισοδιαπνοής (Κουτσογιάννης, 2002, Loukas et al., 2004). Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής στην μέθοδο Blaney – Criddle γίνεται με βάση τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς και τον φυτικό συντελεστή.

Αναλυτικά για τον υπολογισμό με την μέθοδο Blaney–Criddle της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας απαιτείται μόνο η μέση μηνιαία θερμοκρασία και το γεωγραφικό πλάτος της κάθε λεκάνης. Ο τύπος της μεθόδου είναι που δίνει την τιμή  $f$ , δηλαδή την αναγκαία κατανάλωση της καλλιέργειας αναφοράς είναι ο εξής:

$$f = (0.46T + 8.13) * p \quad (4.1.1)$$

όπου:

$T$  η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

$p$  το μέσο μηνιαίο ποσοστό ωρών ημέρας (βάσει του γεωγραφικού πλάτους)

Για τον υπολογισμό των μηνιαίων αναγκών της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά πρέπει να πολλαπλασιαστεί η τιμή της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς με των συντελεστή  $K_c$

$$ET_o = (0.46T + 8.13) * p * K \quad (4.1.2)$$

Τα στοιχεία για τις τιμές των  $K_c$  προέρχονται από την οδηγία FAO 24 (Allen et al., 1998) και από τιμές που έχουν οριστεί από το υπουργείο Γεωργίας με βάση την οδηγία. Στις περιπτώσεις στις οποίες δεν υπήρχαν τιμές για το  $K_c$  ανοιγμένες στους μήνες υπολογίστηκαν αυτές με βάση την αρχή και το τέλος των σταδίων ανάπτυξης των φυτών, την διάρκεια τους και τις τιμές  $K_{in}$ ,  $K_{mid}$  και  $K_{end}$  οι οποίες υπήρχαν για κάθε καλλιέργεια.

#### 4.1.3 Ωφέλιμη (ενεργός) βροχόπτωση

Ένα ποσοστό της ζήτησης των καλλιεργειών ικανοποιείται από την βροχόπτωση που υπάρχει, το σύνολο της οποίας, όμως, δεν μπορεί να θεωρηθεί πως καταλήγει στο φυτό αφού υπάρχουν απώλειες από την εξατμισοδιαπνοή, την απορροή και την βαθιά διήθηση. Η ποσότητα της βροχόπτωσης που είναι εκμεταλλεύσιμη ονομάζεται ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση.

Γνωρίζοντας τις απαιτήσεις για κάθε μήνα του έτους υπολογίζουμε με βάση την ενεργό βροχόπτωση ποιες από τις ανάγκες μας μπορούν να ικανοποιηθούν από αυτήν και ποιες από πότισμα. Συνήθως τους χειμερινούς μήνες και κατά δεύτερο λόγω τους μήνες τις άνοιξης και του φθινοπώρου, η βροχή ικανοποιεί ένα μεγάλο μέρος εάν όχι το σύνολο των απαιτήσεων. Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός της ωφέλιμης υετόπτωσης  $P_{eff}$ , δηλαδή το ύψος του υετού μετά από την αφαίρεση των απωλειών που έχουμε από επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση κάτω από το ριζόστρωμα

Η  $P_{eff}$  υπολογίζεται με βάση το μηνιαίο ύψος της υετόπτωσης με τους παρακάτω τύπους της USDA Soil Conservation Service (USDA, 1970 & Dastane, 1974)

$$P < 250mm \quad P_{eff} = \frac{P_k * (125 - 0.2 * P)}{125} \quad (4.1.3)$$

και

$$P > 250mm \quad P_{eff} = 125 + \frac{1}{10}P \quad (4.1.4)$$

όπου  $P$  η μηνιαία υετόπτωση

Επιλέγεται το  $P_{eff}$  με όριο τα 250mm μηνιαίας υετόπτωσης, αφού για τόσο υψηλή μηνιαία βροχόπτωση η απώλειες είναι μεγαλύτερες.

Η τιμή NIR είναι οι επιπλέον ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών που εκφράζεται σε ύψος νερού σε mm/m<sup>2</sup> και υπολογίζεται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους

$$NIR = ET_o - P_{eff} > 0 \quad NIR = ET_o - P \quad (4.1.5)$$

$$NIR = ET_o - P < 0 \quad NIR = 0 \quad (4.1.6)$$

όπου  $ET_o$  είναι η αναγκαία κατανάλωση και  $P_{eff}$  η ωφέλιμη (χρήσιμη) βροχόπτωση.

Οι τελικές μηνιαίες ανάγκες της κάθε καλλιέργειας σε νερό εκφράζονται από την τιμή Q σε hm<sup>3</sup>

$$Q = \frac{NIR * E}{1000} \quad (4.1.7)$$

όπου NIR η ανάγκη σε νερό σε mm/m<sup>2</sup> και E το συνολικό εμβαδόν της κάθε καλλιέργειας για την κάθε υπολεκάνη.

Η συνολικές ανάγκες σε νερό μηνιαίος για την κάθε υπολεκάνη  $\Sigma Q_{καλλ.}$  εκφράζεται σαν άθροισμα των επιμέρους αναγκών των καλλιεργειών και είναι

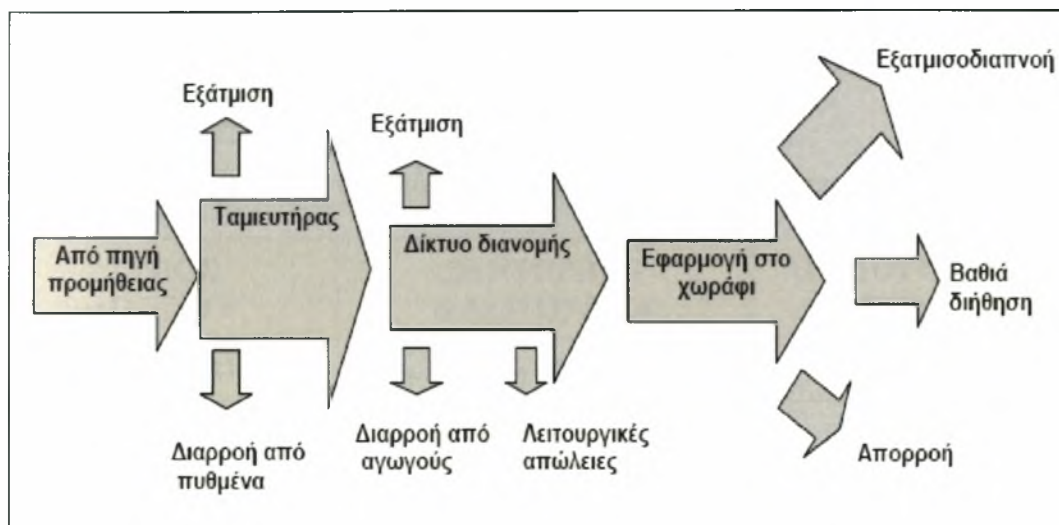
$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_x \quad (4.1.8)$$

με  $Q_{1-x}$  η απαίτηση των επιμέρους καλλιεργειών.

#### 4.1.4 Αποδοτικότητα Άρδευσης

Οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό δεν προσδιορίζουν την τελική αναγκαία ποσότητα από την πηγή απόληψης, διότι δεν συνυπολογίζονται οι απώλειες στην μεταφορά και εφαρμογή όπως αυτές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.1.2). Ο όρος αποδοτικότητα της άρδευσης εισάγει ορισμένους συντελεστές απόδοσης με τους οποίους προσδιορίζεται και υπολογίζεται η προσαύξηση του απαιτούμενου νερού για τους

διάφορους τρόπους μεταφοράς και άρδευσης ώστε η τελική ποσότητα νερού που φτάνει στον αποδέκτη να είναι αυτή που υπολογίστηκε παραπάνω.



Σχήμα 4.1.2 Σχεδιάγραμμα των απωλειών κατά την μεταφορά και τη διανομή του νερού άρδευσης (Loukas et al.,2004)

Από τα δεδομένα των νομαρχείων χρησιμοποιήθηκαν τα ποσοστά για τον τρόπο μεταφοράς του νερού ενώ δεν υπήρχαν ποσοστά για την άρδευση. Τα ποσοστά για την μεταφορά είναι διαφορετικά για κάθε νομό και αυτά που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε υπολεκάνη είναι του νομού στον οποίο ανήκει πάνω από το 50% της επιφάνειας της και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1.1). Η μεταφορά νερού γίνεται με δύο τρόπους, μέσω επιφανειακού δικτύου και μέσω υπό πίεση δικτύου.

#### ➤ Επιφανειακό δίκτυο

Το επιφανειακό δίκτυο αποτελείται από χωμάτινης κατασκευής ανοικτούς τάφρους, τραπεζοειδείς διατομής, που μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες νερού. Τα προβλήματα των τάφρων αυτών είναι η απαίτηση συνεχούς συντήρησής τους, λόγω της βλάστησης που εμφανίζεται, των απωλειών από την διήθηση και την εξατμισοδιαπνοή από τους τάφρους λόγω της μεγάλης ελεύθερης επιφάνειας.

#### ➤ Υπό πίεση δίκτυο

Το υπό πίεση δίκτυο αποτελείται από κλειστούς αγωγούς με ενδιάμεσα αντλιοστάσια με μεγάλο τους πλεονέκτημα τις ιδιαίτερα μικρές απώλειες. Μεγάλο τους

μειονέκτημα είναι το ιδιαίτερα μεγάλο κόστος τους και ο προσεκτικός σχεδιασμός τους, ώστε οι πιέσεις σε κάθε σημείο να είναι κατάλληλες.

Η αποδοτικότητα του δικτύου μεταφοράς εξαρτάται από τον τρόπο μεταφοράς και από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται με τις τιμές της αποδοτικότητας να αναφέρονται στον Πίνακα 4.1

**Πίνακας 4.1.1** Συντελεστές απόδοσης τρόπων μεταφοράς (Παπαζαφειρίου, 1999)

ΤΥΠΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ, Ed
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ	πολύ καλή μέχρι άριστη	0.6 - 0.75
	ικανοποιητική	0.5 - 0.6
	ελλιπής	0.35 - 0.5
	κακή	0.2 - 0.35
ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ	Ικανοποιητική μέχρι άριστη	0.8 - 0.95

Η απόδοση του συστήματος μεταφοράς  $E_{m\mu}$  για κάθε νομό υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο :

$$E_{\mu.\mu} = M_c * E_{\text{επιφ}} + M_{\pi} * E_{\text{δνπο}} \quad (4.1.9)$$

όπου  $E_{\mu.\mu}$  η μέση απόδοση των συστημάτων μεταφοράς,  $M$  το ποσοστό επί του συνολικού εμβαδού που αντιστοιχεί σε κάθε τρόπο μεταφοράς και  $E$  οι αντίστοιχοι συντελεστές απόδοσης.

Για τα ποσοστά άρδευσης υιοθετήθηκε μια αναλογία (Πίνακας 4.1.2) από παλιότερη μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας η οποία θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική για τον ελλαδικό χώρο και εφαρμόστηκε σε κάθε λεκάνη.

Οι μέθοδοι άρδευσης που εφαρμόζονται στη περιοχή μελέτης είναι η στάγδην άρδευση, η άρδευση με κατάκλυση και με καταιονισμό. Αναλυτικά:

#### ➤ Στάγδην

Στην στάγδην το νερό εφαρμόζεται στο χωράφι σε μικρές ποσότητες με μορφή σταγόνων, έτσι ώστε κάθε φυτό να εφοδιάζεται, χωριστά, με την απαιτούμενη ποσότητα σε νερό.



➤ Με κατάκλυση

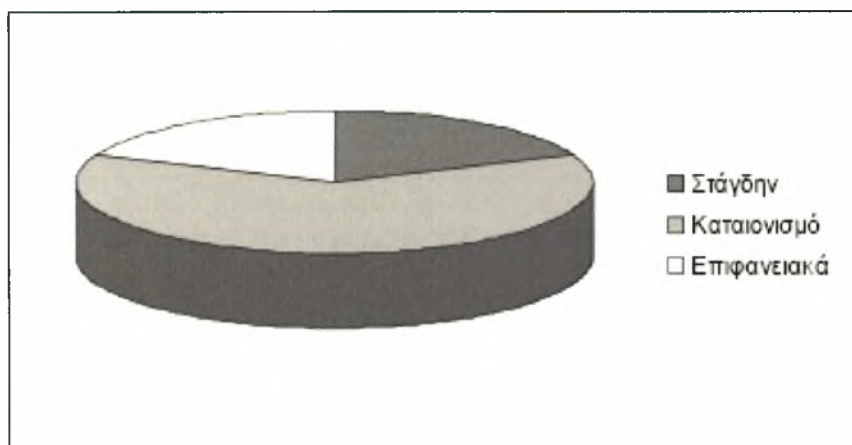
Η κατάκλυση είναι μια στατική επιφανειακή μέθοδος που αναφέρεται και ως οριζόντια άρδευση. Εφαρμόζεται σε χωράφια με μηδενική κλίση, με διαμόρφωση λεκάνης, καλύπτοντας όλοι την επιφάνεια με νερό.

➤ Καταιονισμός

Στον καταιονισμό το νερό εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια του εδάφους σαν τεχνητή απομίμηση του της βροχής και διηθείτε στο έδαφος κατακόρυφα υπό ακόρεστες συνθήκες. Η μέθοδος εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή στην καλλιέργεια χωρίς να εμφανίζει επιφανειακή απορροή και λίμνασμα νερού στην επιφάνεια.

**Πίνακας 4.1.2** Χαρακτηριστικά ποσοστά στην χρήση των τρόπων άρδευσης για των ελλαδικό χώρο σύμφωνα με βάση μελέτης του Υπουργείου Γεωργίας.

	Έκταση (χιλ. στρ.)	Ποσοστό επί συνόλου %
<b>Στάγδην</b>	90	0,19
<b>Καταιονισμό</b>	300	0,63
<b>Επιφανειακά</b>	90	0,19
	480	



Τα παραπάνω ποσοστά για τον κάθε τρόπο άρδευσης ισχύουν για κάθε υπολεκάνη, οπότε και ο συντελεστής απόδοσης για τον συνδυασμό των τρόπων άρδευσης θα είναι κοινός για τους νομούς (Πίνακας 4.1.3).

**Πίνακας 4.1.3** Συντελεστές απόδοσης των τρόπων άρδευσης (Παπαζαφειρίου, 1999)

<b>ΚΑΤΑΚΛΥΣΗ (ΛΕΚΑΝΕΣ)</b>	<b>0.6-0.8</b>
<b>ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΧΥΣΗ (ΛΩΡΙΔΕΣ)</b>	<b>0.6-0.75</b>
<b>ΑΥΛΑΚΙΑ</b>	<b>0.5-0.75</b>
<b>ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟ:</b>	
<i>1. ΚΛΑΣΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</i>	<b>0.6-0.8</b>
<i>2. ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟΣ ΕΚΤΟΞΕΥΤΗΡΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (ΚΑΡΟΥΛΙ)</i>	<b>0.55-0.75</b>
<i>3. ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ</i>	<b>0.75-0.9</b>
<i>4. ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (PIVOT)</i>	<b>0.75-0.9</b>
<b>ΣΤΑΓΔΗΝ</b>	<b>0.8-0.95</b>

Με βάση τα στοιχεία που έχουμε για τους τρόπους άρδευσης και με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου υπολογίστηκαν οι συντελεστές απωλειών άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν τελικά.

$$E_{\mu.a.} = A_{\sigma} * E_{\sigma} + A_{\kappa} * E_{\kappa} + A_{\epsilon} * E_{\epsilon} \quad (4.1.10)$$

όπου:  $E_{\mu.a.}$  είναι η μέση απόδοση των συστημάτων άρδευσης,  $A$  το ποσοστό επί του συνολικού εμβαδού που αντιστοιχεί σε κάθε τρόπο άρδευσης και  $E$  οι αντίστοιχοι συντελεστές απόδοσης (Πίνακας 4.1.4).

**Πίνακας 4.1.4** Επιλεχθέντες συντελεστές τρόπων άρδευσης

	<b>Απόδοση</b>
<b>Στάγδην</b>	0,9
<b>Καταιονισμό</b>	0,8
<b>Επιφανειακά</b>	0,65

Με βάση τα ποσοστά που αντιστοιχούν σε κάθε τρόπο μεταφοράς και ποτίσματος και τους αντίστοιχους συντελεστές απόδοσης (Παπαζαφειρίου, 1999) υπολογίστηκε η προσαύξηση και τελικά η απαιτούμενη ποσότητα του νερού για την κάθε λεκάνη για το κάθε έτος.

Έχοντας επιλέξει τους συντελεστές απόδοσης για την μεταφορά και το πότισμα που θα εφαρμόζονται σε κάθε υπολεκάνη υπολογίστηκε ο τελικός συνδυαστικός συντελεστής προσαύξησης. Πολλαπλασιάζοντας τον με την απαιτούμενη ποσότητα του καθαρού νερού που πρέπει να φτάσει στην καλλιέργεια βρίσκουμε την ποσότητα που πρέπει να απολείψουμε από τις πηγές τροφοδοσίας μας.

Ο τελικός συντελεστής προσαύξησης υπολογίζεται συμφωνά με τον τύπο :

$$E_r = \frac{1}{E_{\mu.\mu} * E_{\mu.a}} \quad (4.1.11)$$

## 4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ EMERGY ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα θέματα που αφορούν τη δομή των καλλιεργειών και το σχεδιασμό στον γεωργικό τομέα απαιτούν μια πολυκριτηριακή ανάλυση, καθώς οι αποφάσεις που λαμβάνονται και οι νόρμες που ακολουθούνται έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην οικονομία, στο περιβάλλον και ως εκ τούτου στην κοινωνία και την ανάπτυξη αυτής. Συνήθως τα ανεπαρκή διαθέσιμα δεδομένα και η έλλειψη γνώσεων και επιστημονικής κατάρτισης οδηγεί τους λήπτες αποφάσεων σε μια εμμονή στο να ακολουθούνται απλοϊκές τεχνικές και μεθοδολογίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εύρεση μιας απλά ικανοποιητικής λύσης και όχι της βελτιστοποίησης της απόδοσης του σχεδιασμού. Επιπλέον, στο πλαίσιο της βιώσιμης

ανάπτυξης αγροτικών περιοχών ζητούμενο είναι η διατήρηση της αρδευόμενης γεωργίας ως βασική οικονομική δραστηριότητα, παράλληλα όμως με αποδοτική χρήση των πόρων. Ειδικότερα, στόχος είναι η αποδοτική χρήση των ανανεώσιμων και μη πόρων, για την παράγωγη προϊόντων ποιότητας με την ελαχίστη δυνατή επίπτωση στο περιβάλλον. Εξάλλου κρίνεται επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης εργαλείων που να εντάσσουν σε ένα κοινό πλαίσιο αξιολόγησης οικονομικούς, φυσικούς και ανθρωπογενείς πόρους. Ένα τέτοιο εργαλείο ανάλυσης των επιμέρους τομέων της γεωργικής δραστηριότητας είναι η Emergy ανάλυση. Η Emergy ανάλυση έχει αναπτυχθεί τα τελευταία 30 χρόνια βασισμένη στους νομούς της θερμοδυναμικής

- 1<sup>ος</sup> : Η ενεργεία που εισέρχεται σε ένα σύστημα ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται .
- 2<sup>ος</sup> : Κάθε διεργασία προκαλεί διασπορά ενέργειας με την απώλεια θερμότητας .

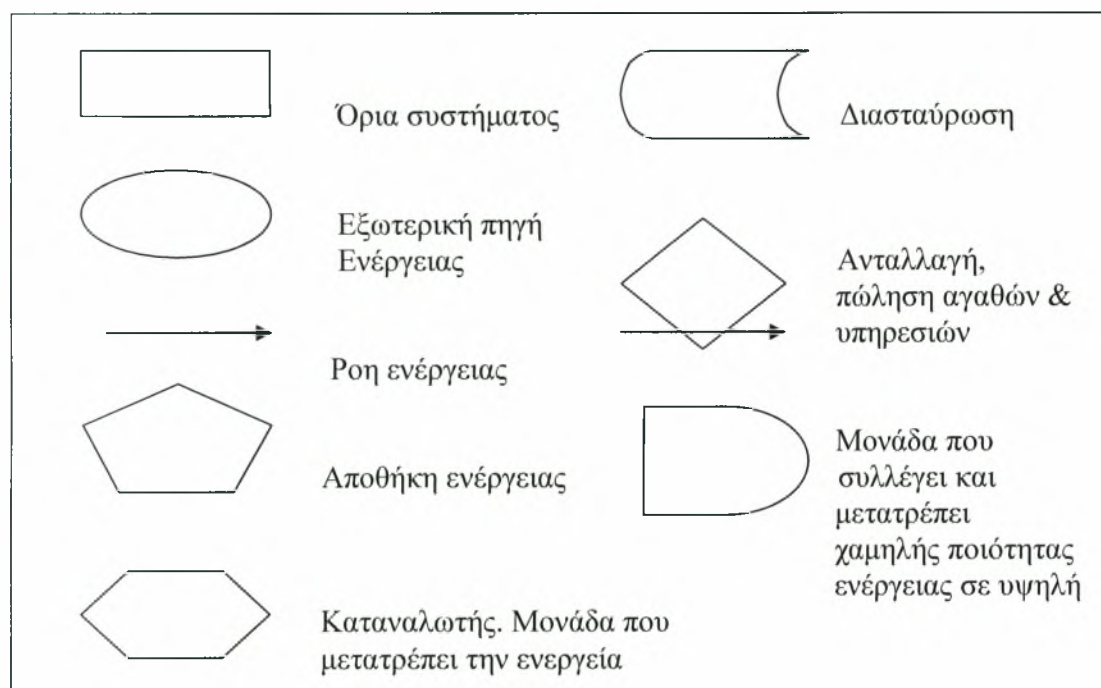
Η βασική αρχή της μεθοδολογίας είναι πως τα οικονομικά και οικολογικά συστήματα μπορούν να περιγράψουν από ένα κοινό θερμοδυναμικό πλαίσιο, μιας και τόσο τα οικονομικά όσο και τα οικολογικά συστήματα αποτελούν συστήματα αυτό-οργάνωσης, και επομένως ακολουθούν τους νομούς της θερμοδυναμικής. Το κοινό αυτό πλαίσιο είναι η ηλιακή ενεργεία που απαιτείται για τη δημιουργία τους, που καλείται emergy και μονάδα μέτρησής της είναι το sej (solar emergy joules) ή τα Emdollars (Em\$), όταν αναφέρεται σε οικονομικά μεγέθη. Έτσι όλα τα μέρη των συστημάτων μπορούν να αποτιμηθούν ποσοτικά με μια κοινή μονάδα. Η σύγκριση και αξιολόγηση των χαρακτηριστικών τους γίνεται με τον υπολογισμό της τιμής ορισμένων δεικτών, που αφορούν στην εντατικότητα χρήσης πόρων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την οικονομική απόδοση, βάση της ροής Emergy στο σύστημα. Επομένως, η βιωσιμότητα ενός συστήματος καθορίζεται από το αν καταναλώνει περισσότερη Emergy από ότι παράγει .

#### 4.2.1 Σχεδιασμός του συστήματος προς ανάλυση

Η σχηματική παρουσίαση του συστήματος που μελετάται αποσκοπεί στην αναγνώριση των μηχανισμών που το διέπουν, καθώς και στην ανάλυση των επιδράσεων εξωγενών παραγόντων (Odum, 1996). Αρχικά, όλα τα μέρη και οι διαδικασίες του συστήματος απεικονίζονται με τη ροή ενέργειας μεταξύ τους. Συνήθως προκύπτει μια πολύπλοκη εικόνα, γι' αυτό ανάλογα με την κλίμακα χρόνου και μεγέθους του

συστήματος που μελετάται, μπορεί να γίνει ομαδοποίηση παραγόντων, χωρίς όμως να χάνεται η ροή ενέργειας (Doherty et al, 2002).

Ένα σύστημα αποτελείται από μη ανανεώσιμους πόρους (N) και ανανεώσιμους πόρους (R), αγορασμένα αγαθά (F) από ένα οικονομικό σύστημα και για δεδομένη χρήση τους προκύπτει η απόδοση (Y) του συστήματος. Η ενέργεια μετατρέπεται, καθώς μεταφέρεται από τη μια διεργασία στην άλλη και στην πορεία το ενεργειακό περιεχόμενο των προϊόντων μειώνεται, ενώ το σύνολο των πόρων που εισέρχονται στην διεργασία αυξάνεται.

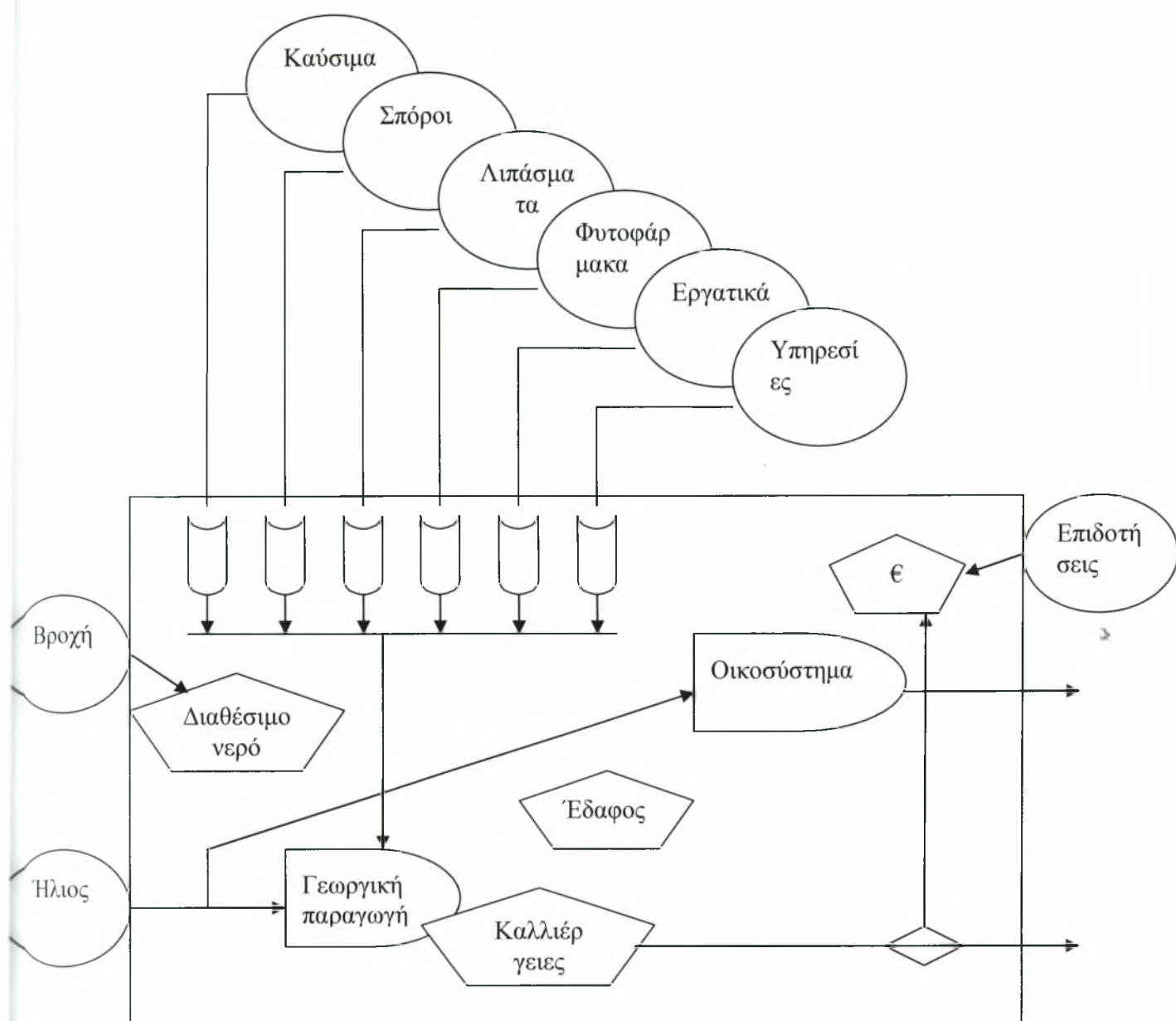


**Σχήμα 4.2.1** Σύμβολα στη διαγραμματική παρουσίαση ενός συστήματος  
(από Brown et al.,1996)

Τα βασικά βήματα στην αναπαράσταση ενός συστήματος είναι :

- Ο ορισμός των χωρικών και χρονικών ορίων του συστήματος
- Η καταγραφή των εξωτερικών πηγών ενέργειας που περνούν τα όρια του συστήματος και των εσωτερικών μονάδων του συστήματος
- Η ταξινόμηση των μερών με βάση τη θέση τους στην ενεργειακή ιεραρχία
- Η σύνδεση των ενεργειακών πηγών και των εσωτερικών μονάδων με κατάλληλες ροές
- Η ομαδοποίηση μερών για μείωση της πολυπλοκότητας του συστήματος





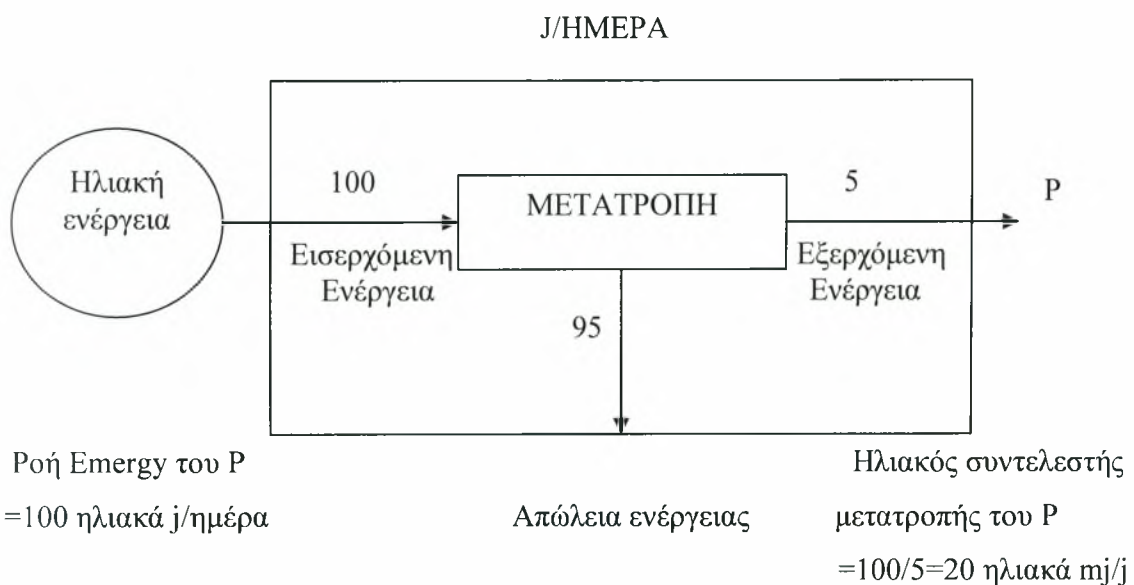
**Σχήμα 4.2.2** Σχηματική αναπαράσταση ενός οικονομικό-περιβαλλοντικού συστήματος με όρους Emergy (Brown et al., 1997)

#### 4.2.2 Emergy ανάλυση

Ο υπολογισμός της Emergy αγαθών και υπηρεσιών βασίζεται στη χρήση συντελεστών μετατροπής. Οι συντελεστές αυτοί εκτιμώνται από το πηλίκο της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε στην παραγωγή ενός προϊόντος με την υπολειπόμενη ενέργεια στο προϊόν ( $sej/j$ ,  $sej/g$ ). Επίσης, οι συντελεστές αυτοί αποτελούν ένα ποιοτικό μέτρο της ενέργειας, καθώς αποτιμούν τη σύγκλιση των διαδικασιών για την παραγωγή ενός

αγαθού/υπηρεσίας σε όρους ενέργειας (Haden, 2003). Όσο περισσότερες ενεργειακές μετατροπές συμβάλλουν στην παραγωγή ενός προϊόντος, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή μετατροπής (Odum et al, 2003).

Η εκτίμηση των συντελεστών είναι δύσκολη, καθώς η τιμή τους εξαρτάται από τη ροή ενέργειας για την υλοποίηση μιας διεργασίας. Ο Odum προτείνει 10 τρόπους υπολογισμού των συντελεστών μετατροπής. Δεν υπάρχει μια μοναδική τιμή για τους συντελεστές μετατροπής και τους περισσότερους πόρους και τις περισσότερες υπηρεσίες. Γενικά, υπάρχει ένα εύρος τιμών μεταξύ ενός κατωτάτου ορίου που απαιτείται για την παραγωγή του πόρου/υπηρεσίας και ενός θεωρητικά απείρου ανώτατου ορίου (Brown & Ulgiati, 1999). Συνήθης πρακτική αποτελεί η χρήση τιμών των συντελεστών από βιβλιογραφικές αναφορές και εκτιμήσεις σε παρόμοιες εργασίες.



**Σχήμα 4.2.3** Ενέργεια, Emergy & συντελεστές μετατροπής (Ulgiati et al., 1994)

Το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης Emergy είναι ένας πίνακας που παρουσιάζει όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα του συστήματος μελέτης. Αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε σύνολα, όπως ανανεώσιμοι πόροι, μη ανανεώσιμοι πόροι, οικονομικά αγαθά, απόδοση, προκειμένου να αξιολογείται η συνεισφορά κάθε ομάδας στην παραγωγική διαδικασία του συστήματος. Ανάλογα με το είδος του πόρου, η ποσότητα πολλαπλασιάζεται είτε με το συντελεστή μετατροπής για φυσικά αγαθά είτε με τους

λόγους emergy/χρήμα για οικονομικά αγαθά, με αποτέλεσμα να εκφράζονται όλες οι παράμετροι σε ηλιακή Emergy.

**Πίνακας 4.2.1** Πίνακας Emergy ανάλυσης

Παράμετρος	Περιγραφή	Μονάδα μέτρησης (J,g,ha,\$)	Συντελεστές μετατροπής (sej/J,G,HA,\$)	Emergy (sej)	Emdollars (Em\$)
Εισροές					
1	A	$E_A$	$T_A$	$M_A = E_A * T_A$	$Em\$_A = M_A / EMR$
2	B	$E_B$	$T_B$	$M_B = E_B * T_B$	$Em\$_B = M_B / EMR$
Εκροές					
1	C	$E_C$	$T_C$	$M_C = E_C * T_C$	$Em\$_C = M_C / EMR$

#### 4.2.3 Emergy δείκτες

Από τα δεδομένα της emergy ανάλυσης μπορεί να υπολογιστεί η τιμή ορισμένων δεικτών, ώστε να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα του εξεταζομένου συστήματος. Η βιωσιμότητα στην ανάλυση Emergy καθορίζεται από το βαθμό εξάρτησης σε ανανεώσιμους πόρους και εισαγόμενη ενέργεια και από το φορτίο που διατίθεται στο περιβάλλον (Brown et al., 1997). Έτσι, το σύστημα δύναται να συγκριθεί με άλλα παρόμοια και μπορούν να αναγνωριστούν τάσεις στο χρόνο, αλλά και να αξιολογηθούν εναλλακτικές και προτεινόμενες διεργασίες για την επιλογή της βέλτιστης. Ο συντελεστής μετατροπής χαρακτηρίζεται ως ένας σημαντικός δείκτης, καθώς αποτελεί μετρό της απόδοσης της εσωτερικής λειτουργίας του συστήματος. Υψηλή απόδοση σημαίνει μικρή κατανάλωση Emergy για μια δεδομένη εκροή του συστήματος ή υψηλότερη εκροή για δεδομένη χρήση Emergy (Odum, 1996; Bastianoni, 2000).

