



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΒΑΣΙΛΙΚΗ Ι. ΜΑΝΑΚΟΥ

**Αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων του
προστατευόμενου οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΟΛΟΣ, 2014

ΒΑΣΙΛΙΚΗ Ι. ΜΑΝΑΚΟΥ
ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ ΑΠΘ
MSc ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων του
προστατευόμενου οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και
Περιφερειακής Ανάπτυξης της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αθανάσιος Κούγκολος, Καθηγητής ΠΘ (Επιβλέπων)

Κωνσταντίνος Περάκης, Καθηγητής ΠΘ (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής)

Όλγα Χριστοπούλου, Καθηγήτρια ΠΘ (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Κωνσταντίνος Κατρακυλίδης, Καθηγητής ΑΠΘ (Εξεταστής)

Ευάγγελος Μπαλτάς, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ (Εξεταστής)

Μαρί Νοέλ Ντυκέν, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΠΘ (Εξεταστής)

Χρυσή Λασπίδου, Επίκουρος Καθηγήτρια ΠΘ (Εξεταστής)

ΒΟΛΟΣ, 2014

**Αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων του
προστατευόμενου οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Στο Θεοδόση
Στη Μαριτίνα
Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή, εκτός από προσωπική προσπάθεια, ολοκληρώθηκε χάρη στην ηθική και υλική βοήθεια κάποιων ανθρώπων τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδιάς. Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις αληθινές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διδακτορικής μου διατριβής, καθηγητή κ. Αθανάσιο Κούγκολο, για όλη τη στήριξή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και της παρουσίας μου στο εργαστήριο Γεωγραφικών Ερευνών και Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού. Τον ευχαριστώ θερμά για την επιλογή του θέματος, τη συνεχή παρότρυνση και ενθάρρυνση για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, τη συνεχή επιστημονική του καθοδήγηση και για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του. Επίσης, τον ευχαριστώ για την υλική βοήθεια που μου προσέφερε δίνοντάς μου τη δυνατότητα να συμμετάσχω σε διάφορα ερευνητικά έργα. Εκτός από την επιστημονική του συνεισφορά, νιώθω βαθειά εκτίμηση και ευγνωμοσύνη γιατί με βοήθησε να ωριμάσω ως άνθρωπος και είναι πάντα δίπλα μου πρόθυμος να βοηθήσει σε κάθε δυσκολία. Πραγματικά, πέρα από ευγνωμοσύνη νιώθω τυχερή για τη γνωριμία μας.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Περάκη και την καθηγήτρια κ. Όλγα Χριστοπούλου, για το ενδιαφέρον τους για την πορεία της έρευνάς μου τη συμβολή τους στην επιτυχή ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής. Ευχαριστίες οφείλω και στην αναπληρώτρια καθηγήτρια κ. Μαρί-Νοέλ Ντυκέν για τις υποδείξεις και την καθοδήγησή της στη σύνταξη του ερωτηματολογίου της εργασίας αυτής. Παράλληλα, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κατρακυλίδη, τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά και την επίκουρο καθηγήτρια κ. Χρυσή Λασπίδου για το χρόνο που διέθεσαν και την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην εξέταση της διδακτορικής μου διατριβής.

Ευχαριστώ από καρδιάς τον Δρ. Παναγιώτη Τσιάκη καθώς διέθεσε πολύ από τον πολύτιμο χρόνο του για να με βοηθήσει καθ' όλη τη διάρκεια δημιουργίας και εφαρμογής του μοντέλου. Χωρίς τη συμβολή και τη συμπαράστασή του η διδακτορική αυτή διατριβή δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί. Ευχαριστίες θα ήθελα