Πίνακας 4.2.2 Emergy δείκτες

Δείκτης	Υπολογισμός	Περιγραφή
Απόδοση , Y	$Y=R+N+F$ - Θερμότητα	Απόδοση διεργασίας
Συντελεστές μετατροπής, T	$T=(R+N+F)/Y$	Μετρά την ποσότητα emergy που απαιτείται για την παράγωγη 1 μονάδας εκροής . Μικρότερες τιμές σημαίνουν υψηλότερες επιδόσεις
Emergy Yield Ratio ,EYR	$EYR=Y/F$	Εκφράζει την ικανότητα μιας διεργασίας να αξιοποιεί τοπικούς πόρους με το να επενδύει σε εξωγενείς πόρους. Τιμές λογού κοντά στο 1, υποδεικνύουν διεργασίες που απλά μετατρέπουν την ενεργεία .
Emergy Investment Ratio ,EIR	$EIR=F/(R+N)$	Εκφράζει το βαθμό που το οικονομικό σύστημα έχει επενδύσει σε πόρους εκτός συστήματος και το πώς σχετίζονται με τους δωρεάν πόρους
Environmental Loading Ratio, ELR	$ELR=(F+N)/R$	Συγκρίνει τους μη ανανεώσιμους και οικονομικούς πόρους με τους τοπικά διαθέσιμους ανανεώσιμους πόρους
Emergy Sustainability Index, SI	$SI=EYR/ELR$	Βιώσιμα συστήματα είναι αυτά που μεγιστοποιούν την οικονομική απόδοση με το ελάχιστο περιβαλλοντικό φορτίο. Τιμές >1 δηλώνουν συστήματα που συμβάλλουν στην κοινωνία , ενώ τιμές <1 συστήματα που καταναλώνουν πόρους
Empower Density, ED	$ED=(R+N+F)/\text{Έκταση}$	Υπολογίζεται όταν η έκταση είναι περιοριστικός παράγοντας στο σύστημα. Εκφράζει την ποσότητα emergy που απαιτείται ανά μονάδα έκτασης

#### 4.2.4 Βήματα υπολογισμού Emergy

Τα βήματα υπολογισμού της ανάλυσης Emergy είναι τα εξής :

- Σχηματική παρουσίαση του συστήματος μελέτης με τις εισροές , εκροές και διεργασίες
- Καθορισμός του έτους αναφοράς και της χρονικής περιόδου
- Επιλογή καλλιεργειών (προφανώς όλες τις υφιστάμενες καλλιέργειες, εκτός αν κάποιες είναι αμελητέα η έκτασή της )
- Αναφορά όλων των εισροών (ανάγκες άρδευσης, αγαθά και υπηρεσίες, επενδύσεις, λειτουργικά κόστη) και εκροών (παραγωγικότητα, οικονομική απόδοση, επιδοτήσεις) σε 1 εκτάριο (ha) καλλιεργούμενης έκτασης .Δηλαδή , όλοι οι μη ανανεώσιμοι πόροι (N) και ανανεώσιμοι πόροι (R) , τα αγορασμένα αγαθά (F) , τα εργατικά και οι υπηρεσίες (S) καθώς και η απόδοση (Y) του συστήματος υπολογίζονται ανά εκτάριο καλλιεργούμενης έκτασης για κάθε καλλιέργεια με τελικό στόχο τον υπολογισμό των Emergy δεικτών για τους οποίους θα εξετάσουμε τη μεταβολή τους κάτω από τα διαφορετικά σενάρια που θα διαμορφώσουμε
- Οι ηλιακοί συντελεστές μετατροπής δίνονται από τη βιβλιογραφία
- Ορισμός του συντελεστή χρονικού βήματος ο οποίος μπορεί να διαφέρει για κάθε παράμετρο του συστήματος .

#### 4.2.5 Συντελεστές Μετατροπής και Τύποι Υπολογισμού

Για την ανάλυση των εισροών και την αξιολόγηση τους σε μια κοινή βάση, όπως προβλέπει η εφαρμογή της Emergy ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι τύποι υπολογισμού και οι δεδομένοι συντελεστές μετατροπής οι οποίοι δόθηκαν από βιβλιογραφικές αναφορές. Στους Πίνακες 4.2.3 και 4.2.4 που ακολουθούν δίνονται οι τύποι αλλά και οι παραδοχές που λήφθηκαν ανά κάθε εισροή στο σύστημα. Επίσης παρατίθεται σχηματικά και ένα πρότυπο της διαδικασίας υπολογισμού των τελικών δεικτών Emergy.



Πίνακας 4.2.3 Τύποι υπολογισμού

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	ΠΗΓΗ
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	$(\text{area}) * (\text{avg insolation}) * (1 - \text{albedo})$	insolation = 5,7 (kWh/m <sup>2</sup> /yr) albedo = 0,12	Surface meteorology and Solar Energy Data Set
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ-ΧΗΜΙΚΑ	$(\text{area}) * (\text{rainfall}) * (1 - \%ET) * (\text{density}) * 4940$	rainfall = 0,2578 (m/tu) %ET = 0,7 density = 1000 (kg/m <sup>3</sup> )	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
	$(\text{area}) * (\text{rainfall} - ET) * (\text{density}) * 4940$		
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ-ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ	$(\text{area}) * (\text{rainfall}) * (\%R) * (\text{density}) * (\text{gravity})$	%R = 0,01 gravity = 9,8 (m/s <sup>2</sup> )	
ΚΙΝΗΣΗ ΓΗΣ	$(\text{area}) * (\text{heat flow})$	Ροή θερμότητας = 1000000 (J/m <sup>2</sup> )	
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ	$(8.33 * \text{Θερμοκρασία} / 18) * \ln((1000000 - \text{TDS}) / 965000) * \text{irrigation} * 1000000$	Τνερου = 296,8 (K) Σκληρότητα TDS = 220,8 (ppm)	ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΑΓΚΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	$(\text{erosion rate}) * (\text{area}) * (\% \text{organic}) * 5.4 * 4186$	Ρυθμός διάβρωσης = 575 (g/m <sup>2</sup> /yr) % οργανικών στο έδαφος = 0,03	
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	$(8.33 * \text{Θερμοκρασία} / 18) * \ln((1000000 - \text{TDS}) / 965000) * \text{irrigation} * 1000000$	Τνερου = 285 (K) Σκληρότητα TDS = 220,8 (ppm)	ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΑΓΚΕΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
ΚΑΥΣΙΜΑ	$(\text{hr}) * (1/\text{hr}) * (\text{J}/\text{lt}) * \text{ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ}$	Ενέργεια ανά l = 3908,7 (J/l)	
ΣΠΟΡΟΙ	$\text{Euro}/(\text{euro}/\text{kg}) * 1000 * (\text{Kcal}/\text{g}) * 4186$	Kcal/g = 3,27	

Στο πρώτο βήμα του υπολογισμού των δεικτών Emergy συγκεντρώνονται οι εισροές στο σύστημα (inputs). Οι τιμές των εισροών προέκυψαν από τη διαθέσιμη βάση δεδομένων η οποία αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.

Πίνακας 4.2.4 Εισροές του emergy

	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΟΝΑΔΑ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ		αραβόσιτος
1	Καλλιεργούμενη έκταση	ha			1917,250454
2	Απαιτήσεις άρδευσης	m <sup>3</sup> /ha	BM ή PM ή Νόμος	PM	4159,86
3	Μέθοδος άρδευσης		δεδομένο		TEX.BP.
4	Απώλειες μεθόδου άρδευσης	%	δεδομένο		49

5	Διόρθωση για απώλειες	m <sup>3</sup> /ha	2*(1+4/100)		6198,19
6	Λιπάσματα	kg/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	
7	Μεικτό 11-15-15			"	650
8	Μεικτό 20-10-10			"	650
9	Μεικτό 12-12-18			"	450
10	Κόστος λιπασμάτων	E/kg	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	
11	Μεικτό 11-15-15			"	0,24
12	Μεικτό 20-10-10			"	0,26
13	Μεικτό 12-12-18			"	0,3
14	Φυτοφάρμακα	kg/ha	50/15		5,00
15	Κόστος φυτοφαρμάκων	E/kg	δεδομένο		9
16	Σπόροι	kg/ha	51/17		30,00
17	Κόστος σπόρων	E/kg	δεδομένο		6
18	Ανθρώπινη εργασία	hr/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	140
19	Μηχανική εργασία	hr/ha	δεδομένο	"	90
23	Εργατικά	E/hr	δεδομένο	Δ.ΓΕΩΡΓ	2,6
24	Κατανάλωση καυσίμων	l/hr	δεδομένο		11
32	Κόστος καυσίμων	E/l	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	0,8
48	<b>ΔΑΠΑΝΕΣ</b>				
49	Καύσιμα	E/ha	19*24*32*ΑΡΙΘ. ΜΗΧ		792
50	Κόστος φυτοφαρμάκων	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	45
51	Κόστος σπόρων	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	180
52	Κόστος λιπασμάτων	E/ha	7*11+8*12+9*13	ΔΕΙΚΤΕΣ	460
53	Κόστος λιπασμάτων	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	460
54	Μηχανική συλλογή	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	228
55	Τέλος άρδευσης	E/ha	δεδομένο		
56	Λοιπά	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	108
57	Εργατικά	E/ha	18*23		364
59	<b>ΕΣΟΔΑ</b>				
60	Παραγωγικότητα	kg/ha	δεδομένο		12000
61	Τιμή	E/kg	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	0,16
62	Επιδότηση	E/ha	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	505,1
63	Επιδότηση	E/kg	δεδομένο	ΔΕΙΚΤΕΣ	
64	Σύνολο	E/ha			2425,10
65	<b>ΕΞΟΔΑ</b>	E/ha	40+47+49:52+54:58		2177,00
66	<b>ΚΑΘΑΡΑ ΕΣΟΔΑ</b>	E/ha	65-64		248,10
67	Έσοδα ανά m <sup>3</sup> νερού	E/m <sup>3</sup>	66/5		0,04

Στη συνέχεια γίνονται οι υπολογισμοί για κάθε ποσότητα με τους τύπους που παρουσιάστηκαν στον πίνακα και έπειτα η κάθε παράμετρος τοποθετείται στην ίδια κοινή βάση με τη χρήση των συντελεστών μετατροπής που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.3

Πίνακας 4.2.3 Συντελεστές Μετατροπής

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Συντελεστές μετατροπής	Μονάδα μέτρησης	Συντελ. προσαρμογής	Πηγή
	ΕΑ	ΤΑ			
<b>ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>					
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	J/yr	1,00E+00	sej/J	0,5	(Odum, 2000)
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΧΗΜΙΚΑ	J/yr	3,05E+04	sej/J	1	(Odum, 2000)
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ-ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ	J/yr	3,05E+04	sej/J	1	(Odum, 2000)
ΚΙΝΗΣΗ ΓΗΣ	J/yr	3,44E+04	sej/J	0,5	danish
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥΣ Υ.Π.					
	J/yr	8,10E+04	sej/J	1	
ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	J/yr	1,24E+05	sej/J	0,5	(Odum 1996)
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΓΕΙΟΥΣ Υ.Π.	J/yr	8,10E+04	sej/J	1	
ΚΑΥΣΙΜΑ					
	J/yr	1,11E+05	sej/J	1	
ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ					
	kg/yr	6,38E+12	sej/kg	1	(Odum 1996)
					(Odum 1996)
	kg/yr	2,99E+13	sej/kg	1	(Odum 1996)
					(Odum 1996)
	kg/yr	1,85E+12	sej/kg	1	(Odum 1996)
ΣΠΟΡΟΙ					
	J/yr	6,80E+04	sej/J	0,04	
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ					
	kg/yr	2,49E+13	sej/kg	1	(Odum 1996)
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ</b>					
ΕΡΓΑΤΙΚΑ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΖΙΖΑΝΙΟΚΤΟΝΑ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΣΠΟΡΟΙ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
<b>ΑΠΟΔΟΣΗ</b>					
ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ					
	J/yr		sej/J	1	
ΤΙΜΗ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	
ΕΠΙΔΟΤΗΣΕΙΣ					
	E	2,40E+12	sej/€	1	

Τέλος, υπολογίζονται οι Emergy δείκτες οι οποίοι θα μας δώσουν μια σαφή εικόνα για την περιβαλλοντική και οικονομική απόδοση της κάθε καλλιέργειας ξεχωριστά. Εξάλλου, οι μεταβολές των δεικτών θα αποτελέσουν τροφή αμέσων και ακριβών συμπερασμάτων για την διαμόρφωση και αξιολόγηση κάθε σεναρίου. Παράδειγμα υπολογισμού των δεικτών Emergy παρουσιάζεται στον Πινάκα 4.2.4

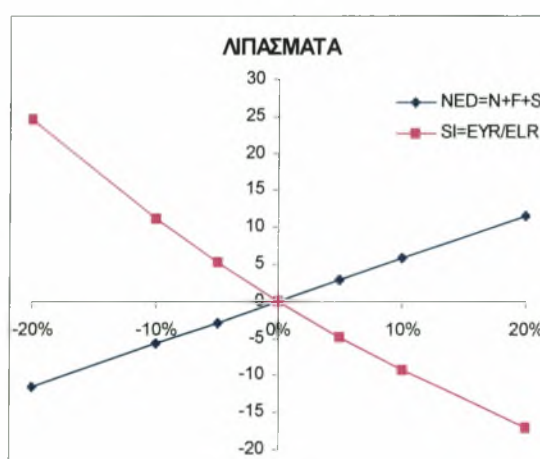
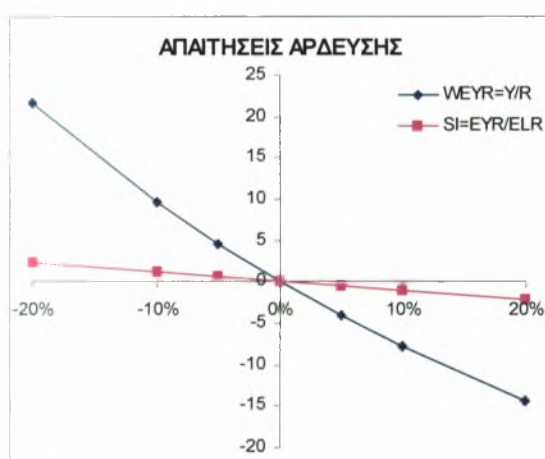
Πίνακας 4.2.4 Αποτελέσματα Emergy

Καλλιέργεια	Unit	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ
Έκταση (ha)		1917
<b>Ανανεώσιμοι πόροι (R)</b>		<b>Solar emergy (sej/ha)</b>
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	J	1,22E+13
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΧΗΜΙΚΑ	J	1,17E+15
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ-ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟ	J	7,71E+07
ΚΙΝΗΣΗ ΓΗΣ	J	1,72E+14
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦ.ΝΕΡΑ	J	2,10E+14
<b>Σύνολο ανανεώσιμων</b>		<b>1,56E+15</b>
<b>Μη ανανεώσιμες αποθήκες (N)</b>		
Καθαρή απώλεια εδάφους	J	2,42E+14
ΑΡΔΕΥΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΓ.ΝΕΡΑ		2,14E+15
<b>Σύνολο</b>		<b>2,38E+15</b>
<b>Αγορές (F)</b>		
Χρησιμοποιούμενη ενέργεια		
<i>Diesel, gasoline</i>	J	4,29E+11
Αγαθά για την παραγωγή		
<i>Άζωτο</i>	kg	4,15E+15
<i>Φώσφορος</i>	kg	1,94E+16
<i>Κάλιο</i>	kg	8,32E+14
<i>Ζιζανιοκτόνα</i>	kg	1,24E+14
<i>Σπόροι</i>	J	2,79E+13
<b>Σύνολο</b>		<b>2,46E+16</b>
<b>Εργατικά &amp; υπηρεσίες (S)</b>		
Εργατικά	€	8,74E+14
Άζωτο	€	3,74E+14
Φώσφορος	€	4,06E+14
Κάλιο	€	3,24E+14
Ζιζανιοκτόνα	€	1,08E+14
Σπόροι	€	4,32E+14
<b>Σύνολο</b>		<b>2,52E+15</b>
<b>Σύνολο F+S+N</b>		<b>2,95E+16</b>
<b>Απόδοση (Y)</b>		
Παραγωγή	J	3,10E+16
Οικονομική αξία εκροής		
<i>Παραγωγή</i>	€	4,61E+15
<i>Επιδότησεις</i>	€	1,21E+15
<b>Σύνολο</b>		<b>3,69E+16</b>

Emergy δείκτες		
WEYR=Y/R(ΕΠΙΦ. ΝΕΡΟ)		1,76E+02
WEYR=Y/R(ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ)		17,19745517
WEYR=Y/R(ΣΥΝ. ΝΕΡΟ)		1,57E+01
EYR = Y/(F+S)		1,36E+00
NED=N+F+S		2,95E+16
ELR=(N+F+S)/R		1,89E+01
EIR=F/(R+N)		6,23E+00
EIR N=F/N		1,03E+01
SI=EYR/ELR		7,20E-02
Empower Density		2,85E+16
crop transformity	sej/j	1,76E+05
	€/J	1,88E-01

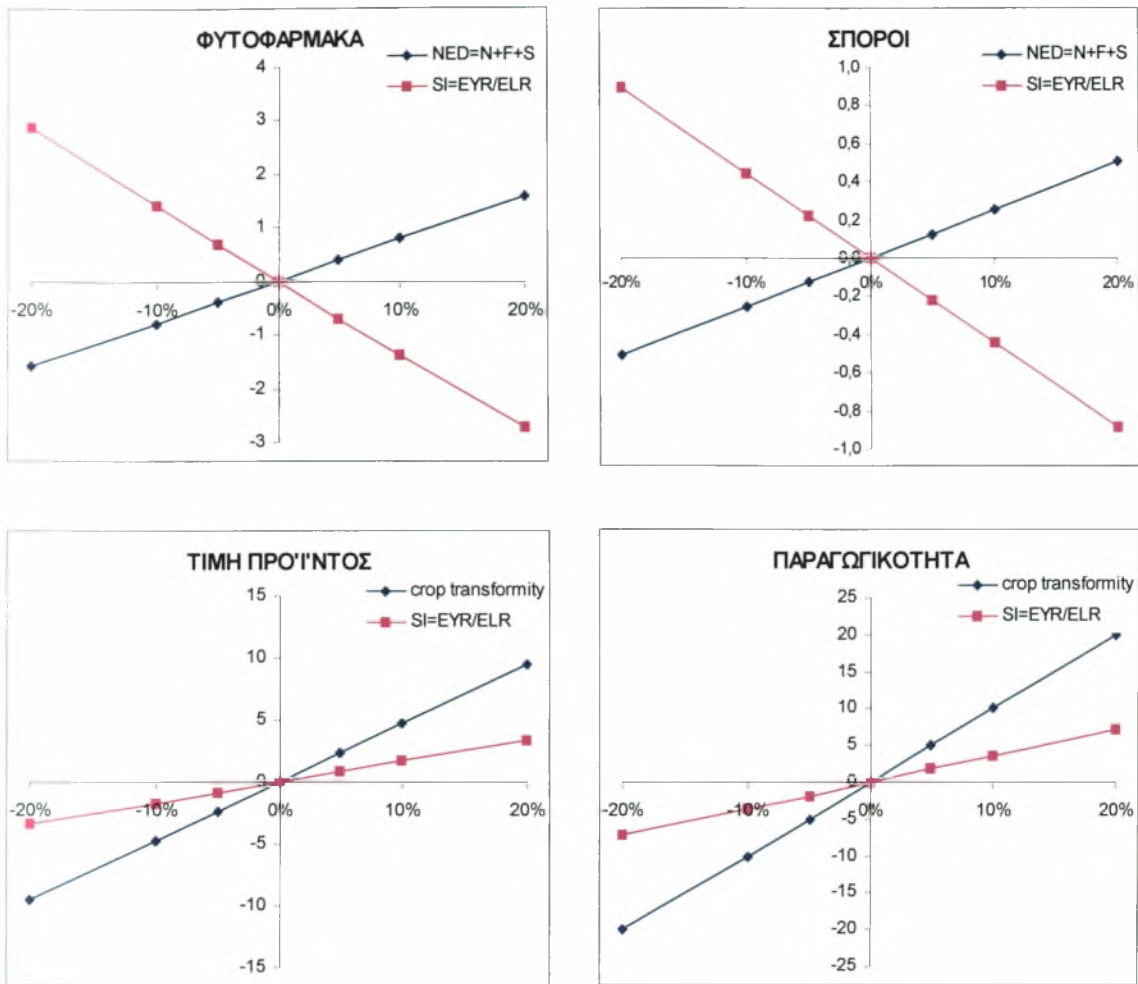
### 4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι η μέθοδος ή τεχνική μεταβολής των τιμών ορισμένων επιλεκτικών μεταβλητών, για να διερευνηθεί η επίπτωσή τους σε ορισμένες άλλες μεταβλητές που έχουν αποφασιστική σημασία στην αξιολόγηση ή επιλογή των επενδύσεων. Στην παρούσα μελέτη η ανάλυση ευαισθησίας εφαρμόστηκε για τις παραμέτρους της άρδευσης, των λιπασμάτων, των σπορών, των φυτοφαρμάκων, της παραγωγικότητας και της τιμής των προϊόντων της καλλιέργειας του βαμβακιού στο έτος 2005, με μια αύξηση-μείωση των ποσοτήτων των παραπάνω παραμέτρων κατά 5 %, 10 % και 20 %. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.3.1 Ανάλυση ευαισθησίας της μεθόδου Emergy





Σχήμα 4.3.2 Ανάλυση ευαισθησίας της μεθόδου Emergy

Στα παραπάνω σχήματα παρατηρούμε ότι η εισροή που επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των δεικτών Emergy είναι η τιμή των λιπασμάτων καθώς με την αυξομείωση της ποσότητάς τους κατά -20 % με +20 % η τιμή του δείκτη NED μεταβάλλεται αντίστοιχα κατά -10 % με +10 %, ενώ η τιμή του δείκτη βιωσιμότητας SI μεταβάλλεται αντίστροφα κατά +25 % με -17 %. Από την άλλη πλευρά, ο δείκτης WEYR συμπεριφέρεται ανάλογα στην περίπτωση μεταβολής των απαιτήσεων άρδευσης, ενώ ο δείκτης βιωσιμότητας SI επηρεάζεται κατά  $\pm 2,5$  % περίπου. Επιπλέον, η μεταβολή των φυτοφαρμάκων επηρεάζει σαφώς λιγότερο τους δείκτες NED ( $\pm 1,5$  %) και SI ( $\pm 3$  %), ενώ στην ποσότητα των σπορών η μεταβολή των δεικτών είναι μηδαμινή. Τέλος, η αυξομείωση της παραγωγικότητας επιδρά στη βιωσιμότητας περισσότερο από την τιμή του προϊόντος ( $\pm 7,2\%$  και  $\pm 3,5$  % αντίστοιχα).

## 4.4 ΣΕΝΑΡΙΑ

Για την αξιολόγηση των χρήσεων του νερού των υπό εξέταση περιοχών αναπτύχθηκαν εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των υδατικών πόρων. Οποιαδήποτε σενάρια ανάπτυξης οφείλουν πάντα να συμπεριλαμβάνουν και να κινούνται με γνώμονα τρεις βασικές παραμέτρους: τη γεωργική παραγωγικότητα, την προστασία του οικοσυστήματος και την διαχείριση των υδατικών πόρων. Το κύριο μέλημα στη διαμόρφωση των σεναρίων γεωργικής πρακτικής και διαθεσιμότητας των πόρων είναι να ερευνηθεί και να εκτιμηθεί η υφιστάμενη κατάσταση ως προς την απόδοση της κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Έτσι, μελετήθηκαν τα παρακάτω σενάρια :

### ➤ 1<sup>ο</sup> Σενάριο

Υφιστάμενη κατάσταση στις υπό μελέτη περιοχές της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

### ➤ 2<sup>ο</sup> Σενάριο

Αλλαγή διαχείρισης των υδατικών πόρων στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας (κατασκευή ταμιευτήρα Κάρλας)

### ➤ 3<sup>ο</sup> Σενάριο

Μελέτη της μελλοντικής περιόδου 2020-2049 και συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

### ➤ 4<sup>ο</sup> Σενάριο

Μελέτη ενεργειακών καλλιεργειών

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη ανάλυση των σεναρίων για τις δυο περιοχές μελέτης .

Στο 1<sup>ο</sup> σενάριο μελετήθηκαν οι δείκτες Emergy για την υφιστάμενη κατάσταση των καλλιεργειών, της ζήτησης του νερού και των υπολοίπων παραμέτρων της λεκάνης μελέτης.

Το 2<sup>ο</sup> σενάριο αναφέρονταν στην κατασκευή ταμιευτήρα στη λεκάνη της Κάρλας . Ο ταμιευτήρας της μελέτης έχει χωρητικότητα 138 εκατομμύρια m<sup>3</sup> και η ζήτηση του νερού που δύναται να εξυπηρετήσει υπολογίστηκε από ξεχωριστό μοντέλο με σημαντική παράμετρο τις αρδευτικές ανάγκες της κάθε καλλιέργειας .

Το 3<sup>ο</sup> σενάριο περιλαμβάνει τη μελέτη των δεικτών Emergy για την μελλοντική περίοδο 2020-2049. Σκοπός της διαμόρφωσης του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων όσον αφορά το βαθμό βιωσιμότητας της κάθε καλλιέργειας στο μέλλον και τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στις περιοχές.

Το 4<sup>ο</sup> σενάριο είχε ως αντικείμενο την εισαγωγή των ενεργειακών καλλιεργειών στη γεωργική παραγωγική διαδικασία.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

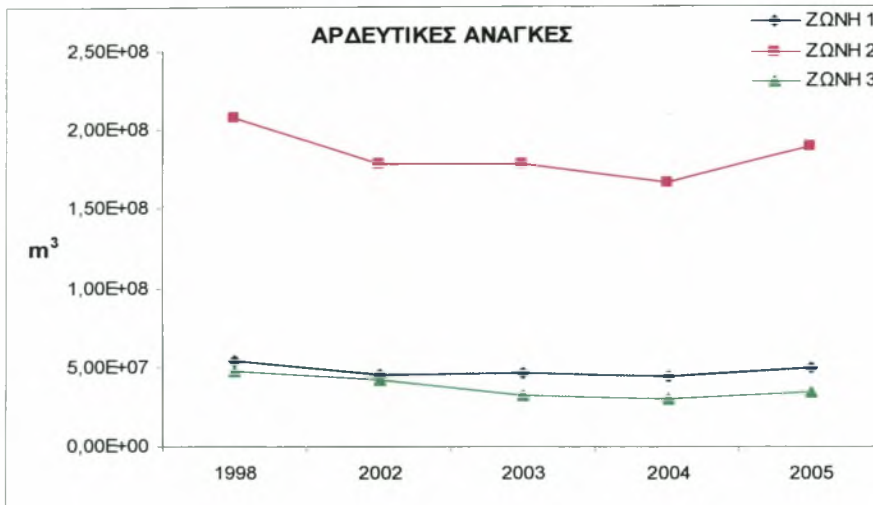
### ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

#### 5.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Η ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών της κάθε καλλιέργειας περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4. Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αρδευτικών αναγκών. Οι αρδευτικές ανάγκες εκτιμήθηκαν για την περίοδο 1998-2005, για τις τρεις υποπεριοχές χρησιμοποιώντας τα μετεωρολογικά δεδομένα όπως προέκυψαν από τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen. Στον πίνακα 5.1.1 φαίνονται οι τιμές του  $K_C$  που λήφθηκαν ανά καλλιέργεια. Οι τιμές που εισήχθησαν στη διαδικασία της Emergy ανάλυσης ήταν οι τιμές που υπολογίστηκαν παραπάνω πολλαπλασιασμένες με την αποδοτικότητα που δικτυού άρδευσης, η οποία ήταν για την λεκάνη της λίμνης Κάρλας ίση με 1,49 ( Loukas et al.,2007)

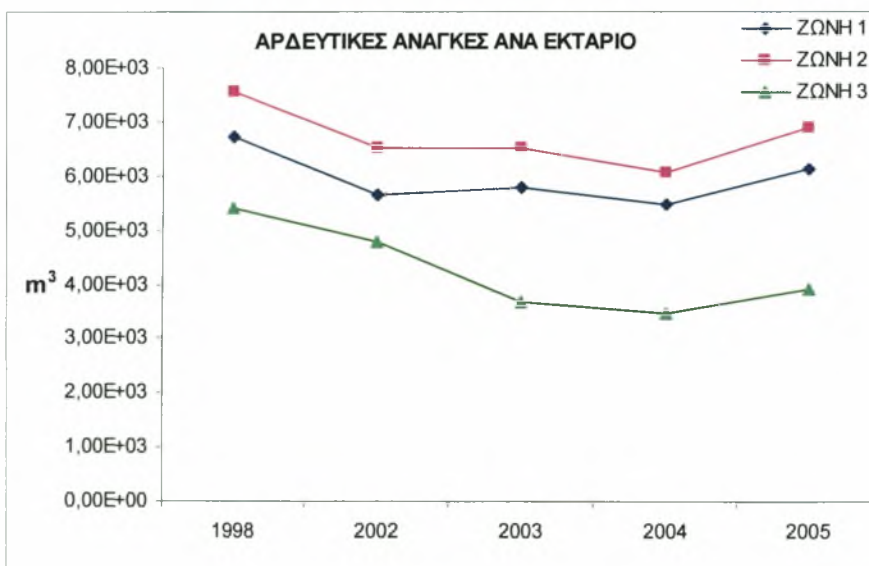
Πίνακας 5.1.1 Τιμές του συντελεστή  $K_C$  ανοιγμένες για ανά μηνά και κάθε καλλιέργεια

κc	βαμβάκι	αραβόσιτος	ντομάτα	μηδική	καρποί με κέλυφος	αμπέλια	σιτηρά	ελιές	τεύτλα	μηλιές
Οκτ	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Νοε	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0
Δεκ	0	0	0	0	0	0	0,48	0	0	0
Ιαν	0	0	0	0	0	0	0,71	0	0	0
Φεβ	0	0	0	0	0	0	0,93	0	0	0
Μαρ	0	0	0	0	0	0	1,12	0	0	0
Απρ	0	0,058	0,34	1,05	0	0	1,13	0	0,36	0
Μάι	0,3	0,37	0,66	1,14	0,6	0,4	0,68	0,4	0,64	0,6
Ιουν	0,45	0,66	0,85	1,18	0,7	0,45	0	0,45	0,85	0,7
Ιουλ	0,75	0,85	0,5	1,2	1	0,6	0	0,5	0,85	1
Αυγ	0,9	0,85	0	1,18	0,85	0,6	0	0,5	0,27	0,85
Σεπ	0,83	0,33	0	1,15	0,8	0,45	0	0,4	0	0,8



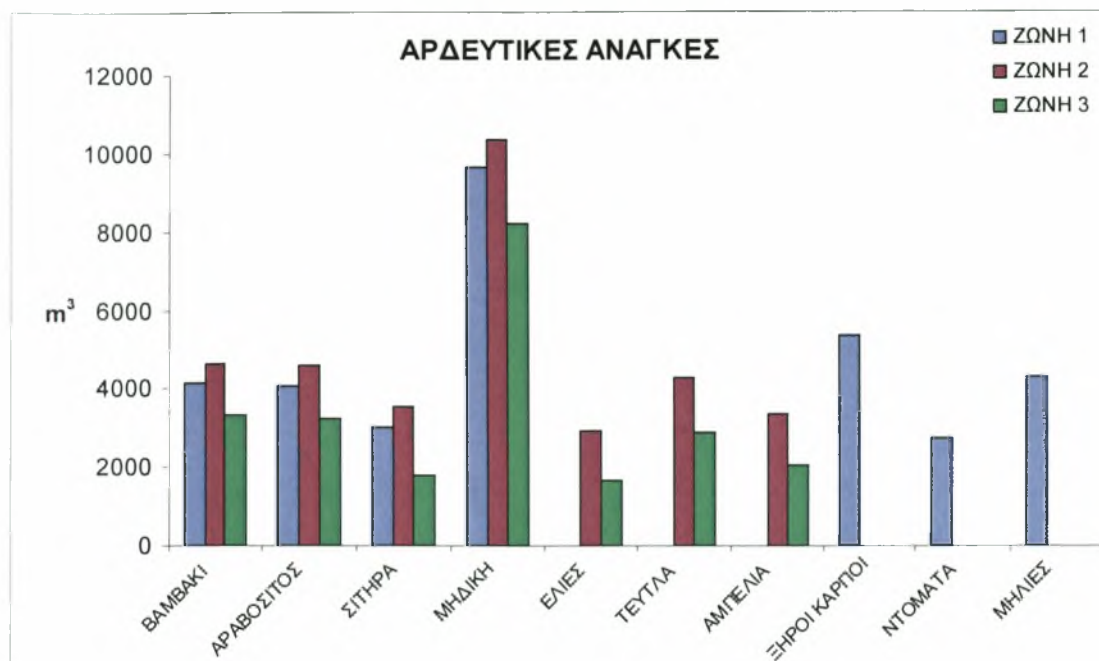
**Σχήμα 5.1.1** Αρδευτικές ανάγκες ανά ζώνη

Στο Σχήμα 5.1.1 παρουσιάζονται οι συνολικές αρδευτικές ανάγκες ανά περιοχή. Η ζώνη 2 λόγω της μεγάλης καλλιεργήσιμης έκτασης που καταλαμβάνει έχει τις μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες. Επίσης οι αρδευτικές ανάγκες για κάθε ζώνη είναι υψηλότερες για το έτος 1998 (ξηρή περίοδος) και χαμηλότερες για το έτος 2004 (υγρή περίοδος). Από την άλλη πλευρά, το Σχήμα 5.1.2 είναι πιο αντιπροσωπευτικό στη σύγκριση της άρδευσης των περιοχών καθώς παρουσιάζεται η μέση εκτίμηση ανά καλλιεργήσιμο εκτάριο. Όπως φαίνεται η ζώνη 3 έχει εμφανώς χαμηλότερες τιμές, πράγμα λογικό καθώς το μέσο υψόμετρο είναι αρκετά μεγαλύτερο (393,7 μ.). Αντιστρόφως, η ζώνη 2 η οποία χαρακτηρίζεται πεδινή (μέσο υψόμετρο 75,4 μ.) έχει και τις υψηλότερες ανάγκες



**Σχήμα 5.1.2** Αρδευτικές ανάγκες ανά εκτάριο καλλιέργειας





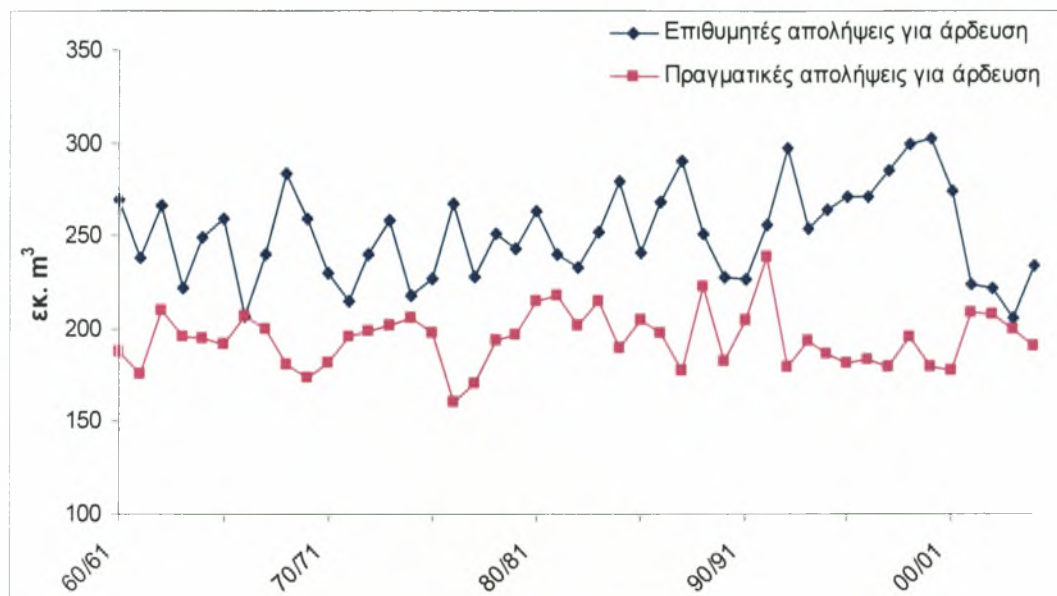
**Σχήμα 5.1.3** Μέσες ετήσιες αρδευτικές ανάγκες ανά καλλιέργεια

Εξάλλου, σπουδαίο ρόλο παίζει και το είδος της καλλιέργειας. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται οι αρδευτικές ανάγκες των υπάρχουσών καλλιεργειών ανά ζώνη. Οι τιμές των καλλιεργειών είναι ο μέσος όρος της εκτίμησης της περιόδου 1998-2005 για κάθε καλλιέργεια ανά εκτάριο. Η μηδική αποτελεί την καλλιέργεια που καταναλώνει το μεγαλύτερο όγκο αρδευτικού νερού και έπεται η καλλιέργεια των ξηρών καρπών (ζώνη 1) ενώ στα ίδια επίπεδα κυμαίνονται το βαμβάκι, ο αραβόσιτος και οι μηλιές που καλλιεργούνται στη ζώνη 3 (δήμος Αγίας). Από την άλλη πλευρά, οι καλλιέργειες των σιτηρών και της ελιάς καταναλώνουν το μικρότερο όγκο νερού όπως και η ντομάτα.

## 5.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Σκοπός της κατασκευής του ταμιευτήρα είναι η αναζήτηση επιφανειακών υδατικών πόρων και ως εκ τούτου η ανακούφιση του υπόγειου υδροφορέα και η αναβάθμιση της ποιότητας του νερού. Οι αρδευτικές ανάγκες που μπορεί να καλύψει ο ταμιευτήρας βρέθηκαν από το μοντέλο του ταμιευτήρα στο οποίο έχει ως βασική παράμετρο τις ανάγκες που υπολογιστήκαν από την εκτίμηση αρδευτικών αναγκών πολλαπλασιασμένες με τον συντελεστή αποδοτικότητας άρδευσης, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως επιθυμητές απολήψεις για άρδευση. Οι πραγματικές απολήψεις που μπορεί να διαθέσει ο ταμιευτήρας

υπολογίζονται συναρτήσει και άλλων παραμέτρων όπως: τις εισροές στον ταμιευτήρα, την απορροή από τον Πηνειό ποταμό, την βροχόπτωση στον ταμιευτήρα, την εξατμισοδιαπονοή και από τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα, δηλαδή την κατωτάτη στάθμη, τις διαφυγές από τον ταμιευτήρα.. Οι απολήψεις του ταμιευτήρα που παίρνουμε για άρδευση κατανέμονται σε κάθε καλλιέργεια ανάλογα με την έκταση της.



Σχήμα 5.2.1 Διάγραμμα απολήψεων ταμιευτήρα Κάρλας

Η διαχείριση των απολήψεων του ταμιευτηρα προβλέπει καταρχήν την καθολική κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της ζώνης 1. Επίσης, προβλέπεται μείωση των γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται στις ζώνες 1 και 2, αλλά και μια απολήψιμη ποσότητα 15 εκ. m<sup>3</sup> ετησίως η οποία θα αντλείται από τις γεωτρήσεις και θα διατίθεται αποκλειστικά για ύδρευση. Επιπρόσθετα, το υπόλοιπο νερό του ταμιευτηρα θα διατεθεί για τη μερική κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των ζωνών 1 και 3. Η ζώνη 2 επηρεάζεται φυσικά πολύ περισσότερο από την λειτουργία του ταμιευτηρα λόγω θέσης αλλά και μορφολογίας καθώς αποτελεί πεδινή περιοχή. Έτσι ο όγκος του νερού που απομένει μετά την άρδευση της ζώνης 1 διανέμεται κατά 90% στη ζώνη 2 και 10% στη ζώνη 3.

Συμπερασματικά : η ζώνη 1 αρδεύεται από :

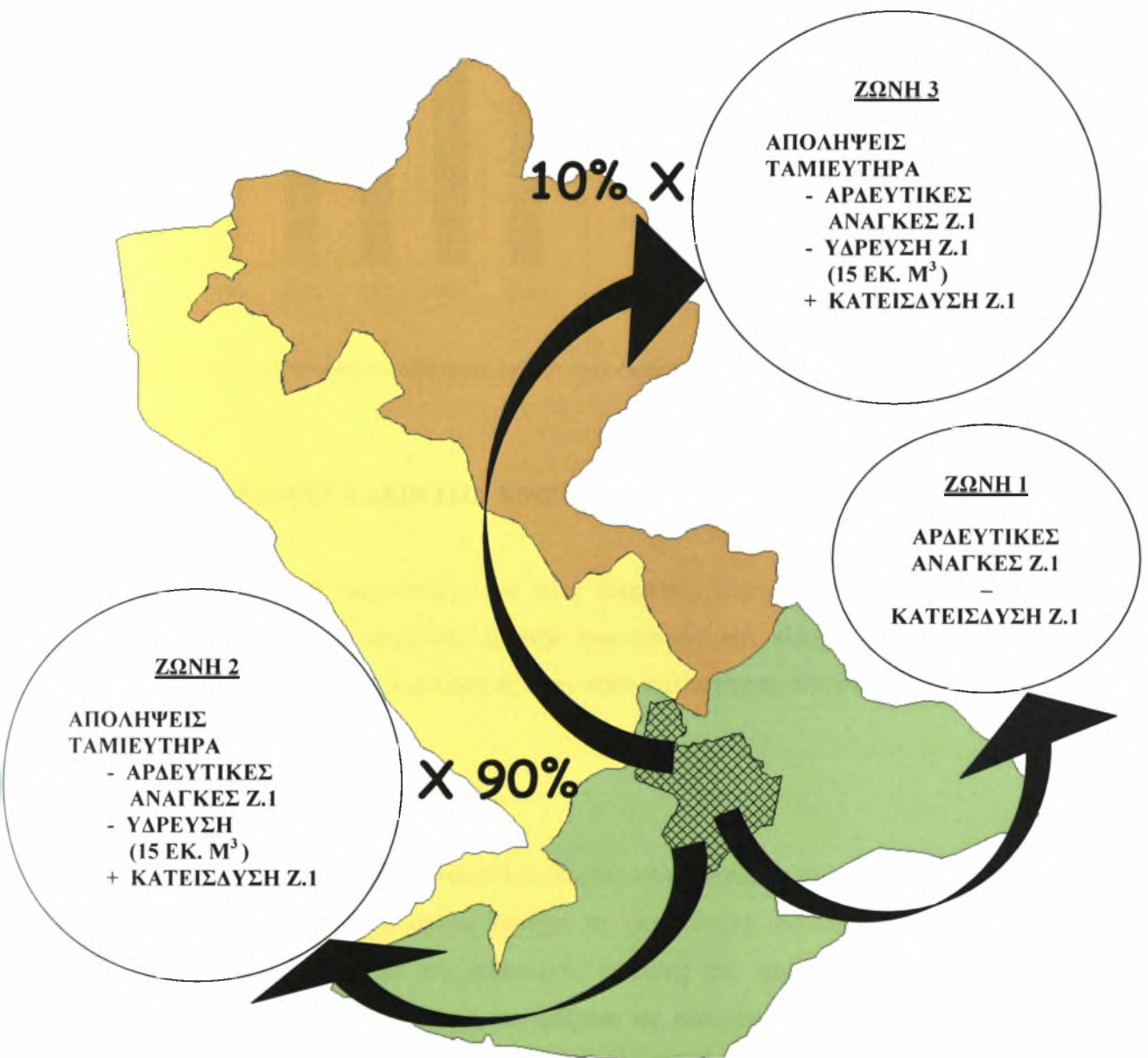
- Την κατείδυση, που αποτελεί το 25% του όγκου του νερού που αντλείται από τις γεωτρήσεις και θεωρείται ανανεώσιμο
- Το νερό του ταμιευτήρα.

Η ζώνη 2 αρδεύεται από:

- Το νερό που κατεισδύει (είναι ανανεώσιμο)
- Το 90% του υπολοίπου υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα
- Τις λιμνοδεξαμενές
- Μη ανανεώσιμα υπόγεια ύδατα

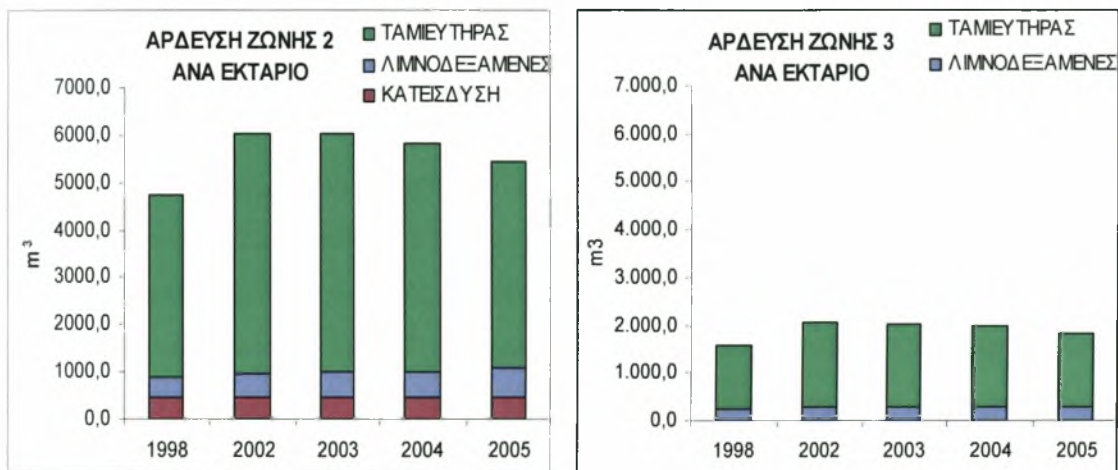
Η ζώνη 3 αρδεύεται από:

- Το 10% του υπολοίπου υδατικού δυναμικού του ταμιευτήρα
- Τις λιμνοδεξαμενές
- Μη ανανεώσιμα υπόγεια ύδατα



Σχήμα 5.2.2 Σχηματική περιγραφή διαχείρισης των απολήψεων του ταμιευτήρα Κάρλας

Στη ζώνη 1 κάθε εκτάριο καλλιεργήσιμης γης αρδεύεται από ανανεώσιμο νερό. Αντιθέτως, στις ζώνες 1 και 3 οι υπολογίστηκε η ποσότητα, ανά εκτάριο, του νερού που αντλείται από τον ταμιευτήρα. Στη ζώνη 2 το νερό του ταμιευτήρα, σε συνδυασμό με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές άρδευσης (κατείσδυση, λιμνοδεξαμενές) καλύπτει τις ανάγκες των περισσότερων καλλιεργειών κάνοντας την άντληση από τον υπόγειο υδροφόρο μηδαμινή. Αντίθετα, στη ζώνη 3 η άντληση μη ανανεώσιμων υπογείων υδάτων είναι αναπόφευκτη για την άρδευση των καλλιεργειών.



Σχήμα 5.2.3 Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι ανά εκτάριο καλλιέργειας στις ζώνες 2 και 3

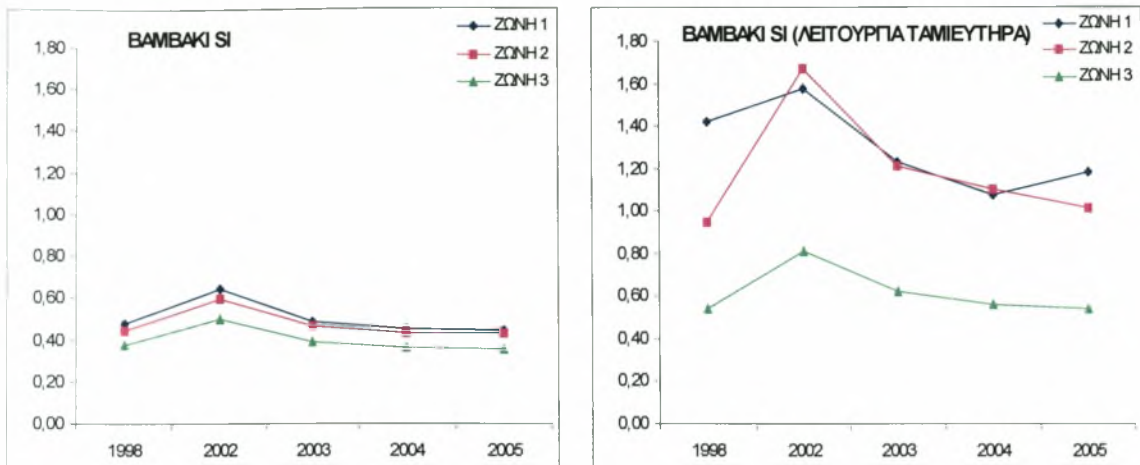
### 5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους ανά καλλιέργεια. Επιπρόσθετα, γίνεται η σύγκριση μεταξύ των ζωνών και ελέγχεται η επίδραση της λειτουργίας του ταμιευτήρα της Κάρλας στην κάθε καλλιέργεια, αλλά και στην κάθε ζώνη.

#### 5.3.1 Βαμβάκι

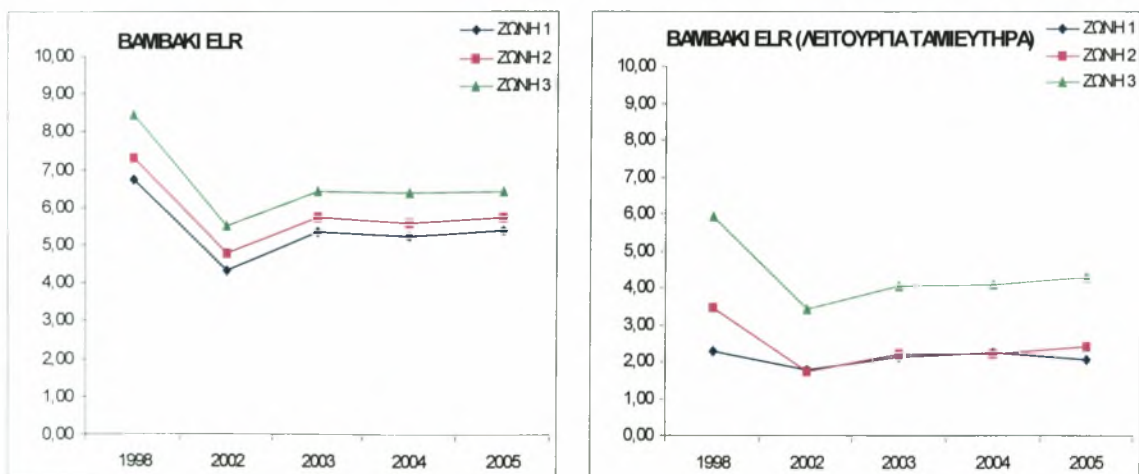
Η καλλιέργεια βαμβακιού αποτελεί κυρία καλλιέργεια και για τις τρεις ζώνες. Ενδεικτικά, στη ζώνη 2, η οποία κατέχει τη μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση, το ποσοστό του βαμβακιού επί της συνολικής έκτασης της περιοχής φθάνει το 70,8%. Επίσης, στη ζώνη 1 το βαμβάκι χαρακτηρίζεται ως επικρατούσα καλλιέργεια καθώς το αντίστοιχο ποσοστό είναι 51% ενώ στη ζώνη 3 είναι 28,5%.





Σχήμα 5.3.1 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για το βαμβάκι

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 5.3.1) παρουσιάζεται ο δείκτης βιωσιμότητας SI για την καλλιέργεια του βαμβακιού στην κάθε ζώνη. Ο δείκτης SI αντιπροσωπεύει την μεγιστοποίηση της οικονομικής απόδοσης και παραγωγικότητας με το ελάχιστο περιβαλλοντικό κόστος. Τιμές  $SI > 1$  δηλώνουν συστήματα που συμβάλλουν στο κοινωνικό σύνολο, ενώ τιμές  $SI < 1$  συστήματα που καταναλώνουν πόρους. Στην υφιστάμενη κατάσταση ο δείκτης βιωσιμότητας είναι πολύ χαμηλός και για τις τρεις ζώνες, ειδικά στη ζώνη 3 όπου κυμαίνεται στο 0,4, ενώ και με την λειτουργία του ταμιευτηρα φθάνει το 0,8 μόνο τη χρονιά 2002. Από την άλλη πλευρά, η λειτουργία του ταμιευτηρα είναι καταλυτική για τη βιωσιμότητα του βαμβακιού στις ζώνες 1 και 2 καθώς το η καλλιέργεια του βαμβακιού είναι βιώσιμη για κάθε χρονιά. Επιπλέον, το 2002 παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές καθώς οι αγορές είναι μικρότερες ενώ κατά το ίδιο έτος το βαμβάκι στη ζώνη 2 έχει μεγαλύτερη βιωσιμότητα λόγω μεγαλύτερης απόδοσης των πόρων.



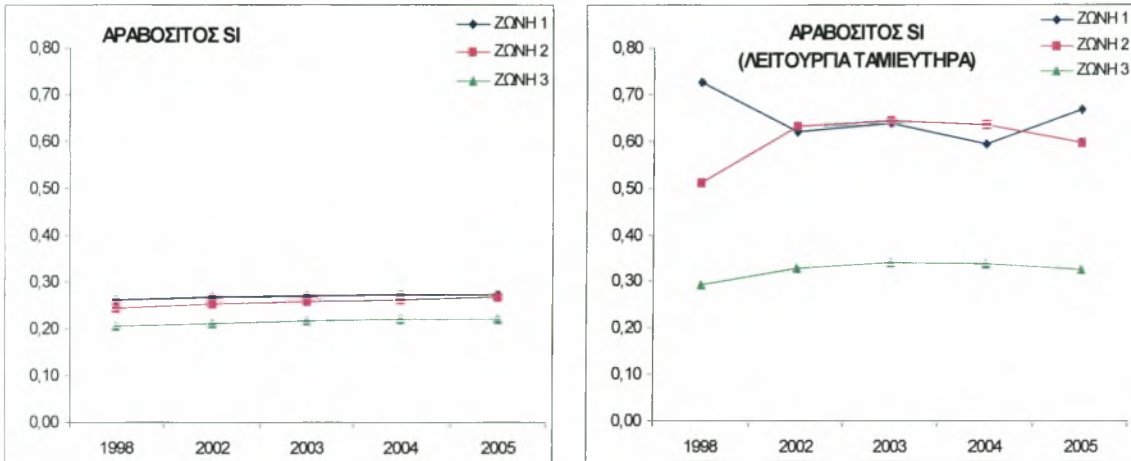
Σχήμα 5.3.2 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για το βαμβάκι



Ο δείκτης ELR (σχήμα 5.3.2) συγκρίνει τους οικονομικούς και μη ανανεώσιμους πόρους με τους τοπικά διαθέσιμους ανανεώσιμους πόρους ( $ELR = (F+N+S)/R$ ). Η ελαχιστοποίηση του στις ζώνες 1 και 2 οφείλεται αποκλειστικά στην σημαντική ελάττωση της χρήσης υπόγειων υδάτων για άρδευση με την ταυτόχρονη αύξηση των διαθέσιμων επιφανειακών υδάτων λόγω του ταμιευτήρα.

### 5.3.2 Αραβόσιτος

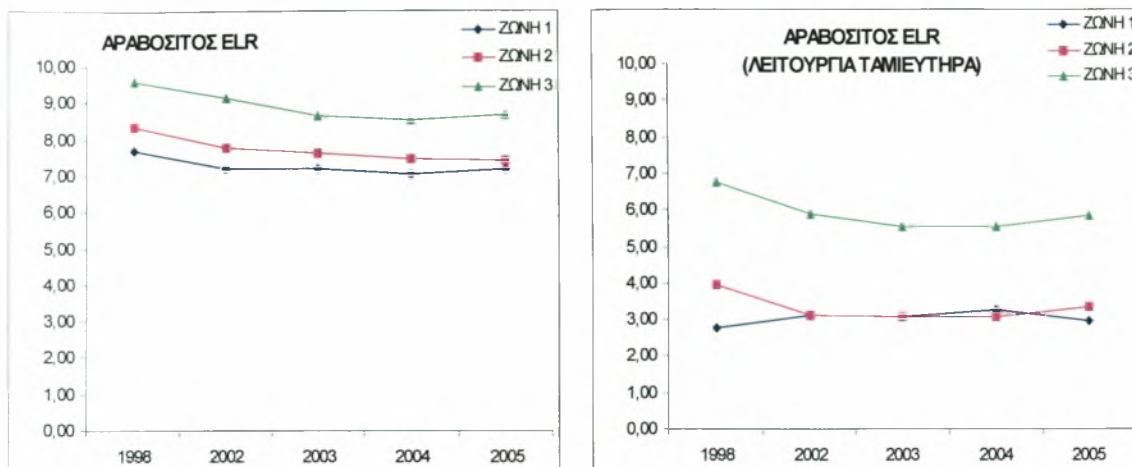
Η καλλιέργεια αραβόσιτου κατέχει σημαντικό ποσοστό μόνο στη ζώνη 3 όπου αποτελεί το 8,9 % της συνολικής καλλιεργήσιμης γης, ενώ στις ζώνες 1 και 2 το ποσοστό είναι 1,7 % και 3,5 % αντίστοιχα.



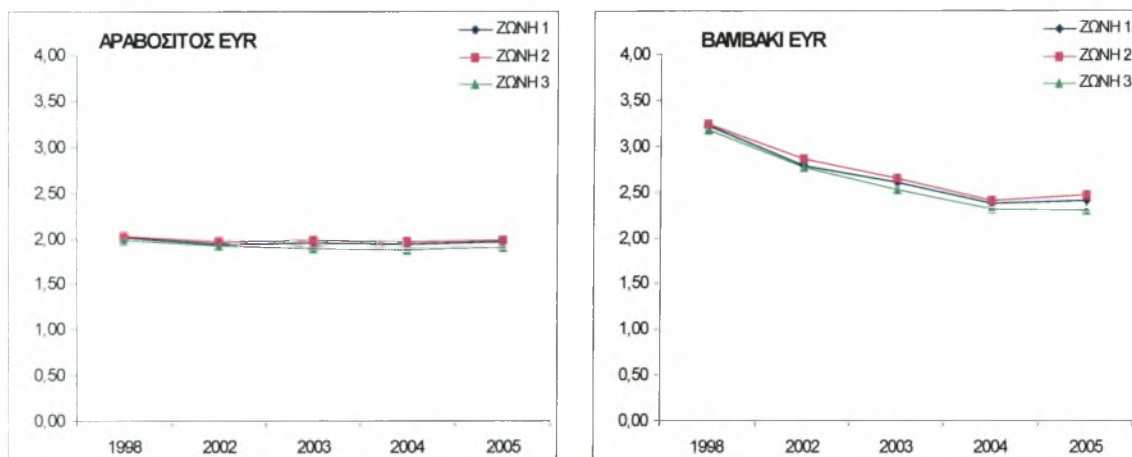
Σχήμα 5.3.3 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τον αραβόσιτο

Ο αραβόσιτος εμφανίζει πολύ μικρό δείκτη βιωσιμότητας καθώς οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ του 0,2 και 0,3 στην υφισταμένη κατάσταση, ενώ και με τη λειτουργία του ταμιευτηρα δεν ξεπερνούν την κρίσιμη τιμή του 1. Στη λειτουργία του ταμιευτήρα, η ζώνη 3 παραμένει στα ίδια περίπου επίπεδα βιωσιμότητας, ενώ οι ζώνες 1 και 2 παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές (γύρω στο 0,6-0,65) εκτός από το έτος 1998 οπού η διαφορά είναι εμφανής (+0,2 για τη ζωνη1). Το γεγονός αυτό αιτιολογείται από το ότι το 1998 αποτελεί ξηρό έτος. Έτσι, ενώ η ζώνη 1 αρδεύεται αποκλειστικά από επιφανειακά ύδατα, η ζώνη 2 απαιτεί άντληση υπογείου μη ανανεώσιμου νερού και αυτό έχει αντίκτυπο στο δείκτη βιωσιμότητας. Ο δείκτης ELR (Σχήμα 5.3.4) καταδεικνύει την εξάρτηση της καλλιέργειας του αραβόσιτου από μη ανανεώσιμους και από οικονομικούς ( αγορές) πόρους, ενώ

ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη λειτουργία του ταμειυτηρα η μεταβολή των τιμών παρουσιάζει την αντιστροφή μορφή από αυτή του SI.



Σχήμα 5.3.4 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Eenergy για τον αραβόσιτο



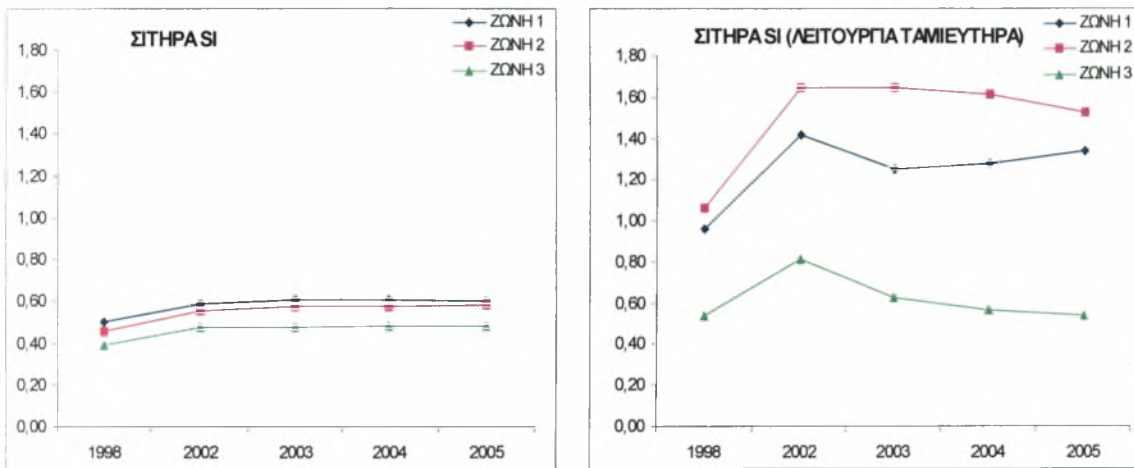
Σχήμα 5.3.5 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Eenergy

Ο δείκτης EYR εκφράζει την ικανότητα μιας διεργασίας να αξιοποιεί τοπικούς πόρους με το να επενδύει σε εξωγενείς πόρους ( $EYR=Y/F+S$ ). Τιμές λογού κοντά στο 1, υποδεικνύουν διεργασίες που απλά μετατρέπουν την ενέργεια. Στο Σχήμα 5.3.5 παρατηρείται μια σχεδόν σταθερή τιμή του δείκτη για την καλλιέργεια του αραβοσίτου κοντά στο 2, η οποία δείχνει ότι στηρίζεται κατά πολύ στις αγορές και σε συνδυασμό με τις μεγάλες τιμές του ELR αιτιολογείται η πολύ μικρή βιωσιμότητα του. Επιπλέον, η σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές του βαμβακιού οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα. Παρά το ότι και το βαμβάκι παρουσιάζει υψηλές αγορές εντούτοις αποδίδει περισσότερο οικονομικά και παραγωγικά.

### 5.3.3 Σιτηρά

Η καλλιέργεια των σιτηρών κατέχει μεγάλο ποσοστό στη ζώνη 1 (31,1 %) ενώ και στις ζώνες 2 και 3 αποτελεί σημαντική καλλιέργεια (14,4 % και 13 % αντίστοιχα).

Γενικά, τα σιτηρά χαρακτηρίζονται ως ξηρική καλλιέργεια, δηλαδή με μικρές αρδευτικές ανάγκες. Επίσης, και οι οικονομικοί πόροι (επενδύσεις, εργατικά) που καταναλώνουν είναι μειωμένοι σχετικά, αλλά μικρή είναι και η οικονομική απόδοση.

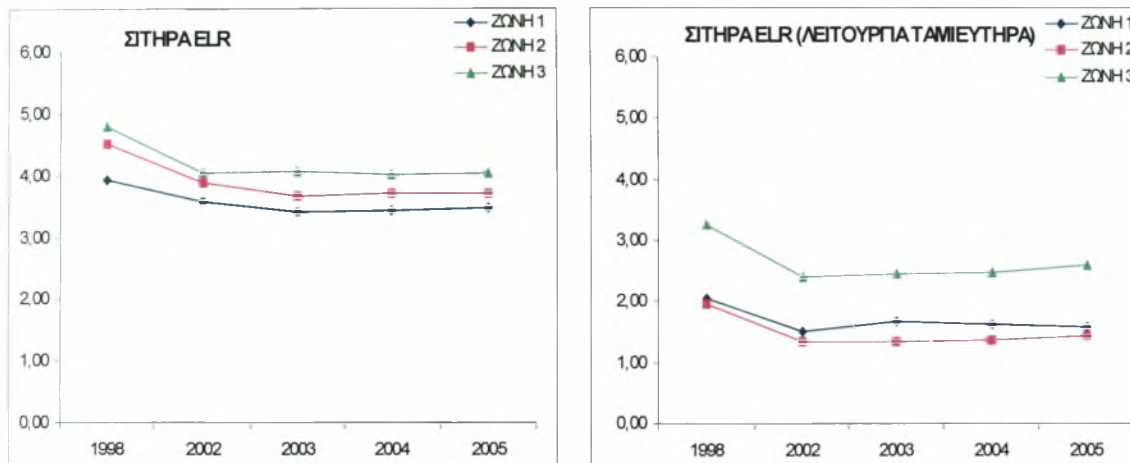


Σχήμα 5.3.6 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τα σιτηρά

Στο δείκτη βιωσιμότητας, οι τιμές στην υφιστάμενη κατάσταση είναι χαμηλές χωρίς σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της περιόδου ερευνάς. Εντούτοις, κατά τη λειτουργία του ταμειυτήρα, στις ζώνες 1 και 2 παρατηρούμε ότι η καλλιέργεια των σιτηρών είναι βιώσιμη. Μάλιστα η ζώνη 2 έχει τις μεγαλύτερες τιμές κι αυτό διότι καθώς τα σιτηρά αποτελούν ξηρική καλλιέργεια, οι αρδευτικές τους ανάγκες, αν και είναι μεγαλύτερες από τη ζώνη 1, καλύπτονται εξολοκλήρου από επιφανειακά ύδατα και στη ζώνη 2. Ως εκ τούτου, η απόδοση (Y) είναι υψηλότερη, γιατί οι ανανεώσιμοι πόροι (R) έχουν μεγαλύτερη τιμή στη ζώνη 2.

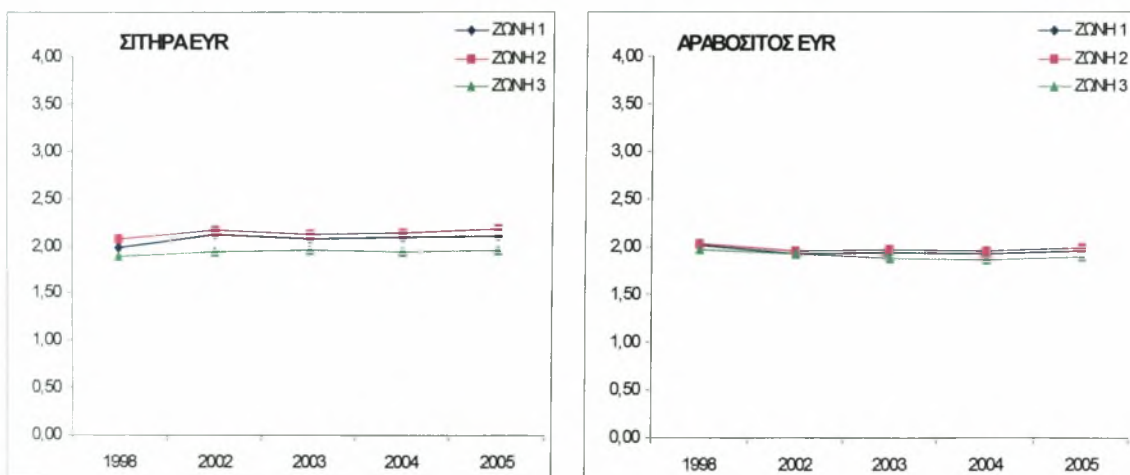
Οι μικρές επενδύσεις που χρειάζεται η καλλιέργεια των σιτηρών, κάνουν τη διαφορά στο δείκτη βιωσιμότητας των ζωνών 1 και 2. Αυτό φαίνεται και στο δείκτη ELR ο οποίος συγκρίνει τους οικονομικούς και μη ανανεώσιμους πόρους με τους τοπικά διαθέσιμους ανανεώσιμους πόρους (Σχήμα 5.3.7) και οι τιμές είναι εμφανώς μικρότερες, παρόλο που και οι ανανεώσιμοι πόροι είναι μειωμένοι. Η ζώνη 2 στη λειτουργία του ταμειυτήρα εμφανίζει μικρότερες τιμές από τη ζώνη 1 διότι καταναλώνει περισσότερο επιφανειακό νερό για την άρδευση της.

Από την άλλη πλευρά, το γεγονός ότι τα σιτηρά στηρίζονται κατά βάση σε ανανεώσιμους πόρους (R) καταδεικνύεται και από το ότι στη ζώνη 3 όπου αρδεύεται με μη ανανεώσιμους υδατικούς πόρους η μεταβολή των δεικτών είναι εμφανώς μικρότερη.



Σχήμα 5.3.7 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Energy για τα σιτηρά

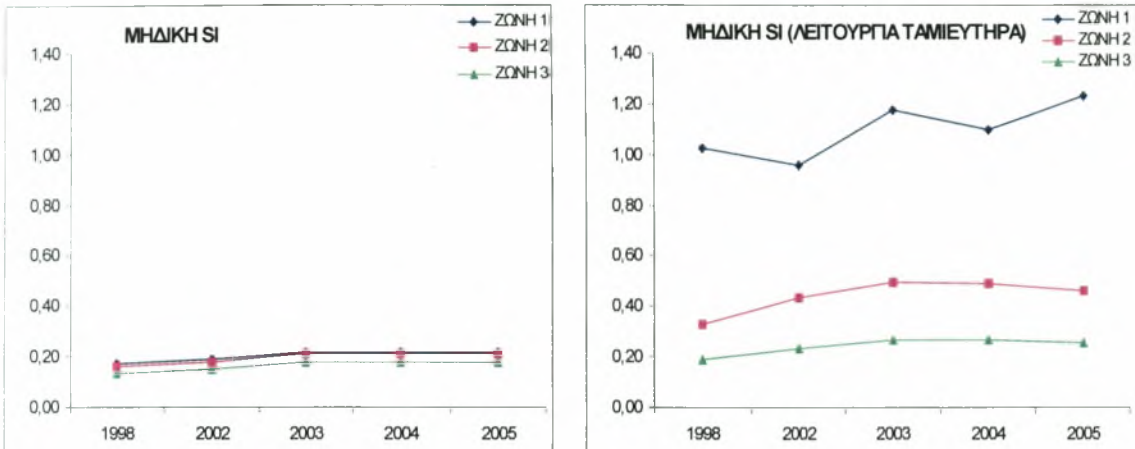
Τέλος, παρόλο την μικρή ποσότητα αγορών και εργατικών (F + S) ο δείκτης EYR παραμένει χαμηλός καθόλη τη διάρκεια της περιόδου έρευνας (1998-2005). Αιτία είναι η χαμηλή απόδοση της καλλιέργειας αλλά και η πολύ μικρή οικονομική της εκροή. Χαρακτηριστικά, ο δείκτης EYR για τα σιτηρά παρουσιάζει παρόμοιες τιμές με αυτόν του αραβόσιτου, η καλλιέργεια του οποίου καταναλώνει πολύ μεγαλύτερες τιμές σε όλα τα είδη των εισροών.