να εκφράσω στην Δρ. Χριστίνα Εμμανουήλ για την αποσαφήνιση εννοιών, την ηθική υποστήριξη και την άμεση ανταπόκρισή της σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε. Επίσης, ευχαριστώ τον Δρ. Βασίλειο Τσιρίδη για τη βοήθειά του στη διενέργεια των οικοτοξικολογικών πειραμάτων. Ευχαριστίες εκφράζω στο διευθυντή του εργαστηρίου Γεωγραφικών Ερευνών και Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού καθηγητή Ηλία Μπεριάτο και σε όλους τους συνεργάτες του εργαστηρίου, και ιδιαίτερα στους Δρ. Κατερίνα Παπαοικονόμου, Στέφανο Κηπουρό και Σταύρο Σακελλαρίου για τη διαμόρφωση ενός ευχάριστου και δημιουργικού εργασιακού περιβάλλοντος. Ευχαριστώ επίσης τους φίλους μου και όλους όσους ξέχασα να αναφέρω ονομαστικά και βοήθησαν ποικιλοτρόπως στην εκπόνηση της ερευνητικής αυτής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στους παππούδες μου, στην οικογένεια της αδερφής μου, στην οικογένεια της θείας μου Γλύκας, στα πεθερικά μου Κοσμά και Σοφία όπως και στην οικογένεια του κουνιάδου μου Παναγιώτη, οι οποίοι ηθικά, ψυχολογικά και υλικά στήριξαν και ενθάρρυναν την προσπάθειά μου αυτή. Πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την απέραντη ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Ιωάννη και Σταματία, των οποίων η αμέριστη αγάπη και οι θυσίες με οδηγούν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, ιδιαίτερα ευχαριστώ το σύζυγό μου Θεοδόση και την κόρη μας Μαριτίνα. Το Θεοδόση ευχαριστώ για την αγάπη, την ανεκτίμητη βοήθεια, την προσπάθεια να βλέπω την αισιόδοξη πλευρά σε δύσκολες στιγμές και την ανεξάντλητη υπομονή του τις ώρες που έμεινα μακριά τους για τη συγγραφή της διατριβής. Ευχαριστώ τη Μαριτίνα, καθώς η ύπαρξή της και μόνο αποτέλεσε κινητήρια δύναμη για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Τους ευχαριστώ για όσα υπέμεναν και στερήθηκαν όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο, στόχοι και συνεισφορά της διδακτορικής διατριβής	1
1.2 Διάρθρωση της διατριβής	4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1 Εισαγωγή	7
2.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη και Διαχείριση Υδατικών Πόρων	9
2.3 Η οδηγία 2000/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το νερό	11
2.4 Υδατικοί πόροι στην Ελλάδα	12
2.5 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων	15
2.6 Σταθμοί στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Υδρολογική λεκάνη Μυγδονίας	23
3.1.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	23
3.1.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά	24
3.1.3 Κλίμα	26
3.2 Υδρολογική υπολεκάνη Λαγκαδά	26
3.3 Λίμνη Κορώνεια	27
3.3.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	27
3.3.2 Γεωλογικά-τεκτονικά χαρακτηριστικά	28
3.3.3 Υδρογεωλογία	28
3.4 Χλωρίδα - Πανίδα	31
3.4.1 Χλωρίδα- Τύποι οικοτόπων	32
3.4.2 Πανίδα	33
3.5 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες	33
3.5.1 Πρωτογενής τομέας	34
3.5.1.1 Γεωργία	34
3.5.1.2 Κτηνοτροφία	35
3.5.1.3 Αλιεία	36
3.5.2 Δευτερογενής τομέας	36
3.5.2.1 Βιομηχανίες- Βιοτεχνίες	36
3.5.2.2 Εξορυκτικές δραστηριότητες	37
3.5.3 Τριτογενής τομέας	38
3.6 Μετεωρολογικά δεδομένα	38
3.6.1 Βροχόπτωση- Θερμοκρασία αέρα	38
3.6.2 Εξατμισοδιαπνοή	41
3.6.3 Άνεμος	42
3.7 Προγενέστερες έρευνες	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑ

4.1 Εισαγωγή	46
4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα	50
4.3 Δοκιμές προσδιορισμού τοξικότητας	52
4.3.1 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με τα καρκινοειδή <i>Daphnia magna</i>	56
4.3.2 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με το βακτήριο εκπομπής φωτός <i>Vibrio fischeri</i> (Microtox test)	58
4.3.3 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με τα φύκη <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	59
4.4 Μεθοδολογία	60
4.4.1 Πρόσληψη-κατεργασία δειγμάτων	60
4.4.2 Φυσικοχημικές αναλύσεις	62
4.4.3 Οικοτοξικολογικές αναλύσεις	62
4.4.3.1. Μέτρηση τοξικότητας με το φωτοβακτήριο <i>V. Fischeri</i>	62
4.4.3.2. Μέτρηση τοξικότητας με το φυτοπλαγκτόν <i>P. Subcapitata</i>	65
4.4.3.3. Μέτρηση τοξικότητας με το καρκινοειδές <i>D. Magna</i>	70
4.5 Αποτελέσματα	71
4.6 Συμπεράσματα	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΣ ΠΟΥ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή	79
5.2 Μεθοδολογία της έρευνας	79
5.3 Σχεδιασμός του ερωτηματολογίου	80
5.4 Επεξεργασία και ανάλυση των ερωτηματολογίων	81
5.4.1 Περιγραφική στατιστική ανάλυση δεδομένων έρευνας	81
5.4.2 Διασταύρωση μεταβλητών-Cross tabulation	117
5.4.2.1. Συσχετίσεις με την ηλικία	118
5.4.2.2. Συσχετίσεις με το επίπεδο σπουδών	118
5.4.2.3. Συσχετίσεις με την οικογενειακή κατάσταση	119
5.5 Συμπεράσματα	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ – ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