Σχήμα 5.3.8 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Energy

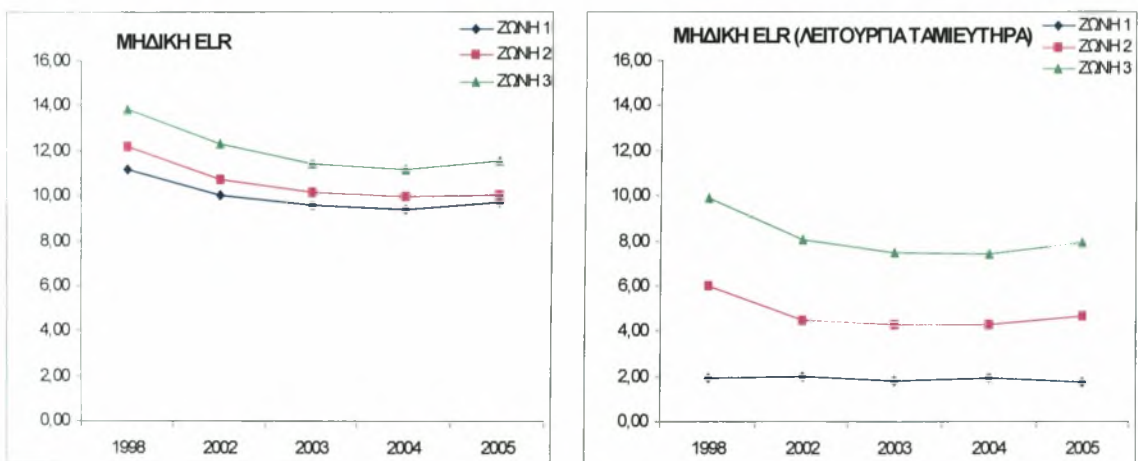
### 5.3.4 Μηδική

Η καλλιέργεια της μηδικής συγκεντρώνει μικρά ποσοστά επί της καλλιεργήσιμης γης με μεγαλύτερο το 2 % στη ζώνη 2.



Σχήμα 5.3.9 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τη μηδική

Χαρακτηρίζεται από τις μηδαμινές αγορές που απαιτούνται για την παραγωγή της (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, σπορά), αλλά και από τη συγκριτικά υπέρογκη ποσότητα νερού που χρειάζεται για την άρδευση της. Επίσης, η οικονομική εκροή είναι χαμηλή, ενώ δεν επιδοτείται η καλλιέργεια της.



Σχήμα 5.3.10 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τη μηδική

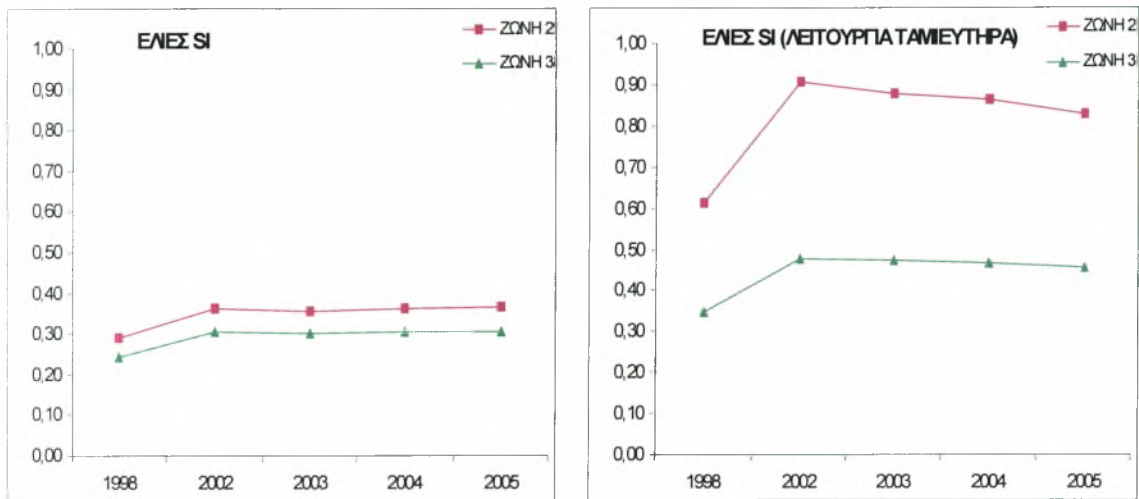
Η μηδική αποτελεί μη βιώσιμη καλλιέργεια για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της λίμνης Κάρλας (Σχήμα 5.3.9). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην υφιστάμενη κατάσταση ο δείκτης SI δεν ξεπερνά το 0,2. Παράλληλα, στο δείκτη ELR (Σχήμα 5.3.10) οι τιμές είναι



παρά πολύ υψηλές λόγω των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας της και ειδικά των υπογείων μη ανανεώσιμων πηγών που αντλούνται για την κάλυψη τους. Μονό στην περίπτωση της ζώνης 1, η οποία κατά την λειτουργία του ταμιευτήρα αρδεύεται μονό με ανανεώσιμα ύδατα η μηδική δύναται να είναι βιώσιμη καλλιέργεια (Σχήμα 5.3.9).

### 5.3.5 Ελιές

Η καλλιέργεια των ελαιόδεντρων συναντάται στη ζώνη 2 σε ποσοστό 1,9 % του συνόλου της καλλιεργήσιμης γης και στη ζώνη 3 όπου το ποσοστό είναι μεγαλύτερο φθάνοντας το 19,2 %.

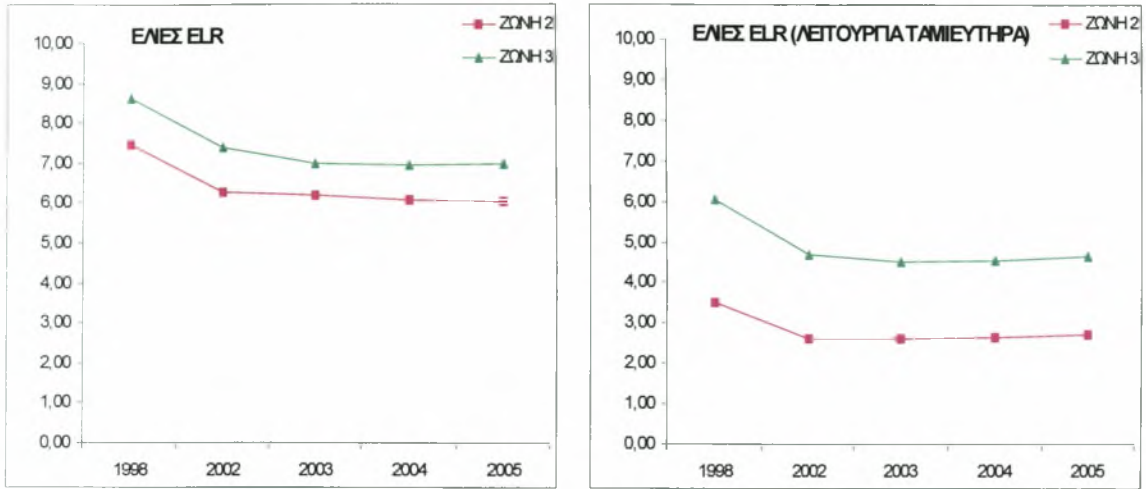


Σχήμα 5.3.11 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τις ελιές

Η ελιά παρότι έχει λιγιστές συγκριτικά αρδευτικές ανάγκες, παρουσιάζει μικρό βαθμό βιωσιμότητας ο οποίος αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.3.11 φθάνοντας στη καλύτερη τιμή του το 0,4 στη ζώνη 2 το έτος 2002. Εντούτοις, και κατά την λειτουργία του ταμιευτηρα, όπου η άρδευση της ζώνης 2 καλύπτεται από ανανεώσιμο νερό, η τιμή του SI είναι μικρότερη από 1. Αιτία είναι η μεγάλη ποσότητα επενδύσεων που απαιτεί η καλλιέργεια της ελιάς όσων αφορά όμως τα εργατικά (S) και όχι τόσο τις αγορές (F).

Επιπλέον, παρατηρείται μια σημαντική διαφορά στις τιμές, όπου το έτος 1998 έχει εμφανώς μικρότερο δείκτη βιωσιμότητας. Η αλλαγή του νομίσματος επηρεάζει όπως φαίνεται τους οικονομικούς συσχετισμούς στη καλλιέργεια, καθώς οι τιμές των τεχνοοικονομικών δεικτών παραγωγής οι οποίοι εισήχθησαν στο Emergy για το έτος 1998 μετετραπήκαν από δραχμές σε ευρώ. Το παραπάνω σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το

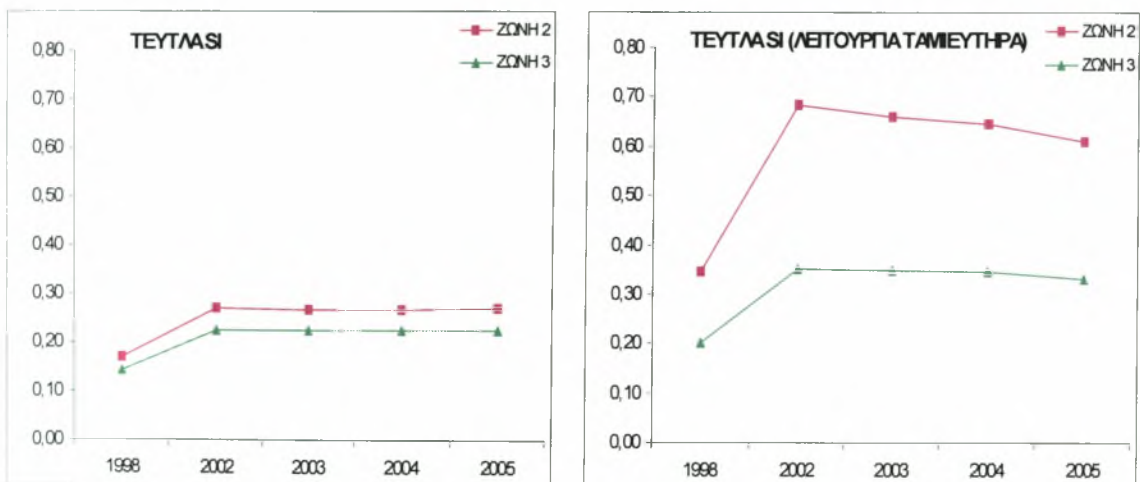
έτος 1998 αποτελεί ξηρή περίοδος επιφέρει μια σημαντική μείωση στο δείκτη βιωσιμότητας όλων των καλλιεργειών κατά τη συγκεκριμένη χρονιά.



Σχήμα 5.3.12 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Energy για τις ελιές

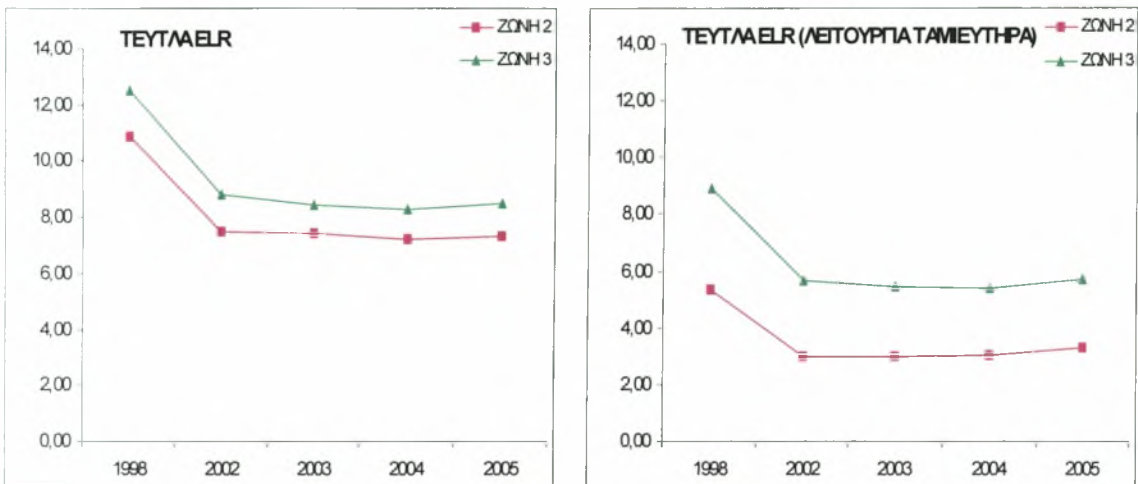
### 5.3.6 Τεύτλα

Η καλλιέργεια των τεύτλων συναντάται στη ζώνη 2 σε ποσοστό 4,7 % του συνόλου της καλλιεργήσιμης γης και στη ζώνη 3 όπου το ποσοστό είναι μεγαλύτερο φθάνοντας το 6 %. Οι αρδευτικές ανάγκες της συγκεκριμένης καλλιέργειας κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα με τις αντίστοιχες του αραβόσιτου και του βαμβακιού, ενώ η παραγωγή της χαρακτηρίζεται ικανοποιητική.

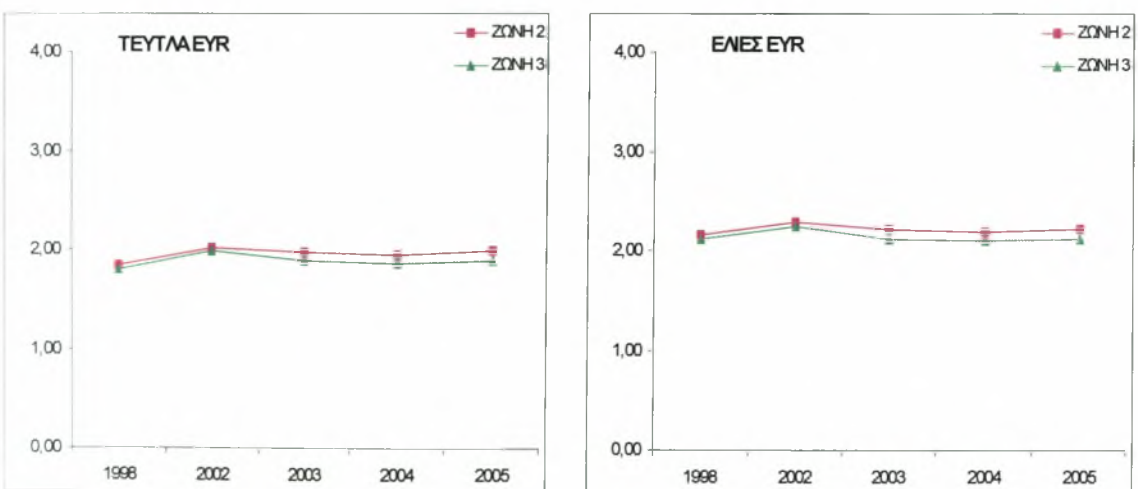


Σχήμα 5.3.13 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Energy για τα τεύτλα

Ο δείκτης βιωσιμότητας παίρνει πολύ χαμηλές τιμές στην υφισταμένη κατάσταση. Στη λειτουργία του ταμειυτηρα ο βαθμός βιωσιμότητας δεν σημειώνει επαρκή βελτίωση καθώς μετά βίας φθάνει το 0,7 για τη ζώνη 2 στο έτος 2002, ενώ στη ζώνη 3 η βελτίωση είναι πενιχρή. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι τα τεύτλα αποτελούν καλλιέργεια η οποία καταναλώνει μεγάλη ποσότητα αγορών, πράγμα που συμβάλλει αρνητικά στο βαθμό βιωσιμότητας της σε συνδυασμό με τις αρδευτικές ανάγκες (Σχήμα 5.3.14). Επιπλέον, στο έτος 1998 η τιμή του δείκτη βιωσιμότητας είναι πολύ χαμηλότερη (σχεδόν 50 %) από αντίστοιχες των υπολοίπων ετών ενώ το έτος 2002 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η μεταβολή των οικονομικών εισροών επηρεάζει ισχυρά τους δείκτες Emergy των καλλιεργειών, όπως άλλωστε παρατηρείται και σε άλλες καλλιέργειες οι οποίες καταναλώνουν υψηλά επίπεδα οικονομικών πόρων (ελιά).



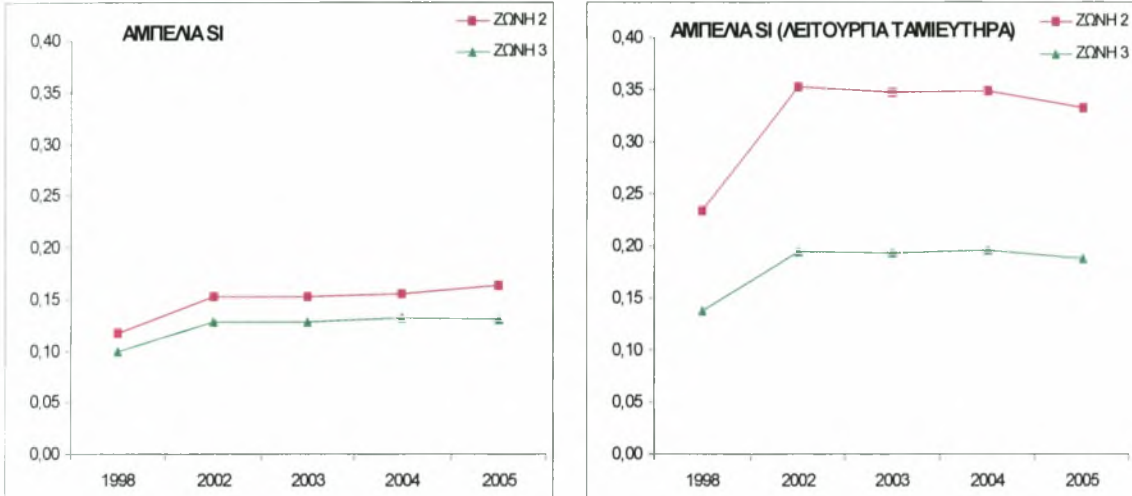
Σχήμα 5.3.14 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τα τεύτλα



Σχήμα 5.3.15 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy

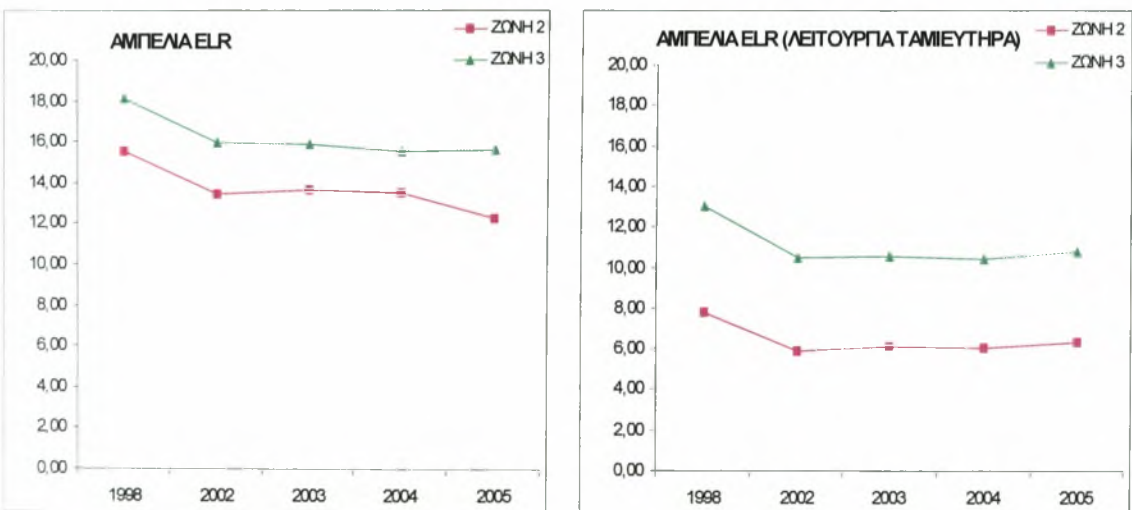
### 5.3.7 Αμπέλια

Τα αμπέλια καταλαμβάνουν πολύ μικρή καλλιεργήσιμη γη. Καλλιεργούνται στις ζώνες 2 και 3 σε ποσοστό 0,1 % και 0,2 % επί της γης αντίστοιχα.



Σχήμα 5.3.16 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τα αμπέλια

Οι αρδευτικές απαιτήσεις της καλλιέργειας των αμπελιών δεν είναι υψηλές συγκριτικά με τις υπόλοιπες καλλιέργειες, αφού πλησιάζουν στα επίπεδα των σιτηρών. Ο δείκτης βιωσιμότητας όμως κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα ακόμη και κατά τη λειτουργία του ταμιευτηρα (Σχήμα 5.3.16). Αυτό συμβαίνει λόγω των πολύ μεγάλων απαιτήσεων της καλλιέργειας των αμπελιών σε αγορές, εργατικά και γενικά σε οικονομικούς πόρους.

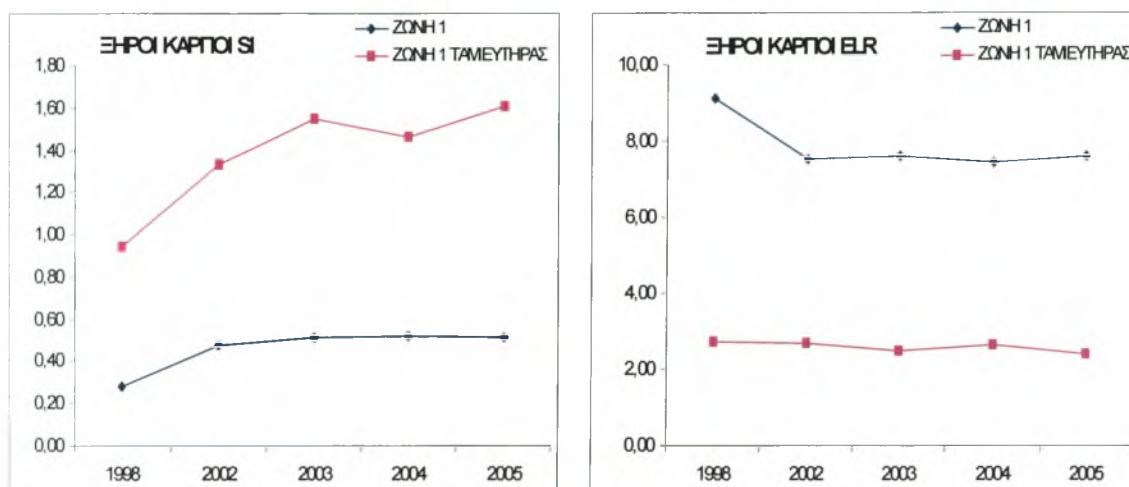


Σχήμα 5.3.17 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τα αμπέλια

Από την άλλη πλευρά, η πολύ ικανοποιητική παραγωγή και οικονομική εκροή (παρόλο που δεν αποτελεί επιδοτούμενη καλλιέργεια) δεν δύναται να ισοσκελίσει την εξάρτηση της καλλιέργειας από τις αγορές, όπως αυτές φαίνονται άλλωστε στις τιμές του δείκτη ELR (Σχήμα 5.3.17). Επίσης, όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 5.3.16 η βελτίωση του δείκτη βιωσιμότητας στη ζώνη 3 μετά τη λειτουργία του ταμιευτηρα είναι μηδαμινή. Αυτό αποτελεί ένα ακόμη στοιχείο ότι η εικόνα της μη βιώσιμης καλλιέργειας δεν οφείλεται αποκλειστικά στην έλλειψη υδατικών πόρων, αλλά στη συνολική απαίτηση εισροών από όλες τις ομάδες πόρων.

### 5.3.8 Καρποί με κέλυφος (ξηροί καρποί)

Η καλλιέργεια καρπών με κέλυφος (ξηρών καρπών) βρίσκεται μονό στη ζώνη 1, καταλαμβάνοντας το 13,4 % της συνολικής καλλιεργήσιμης γης της ζώνης 1. Οι απαιτήσεις άρδευσης χαρακτηρίζονται υψηλές, έχοντας την μεγαλύτερη τιμή μετά την καλλιέργεια της μηδικής.



Σχήμα 5.3.18 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τους ξηρούς καρπούς

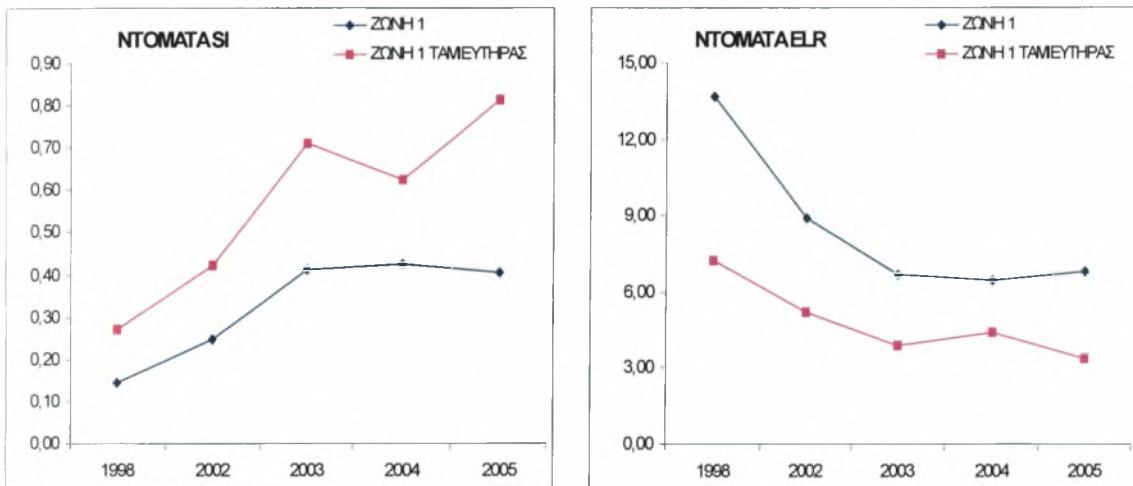
Οι υψηλές αρδευτικές ανάγκες επηρεάζουν όπως είναι φυσικό το επίπεδο βιωσιμότητας, κάνοντας το δείκτη SI να παίρνει τιμές μεταξύ 0,3-0,6. Από την άλλη πλευρά, όταν τα επιφανειακά ύδατα από τη λειτουργία του ταμιευτηρα καλύπτουν την άρδευση της καλλιέργειας ο δείκτης εκτινάσσεται σε τιμές άνω της κρίσιμης τιμής 1. Επιπλέον, η συγκεκριμένη καλλιέργεια απαιτεί υψηλές επενδύσεις σε αγορές αλλά και σε εργατικά, οι οποίες όμως ισοσκελίζονται από την παραγωγικότητα και την οικονομική εκροή των καρπών. Εξάλλου, στην χρονική εξέλιξη του δείκτη βιωσιμότητας



αποτυπώνεται και η μεταβολή των οικονομικών δεδομένων της καλλιέργειας, καθώς η τιμή του προϊόντος αυξάνεται δραστικά στο έτος 2002 ενώ στο έτος 2005, οπύ παρατηρείται η υψηλότερη τιμή SI, η καλλιέργεια επιδοτείται.

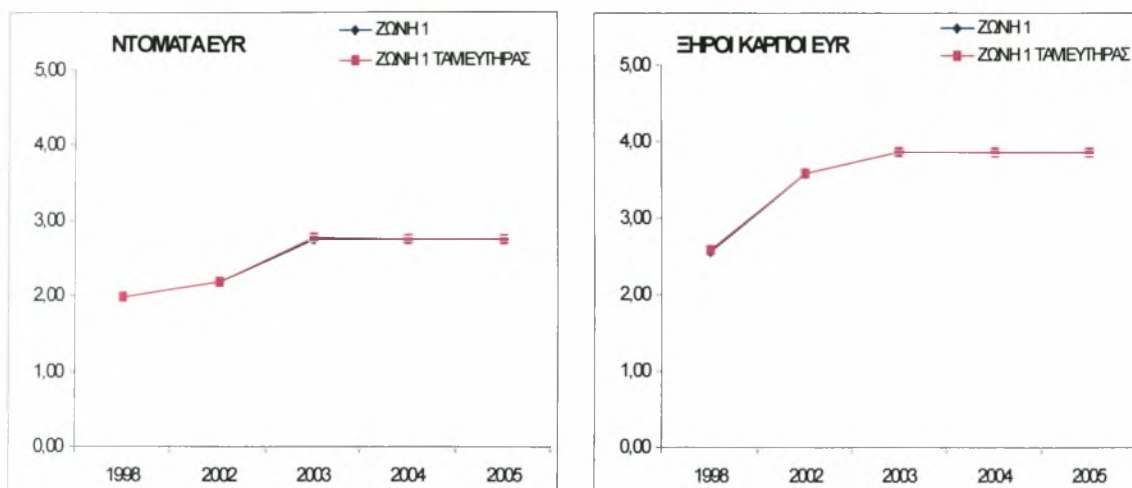
### 5.3.9 Ντομάτα (βιομηχανική)

Η καλλιέργεια ντομάτας βρίσκεται μονό στη ζώνη 1, καταλαμβάνοντας το 1,6 % της συνολικής καλλιεργήσιμης γης της ζώνης 1. Η καλλιέργεια της ντομάτας παρουσιάζει χαμηλές σχετικά αρδευτικές ανάγκες, αλλά απαιτεί την μεγαλύτερη επένδυση σε εργατικά από κάθε άλλη καλλιέργεια της ζώνης 1.



Σχήμα 5.3.19 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τη ντομάτα

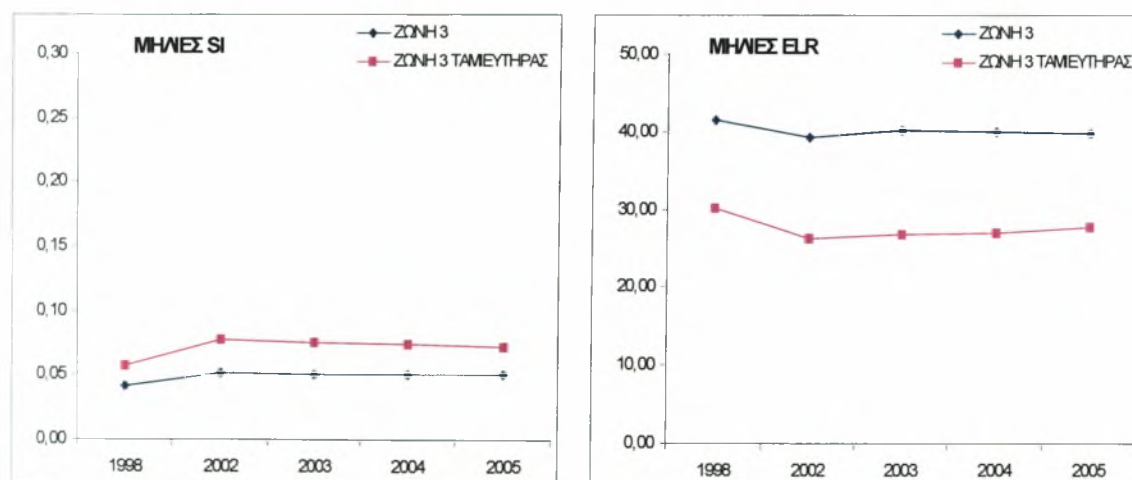
Ο δείκτης βιωσιμότητας κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ενώ κατά τη λειτουργία του ταμιευτηρα δεν ξεπερνά σε κανένα έτος το 1 (Σχήμα 5.3.19). Εντούτοις, ενδιαφέρον προκαλεί η διακύμανσή του. Στο έτος 1998 η βελτίωση της βιωσιμότητας με την κατασκευή του ταμιευτηρα είναι μικρή καθώς η τιμή του δείκτη SI είναι κάτω από το 0,3. Το 2003 παρατηρείται ένα άλμα στο επίπεδο βιωσιμότητας ενώ το 2005 εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι κατά το 1998 οι αγορές και τα εργατικά παίρνουν πολύ υψηλές τιμές (δείκτης ELR) ενώ το 2005 η καλλιέργεια επιδοτείται. Η οικονομική απόδοση της καλλιέργειας της ντομάτας αν και ικανοποιητική δεν δύναται να καταστήσει τη ντομάτα βιώσιμη καλλιέργεια, όπως στην περίπτωση των ξηρών καρπών (Σχήμα 5.3.20), οπύ τα εργατικά δεν είναι τόσο υψηλά όμως οι αρδευτικές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες.



Σχήμα 5.3.20 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy

### 5.3.10 Μηλιές

Η καλλιέργεια των μηλιών βρίσκεται μονό στη ζώνη 3, καταλαμβάνοντας το 19,4 % της συνολικής καλλιεργήσιμης γης της ζώνης 3. Η καλλιέργεια των μηλιών παρουσιάζει υψηλές σχετικά αρδευτικές ανάγκες, ενώ απαιτεί πολλαπλάσια επένδυση σε αγορές από κάθε άλλη καλλιέργεια σε οποιαδήποτε περιοχή. Γενικά, οι μηλιές καταναλώνουν υπερβολικές ποσότητες από κάθε ομάδα πόρων. Το επίπεδο βιωσιμότητας είναι ουσιαστικά μηδαμινό, καθώς επιβαρύνεται και από το γεγονός ότι η ζώνη 3 τροφοδοτείται περιορισμένα από τον ταμιευτήρα. Χαρακτηριστική είναι η τιμή του δείκτη ELR.



Σχήμα 5.3.21 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy για τις μηλιές

# ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

## 6.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Για την εκτίμηση αρδευτικών αναγκών της περιόδου 2020-2049 χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές βροχομετρικών δεδομένων της συγκεκριμένης περιόδου από προηγούμενη εργασία (Patsonas et al., 2009). Για την προσομοίωση των χρονοσειρών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης πρέπει να βρεθούν μεταβλητές, που να μπορούν να απεικονίζουν με επιτυχία τις δύο υδρομετεωρολογικές παραμέτρους. Τέτοιες μεταβλητές προσφέρονται από τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCMs) όπως είναι η ταχύτητα του ανέμου, η μέση πίεση στο επίπεδο της θάλασσας και άλλες. Τα GCMs έχουν φατνία ανάλυσης (grid) της τάξης των εκατοντάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Συχνά καλύπτουν περιοχές κατά πολύ μεγαλύτερες από την περιοχή μελέτης μας. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι η αναγωγή των δεδομένων των GCMs στην κλίμακα της λεκάνης μας. Επίλυση αυτού του προβλήματος επιχειρήθηκε με μοντέλα στατιστικού καταβιβασμού κλίμακας καθώς και με περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) (IPCC, 2001). Σε προηγούμενη εργασία στη περιοχή της Θεσσαλίας (Loukas et al., 2008) με χρήση στατιστικού καταβιβασμού των πρωτογενών μεταβλητών του Παγκόσμιου Κλιματικού Μοντέλου Canadian Centre for Climate Modeling Analysis (CGCMa2) με τη χρήση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επιλέχθηκαν οι μεταβλητές που απεικονίζουν καλύτερα τη μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας αποδείχτηκε ότι η μελλοντική χρονοσειρά της θερμοκρασίας μπορεί να αναπαραχθεί χρησιμοποιώντας πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με συνολικά 14 μεταβλητές. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που

χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της θερμοκρασίας κρίθηκαν ικανοποιητικά για τις περιόδους ανάπτυξης και πιστοποίησης (συντελεστής προσδιορισμού  $R^2=0.96$ ). Για την προσομοίωση της βροχόπτωσης επιλέχθηκαν τέσσερις μεταβλητές από το CGCMa2: mslp(mean sea level pressure), gz500, gz(500-1000) (geopotential height) και swa (sea level wind acceleration), και 12 ψευδομεταβλητές (dummies) που χρησιμοποιούνται για μηνιαία στάθμιση (Loukas et al., 2008). Αντίθετα με την θερμοκρασία ένα απλό γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δεν κρίθηκε ικανό να προσομοιώσει την βροχόπτωση. Ελέγχθηκαν τόσο εκθετικά όσο και λογαριθμικά μοντέλα και ως αποτελεσματικότερο εκλέχθηκε το λογαριθμικό μοντέλο. Τελικώς η βροχόπτωση θα δίνεται από τον τύπο:

$$P_{MLR} = \sum a_i * b_i + a_{13} * mslp + a_{14} * swa + a_{15} * gz_{500} + a_{16} * gz_{(500-1000)} + \gamma \quad (6.1.1)$$

όπου  $P_{MLR}$  η λογαριθμική έκφραση της βροχόπτωσης που προκύπτει από την (6.1.1).

Και πάλι όμως τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της Σχέσης (6.1.1) για την περίοδο 1960-1990 απέχουν αρκετά από το να μπορούν να θεωρηθούν επαρκής προσομοίωση ( $R^2=0.44$ ). Η χρονοσειρά που προέκυψε ως το υπόλοιπο της αφαίρεσης της χρονοσειράς που προκύπτει από την (6.1.1) από την παρατηρημένη βροχόπτωση για την περίοδο 1960-90 ονομάστηκε χρονοσειρά υπολοίπων (residuals). Βασική παραδοχή της εργασίας αυτής είναι ότι τα στατιστικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς των υπολοίπων, όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η διακύμανση, διατηρούνται σταθερά. Με χρήση στοχαστικής μεθοδολογίας έγινε αναπαραγωγή εκατό (100) χρονοσειρών από την χρονοσειρά υπολοίπων με μοντέλο PAR(4) (Periodic Autoregressive Model) σύμφωνα με τον τύπο:

όπου  $P_{res(v,t)}$  οι αναπαραγόμενες χρονοσειρές. Η προσομοίωση εμφάνισε εξαιρετικά αποτελέσματα. Για την περίοδο πιστοποίησης έγινε ανάπτυξη της Σχέσης (3.2) για άλλα 12 χρόνια. Οι τελικές χρονοσειρές βροχόπτωσης θα δίνονται από τον τύπο:

$$P_{res(v,t)} = \varphi_{1,t} P_{res(v,t-1)} + \varphi_{2,t} P_{res(v,t-2)} + \varphi_{3,t} P_{res(v,t-3)} + \varphi_{4,t} P_{res(v,t-4)} + e_{v,t} \quad (6.1.2)$$

όπου  $P_{res(v,t)}$  οι αναπαραγόμενες χρονοσειρές. Η προσομοίωση εμφάνισε εξαιρετικά αποτελέσματα. Για την περίοδο πιστοποίησης έγινε ανάπτυξη της Σχέσης (6.2.2) για άλλα 12 χρόνια. Οι τελικές χρονοσειρές βροχόπτωσης θα δίνονται από τον τύπο:

$$P = P_{MLR} + P_{residuals} \quad (6.1.3)$$

Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης της βροχόπτωσης από το λογαριθμικό μοντέλο με καθεμία από τις εκατό (100) χρονοσειρές υπολοίπων μας δίνει ένα πεδίο πιθανών μηνιαίων τιμών. Από τις 100 στοχαστικές χρονοσειρές της περιόδου 2020-49 υπολογισθήκαν η ετησία μέγιστη (max), η ελάχιστη (min) και η διάμεσος (median) για κάθε χρονιά. Έτσι, δημιουργηθήκαν 3 νέες χρονοσειρές βροχομετρικών οι οποίες αφορούν ολόκληρη τη λεκάνη της λίμνης Κάρλας.

Για την αναγωγή των δεδομένων στις τρεις περιοχές (ζώνες) χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$P_{i,j}^k = P_i^k \frac{P_{i,j}^m}{P_i^m} \quad \text{όπου,} \quad (6.1.4)$$

$P_{i,j}^k$  το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης, κατά το μήνα  $i$  και το έτος  $k$  της περιόδου 2020-2049, στη ζώνη  $j$

$P_i^k$  το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης, κατά το μήνα  $i$  και το έτος  $k$  της περιόδου 2020-2049 της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

$P_{i,j}^m$  το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης, κατά το μήνα  $i$  και το έτος  $m$  της περιόδου 1960-1990, στη ζώνη  $j$

$P_i^m$  το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης, κατά το μήνα  $i$  και το έτος  $m$  της περιόδου 1960-1990, της λεκάνης της λίμνης Κάρλας

Αντίστοιχα, για την θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκε χρονοσειρά της περιόδου 2020-2049 από προηγούμενη εργασία (Patsonas et al., 2009) η οποία ανοίχθηκε στις τρεις ζώνες με παρόμοια διαδικασία. Η ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών της κάθε καλλιέργειας περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.

Τέλος, προέκυψαν 3 χρονοσειρές εκτίμησης άρδευσης ανά ζώνη, οι οποίες παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.

Οι αρδευτικές ανάγκες της κάθε καλλιέργειας εισήχθησαν στο σύστημα Emergy με τη χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo η οποία αποτελεί μια στοχαστική προσομοίωση που απαιτεί την παραγωγή τυχαίων αριθμών που θα ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας (συνήθως την Κανονική), αλλά μπορεί να είναι και οποιαδήποτε



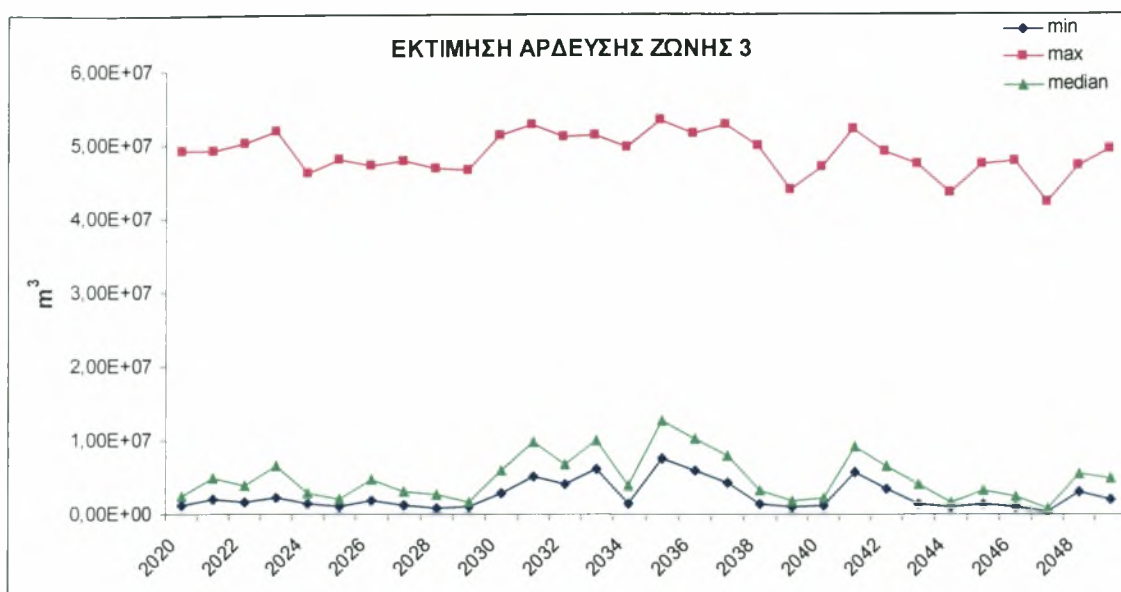
άλλη κατανομή και μπορεί να επεκταθεί ώστε να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του συστήματος που μελετάται.



Σχήμα 6.1.1 Αρδευτικές ανάγκες στη ζώνη 1



Σχήμα 6.1.2 Αρδευτικές ανάγκες στη ζώνη 2



Σχήμα 6.1.3 Αρδευτικές ανάγκες στη ζώνη 3

Οι αρδευτικές ανάγκες της κάθε καλλιέργειας εισήχθησαν στο σύστημα Emergy με τη χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo η οποία αποτελεί μια στοχαστική προσομοίωση που απαιτεί την παραγωγή τυχαίων αριθμών που θα ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας, αλλά και μπορεί να επεκταθεί ώστε να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς του συστήματος που μελετάται. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε η τριγωνική κατανομή.

Η Monte Carlo προσομοίωση αποτελεί μία σχετικά απλή προσέγγιση για την παρουσίαση των υπολογισμών των στοχαστικών μοντέλων με τη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού τυχαίων πεδίων των μεταβλητών ή των παραμέτρων που ενδιαφέρουν τον μελετητή, επιλύοντας ντετερμινιστικές εξισώσεις για κάθε μία επανάληψη, και εκτιμώντας αντιπροσωπευτικές στατιστικές ιδιότητες των αποτελεσμάτων από το σύνολο των επαναλήψεων.

Η βασική διαφορά μεταξύ της προσομοίωσης Monte Carlo και της ντετερμινιστικής προσομοίωσης, έγκειται στο γεγονός ότι η προσομοίωση Monte Carlo δεν βασίζεται στην ανάλυση αριθμητικών αναλύσεων αλλά αντίθετα, βάσει των προκαθορισμένων στατιστικών στοιχείων προσομοιώνει κατά τυχαίο τρόπο τη πιθανή συμπεριφορά του μοντέλου προσομοίωσης.

Η στοχαστική προσομοίωση είναι περισσότερο αξιόπιστη δεδομένου ότι οι υπολογισμοί βασίζονται σε όλο το εύρος της κατανομής των τιμών των παραμέτρων εισόδου και όχι σε αντιπροσωπευτικές μόνον τιμές, τα δε αποτελέσματα δίνονται σε

μορφή κατανομών πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης της τιμής που λαμβάνει κάθε παράμετρος. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα να επιλέγονται τιμές των παραμέτρων με τον επιθυμητό βαθμό εμπιστοσύνης.

Επίσης, στα πλεονεκτήματα της στοχαστικής προσομοίωσης περιλαμβάνονται η ευκολία, η αμεσότητα και η ευελιξία καθώς και η ακρίβεια στην περιγραφή του συστήματος που μελετάται χωρίς να γίνονται απλοποιητικές υποθέσεις. Σαν μειονέκτημα αναφέρεται ότι τα αποτελέσματα είναι προσεγγιστικά και εξαρτώνται από το μέγεθος της δειγματοληψίας.

Τα στατιστικά στοιχεία που είναι χρήσιμα στην Monte Carlo προσομοίωση είναι η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή, η μέση τιμή ή η διαμεσος (τριγωνική κατανομή), η διακύμανση, η τυπική απόκλιση, η κύρτωση και η λοξότητα.

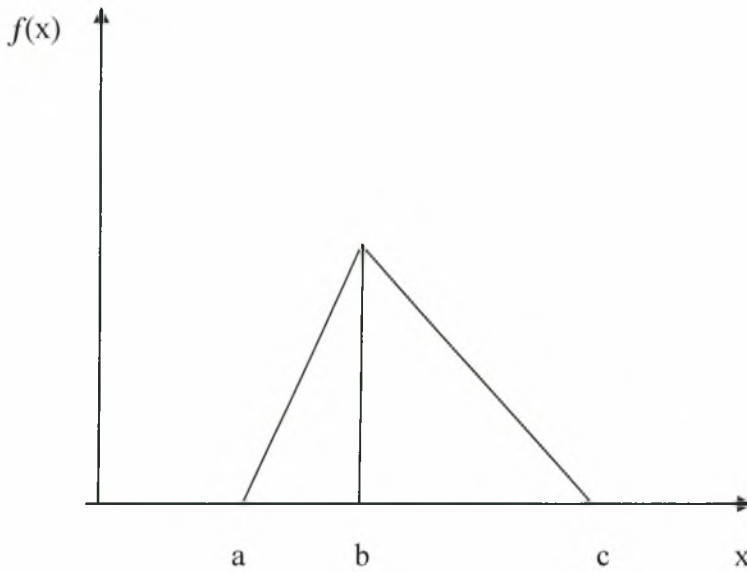
Η λοξότητα (skewness) είναι ένα μέτρο της ασυμμετρίας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) μιας τυχαίας μεταβλητής (τ.μ.)  $X$ . Η λόξωση συμβολίζεται με  $skew(X)$  ή  $\eta_1$  και ορίζεται από τη σχέση  $\eta_1 = skew(X) = E[(X - \mu)^3] / \sigma^3$ , όπου  $\mu = E(X)$  και  $\sigma = \sqrt{E[(X - \mu)^2]}$  είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της τ.μ.  $X$  αντίστοιχα.

Η κύρτωση (kurtosis) είναι μία ακόμα παράμετρος που περιγράφει το σχήμα της σ.π.π. μιας τ.μ.  $X$ . Η κύρτωση συμβολίζεται με  $kurt(X)$  ή  $\eta_2$  και ορίζεται από τη σχέση  $\eta_2 = kurt(X) = E[(X - \mu)^4] / \sigma^4$ . Αν η κύρτωση είναι μεγαλύτερη από την τιμή 3, τότε η σ.π.π. ονομάζεται λεπτόκυρτη (leptokurtic). Αν η κύρτωση είναι μικρότερη από την τιμή 3, τότε η σ.π.π. ονομάζεται πλατύκυρτη (platykurtic). Η λεπτοκύρτωση χαρακτηρίζει τις σ.π.π. που εμφανίζουν στενό λοβό γύρω από τη μέγιστη τιμή τους και ταυτόχρονα έχουν παχιές ουρές (fat tails). Η πλατυκύρτωση χαρακτηρίζει τις σ.π.π. που εμφανίζουν ευρύ λοβό γύρω από τη μέγιστη τιμή τους και ταυτόχρονα έχουν λεπτές ουρές (thin tails).

Η ροπή (moment)  $\kappa$ -τάξης  $\mu'_\kappa$  μιας τ.μ.  $X$  ορίζεται από τη σχέση  $\mu'_\kappa = E(X^\kappa)$ . Ειδικά για  $\kappa = 1$ , η ροπή πρώτης τάξης είναι η μέση τιμή  $\mu = E(X)$  της τ.μ.  $X$ . Η κεντρική ροπή  $\kappa$ -τάξης  $\mu_\kappa$  μιας τ.μ.  $X$  ορίζεται από τη σχέση  $\mu_\kappa = E[(X - \mu)^\kappa]$ . Ειδικά για  $\kappa = 2$ , η κεντρική ροπή δεύτερης τάξης είναι η διακύμανση (ή διασπορά)  $\sigma^2 = V(X)$  της τ.μ.  $X$ . Η διακύμανση συμβολίζεται και με  $\sigma_{xx}$ .

Η τριγωνική κατανομή είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας με κατώτερη τιμή  $a$ , ανώτερη τιμή  $c$  και διάμεσο  $b$  όπου ισχύει :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq b \\ \frac{2(c-x)}{(c-b)(c-a)}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (6.1.5)$$



Η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας που προκύπτει είναι:

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{(c-x)^2}{(c-b)(c-a)}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \leq a \\ 1, & x > c \end{cases} \quad (6.1.6)$$

Και θετοντας την ιση με  $R$  και λυνοντας ως προς  $X$  βρίσκουμε:

$$X = \begin{cases} \sqrt{(b-a)(c-a)R} + a, & a \leq R \leq \frac{b-a}{c-a} \\ c - \sqrt{(1-R)(c-b)(c-a)}, & \frac{b-a}{c-a} < R < c \end{cases} \quad (6.1.7)$$

Το Ιστόγραμμα (Histogram) απεικονίζει την κατανομή μίας ποσοτικής μεταβλητής με την βοήθεια ράβδων. Κάθε ράβδος αντιστοιχεί σε ένα διάστημα τιμών και το ύψος είναι ανάλογο των αντικειμένων που ανήκουν σε αυτό το διάστημα. Συχνά απεικονίζουμε και την γραμμή της κανονικής κατανομής γραμμής για σύγκριση. Στον άξονα x εμφανίζονται είτε μεμονωμένες τιμές είτε σύνολο τιμών. Το ύψος κάθε τμήματος αναπαριστά τη συχνότητα με την οποία εμφανίζεται αυτή η τιμή ή το διάστημα. Αντίθετα με το διάγραμμα μπάρας στο οποίο ο άξονας x παριστάνει κατηγορίες, ο οριζόντιος άξονας ενός ιστογράμματος δείχνει μια αριθμητική κλίμακα. Επίσης χρησιμοποιείται για να δείξει το σχήμα μίας μεταβλητής. Το ιστογράμμα κατασκευάζεται με βάση το πίνακα συχνοτήτων ομαδοποιημένων μετρήσεων. Το μήκος των ομάδων επηρεάζει την εικόνα του ιστογράμματος. Όσο πιο μεγάλο είναι το μήκος των ομάδων τόσο πιο ασαφές και ακαθόριστο είναι το σχήμα της κατανομής των μετρήσεων. Αν οι ομάδες είναι πολλές και έχουν μικρό μήκος το ιστογράμμα παρουσιάζει ανωμαλίες που αντανακλούν την μεταβλητικότητα της δειγματοληψίας.

Επίσης το ιστογράμμα δείχνει την ασυμμετρία (skewness) μίας κατανομής που είναι μέτρο της συμμετρίας της. Αν μία κατανομή είναι συμμετρική, η αριστερή πλευρά της είναι ένα κατοπτρικό είδωλο της δεξιάς. Αν οι τιμές μίας κατανομής συσσωρεύονται στις μικρές τιμές η κατανομή είναι θετικά ασύμμετρη. Αν οι τιμές της κατανομής βρίσκονται στο άλλο άκρο της κλίμακας η κατανομή είναι αρνητικά συμμετρική.

Ο πίνακας συχνοτήτων και το ραβδόγραμμα ή ιστογράμμα δίνουν μια συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων και μας επιτρέπουν να μελετήσουμε ποιοτικά την κατανομή της τυχαίας μεταβλητής που παρατηρήσαμε. Στη συνέχεια θα ορίσουμε ποσοτικά μεγέθη που περιγράφουν περιληπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά της κατανομής τη τυχαία μεταβλητή  $X$  και λέγονται συνοπτικά ή περιγραφικά μέτρα (summarizing or descriptive statistics). Κάθε τέτοιο μέτρο υπολογίζεται από τις παρατηρήσεις του δείγματος κι αποτελεί εκτίμηση κάποιας παραμέτρου της κατανομής της τυχαίας μεταβλητής.

Τα μέτρα θέσης (measures of location) προσδιορίζουν χαρακτηριστικές θέσεις μέσα στο εύρος των δεδομένων και τα μέτρα μεταβλητότητας (variability measures) δίνουν περιληπτικά τη διασκόρπιση και μεταβλητότητα των δεδομένων.

Τα κυριότερα μέτρα θέσης είναι:

- Μέση τιμή (δειγματικός μέσος όρος, αριθμητικός μέσος)
- Διάμεσος: Το σημείο εκείνο κάτω από το οποίο βρίσκεται το 50% των παρατηρήσεων και πάνω από το οποίο βρίσκεται το άλλο 50% των παρατηρήσεων.



- Επικρατούσα τιμή
- Ποσοστημότητα

Τα κυριότερα μέτρα διασποράς είναι:

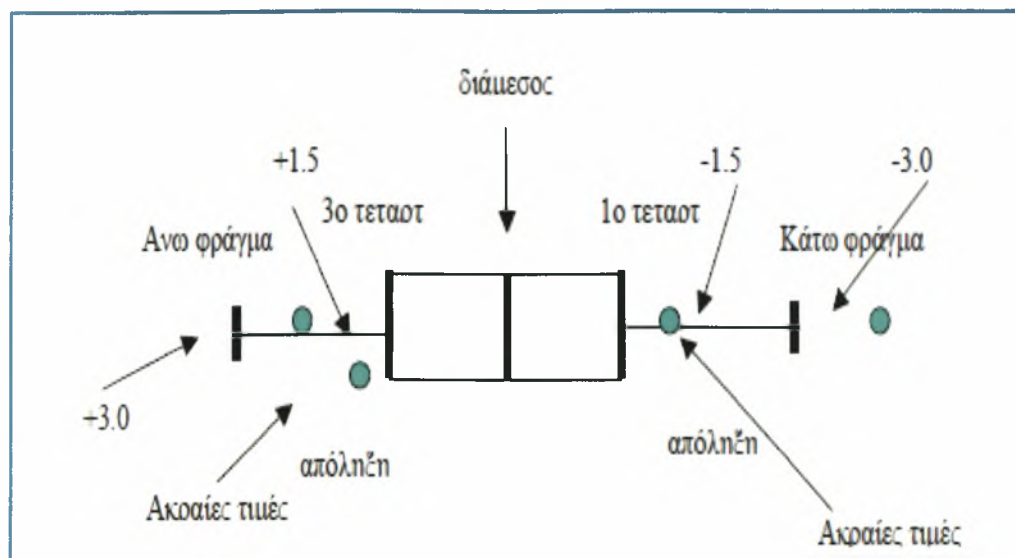
- Εύρος: Η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη παρατήρηση)
- Διασπορά, διακύμανση: Δηλώνει πόσο μακριά από τη μέση τιμή απέχουν οι παρατηρήσεις
- Τυπική απόκλιση: Ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της διασποράς, αποτελεί μέτρο μεταβλητότητας και εκφράζεται στη μονάδα μέτρησης του χαρακτηριστικού
- Ενδοτεταρτημοριακή απόκλιση-θηκόγραμμα (boxplot)

Η διάμεσος χωρίζει τα δεδομένα στα δύο. Μπορούμε να ορίσουμε άλλα σημεία χωρισμού του διατεταγμένου συνόλου τιμών που παίρνουμε από το δείγμα. Τέτοια σημεία είναι τα εκατοστιαία σημεία. Μια παρατήρηση καλείται το  $p$ -εκατοστιαίο σημείο ( $p$ -percentile) όταν ποσοστό παρατηρήσεων το πολύ  $p\%$  είναι μικρότερες από αυτήν την παρατήρηση ( $0 \leq p < 1$ ).

Η διάμεσος είναι το 50-εκατοστιαίο σημείο. Άλλα χαρακτηριστικά εκατοστιαία σημεία είναι αυτά που ορίζουν τέταρτα ή τεταρτομόρια (quartiles). Το 25-εκατοστιαίο σημείο είναι το πρώτο ή κατώτερο τεταρτομόριο (first or lower quartile) και το συμβολίζουμε  $Q_1$ , ενώ το 75-εκατοστιαίο σημείο είναι το τρίτο ή ανώτερο τεταρτομόριο (third or upper quartile) και το συμβολίζουμε  $Q_3$ . Το πρώτο και τρίτο τεταρτομόριο ορίζονται όπως η διάμεσος αλλά περιορίζοντας το σύνολο των δεδομένων στα αντίστοιχα υποσύνολα (κατώτερο ή ανώτερο μισό). Ειδικότερα, έχοντας πρώτα διατάξει τις παρατηρήσεις σε αύξουσα σειρά, αν το σύνολο των παρατηρήσεων  $n$  είναι άρτιος αριθμός τότε το κατώτερο υποσύνολο περιέχει τις παρατηρήσεις από 1 ως  $n/2$  και το ανώτερο από  $n/2+1$  ως  $n$ , ενώ αν το  $n$  είναι περιττός το κατώτερο υποσύνολο περιέχει τις παρατηρήσεις από 1 ως  $(n + 1)/2$  και το ανώτερο από  $(n + 1)/2$  ως  $n$ .

Η διαφορά  $I = Q_3 - Q_1$  λέγεται ενδοτεταρτομοριακό εύρος (interquartile range) και δίνει το εύρος που καλύπτουν τα μισά από τα δεδομένα που είναι πιο κοντά στην κεντρική τιμή (διάμεσο). Το  $I$  είναι ένα άλλο μέτρο διασποράς των δεδομένων (πιο ανθεκτικό από το εύρος  $R$ ) που δεν ορίζεται ως προς τη δειγματική μέση τιμή κι άρα δεν επηρεάζεται από αυτήν. Η διάμεσος, το πρώτο και τρίτο τεταρτομόριο  $Q_1$  και  $Q_3$  αντίστοιχα, καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη τιμή των δεδομένων  $x_{\min}$  και  $x_{\max}$ , αποτελούν τη σύνοψη των 5

αριθμών (five number summary). Γραφικά η παρουσίαση της σύνοψης των 5 αριθμών γίνεται με το θηκόγραμμα (box plot) σε οριζόντια (Σχήμα 6.1.4) ή κάθετη θέση.



Σχήμα 6.1.4 Σχηματική παρουσίαση οριζόντιου θηκογράμματος

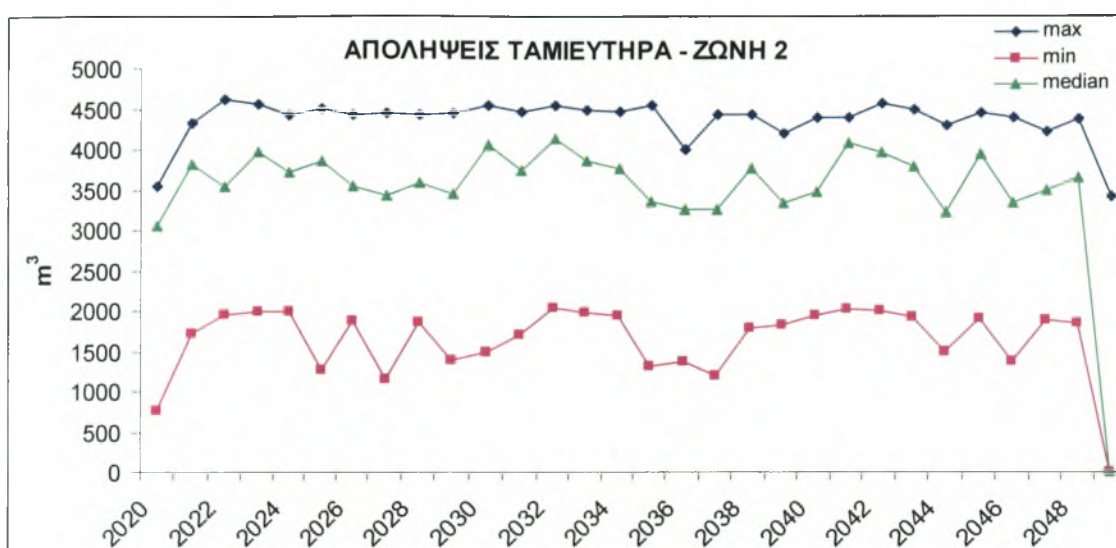
Το θηκόγραμμα που παράγει κάποιο στατιστικό πρόγραμμα, όπως το SPSS, μπορεί να διακόπτει τις γραμμές που ενώνουν τα άκρα του κουτιού με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που λέγονται μύστακες (whiskers) σε κάποια άλλα σημεία και να παρουσιάζει με ειδικά σύμβολα τις υπόλοιπες μακρινές τιμές.

Για την πραγματοποίηση της Monte Carlo χρησιμοποιήθηκαν Simtools τα οποία αποτελούν add-ins του Microsoft Excel και προσθέτουν στατιστικές λειτουργικές δυνατότητες και τις διαδικασίες για να γίνει προσομοίωση Monte Carlo και της ανάλυσης των κινδύνων σε υπολογιστικά φύλλα. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση της εντολής TRIANINV (probability, lowerbound, mostlikely, upperbound) η οποία έχει σαν παραμέτρους την πιθανότητα, την κατώτερη τιμή (min), τη διάμεσο (median ή most likely) και την μέγιστη τιμή (max).

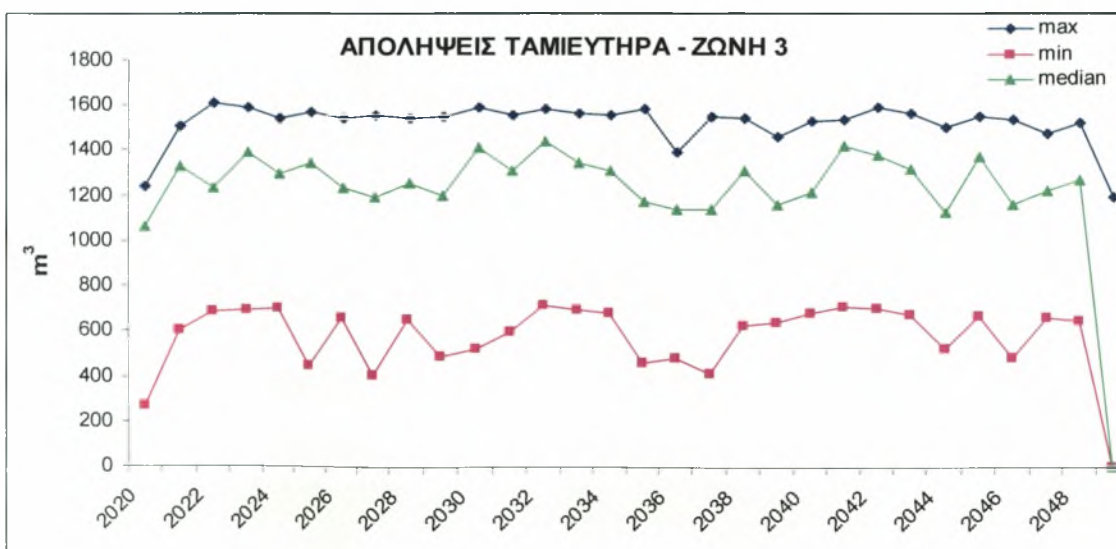
Η εντολή TRIANINV αποδίδει σαν αποτέλεσμα αντιστροφές αθροιστικές αξίες για μια τυχαία μεταβλητή (RAND) με μια τριγωνική πυκνότητα πιθανότητας. Όταν η πρώτη παράμετρος είναι το RAND, το αποτέλεσμα είναι μια οριοθετημένη τυχαία μεταβλητή. Τέλος, για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των δεικτών Emergy χρησιμοποιήθηκε το Simulation table, το οποίο αποδίδει τα αποτελέσματα από επαναλαμβανόμενες επανεκτιμήσεις του μοντέλου προσομοίωσης Monte Carlo. Ο αριθμός των εκτιμήσεων ήταν 1001, δηλαδή 1001 πιθανότητες μεταξύ του 0 και 1.

## 6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΛΙΜΝΗΣ ΚΑΡΛΑΣ

Οι απολήψεις του ταμιευτήρα ληφθήκαν από προηγούμενη εργασία (Patsonas et al, 2009). Όπως και με τις αρδευτικές ανάγκες, από 100 στοχαστικές χρονοσειρές της περιόδου 2020-49 υπολογισθήκαν η ετησία μέγιστη (max), η ελάχιστη (min) και η διάμεσος (median) για κάθε χρονιά. Η διαχείριση των απολήψεων του ταμιευτήρα είναι η ίδια με την περίοδο 1998-2005 η οποία περιγράφηκε στη παράγραφο 5.2, ενώ οι απολήψεις εισήχθησαν στο σύστημα Emergy με τη χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo με την εντολή TRIANINV.



Σχήμα 6.2.1 Απολήψεις του ταμιευτήρα για την άρδευση της ζώνης 2 ανά εκτάριο



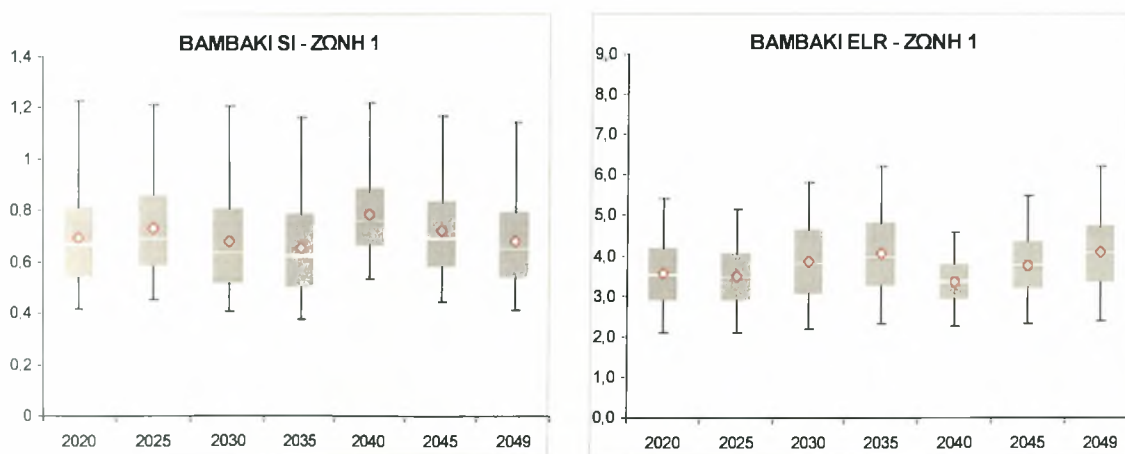
Σχήμα 6.2.2 Απολήψεις του ταμιευτήρα για την άρδευση της ζώνης 3 ανά εκτάριο

### 6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY

Τα αποτελέσματα των δεικτών Emergy για την περίοδο 2020-2049 παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους ανά καλλιέργεια. Για τις τιμές των αγορών, τα εργατικά αλλά και για οποιαδήποτε οικονομική εισροή και εκροή (τιμή προϊόντος, επιδότηση) σε κάθε καλλιέργεια λήφθηκε κλιμακωτό επιτόκιο με βάσει τις τιμές του 2005. Συγκεκριμένα, οι τιμές του 2005 ανοιχθήκαν με ετήσιο επιτόκιο 2 % έως το έτος 2020 και στη συνέχεια οι τιμές του 2020 μεταβάλλονταν με ετήσιο επιτόκιο 1,5 %. Ο λόγος που μειώθηκε το επιτόκιο κατά τη διάρκεια της περιόδου 2020-2049 ήταν ότι με επιτόκιο 2 %, οι τιμές δεν θα ήταν συγκρίσιμες. Για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων των δεικτών Emergy χρησιμοποιήθηκε το Simulation table, το οποίο αποδίδει τα αποτελέσματα από επαναλαμβανόμενες επανεκτιμήσεις του μοντέλου προσομοίωσης Monte Carlo. Ο αριθμός των εκτιμήσεων ήταν 1001, δηλαδή 1001 πιθανότητες μεταξύ του 0 και 1.

#### 6.3.1 Βαμβάκι

Στη ζώνη 1 η καλλιέργεια βαμβακιού εμφανίζει δείκτη βιωσιμότητας κάτω της κρίσιμης τιμής του 1 για όλη την περίοδο 2020-49 (Σχήμα 6.3.1). Συγκεκριμένα, το εύρος τιμών κυμαίνεται μεταξύ του 0,55-0,85 με εξαίρεση το έτος 2040 που αγγίζει το 0,9.



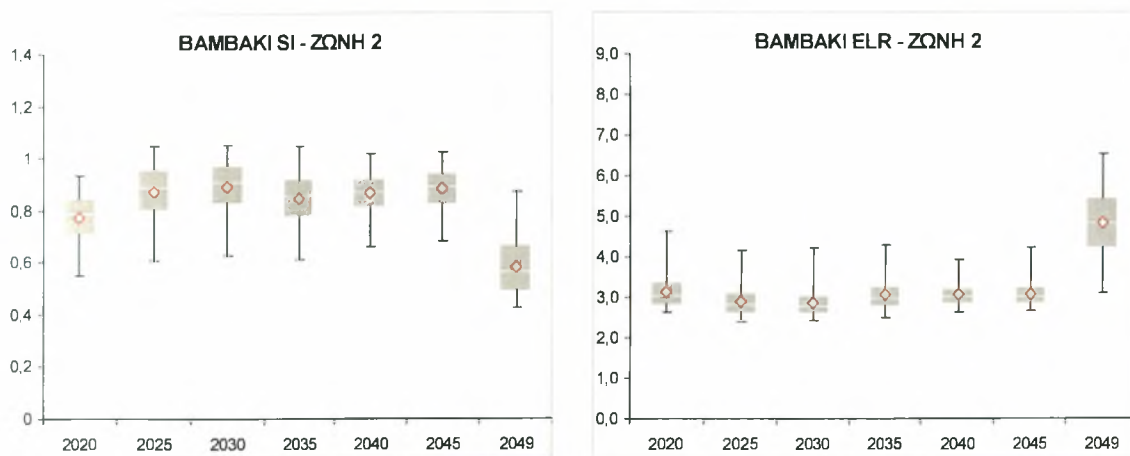
Σχήμα 6.3.1 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για το βαμβάκι για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.1 Τιμές δεικτών Emergy για το βαμβάκι της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	1,42	1,57	1,23	1,07	1,18	1,30	1,07 - 1,42
ELR	2,27	1,78	2,12	2,22	2,03	2,08	1,78 - 2,27



Συγκριτικά με την περίοδο 1998-2005, η επίπτωση της κλιματικής αλλαγής και η μείωση των διαθεσίμων υδατικών πόρων είναι εμφανής, καθώς το εύρος τιμών του δείκτη βιωσιμότητας είναι θετικό (Πίνακας 6.3.1) με μέση τιμή 1,30. Αντίθετα, ο δείκτης ELR αυξάνεται δραματικά (σχεδόν διπλασιάζεται) καθώς επιβαρύνεται και από την αύξηση των τιμών των αγορών.



Σχήμα 6.3.2 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για το βαμβάκι για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.2 Τιμές δεικτών Emergy για το βαμβάκι της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,95	1,67	1,21	1,10	1,01	1,19	0,95 - 1,67
ELR	3,43	1,72	2,19	2,19	2,41	2,39	1,72 - 2,39

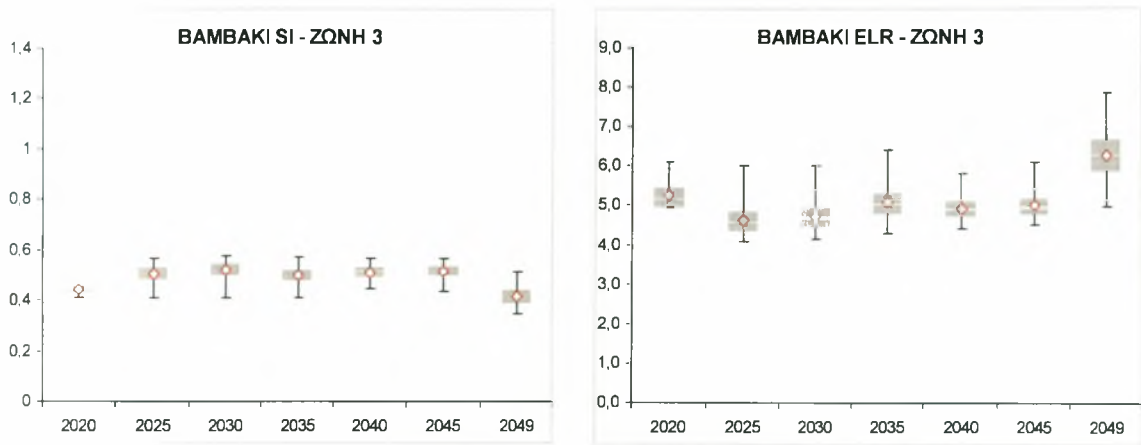
Στη ζώνη 2 παρατηρείται επίσης υποβάθμιση του δείκτη βιωσιμότητας, αν και το εύρος των τιμών κινείται σε πιο επιθυμητά επίπεδα από τη ζώνη 1. Επίσης, ο δείκτης ELR κυμαίνεται μεταξύ 2,8-3,5, με εξαίρεση το έτος 2049 οπου η ξηρασία είναι τέτοια ώστε οι απολήψεις του ταμειουτηρα για την άρδευση των ζωνών 2 και 3 είναι μηδαμινές ( Σχήματα 6.2.1 και 6.2.2), πράγμα που επηρεάζει και τη βιωσιμότητα τους.

Εξάλλου, στη ζώνη 3 λόγω της άντλησης μη ανανεώσιμων υδατικών πόρων, η ήδη χαμηλή βιωσιμότητα υποβαθμίζεται επιπλέον, καθώς ο SI κυμαίνεται μεταξύ του 0,4-0,6. από την άλλη πλευρά ο ELR αυξάνεται ανάλογα, ενώ ενδεικτικό είναι το γεγονός τα θηκογράμματα της ζώνης 3 έχουν παρόμοια μορφή με της ζώνης 2.

Πίνακας 6.3.3 Τιμές δεικτών Emergy για το βαμβάκι της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,54	0,81	0,62	0,56	0,54	0,62	0,54 - 0,81
ELR	5,91	3,42	4,05	4,09	4,26	4,34	5,91 - 3,42

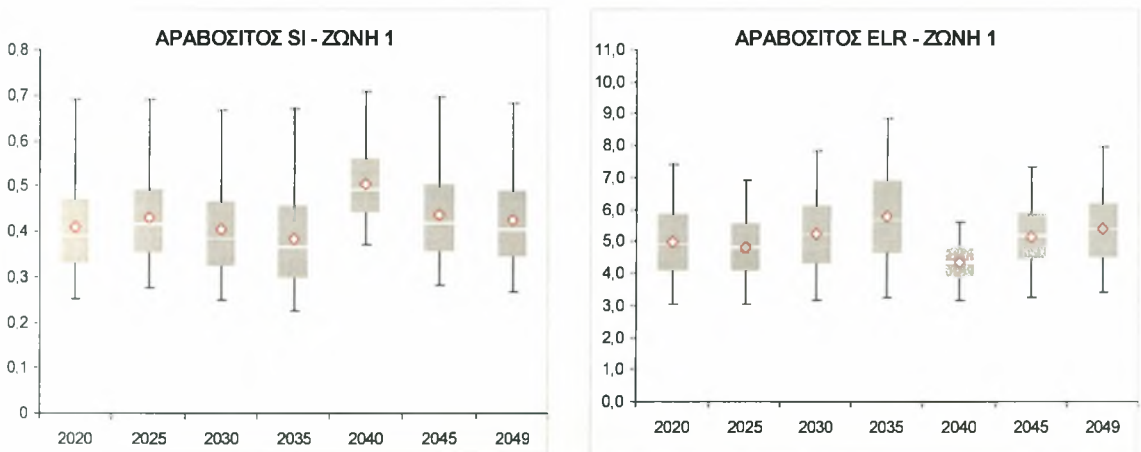




Σχήμα 6.3.3 Θηκογράμματα δεικτών Energy για το βαμβάκι για την περίοδο 2020-2049

### 6.3.2 Αραβόσιτος

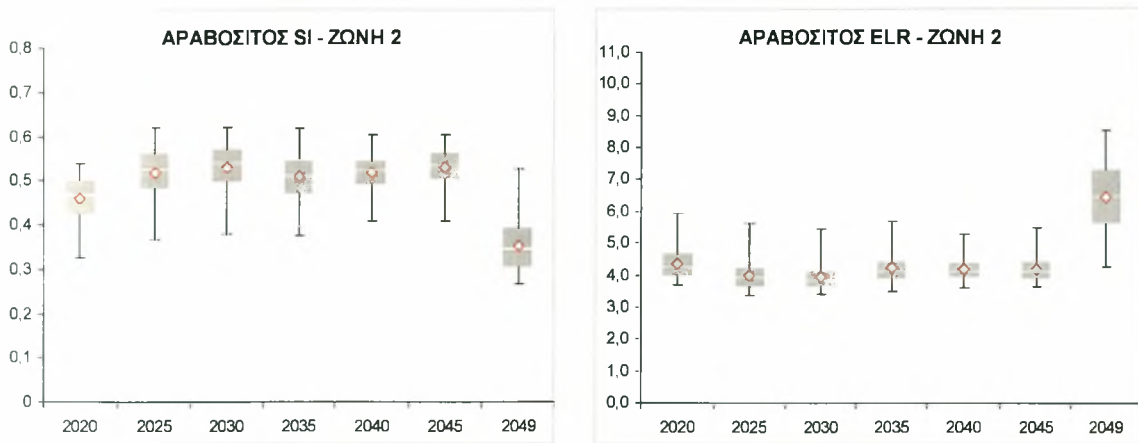
Η καλλιέργεια του αραβόσιτου στη ζώνη 1 εμφανίζει χαμηλό επίπεδο βιωσιμότητας με τιμές SI ανάμεσα στο 0,3 και 0,5, εκτός από το έτος 2040 που κυμαίνεται από 0,47 έως 0,57, ενώ την περίοδο 1998-2005 η μέση τιμή του δείκτη ήταν 0,65. Στις τιμές του ELR η άνοδος είναι ανάλογη, με τις μέσες τιμές κάθε πενταετίας της περιόδου 2020-2049 να κινούνται ανάμεσα στο 5-6.



Σχήμα 6.3.4 Θηκογράμματα δεικτών Energy για τον αραβόσιτο της περιόδου 2020-2049

Πίνακας 6.3.4 Τιμές δεικτών Energy για τον αραβόσιτο της περιόδου 1998-2005

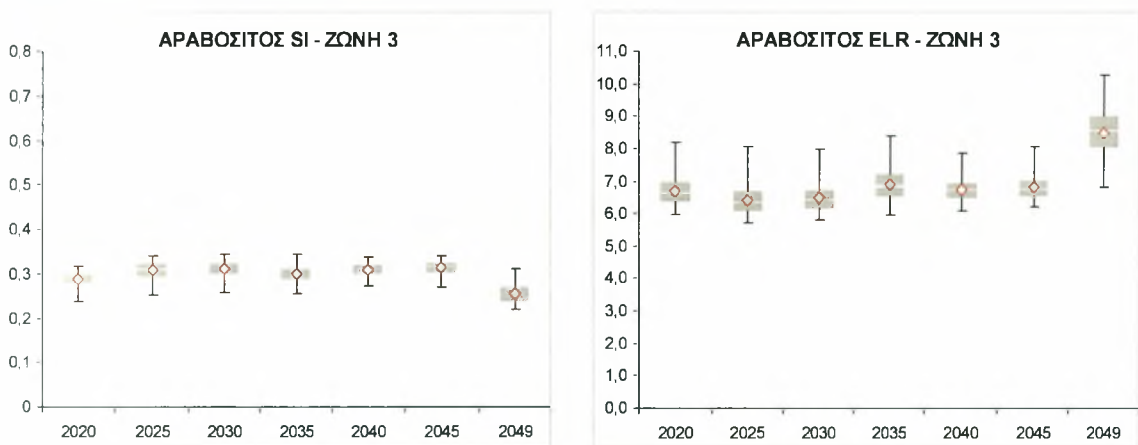
Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,73	0,62	0,64	0,59	0,67	0,65	0,59 - 0,73
ELR	2,78	3,11	3,06	3,27	2,95	3,04	2,78 - 3,27



Σχήμα 6.3.5 Θηκογράμματα δεικτών Eenergy για τον αραβόσιτο της περιόδου 2020-2049

Πίνακας 6.3.5 Τιμές δεικτών Eenergy για τον αραβόσιτο της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,51	0,63	0,64	0,64	0,60	0,60	0,51 - 0,64
ELR	3,97	3,11	3,08	3,09	3,33	3,31	3,08 - 3,97



Σχήμα 6.3.6 Θηκογράμματα δεικτών Eenergy για τον αραβόσιτο της περιόδου 2020-2049

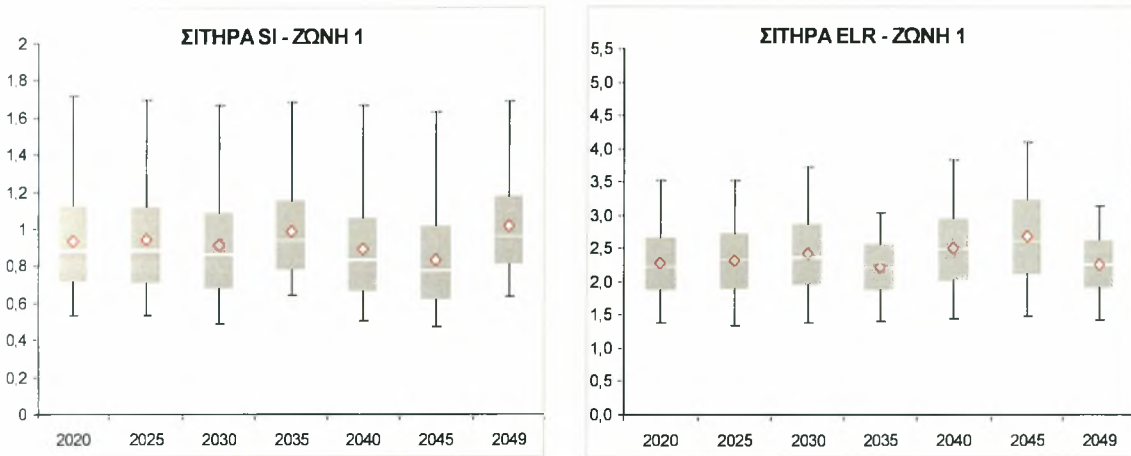
Πίνακας 6.3.6 Τιμές δεικτών Eenergy για τον αραβόσιτο της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,29	0,33	0,34	0,34	0,32	0,32	0,29 - 0,34
ELR	6,76	5,88	5,57	5,55	5,86	5,92	5,55 - 6,76

Στις ζώνες 2 και 3, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες μεταβολές σε σχέση με τα στοιχεία της ιστορικής περιόδου 1998-2005, με εξαίρεση πάντα το ξηρό έτος 2049. Ειδικά στη ζώνη 3 οι τιμές του SI είναι παρόμοιες ενώ στον ELR οι διαφορές είναι μικρές.

### 6.3.3 Σιτηρά

Τα σιτηρά αποτελούν βιώσιμη καλλιέργεια την περίοδο 1998-2005 με το δείκτη βιωσιμότητας στη ζώνη 1 να βρίσκεται στο 1,25 και τον ELR στην τιμή 1,69 (Πίνακας 6.3.7). Αντίθετα μελλοντικά ο δείκτης βιωσιμότητας μειώνεται και τείνει σε μέσες τιμές κάτω του 1, ενώ η αύξηση στον ELR είναι αντιστρόφως ανάλογη (Σχήμα 6.3.7).

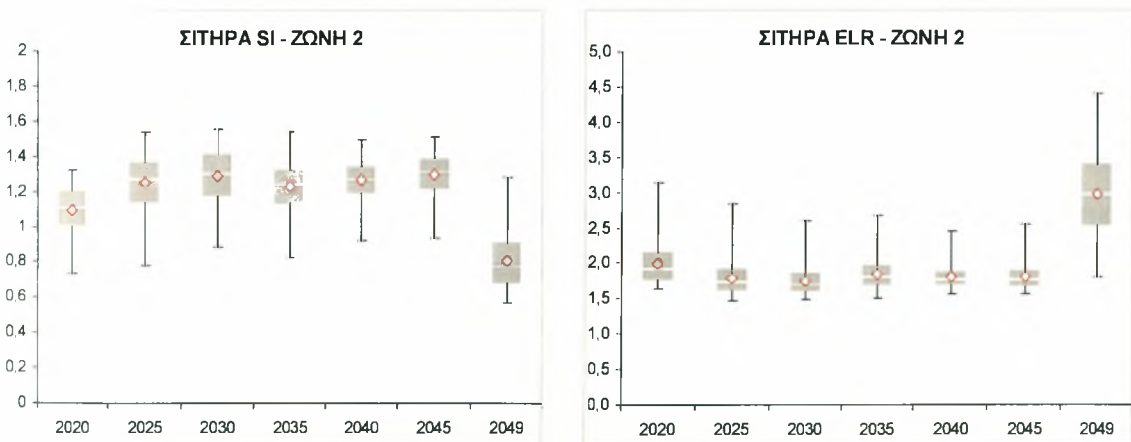


Σχήμα 6.3.7 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τα σιτηρά την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.7 Τιμές δεικτών Emergy για τα σιτηρά της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,96	1,42	1,25	1,28	1,33	1,25	0,96 - 1,42
ELR	2,07	1,51	1,67	1,64	1,58	1,69	1,51 - 2,07

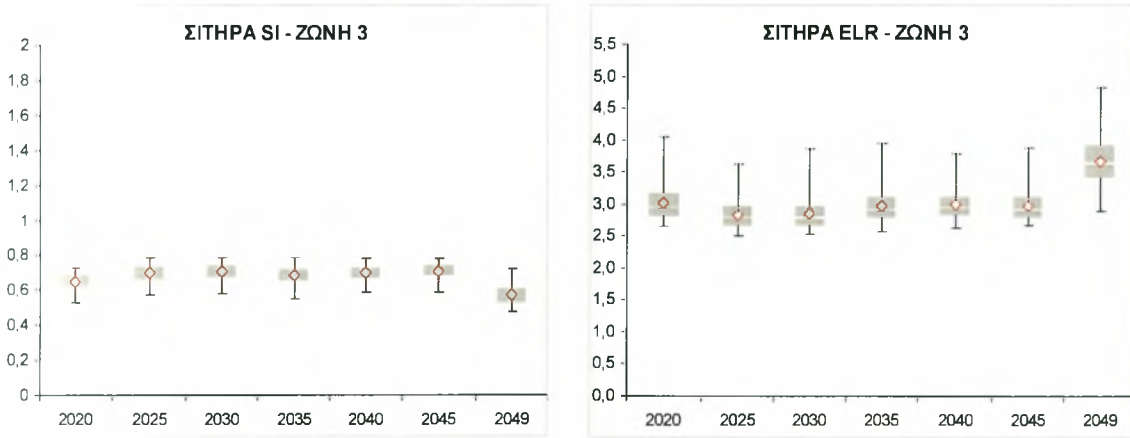
Αν και αντίστοιχη μεταβολή παρουσιάζεται και στη ζώνη 2, εντούτοις η καλλιέργεια εξακολουθεί να είναι βιώσιμη με το SI με εξαίρεση το έτος 2049.



Σχήμα 6.3.8 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τα σιτηρά για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.8 Τιμές δεικτών Emergy για τα σιτηρά της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	1,06	1,65	1,65	1,61	1,53	1,50	1,06 - 1,65
ELR	1,95	1,35	1,35	1,37	1,43	1,49	1,35 - 1,95



Σχήμα 6.3.9 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τα σιτηρά για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.9 Τιμές δεικτών Emergy για τα σιτηρά της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,58	0,80	0,80	0,79	0,75	0,74	0,58 - 0,80
ELR	3,25	2,42	2,45	2,47	2,59	2,64	2,42 - 3,25

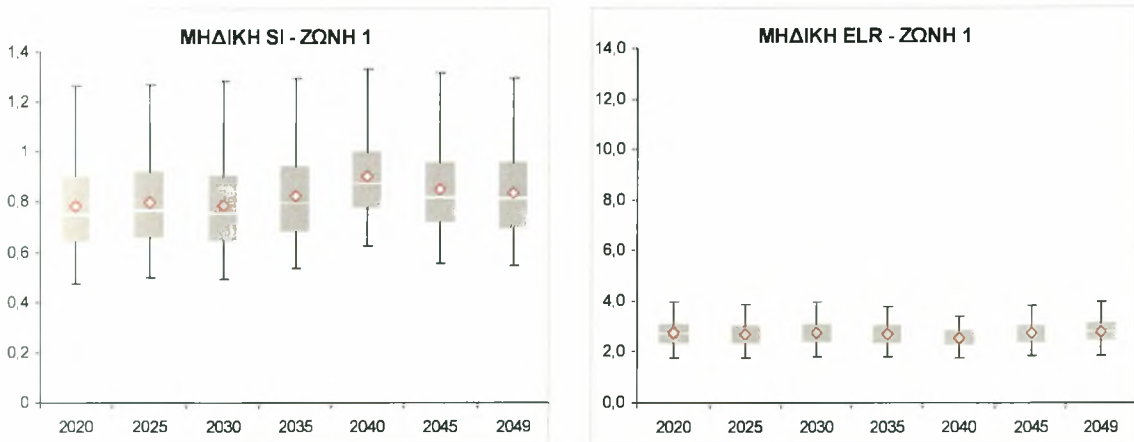
Τέλος, στη ζώνη 3 δεν παρουσιάζονται σοβαρές μεταβολές, δείγμα ότι η καλλιέργεια των σιτηρών ως σηρική καλλιέργεια δεν επηρεάζεται αρκετά από την κλιματική αλλαγή σε σύγκριση με καλλιέργειες που αντλούν μεγάλες ποσότητες υδάτων για την άρδευση τους.

#### 6.3.4 Μηδική

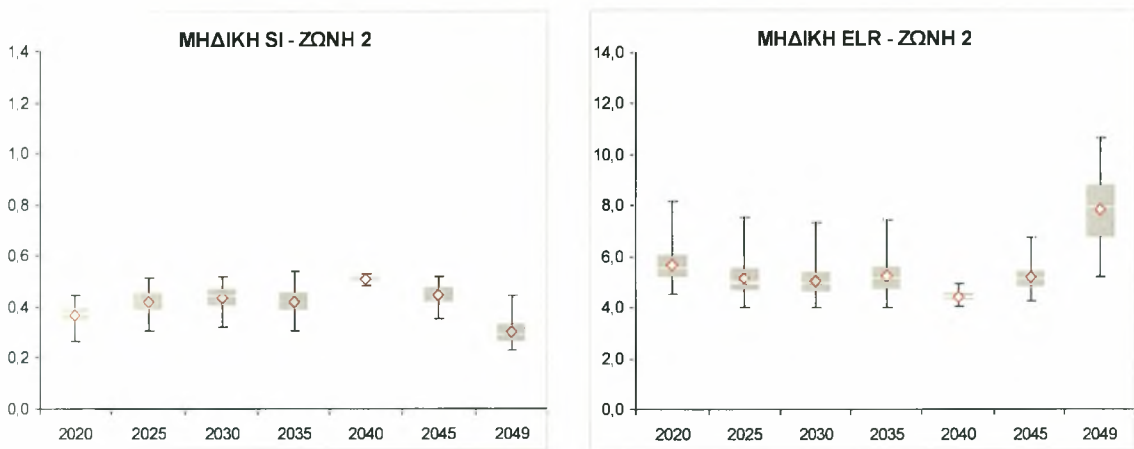
Στη καλλιέργεια της μηδικής παρατηρούμε μια εικόνα αντίστοιχη με αυτή του βαμβακιού. Ενώ κατά την περίοδο 1998-2005 η μηδική αποτελεί βιώσιμη καλλιέργεια (Πίνακας 6.3.10), μελλοντικά ο δείκτης μειώνεται αισθητά και παίρνει τιμές χαμηλότερες του 1 (Σχήμα 6.3.10). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο περισσότερες αρδευτικές ανάγκες έχει μια καλλιέργεια, τόσο μειώνεται μελλοντικά ο βαθμός βιωσιμότητας της, πράγμα πολύ φυσικό λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Πίνακας 6.3.10 Τιμές δεικτών Emergy για τη μηδική της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	1,03	0,96	1,17	1,10	1,23	1,10	0,96 - 1,23
ELR	1,90	2,00	1,79	1,89	1,73	1,86	1,73 - 2,00



Σχήμα 6.3.10 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τη μηδική για την περίοδο 2020-2049



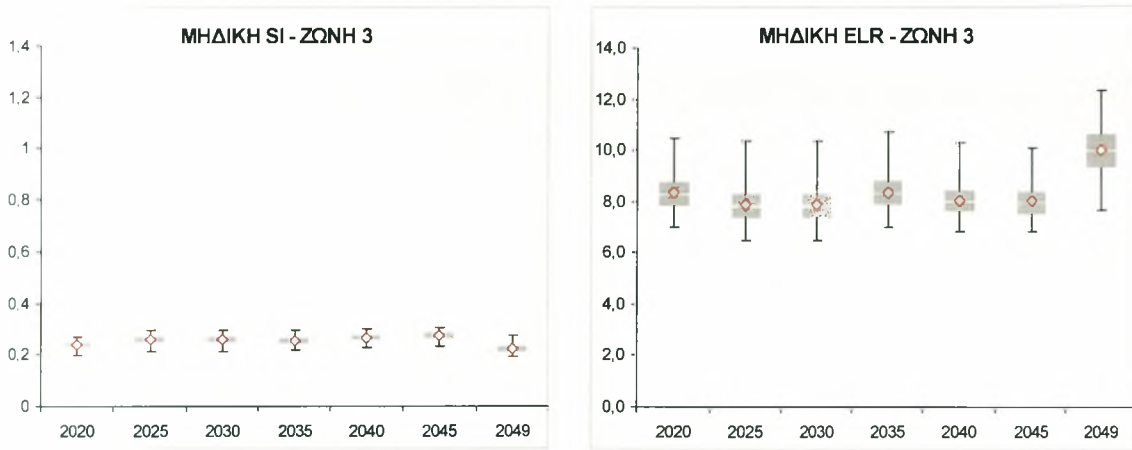
Σχήμα 6.3.11 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τη μηδική για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.11 Τιμές δεικτών Emergy για τη μηδική της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,33	0,43	0,50	0,49	0,46	0,44	0,33 - 0,50
ELR	6,01	4,48	4,28	4,29	4,66	4,74	4,28 - 6,01

Από την άλλη πλευρά, στις ζώνες 2 και 3 δεν παρατηρείται κάποια διαφοροποίηση όσον αφορά τη σύγκριση των χρονικών περιόδων. Άλλωστε, στις συγκεκριμένες περιοχές οι υψηλές αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας της μηδικής καλύπτονται και στην παρούσα φάση κυρίως από υπογείους μη ανανεώσιμους υδατικούς πόρους, οπότε οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής της μελλοντικής περιόδου δεν είναι τόσο εμφανείς. Ιδιαίτερα στη ζώνη 3 ο δείκτης βιωσιμότητας δεν ξεπερνά το 0,3 σε κανένα έτος είτε στην περίοδο 1998-2005 είτε μελλοντικά. Το ίδιο αμελητέα είναι και μεταβολή στο δείκτη ELR όπου οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο έτος 2049.





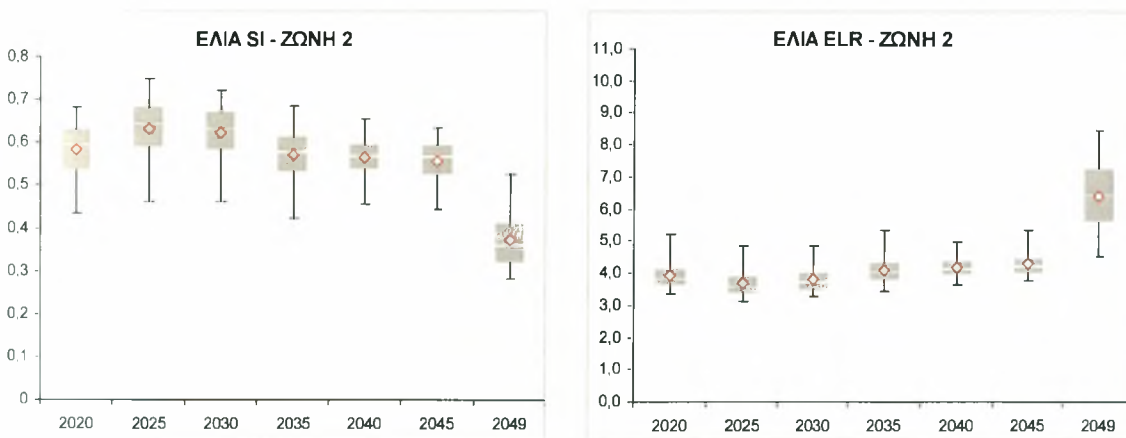
Σχήμα 6.3.12 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τη μηδική για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.12 Τιμές δεικτών Emergy για τη μηδική της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,19	0,23	0,27	0,27	0,26	0,24	0,19 - 0,27
ELR	9,86	8,03	7,44	7,38	7,89	8,12	9,86 - 7,38

### 6.3.5 Ελιές

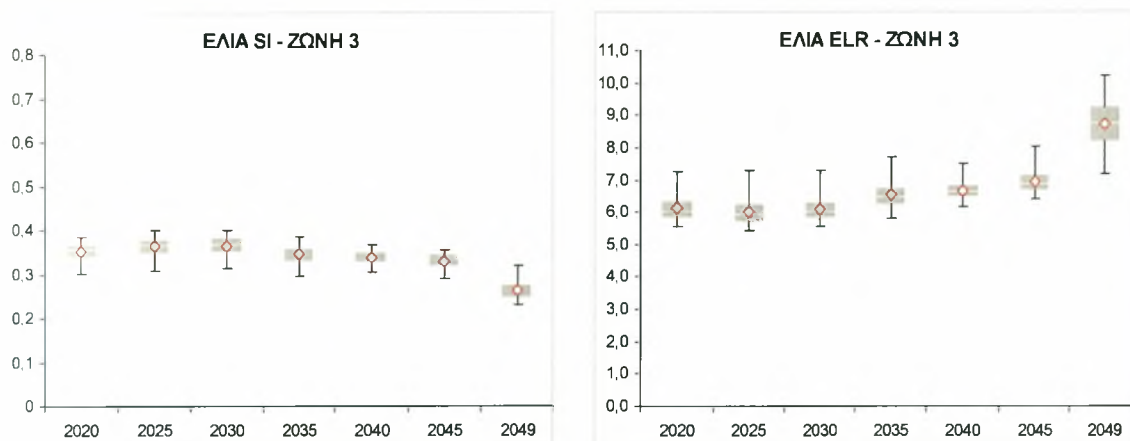
Στις ελιές στη ζώνη 2 ο δείκτης βιωσιμότητας κυμαίνεται στη μελλοντική περίοδο στο 0,55-0,68 (Σχήμα 6.3.13), παρουσιάζοντας μείωση της τάξεως του 20-30 % σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου 1998-2005 (Πίνακας 6.3.13). Επίσης, παρατηρείται μια αντίστοιχη αύξηση του δείκτη ELR, με μεγαλύτερες τις τιμές του έτους 2049. Κατά το ίδιο έτος η βιωσιμότητα ελαχιστοποιείται ενώ το έτος με το υψηλότερο SI είναι το 2025.



Σχήμα 6.3.13 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τις ελιές για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.13 Τιμές δεικτών Emergy για τις ελιές της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,61	0,91	0,88	0,86	0,83	0,82	0,61 - 0,91
ELR	3,52	2,60	2,61	2,65	2,73	2,82	2,60 - 3,52



Σχήμα 6.3.14 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τις ελιές για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.14 Τιμές δεικτών Emergy για τις ελιές της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,35	0,48	0,47	0,47	0,45	0,44	0,35 - 0,48
ELR	6,07	4,70	4,51	4,53	4,67	4,90	4,51 - 6,07

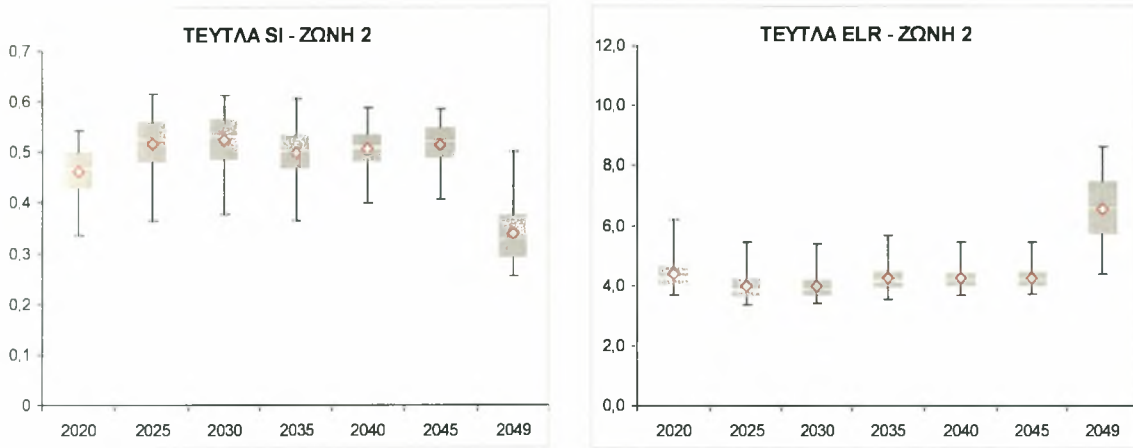
Από την άλλη πλευρά, στη ζώνη 3 οι μεταβολές είναι μικρότερες με τον SI να παρουσιάζει μείωση της τάξεως του 15 % περίπου και τις αποκλίσεις των τιμών κατά την μελλοντική περίοδο να είναι ελάχιστες (Σχήμα 6.3.14).

### 6.3.6 Τεύτλα

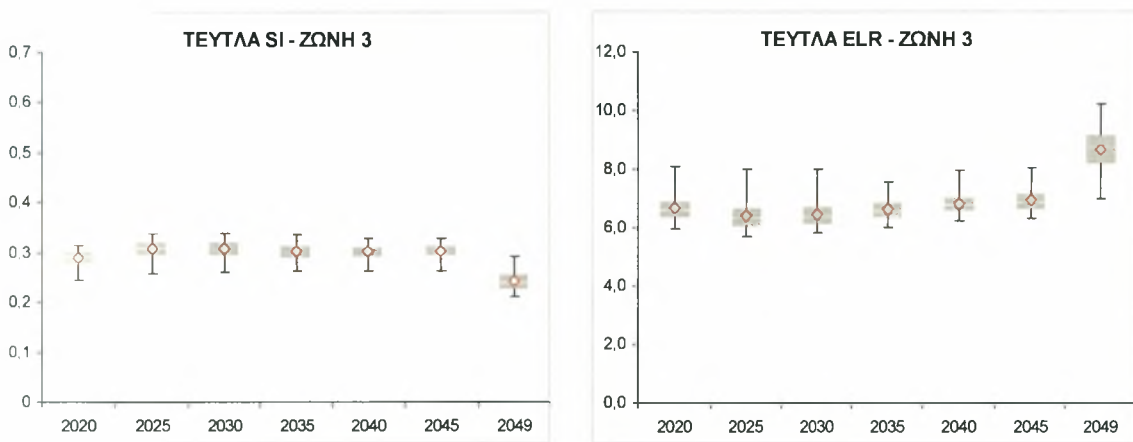
Στη ζώνη 2, η καλλιέργεια των τεύτλων παρουσιάζει μια μείωση στο δείκτη βιωσιμότητας της τάξης του 10-15% από τη μέση τιμή της περιόδου 1998-2005, με εξαίρεση το ξηρό έτος 2049 οπού εμφανίζει μέση τιμή ίση με του ξηρού έτους 1998 (0,35) (Σχήμα 6.3.15). Στο δείκτη ELR αντίστοιχα φαίνεται μια αύξηση των τιμών, των οποίων το εύρος κυμαίνεται μεταξύ 4-5 εκτός από το 2049 οπού η μέση τιμή αγγίζει το 6,2. Εξάλλου, στη ζώνη 3 οι διαφορές μεταξύ ιστορικής και μελλοντικής περιόδου είναι ελάχιστες και εντοπίζονται σε μια μικρή αύξηση του δείκτη ELR. Τέλος, και στη ζώνη 3 βλέπουμε την ομοιότητα στις τιμές μεταξύ των ετών 1998 και 2049 (Πίνακας 6.3.16).

Πίνακας 6.3.15 Τιμές δεικτών Emergy για τα τεύτλα της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,35	0,68	0,66	0,65	0,61	0,59	0,35 - 0,68
ELR	5,33	2,97	3,01	3,04	3,28	3,53	2,97 - 5,33



Σχήμα 6.3.15 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τα τεύτλα για την περίοδο 2020-2049



Σχήμα 6.3.16 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τα τεύτλα για την περίοδο 2020-2049

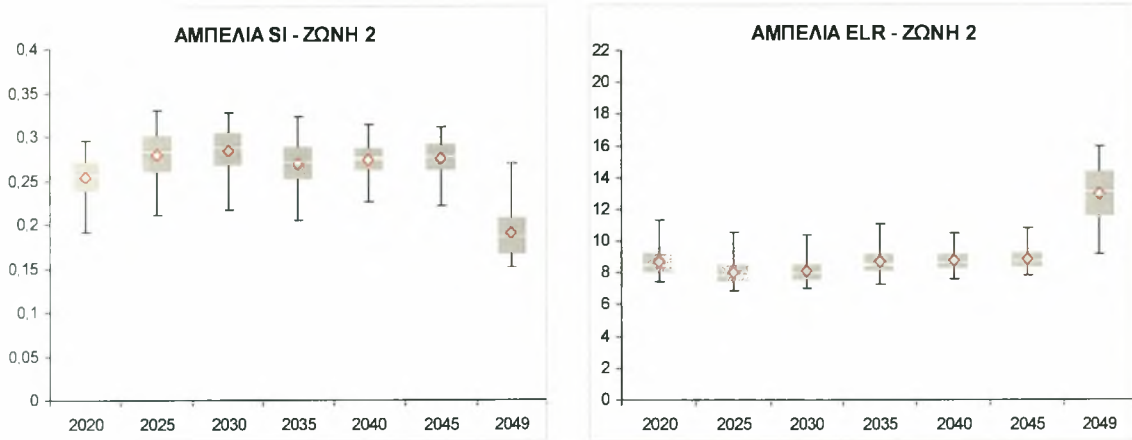
Πίνακας 6.3.16 Τιμές δεικτών Emergy για τα τεύτλα της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,20	0,35	0,35	0,34	0,33	0,31	0,20 - 0,35
ELR	8,92	5,64	5,44	5,38	5,74	6,23	5,38 - 8,92

### 6.3.7 Αμπέλια

Η καλλιέργεια των αμπελιών εμφανίζει πολύ μικρή βιωσιμότητα και στις δυο ζώνες, με τιμές του SI να είναι παρόμοιες με αυτές της περιόδου 1998-2005. Στον ELR οι τιμές

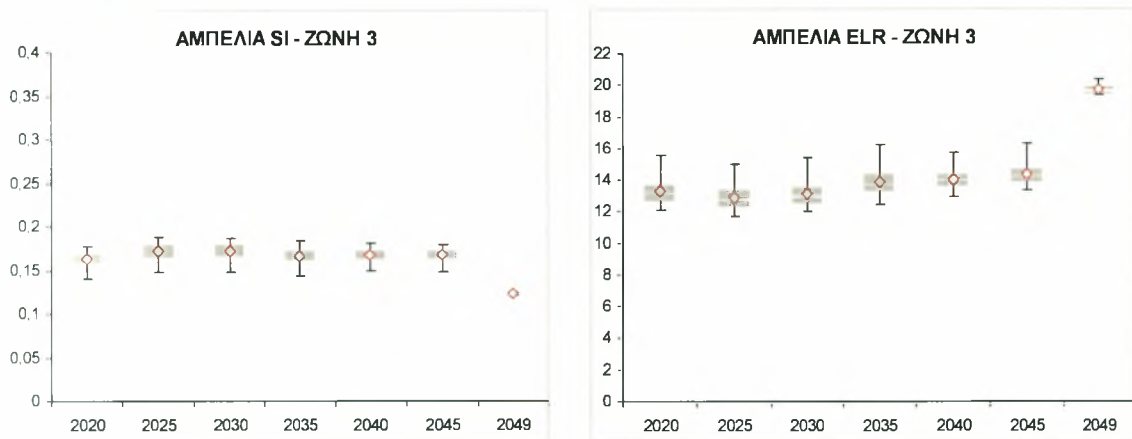
είναι γενικά αυξημένες, με υψηλότερες αυτές του έτους 2049, όπου στη ζώνη 2 αγγίζει το 14 και στη ζώνη 3 το 22. Αντίστοιχα, στο ίδιο έτος το SI λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές με το εύρος να βρίσκεται μεταξύ του 0,16-0,2 για τη ζώνη 2 και 0,12 για τη ζώνη 3.



Σχήμα 6.3.17 Θηκογράμματα δεικτών Energy για τα αμπέλια για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.17 Τιμές δεικτών Energy για τα αμπέλια της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 2	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,23	0,35	0,35	0,35	0,33	0,32	0,23 - 0,35
ELR	7,80	5,88	6,05	6,03	6,27	6,41	6,03 - 7,80

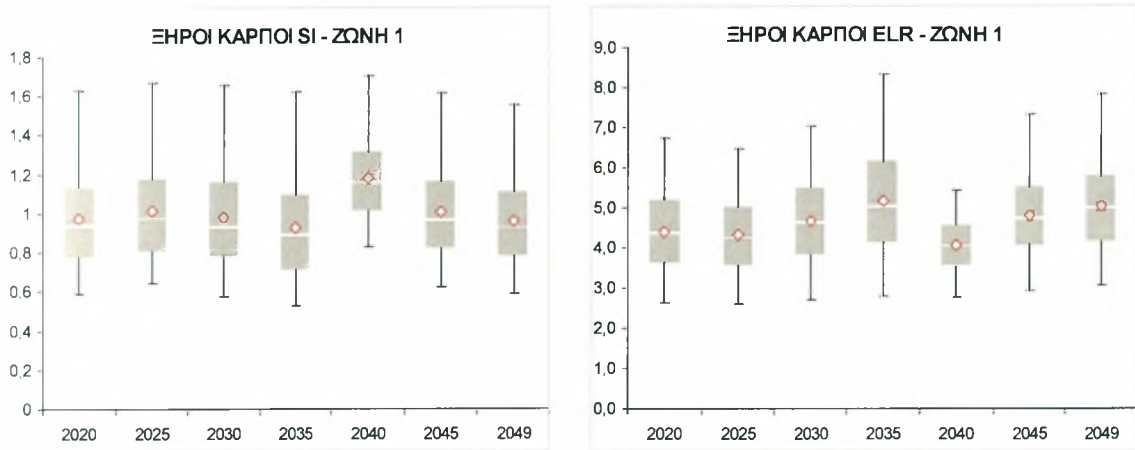


Σχήμα 6.3.18 Θηκογράμματα δεικτών Energy για τα αμπέλια για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.18 Τιμές δεικτών Energy για τα αμπέλια της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,14	0,19	0,19	0,20	0,19	0,18	0,14 - 0,20
ELR	13,02	10,47	10,51	10,39	10,77	11,03	10,39 - 13,02

### 6.3.8 Καρποί με κέλυφος (ξηροί καρποί)



Σχήμα 6.3.19 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τους καρπούς της περιόδου 2020-2049

Πίνακας 6.3.19 Τιμές δεικτών Emergy για τους καρπούς της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,94	1,33	1,55	1,46	1,60	1,38	0,94 - 1,33
ELR	2,74	2,69	2,50	2,64	2,41	2,60	2,41 - 2,74

Στη καλλιέργεια των ξηρών καρπών το εύρος των τιμών του δείκτη βιωσιμότητας βρίσκεται μεταξύ βιώσιμης και μη βιώσιμης κατάσταση, αφού κυμαίνεται από 0,8-1,2 περίπου, εκτός από το έτος 2040 οπού παίρνει τιμές εξολοκλήρου πάνω από 1 (Σχήμα 6.3.19). Αντίθετα, στην περίοδο 1998-2005 το εύρος τιμών είναι 0,94-1,33 (Πίνακας 6.3.19). Επίσης, στο δείκτη ELR παρατηρείται σημαντική αύξηση.

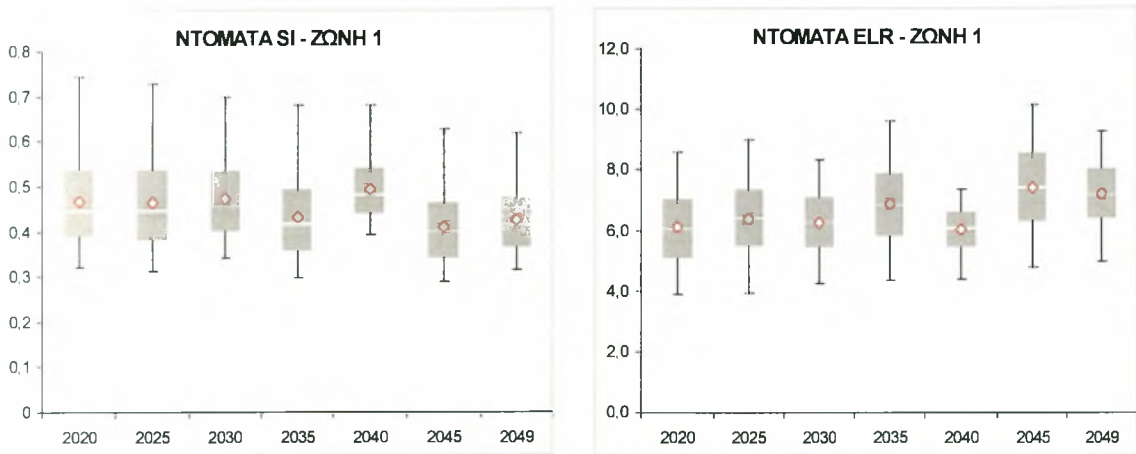
### 6.3.9 Ντομάτα (βιομηχανική)

Στη καλλιέργεια των ξηρών καρπών το εύρος των τιμών του δείκτη βιωσιμότητας βρίσκεται κυμαίνεται από 0,4-0,5 περίπου, ενώ το εύρος της περιόδου 1998-2005 είναι 0,27-0,81. Στο δείκτη ELR αντίστοιχα φαίνεται μια αύξηση των τιμών, των οποίων το εύρος κυμαίνεται μεταξύ 6-8 εκτός από το 2020 οπού οι τιμές είναι χαμηλότερες.

Πίνακας 6.3.20 Τιμές δεικτών Emergy για τη ντομάτα της περιόδου 1998-2005

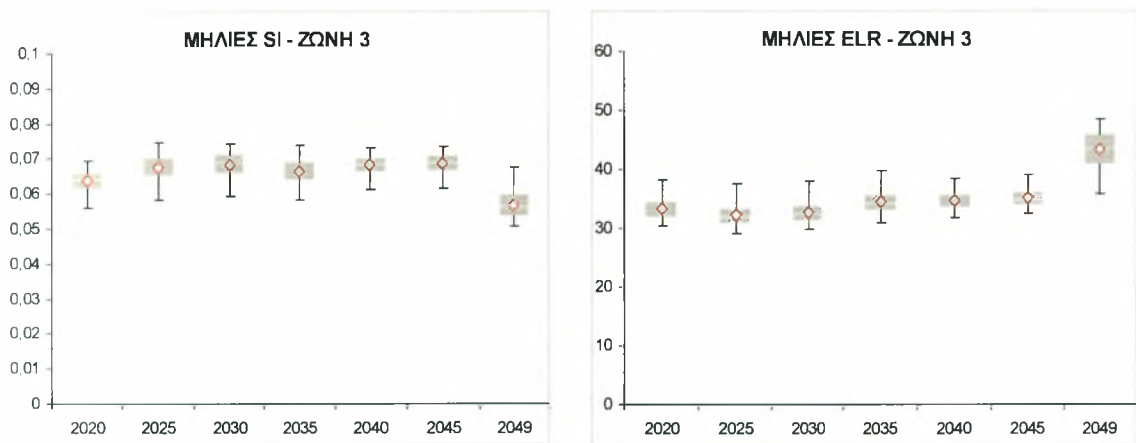
Ζώνη 1	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,27	0,42	0,71	0,63	0,81	0,57	0,27 - 0,81
ELR	7,26	5,20	3,90	4,39	3,38	4,83	3,38 - 7,26





Σχήμα 6.3.20 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τη ντομάτα για την περίοδο 2020-2049

### 6.3.10 Μηλιές



Σχήμα 6.3.21 Θηκογράμματα δεικτών Emergy για τις μηλιές για την περίοδο 2020-2049

Πίνακας 6.3.21 Τιμές δεικτών Emergy για τις μηλιές της περιόδου 1998-2005

Ζώνη 3	1998	2002	2003	2004	2005	Μέση τιμή	Εύρος τιμών
SI	0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06 - 0,08
ELR	30,07	26,28	26,75	26,87	27,72	27,54	26,28 - 30,07

Η καλλιέργεια των μηλιών εμφανίζει μηδαμινή βιωσιμότητα, με τις τιμές του SI να είναι παρόμοιες με αυτές της περιόδου 1998-2005. Στον ELR οι τιμές είναι γενικά αυξημένες, με υψηλότερες αυτές του έτους 2049, όπου στη ζώνη 2 αγγίζει το 45. Αντίστοιχα, στο ίδιο έτος το SI λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές.

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

### 7.1 ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι εναλλακτικές καλλιέργειες που ερευνηθήκαν είναι ο ηλίανθος, η αγριαγκινάρα, η ελαιοκράμβη, το σόργο και ο μίσχανθος. Για τις καλλιέργειες αυτές παρήχθησαν στοιχεία παραγωγής από το Εργαστήριο Γεωργίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα από τον καθ. Νικόλαο Δαναλάτο, τα οποία εισήχθησαν στη μέθοδο Emergy για το έτος 2005. Έπειτα, μελετήθηκε η συμπεριφορά των καλλιεργειών για την μελλοντική περίοδο 2020-2049 με το επιτόκιο που αναλυθήκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών, οι τιμές του παράγοντα  $kc$  είναι ίδιος με την καλλιέργεια των σιτηρών. Οι εναλλακτικές καλλιέργειες μελετηθήκαν και στις τρεις ζώνες με έκταση 1 εκτάριο. Στις παρακάτω παραγράφους αναφέρονται ορισμένες πληροφορίες για κάθε εναλλακτική καλλιέργεια.

#### 7.1.1 Ηλίανθος (*Helianthus annuus*)

Ο ηλίανθος (*helianthus annuus*) αποτελεί ποώδες φυτό των εύκρατων χωρών, μονοετές ή πολυετές, με κεφάλια μεγάλες μαργαρίτες που στρέφονται προς τον ήλιο και ακολουθούν την πορεία του κατά τη διάρκεια της μέρας. Καλλιεργείται για τους εδώδιμους καρπούς του που ονομάζονται ηλίόσποροι, το ηλιέλαιο που παράγεται από αυτούς αλλά και για καλλωπιστικούς λόγους. Στην Ελλάδα η καλλιέργεια του συγκεντρώνεται κυρίως στο βορειο-ανατολικό μέρος της χώρας. Η συνολική

καλλιεργημένη έκταση, καθώς και η συνολική παραγωγή με ηλίανθο σχεδόν διπλασιάστηκαν (2 εκατ. στρέμματα το 1991 και 3,6 εκατ. στρέμματα το 1999), με μια ετήσια παραγωγή των 0,033 εκατ. τόνων και 0,050 εκατ. τόνων αντίστοιχα (ΕΣΥΕ). Ο σπόρος του ηλίανθου περιέχει 30%-45% έλαιο. Καλλιεργείται κυρίως ως πηγή φυτικού ελαίου διατροφής, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ. Από ένα στρέμμα ηλίανθου παράγονται περίπου 1150 κιλά σπόρος με αντίστοιχη παραγωγή σε βιοντίζελ 43-75 κιλά. Τα πλεονεκτήματα του ηλίανθου είναι ελάχιστα έξοδα, υψηλή τιμή με συμβόλαιο (η τιμή του έχει ανέβει 2.35 φορές από το 2006), πολύ λιγότερες αρδεύσεις (δύο φορές είναι αρκετές), ιδανική καλλιέργεια για επανασπορά, ενεργειακή καλλιέργεια με διπλή χρήση, για τροφή και βιοντίζελ. Το 80% της παγκόσμιας παραγωγής ηλίανθου παράγεται στην Ευρώπη και η καλλιέργεια αναμένεται να αυξηθεί και άλλο λόγω της τεράστιας ζήτησης του λαδιού αλλά και της προσαρμογής της καλλιέργειας σε ξηροθερμικές συνθήκες. Ας μην ξεχνάμε ότι οι γειτονικές και οι μεσογειακές χώρες έχουν τεράστιες εκτάσεις ηλίανθου.

### 7.1.2 Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*)

Η αγριαγκινάρα (*cynara cardunculus*) είναι ένα πολυετές βαθύρριζο φυτό Μεσογειακής προέλευσης, καλά προσαρμοσμένο στις ξηροθερμικές συνθήκες της Ν. Ευρώπης. Το ύψος του φυτού μπορεί να φτάσει μέχρι 3 m. Η εγκατάσταση της καλλιέργειας γίνεται με σπόρο. Η ανάπτυξη της αρχίζει με τις πρώτες βροχές του φθινοπώρου και συνεχίζεται εκμεταλλεζόμενη τις βροχές του χειμώνα και της άνοιξης μέχρι τις αρχές του θέρους όταν η υγρασία του εδάφους μειωθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η αγριαγκινάρα εκμεταλλεύεται άριστα τις χειμερινές βροχές και δίνει υψηλές αποδόσεις χωρίς άρδευση. Η απόδοση σε ξηρή ουσία κυμαίνεται από 1200-1600 kg σε μη αρδευόμενα χωράφια ενώ με 2-3 αρδεύσεις από τα μέσα Απριλίου μέχρι το τέλος Μαΐου (στην περίοδο αυτή η διαθεσιμότητα νερού είναι υψηλή σε πολλές περιοχές) οι αποδόσεις κυμαίνονται από 2.000-2.500 κιλά ξηρής ουσίας ανά στρέμμα, ενώ συχνά οι στρεμματική απόδοση φτάνει και τα 3.000 κιλά. Πρέπει να τονιστεί ότι σε αντίθεση με άλλες καλλιέργειες, η καλλιέργεια της αγριαγκινάρας έχει πολύ μικρό κόστος παραγωγής. Από τη βιομάζα της αγριαγκινάρας μπορεί να παραχθεί μια ευρύτατη γκάμα ενεργειακών προϊόντων με καύση, πυρόλυση, υγροποίηση ή αεριοποίηση της βιομάζας. Έτσι μπορούν να παραχθούν όλων των ειδών τα βιοκαύσιμα (στερεά-υγρά-αέρια).

- Υγρά βιοκαύσιμα: παραγωγή από την αγριαγκινάρα 2ης γενιάς βιοντίζελ

- Αέρια βιοκαύσιμα: παραγωγή βιοαερίου και βιο-υδρογόνου από αγριαγκινάρα.
- Στερεά βιοκαύσιμα: η βιομάζα της αγριαγκινάρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για καύση και παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, είτε να μετατραπεί σε στερεά μορφοποιημένα βιοκαύσιμα (πελλέτες και μπριγκέτες) κατόπιν συμπίεσης. Οι πελλέτες είναι κατάλληλες για όλους τους καυστήρες, ενώ οι μπριγκέτες για μεγάλης ισχύος καυστήρες πάνω από 500 kW.

- Ηλεκτροπαραγωγή: αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα αγριαγκινάρας, γενικά προτιμώνται τα συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού γιατί επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης της τάξης του 80-90% (απόδοση σε ηλεκτρισμό 30-34%). Η θερμότητα που παράγεται συνήθως χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση οικισμών. Χρησιμοποιούνται μικρής δυναμικότητας μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (1-100 MW) διεσπαρμένες σε αγροτικές περιοχές, δηλαδή σε κοντινή απόσταση από την πρώτη ύλη.

Πρέπει να τονιστεί ότι, η παραγωγή βιοαερίου, η ηλεκτροπαραγωγή και η παραγωγή πελλετών και μπριγκέτων από αγριαγκινάρα είναι άμεσα οικονομικά βιώσιμη και επικερδής με τις σημερινές τιμές του πετρελαίου, ενώ η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων θα γίνει οικονομικά βιώσιμη στο κοντινό μέλλον και του υδρογόνου μακροπρόθεσμα.

### 7.1.3 Ελαιοκράμβη (Canola)

Η ελαιοκράμβη (*canola*) είναι ετήσιο φυτό και ανήκει στη οικογένεια των Σταυρανθών ή Βρασσικίδων. Πολλαπλασιάζεται με σπόρο και καλλιεργείται κυρίως σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή ελαίου και σε μικρότερη έκταση για τα φύλλα της (για ανθρώπινη κατανάλωση, ζωοτροφή και λίπανση). Μετά την εξαγωγή του ελαίου, τα υπολείμματα της (η λεγόμενη πίτα) χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία, καθώς έχουν πλούσια περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη. Η ελαιοκράμβη θεωρείται παγκοσμίως ως το τρίτο σημαντικότερο ελαιοπαραγωγό φυτό μετά τη σόγια και το φοινικέλαιο. Από ένα στρέμμα ελαιοκράμβη παράγονται κατά μέσο όρο 120-250 κιλά σπόρος με αντίστοιχη παραγωγή 43-90 λίτρα βιοντίζελ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αποδόσεις των καλλιεργειών ελαιοκράμβης, κυμαίνονται μεταξύ 170 και 180 κιλών ανά στρέμμα στα πολύ αδύνατα χωράφια -όταν τα αντίστοιχα χωράφια σιταριού αποφέρουν παραγωγή μεταξύ των 80 με 100 κιλών- ενώ σε κάποιες περιπτώσεις φτάνει μέχρι και 320 κιλά σε πιο καλά αλλά πάντοτε ξηρικά χωράφια. Στα ποτιστικά χωράφια, ξεπέρνα τα 460 κιλά ανά στρέμμα. Αναλύοντας το κόστος παραγωγής είναι προφανές ότι το κόστος σποράς (εάν ο

παραγωγός δεν διαθέτει σπαρτική μηχανή) ανέρχεται σε 3 ευρώ/στρέμμα. Ο σπόρος της ελαιοκράμβης μετά την μεταποίηση παράγει δυο προϊόντα, το κραμβέλαιο και το κραμβάλυρο. Το κραμβέλαιο είναι το μόνο λάδι που πληρεί στο 100% τις προδιαγραφές τις Ε.Ε. για την παραγωγή βιοντίζελ, αλλά επισημαίνεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αυτούσιο βιοκαύσιμο (κάτι που γίνεται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες) με μια μικρή μετατροπή στον κινητήρα. Το κραμβάλυρο είναι προϊόν πλούσιο σε πρωτεΐνες (34%), που προορίζεται για ζωοτροφή και προς μερική αντικατάσταση τις σόγιας χαμηλώνοντας έτσι το κόστος παραγωγής ζωοτροφών. Τέλος τα στελέχη της ελαιοκράμβης χρησιμοποιούνται ως βιομάζα για παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η καλλιέργεια ελαιοκράμβης είναι μια μονοετής καλλιέργεια και για το λόγο αυτό, δεν δεσμεύει τον παραγωγό για πολλά χρόνια με το ρίσκο τον επόμενο ή τον μεθεπόμενο χρόνο να μην υπάρχει ζήτηση και ο παραγωγός να μην ξέρει τι να κάνει το προϊόν του παραμένοντας δέσμιος για πολλά χρόνια. Αντίθετα του παρέχει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Πρώτα από όλα η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης «ξεκουράζει» το χωράφι με συνέπεια την επόμενη χρόνια όταν θα σπαρθεί σιτάρι ή κριθάρι να επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις. Καλλιεργώντας δε ένας παραγωγός, κάθε χρόνο σε ένα κομμάτι από το σύνολο των χωραφιών του ελαιοκράμβη (το 35% περίπου) συμβάλει άμεσα και στην διατήρηση των τιμών των άλλων προϊόντων που σπέρνει σε υψηλά επίπεδα μιας και θα μειωθεί η πιθανότητα υπερπαραγωγής και κατά συνέπεια η μείωση των τιμών. Σύμφωνα με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) η καλλιέργεια της ελαιοκράμβης, είναι επιδοτούμενη καλλιέργεια και θα μπορούσε να αποτελέσει ουσιαστική απάντηση στο πρόβλημα της αντικατάστασης των καλλιεργειών βαμβακιού, σιταριού, ντομάτας κ.α., που επιβάλλει η Ε.Ε. Σε συνδυασμό δε με την υψηλή απόδοση της καλλιέργειας της ελαιοκράμβης, πολλαπλασιάζεται το εισόδημα του καλλιεργητή.

#### 7.1.4 Σόργο (Sorghum)

Το σόργο (*sorghum*) είναι ένα μονοετές φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα. Προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορα είδη εδαφών και σε ποικίλες κλιματικές συνθήκες. Το σόργο μπορεί να καλλιεργηθεί από τις βορειότερες έως τις νοτιότερες περιοχές της Ελλάδας, σε εύφορα αλλά και υποβαθμισμένα εδάφη. Οι αποδόσεις με βάση την παραγωγή φτάνουν τους 1,2 τόνους/στρέμμα. Απορεί να εξασφαλιστεί, θεωρητικά, μέση παραγωγή 675 λίτρων αιθανόλης/στρέμμα. Σε πολλά μέρη



του κόσμου διάφορα είδη γοργού χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα και διάφορα είδη διατροφής. Το σόργο έχει μοναδικές ιδιότητες που το καθιστούν κατάλληλο για χρήση ως τροφίμων. Ορισμένες ποικιλίες σόργου είναι πλούσιες σε αντιοξειδωτικά και όλες οι ποικιλίες σόργου είναι χωρίς γλουτένη, μια ελκυστική εναλλακτική λύση για τους αλλεργικούς στο σιτάρι. Το σόργο σε κόκκους είναι η τρίτη σημαντικότερη καλλιέργεια δημητριακών που καλλιεργούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και η πέμπτη πιο σημαντική καλλιέργεια δημητριακών που καλλιεργούνται στον κόσμο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός στον κόσμο στο σόργο ακολουθούμενη από την Ινδία και τη Νιγηρία. Είναι μια ηγετικής μορφής δημητριακών που παράγονται στην Αφρική και αποτελεί μια σημαντική πηγή τροφίμων στην Ινδία. Μεγαλύτεροι εξαγωγείς είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστραλία και την Αργεντινή. Το σόργο είναι επίσης ένα σημαντικό διατροφή των ζώων που χρησιμοποιείται σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, το Μεξικό, τη Νότια Αμερική και την Αυστραλία. Καλής ποιότητας είδη σόργου είναι διαθέσιμα με θρεπτική αξία ισοδύναμη με εκείνη του καλαμποκιού.

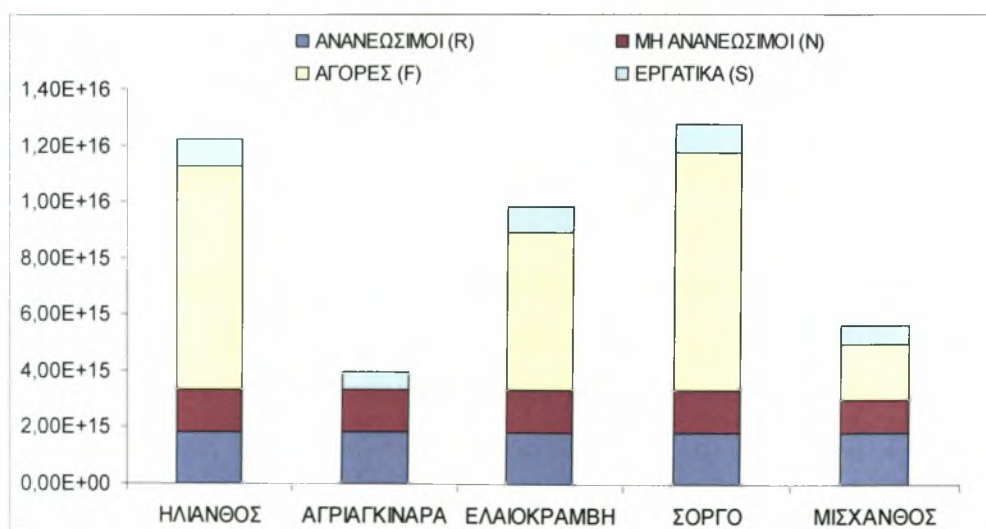
### 7.1.5 Μίσχανθος (*Miscanthus sinensis*)

Ο μίσχανθος (*Miscanthus sinensis*) είναι ένα πολυετές αγρωστώδες φυτό. Καλλιεργείται για την πλούσια σε λιγνοκυτταρινούχες ενώσεις βιομάζα του, η οποία μετά από συμπίεση συσσωματώνεται και παράγεται στερεό καύσιμο (πελέτες), το οποίο με την καύση του παράγει θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια. Ο πολλαπλασιασμός του μίσχανθου γίνεται κυρίως με ριζώματα. Μετά την εγκατάστασή τους, τα ριζώματα αυξάνονται οριζόντια προς όλες τις κατευθύνσεις και το φυτό εξαπλώνεται σε μεγάλη απόσταση από την αρχική θέση εγκατάστασής του και καταλαμβάνει όλο τον διαθέσιμο χώρο. Αναπτύσσει πλούσιο ριζικό σύστημα σε βάθος ένα μέτρο. Τα στελέχη του είναι όρθια ανάπτυξης με διάμετρο περίπου 1 εκατοστό και υπό ευνοϊκές συνθήκες φτάνει σε ύψος μέχρι και 4 μέτρα. Τα ριζώματα λαμβάνονται το φθινόπωρο από φυτά ηλικίας μεγαλύτερης των δύο ετών και τεμαχίζονται σε μήκος 10 εκατοστών και στη συνέχεια αποθηκεύονται σε θερμοκρασία -1 έως +1°C. Φυτεύονται τον Απρίλιο όταν η θερμοκρασία εδάφους ξεπεράσει τους 10° C, σε βάθος 3-6 εκατοστά, περίπου 1.500 φυτά ανά στρέμμα. Ο μίσχανθος είναι φυτό θερμών κλιμάτων και γι' αυτό απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για την άριστη ανάπτυξή του. Ο μίσχανθος, όπως και ο αραβόσιτος, είναι C4 φυτά, τα οποία είναι πιο αποδοτικά στο να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε βιομάζα από τα C3 φυτά. Το υβρίδιο όμως *Miscanthus x giganteus* προϊόν διασταύρωσης

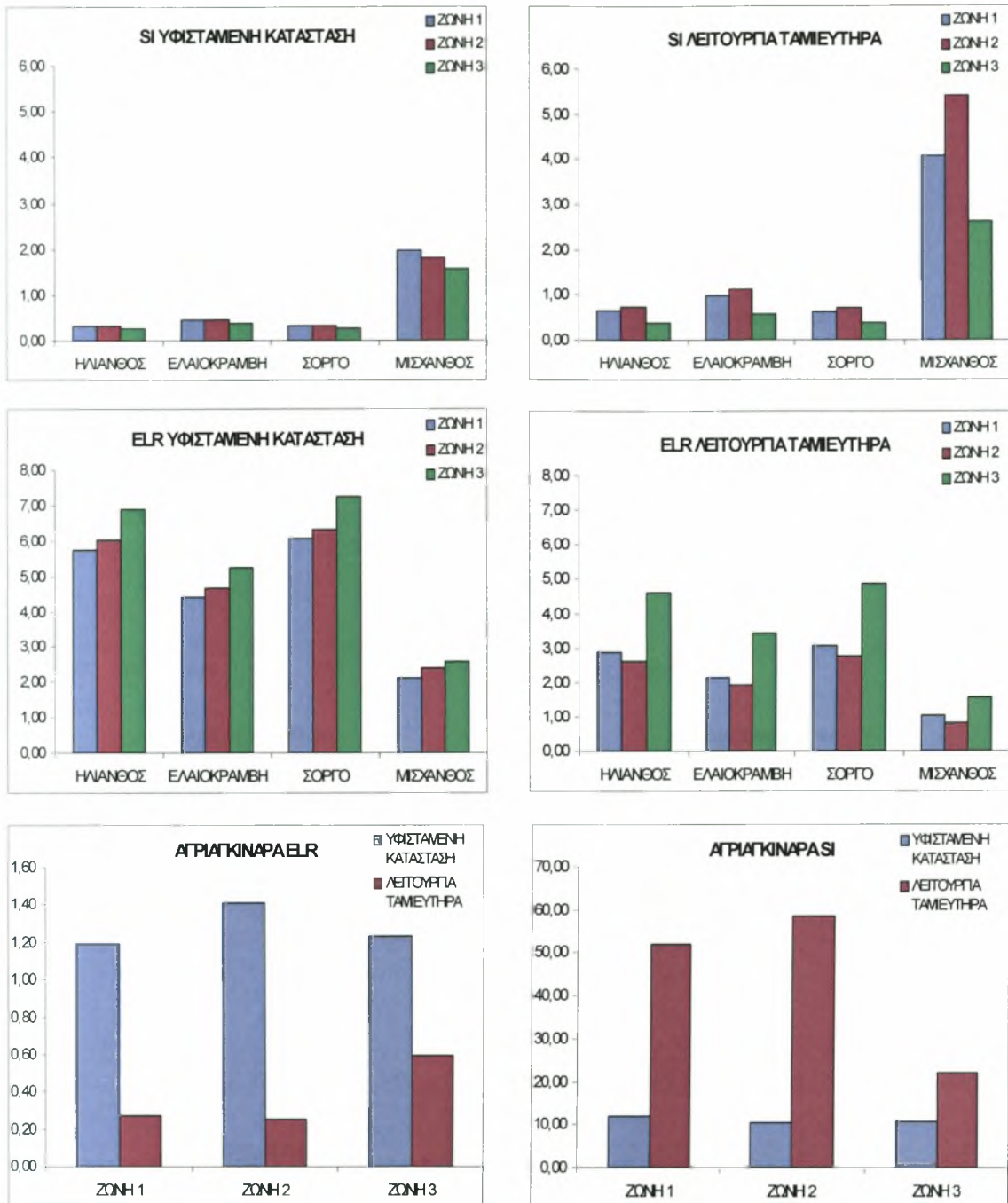
μεταξύ των *M. sinensis* και *M. Sacchariflorus* είναι ένα από τα πιο γνωστά παραγωγικά φυτά, διότι, εκτός των άλλων, έχει την ικανότητα να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια και σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν άλλα φυτά μειώνουν τον ρυθμό φωτοσύνθεσης. Το νερό είναι σημαντικό για την ανάπτυξη του μίσχανθου ιδιαίτερα τον πρώτο χρόνο εγκατάστασης της φυτείας καθώς και τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπου σύμφωνα με έρευνες οι ανάγκες του φυτού μπορεί να ξεπεράσουν τα 6-7 χλστ. ημερησίως. Η ζιζανιοκτονία είναι θέμα που απασχολεί τον καλλιεργητή μόνο κατά τα πρώτα χρόνια εγκατάστασης της φυτείας. Καταπολέμηση των ζιζανίων γίνεται χημικά ή μηχανικά. Στα επόμενα έτη και αφού το φυτό έχει εγκατασταθεί πλήρως, δρα ανταγωνιστικά με τα ζιζάνια και η πλούσια και ψηλή ανάπτυξή του σκιάζει και εμποδίζει την ανάπτυξη ζιζανίων. Οι αποδόσεις στη νότια Ευρώπη κυμαίνονται στους 2,5 τόνους ξηράς ουσίας ανά στρέμμα και είναι υψηλότερες από αυτές της βόρειας Ευρώπης. Η καλλιέργεια έχει διάρκεια ζωής περισσότερο από 15 χρόνια και οι απαιτήσεις της είναι ελάχιστες μετά τα δυο πρώτα χρόνια εγκατάστασης.

## 7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2005

Στο Σχήμα 7.2.1 παρουσιάζονται οι εισροές πόρων που καταναλώνει κάθε καλλιέργεια. Οι διαφορές εντοπίζονται στα οικονομικά αγαθά δηλαδή τις αγορές και τα εργατικά. Οι καλλιέργειες του ηλιάνθου και του σόργου έχουν τις μεγαλύτερες εισροές, ενώ ακολουθεί η ελαιοκράμβη. Από την άλλη πλευρά, εμφανώς λιγότερες εισροές καταναλώνουν οι καλλιέργειες του μίσχανθου και της αγριαγκινάρας, η οποία απαιτεί μηδενικές αγορές.



Σχήμα 7.2.1 Εισροές ανά καλλιέργεια



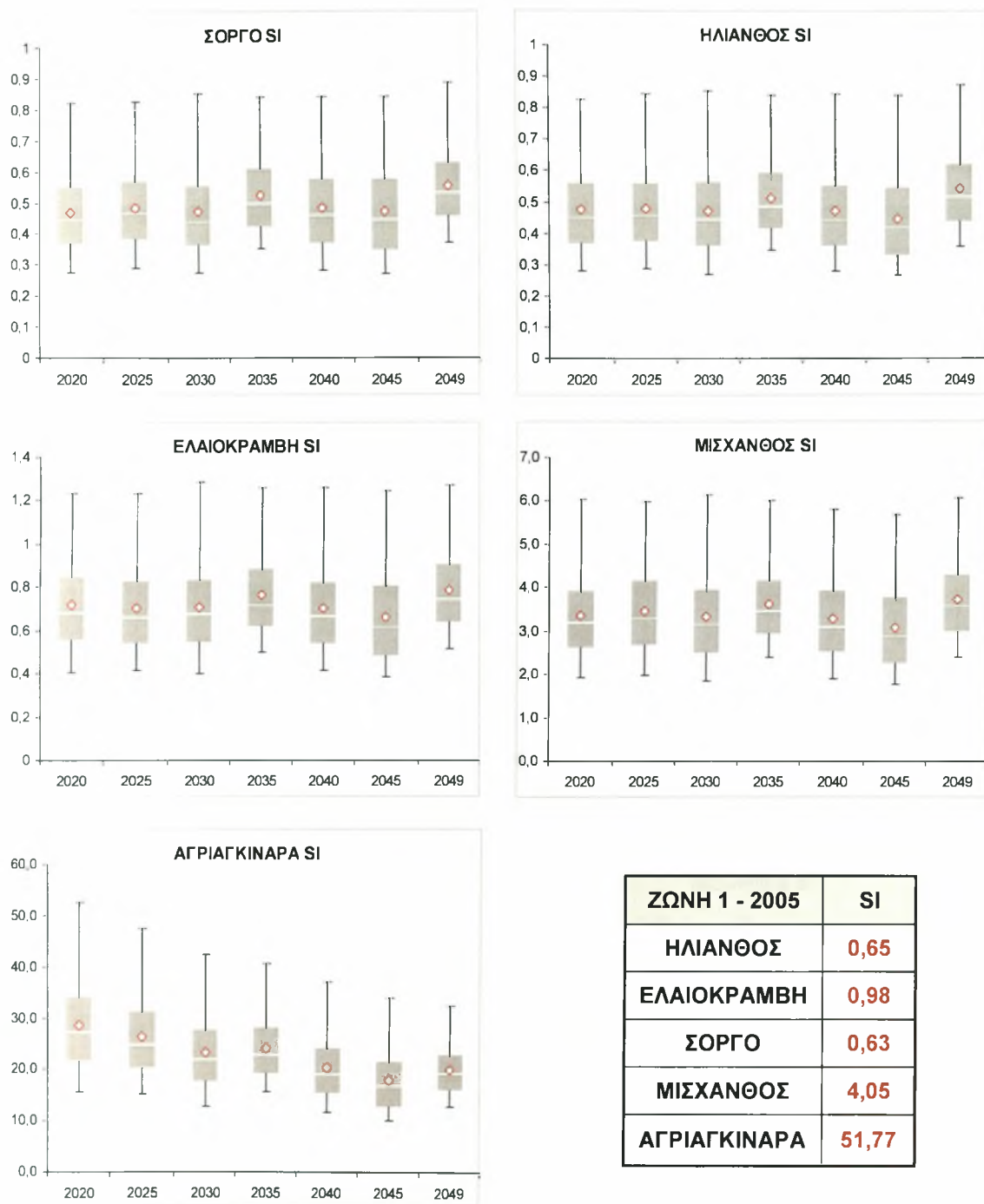
Σχήμα 7.3.2 Συγκριτικά διαγράμματα δεικτών Emergy

Όπως παρατηρούμε στα παραπάνω σχήματα, στην υφισταμένη κατάσταση μόνο ο μίσχανθος και η αγριαγκινάρα θεωρούνται βιώσιμες καλλιέργειες, λόγω των περιορισμένων αγορών που καταναλώνουν (λιπάσματα, φυτοφάρμακα). Με τη λειτουργία του ταμιευτήρα, και η ελαιοκράμβη προσεγγίζει την κρίσιμη τιμή 1 του δείκτη βιωσιμότητας αλλά μόνο στις ζώνες 1 και 2. Από την άλλη πλευρά, ο δείκτης SI για τις καλλιέργειες ηλιανθου και σόργου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα.

### 7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΩΝ EMERGY ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2020-2049

Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζεται το εύρος τιμών του δείκτη βιωσιμότητας κάθε καλλιέργειας ανά ζώνη κατά την μελλοντική περίοδο 2020-2049.

#### 7.3.1 Ζώνη 1

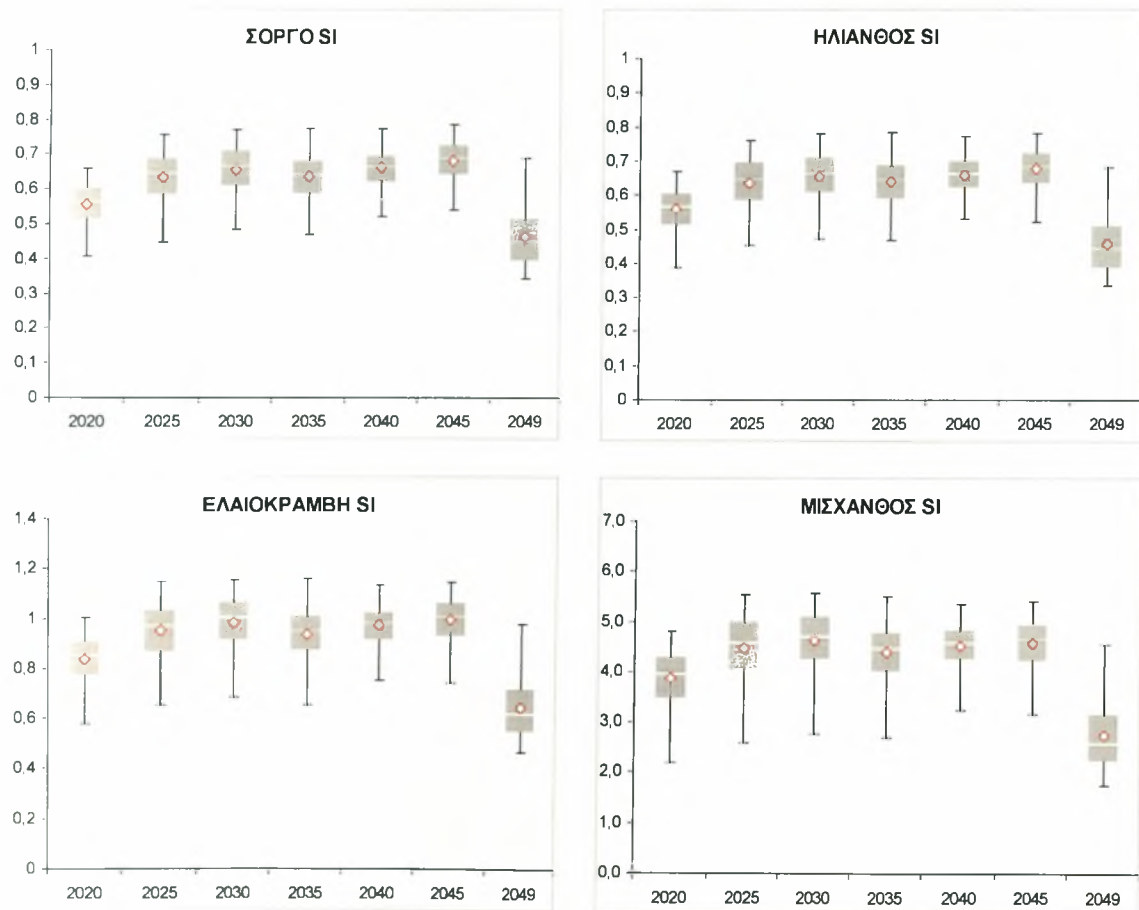


Σχήμα 7.3.1 Θηκογράμματα δείκτη βιωσιμότητας για την περίοδο 2020-2049 στη ζώνη 1



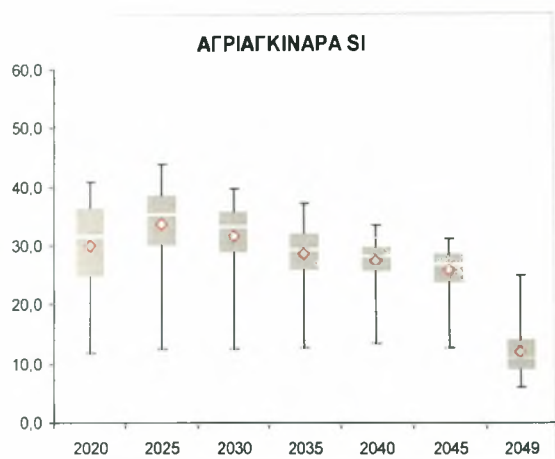
Στη ζώνη 1 παρατηρείται μια εμφανής υποβάθμιση του δείκτη βιωσιμότητας για όλες τις καλλιέργειες σε σχέση με τις τιμές του έτους 2005. Συγκεκριμένα, ο ηλιάνθος την περίοδο 2020-2049 εμφανίζει τιμές μεταξύ 0,4 – 0,6 και μέσες τιμές 0,45-0,52 ενώ η αντίστοιχη τιμή του 2005 είναι 0,65. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και η εξέλιξη του δείκτη βιωσιμότητας του σόργου ενώ στις καλλιέργειες με μεγαλύτερο SI η υποβάθμιση είναι εντονότερη. Στην ελαιοκράμβη ενώ η τιμή του 2005 προσεγγίζει το 1 (βιώσιμη), στη μελλοντική περίοδο οι ανώτερες τιμές για κάθε έτος πρόβλεψης αγγίζουν το 0,85 ενώ η μέση τιμή κυμαίνεται μεταξύ 0,7-0,8. Επιπλέον, στο μίσχανθο παρατηρείται ανάλογη μείωση του δείκτη βιωσιμότητας ενώ πιο χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της αγριαγκινάρας, της οποίας η μοναδική εισροή είναι το αρδευτικό νερό και η μελλοντική ελάττωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων προκαλεί υποβάθμιση της βιωσιμότητας κατά 50%. Τέλος, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις τιμές των ετών 2020,2025...2049 με εξαίρεση την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας που ακολουθούν φθίνουσα πορεία.

### 7.3.2 Ζώνη 2



Σχήμα 7.3.2 Θηκογράμματα δείκτη βιωσιμότητας για την περίοδο 2020-2049 στη ζώνη 2



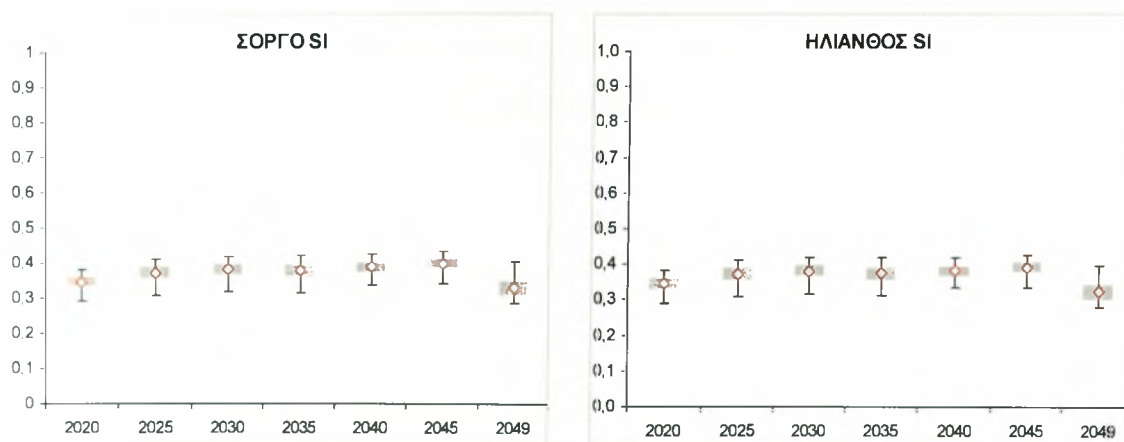


ΖΩΝΗ 2 - 2005	SI
ΗΛΙΑΝΘΟΣ	0,73
ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ	1,11
ΣΟΡΓΟ	0,71
ΜΙΣΧΑΝΘΟΣ	5,40
ΑΓΡΙΑΓΚΙΝΑΡΑ	58,42

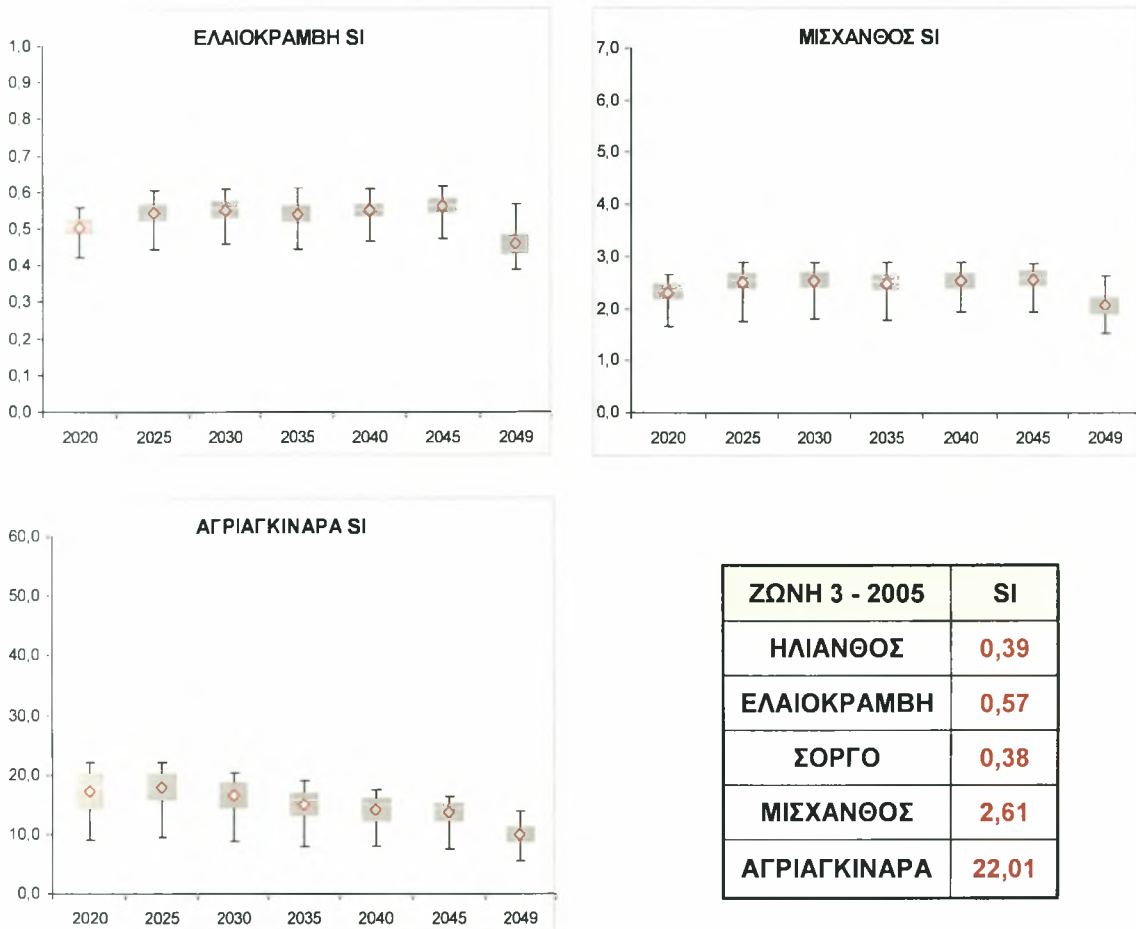
**Σχήμα 7.3.3** Θηκογράμματα δείκτη βιωσιμότητας για την περίοδο 2020-2049 στη ζώνη 2

Παρόμοια υποβάθμιση της βιωσιμότητας των καλλιεργειών με τη ζώνη 1 παρατηρείται και στη ζώνη 2 με τη διαφορά ότι οι τιμές του SI παρουσιάζουν μεταβολές και κατά τη διάρκεια της περιόδου 2020 – 2049. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη διαφορετική διαχείριση των διαθεσίμων υδατικών πόρων για κάθε περιοχή και τις αντίστοιχες απαιτήσεις άρδευσης. Ενδεικτικά, η τιμή του δείκτη βιωσιμότητας του (ξηρού) έτους 2049, οπου η συνεισφορά του ταμιευτηρα στο υδατικό δυναμικό είναι μηδαμινή, είναι εμφανώς χαμηλότερη από τις αντίστοιχες των υπολοίπων ετών πρόβλεψης, πράγμα που παρατηρείται σε όλες τις καλλιέργειες

### 7.3.3 Ζώνη 3



**Σχήμα 7.3.4** Θηκογράμματα δείκτη βιωσιμότητας για την περίοδο 2020-2049 στη ζώνη 3



**Σχήμα 7.3.5** Θηκογράμματα δείκτη βιωσιμότητας για την περίοδο 2020-2049 στη ζώνη 3

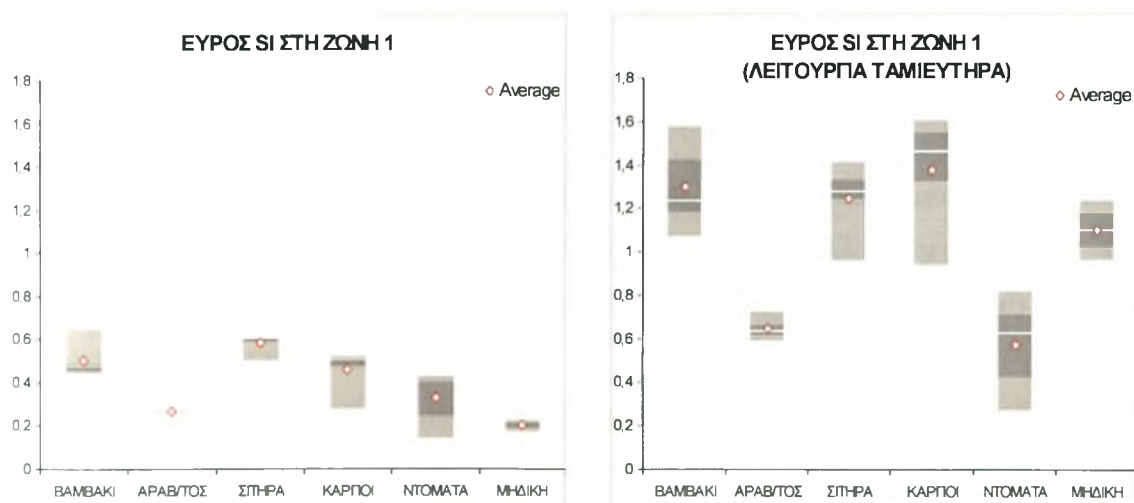
Τέλος, στη ζώνη 3 δεν παρατηρούνται σοβαρές μεταβολές στη βιωσιμότητα των καλλιεργειών μεταξύ της μελλοντικής περιόδου και του έτους 2005 με εξαίρεση την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας. Όμοια με τη ζώνη 2, κατά το ξηρό έτος 2049 παρουσιάζονται οι χαμηλότερες τιμές SI. Επίσης λόγω των περιορισμένων διαθεσίμων υδατικών πόρων το εύρος των τιμών είναι πολύ μικρότερο από τις ζώνες 1 και 2.

## Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 8.1 ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1998 - 2005

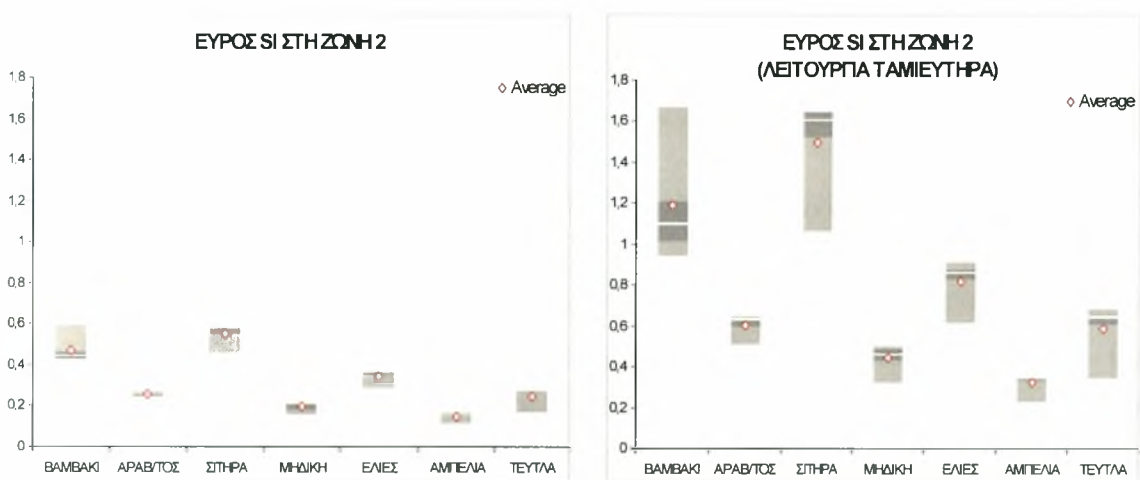
Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Emergy στη περιοχή μελέτης δείχνουν ότι καμιά καλλιέργεια δεν είναι βιώσιμη στις συνθήκες της υφισταμένης κατάστασης και την έλλειψη επιφανειακών ανανεώσιμων υδατικών πόρων που χαρακτηρίζει την περιοχή. Μετά την κατασκευή του ταμιευτήρα παρατηρείται μια τόνωση της γενικής βιωσιμότητας της περιοχής δίχως όμως αυτό να συνεπάγεται ότι όλες οι καλλιέργειες καθίστανται πλέον βιώσιμες. Εξάλλου, θυμίζουμε ότι στην παρούσα μελέτη το υδατικό δυναμικό που αντλείται από τον ταμιευτήρα καλύπτει καταρχήν την άρδευση της ζώνης 1, ενώ το υπόλοιπο διατίθεται κατά 90 % στη ζώνη 2 και κατά 10 % στη ζώνη 3.



Σχήμα 8.1.1 Εύρος τιμών δείκτη βιωσιμότητας κατά την περίοδο 1998-2005 (Ζώνη 1)

Αναλυτικότερα, στη ζώνη 1 οι καλλιέργειες του βαμβακιού, των σιτηρών, των ξηρών καρπών και της μηδικής κατά τη λειτουργία του ταμιευτήρα εμφανίζουν δείκτη βιωσιμότητας άνω της τιμής του 1 (Σχήμα 5.4.1) με υψηλότερη μέση τιμή αυτή των ξηρών καρπών (περίπου 1,4). Χαρακτηριστικό είναι ότι το εύρος τιμών για τις παραπάνω καλλιέργειες κυμαίνεται άνω του 1, ή οριακά άνω του 1 για κάθε χρονιά της περιόδου μελέτης.

Η αύξηση του δείκτη βιωσιμότητας ξεπερνά το 100 %, καθώς ενώ στην υφιστάμενη κατάσταση η μέση τιμή δεν ξεπερνά το 0,6, κατά την λειτουργία του ταμιευτήρα κυμαίνεται μεταξύ 1,2-1,4. Αντιθέτως, οι καλλιέργειες του αραβοσίτου και της ντομάτας αν και επωφελούνται αρκετά από την κατασκευή του ταμιευτήρα δεν μπορούν να χαρακτηριστούν βιώσιμες καθώς το εύρος τιμών του SI κυμαίνεται κάτω του 0,8 με μέση τιμή κοντά στο 0,6.



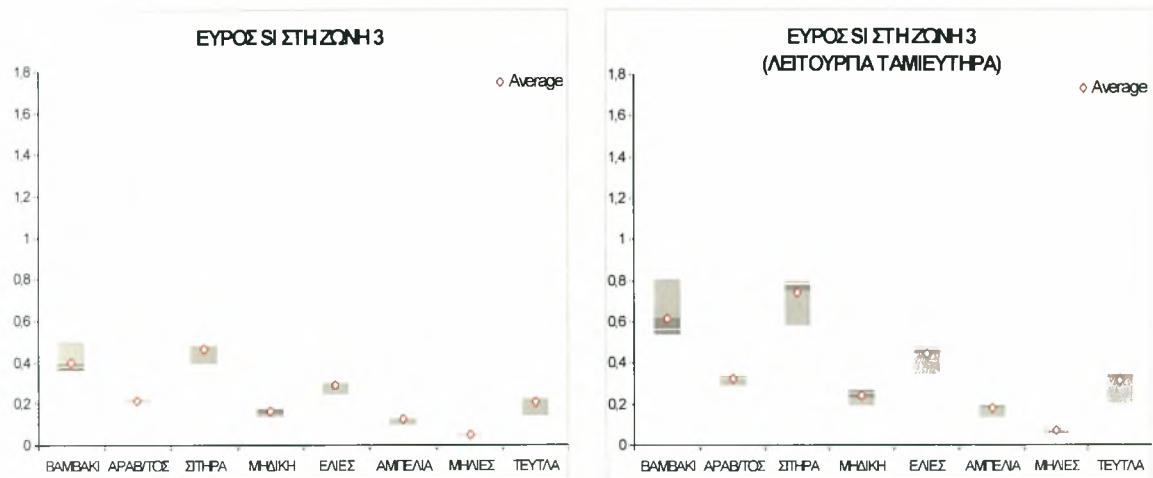
**Σχήμα 8.1.2** Εύρος τιμών δείκτη βιωσιμότητας κατά την περίοδο 1998-2005 (Ζώνη 2)

Στη ζώνη 2 στην υφισταμένη κατάσταση οι καλλιέργειες εμφανίζουν ακόμη χαμηλότερο δείκτη βιωσιμότητας. Ενδεικτικά, μονό στις καλλιέργειες σιτηρών και βαμβακιού προσεγγίζουν το 0,5 (το εύρος του δείκτη SI κινείται μεταξύ 0,4-0,6) ενώ στις υπόλοιπες καλλιέργειες δεν ξεπερνά το 0,4.

Στην κατάσταση λειτουργίας του ταμιευτήρα τα σιτηρά και το βαμβάκι μεταβάλλονται σε βιώσιμες καλλιέργειες καθώς η μέση τιμή του SI είναι 1,5 και 1,2 αντίστοιχα ενώ το εύρος τιμών τους κυμαίνεται σχεδόν εξολοκλήρου άνω του 1 (0,95 η χαμηλότερη τιμή για το βαμβάκι το έτος 1998).

Αντίθετα, οι καλλιέργειες του αραβοσίτου, της μηδικής, των ελαιόδεντρων, των αμπελιών και των τεύτλων εμφανίζουν μεν βελτίωση αλλά όχι τέτοια ώστε να θεωρούνται βιώσιμες.

Η μηδική ενώ στη ζώνη 1 μεταβάλλεται σε βιώσιμη καλλιέργεια, δεν συμβαίνει το ίδιο με τη ζώνη 2 λόγω της διαχείρισης του νερού του ταμιευτηρα.



**Σχήμα 8.1.3** Εύρος τιμών δείκτη βιωσιμότητας κατά την περίοδο 1998-2005 (Ζώνη 3)

Τέλος, στη ζώνη 3 η λειτουργία του ταμιευτηρα δεν δύναται να επηρεάσει το πολύ χαμηλό επίπεδο βιωσιμότητας της περιοχής, η οποία αρδεύεται κυρίως από μη ανανεώσιμους υπογείους υδατικούς πόρους. Άλλωστε, το νερό του ταμιευτηρα που αρδεύει τη συγκεκριμένη υποπεριοχή είναι πολύ λιγότερο. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι καμιά καλλιέργεια δεν ξεπερνά το 0,8 στο δείκτη SI σε καμιά χρονιά της περιόδου 1998-2005, ενώ τη χειριστή τιμή παρουσιάζει η καλλιέργεια των μηλιών η οποία δεν ξεπερνά το 0,1.

## 8.1 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2020 – 2049

Στη μελλοντική περίοδο παρατηρείται υποβάθμιση της βιωσιμότητας των καλλιεργειών στο σύνολο τους, απόρροια της κλιματικής αλλαγής και της έλλειψης ανανεώσιμων υδατικών πόρων για άρδευση. Ειδικά οι καλλιέργειες οι οποίες έχουν υψηλές απαιτήσεις άρδευσης χαρακτηρίζονται ως μη βιώσιμες και επιζήμιες για το οικοσύστημα της περιοχής.



Αναλυτικότερα, το βαμβάκι αποτελεί μη βιώσιμη καλλιέργεια για όλες τις ζώνες καθώς ο δείκτης SI ελαττώνεται 30-50 % σε όλες τις ζώνες ενώ παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και η καλλιέργεια της μηδικής η οποία απαιτεί την υψηλότερη εισροή αρδευτικού νερού, αυτό και εμφανίζει πολύ χαμηλή βιώσιμα ειδικά στη ζώνη 3. Άλλωστε η εξάρτηση των παραπάνω καλλιεργειών από μη ανανεώσιμους και οικονομικούς πόρους αντικατοπτρίζεται και στην αύξηση του δείκτη ELR η οποία αγγίζει το 100 %.

Από την άλλη πλευρά, τα σιτηρά τα οποία αποτελούν ξηρική καλλιέργεια παραμένουν βιώσιμα στη μελλοντική περίοδο στις ζώνες 1 και 2, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή στη βιωσιμότητά τους στη ζώνη 3.

Εξάλλου, η καλλιέργεια του αραβοσίτου εμφανίζει χαμηλό δείκτη βιωσιμότητας, γεγονός προβλέψιμο καθώς αποτελεί μη βιώσιμη καλλιέργεια και στην ιστορική περίοδο 1998 – 2005, με κυριότερες μεταβολές των δεικτών στη ζώνη 1.

Επιπλέον, στις ελιές η μείωση του SI κυμαίνεται μεταξύ 20–30 % για τη ζώνη 2 και 15 % για τη ζώνη 3. στη καλλιέργει των τεύτλων η υποβάθμιση του δείκτη βιωσιμότητας φθάνει το 15 % για τη ζώνη 2 ενώ στη ζώνη 3 δεν υπάρχει μεταβολή.

Τα αμπέλια εμφανίζουν πολύ χαμηλή βιωσιμότητα δίχως διαφοροποίηση στις τιμές του δείκτη. Αντίθετα, η καλλιέργεια των καρπών με κέλυφος (ξηροί καρποί) εξακολουθεί να θεωρείται βιώσιμη και στη μελλοντική περίοδο 2020 – 2049.

Τέλος, η κατάσταση της βιωσιμότητα της ντομάτας παραμένει αμετάβλητη, ενώ οι μηλιές παρουσιάζουν μηδαμινή βιωσιμότητα με τιμές κάτω του 0,1.

### 8.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Οι εναλλακτικές καλλιέργειες που ερευνηθήκαν είναι ο ηλίανθος, η αγριαγκινάρα, η ελαιοκράμβη, το σόργο και ο μίσχανθος.

Στην παρούσα περίοδο (έτος 2005) μίσχανθος και η αγριαγκινάρα θεωρούνται βιώσιμες καλλιέργειες, λόγω των περιορισμένων αγορών που καταναλώνουν ενώ η ελαιοκράμβη προσεγγίζει την κρίσιμη τιμή 1 του δείκτη βιωσιμότητας μονό στις ζώνες 1 και 2.

Από την άλλη πλευρά, ο δείκτης SI για τις καλλιέργειες ηλίανθου και σόργου κυμαίνεται σε χαμηλότερα του 1 επίπεδα αλλά με υψηλότερη βιωσιμότητα από τις περισσότερες υπάρχουσες καλλιέργειες.

Στη μελλοντική περίοδο 2020-2049 παρατηρείται υποβάθμιση του δείκτη βιωσιμότητας για όλες τις καλλιέργειες σε σχέση με τις τιμές του έτους 2005 κατά 15 – 20

% με εξαίρεση την αγριαγκινάρα, της οποίας η μοναδική εισροή είναι το αρδευτικό νερό και η μείωση του SI φθάνει το 50 %. Βεβαία, η αγριαγκινάρα εξακολουθεί να θεωρείται η πιο βιώσιμη καλλιέργεια με πολύ υψηλές τιμές SI (50-60 στο έτος 2005 και 20-30 στη μελλοντική περίοδο).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R.G., Pereive, L.S., Raes, D. & Smith, M., (1998). “Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements”, FAO Irrigation & Drainage Paper, No 56, Rome, Italy.
- Dastane, N.G. (1974) “Effective Rainfall”, FAO Irrigation and Drainage paper, No. 25, Rome, Italy.
- Odum H .T. (1988). ‘Self organization transformity and information.’ Science, 242, 1132-1139.
- Martin, J.F. (2001). ‘Emergy valuation of diversions of river water to marshes in the Mississippi River Delta.’, Ecological Engineering, 18, 265-286.
- Ton, S., H.T. Odum, J.J. Delfino (1997). ‘Ecological – economic evaluation of wetland management alternatives.’, Ecological Engineering, 11, 291-302.
- Brown M.T., S. Ulgiati (1997), ‘Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology towards environmentally sound innovation’, Ecological Engineering, 9, 51-69.
- Loukas, A., N. Mylopoulos, L. Vasiliades (2007). ‘A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Scenarios in Thessaly’. Water Resources Management, 21(10), 1673-1702.
- Lefroy E., T. Rydberg (2003), ‘Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia, Ecological Modelling, 161, 195-211.
- Kampragou E., D. Latinopoulos (2006), ‘Emergy analysis as a tool for environmental – economic decision-making in irrigated agriculture’, Protection and Restoration of the Environment V, Chania, Greece, 3-7 July, e-proceedings.

- Loukas, A., N. Mylopoulos, E. Moustaka (2003). 'A GIS based water resources management procedure for the restored Lake Karla', International Symposium 'GIS and Remote Sensing: Environmental Applications', Volos, Greece, 7-9 November, pp. 221-230.
- Παπαζαφειρίου Ζ.Γ., (1999). "Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- ΤΕΕ Μαγνησίας, 1999. Λίμνη Κάρλα. Η αρχαία Βοιβηίς. ΤΕΕ Τμήμα Μαγνησίας Βόλος
- Doorenbros, J., and Pruitt, W. O., 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome. 179 pp.
- Mylopoulos, N., Sidiropoulos, P., and Loukas, A., 2008. A coupled surface hydrology-lake-groundwater modeling and management framework under hydrogeologic uncertainty, IAHR International Groundwater Symposium, Istanbul, Turkey
- Sidiropoulos, P., Folia, S., Mylopoulos, N. and Loukas, A., 2008. A coupled surface hydrology-lake-groundwater modeling framework for the lake Karla basin, Protection and Restoration of the Environment X, Greece, Kefalonia.
- Λουκάς, Α., Βασιλειάδης, Α., Μπαστρογιάννης, Ν., 2003. Υδρολογική Προσομοίωση Υδατικού Ισοζυγίου Λεκάνης Απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος. Πρακτικά Ημερίδας Μελέτες και Έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο, Λευκωσία, Κύπρος, σελ. 83-114.
- Πατσώνας, Γ., 2008. Επιπτώσεις σεναρίων κλιματικής αλλαγής και στρατηγικών διαχείρισης υδατικών πόρων στη λειτουργία του ταμιευτήρα της λίμνης Κάρλα. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 96
- ΥΠΕΧΩΔΕ, 2004. Μελέτη Έργων Ενίσχυσης της Ύδρευσης της Μείζονος περιοχής του Βόλου, Αθήνα, 72 σελ.

Vasiliades, L. A. Loukas and G. Patsonas (2009). "Evaluation of a Statistical Downscaling Procedure for the Estimation of Climate Change Impacts on Droughts" *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 9, 879-894.

Πατσώνας, Γ., Α. Λουκάς και Λ. Βασιλειάδης (2009). "Στοχαστική Προσομοίωση και Αποτίμηση της Λειτουργίας του Ταμιευτηρα της Λίμνης Κάρλας ", Κοινό Συνέδριο Ε.Υ.Ε. – Ε.Ε.Δ.Υ.Π. "Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων σε Συνθήκες Κλιματικών Αλλαγών", Βόλος, 27-30 Μαΐου 2009, pp. 51-58.

Loukas, A., G. Patsonas and L. Vasiliades (2009). "Evaluation of the Future Operation of the Restored Lake Karla Reservoir under Climate Change", 7<sup>th</sup> International Conference of EWRA "Water Resources Conservancy and Risk Reduction Under Climatic Instability", Limassol, Cyprus, 25-27 June 2009, pp. 627-634



για ανελεύθινοι νόσοι 25%  
(υπόψη)

- ~~απρίβ/ασι~~ δείκτες βιωσιμότητας ή νοσομικ (νοσομικ)

ELR -SI



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
004000105626

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 06300-2