6.1 Μαθηματικός Προγραμματισμός	122
6.2 Γραμμικός Προγραμματισμός	123
6.2.1 Εισαγωγή	123
6.2.2 Μαθηματική διατύπωση του Γραμμικού Προγραμματισμού	125
6.2.3 Προϋποθέσεις εφαρμογής του Γραμμικού Προγραμματισμού	127
6.2.4 Λύση του γραμμικού προβλήματος	129
6.2.5 Μέθοδος Simplex	130
6.3 Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός	131
6.3.1 Γενικά	131
6.3.2 Μαθηματική διατύπωση του Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού	131
6.3.3 Μέθοδος επίλυσης προβλημάτων Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού Branch and Bound	132
6.4 Περιγραφή μοντέλου διαχείρισης των υδατικών πόρων του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας	134
6.4.1 Περιγραφή του προβλήματος	134
6.4.2 Περιγραφή του μοντέλου	135

6.4.2.1. Σημειογραφία	135
6.4.3 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος	140
6.4.3.1. Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής	140
6.4.3.2. Μοντελοποίηση των αποθεμάτων νερού του υδροφόρου ορίζοντα	147
6.4.3.3. Διαχείριση των γεωτρήσεων	150
6.4.3.4. Μεταφορά νερού από άλλες πηγές	151
6.4.3.5. Αντικειμενική συνάρτηση	155
6.4.4 Δημιουργία πολιτικής για την αποκατάσταση της Λίμνης Κορώνειας	159
6.4.4.1. Περιγραφή δεδομένων	160
6.4.5 Αποτελέσματα	171
6.4.5.1. Βασικό σενάριο – Βελτιστοποίηση	171
6.4.5.2. Σενάριο 1 – Αλλαγή μεθόδου άρδευσης	174
6.4.5.3. Σενάριο 2 – Αναδιάρθρωση του 30% των καλλιεργειών χωρίς αλλαγές στον τρόπο άρδευσης	175
6.4.5.4. Σενάριο 3 – Καμία παρέμβαση στις αγροτικές πρακτικές	175
6.4.5.5. Σύγκριση των σεναρίων	175
6.4.6 Συμπεράσματα	176

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Γενικά συμπεράσματα	179
7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	182

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

.....	183
-------	-----

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Διαθεσιμότητα γλυκού νερού στη Γη.....	7
Σχήμα 2.2: Οι Τρεις πυλώνες στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων..	17
Σχήμα 2.3: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων και η σχέση της με του επιμέρους τομείς	17
Σχήμα 4.1: Περιγραφή της διαδικασίας μέτρησης τοξικότητας με τα βακτήρια εκπομπής φωτός <i>V. fischeri</i> με βάση το πρωτόκολλο 82 % Screening test	65
Σχήμα 4.2: Διαδικασία ενεργοποίησης του αδρανοποιημένου φυτοπλαγκτού <i>P. Subcapitata</i>	69
Σχήμα 4.3: Προσθήκη του μάρτυρα (σειρά X) και των διαδοχικών αραιώσεων του δείγματος (σειρές 1 έως 5) στις κυψελίδες τις δοκιμής τοξικότητας με το καρκινοειδές <i>D. Magna</i>	71
Σχήμα 6.1: Άποψη της λεκάνης με τις διάφορες ροές	135

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Ζήτηση νερού ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα (ΕΤΜΠ).....	14
Πίνακας 2.2: Σταθμοί στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων	22
Πίνακα 3.1: Είδη των καλλιεργειών, έκταση και απαίτησή τους σε νερό στη περιοχή της λίμνης Κορώνειας	35
Πίνακας 3.2: Βιομηχανίες που επιδεινώνουν την κατάσταση της λίμνης Κορώνειας ...	37
Πίνακας 3.3: Μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης κατά την περίοδο 1963-1980	39
Πίνακας 3.4: Βροχομετρικά δεδομένα στο μετεωρολογικό σταθμό Λαγκαδά κατά τα έτη 1972-2000 (mm)	40
Πίνακας 3.5: Τιμές εξατμισιοδιαπνοής (mm/ημέρα) στο σταθμό Σίνδου κατά τα έτη 1980-1995	41
Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση και υγρασία των ιζημάτων της λίμνης Κορώνεια	61
Πίνακας 4.2: Σύσταση πρότυπου διαλύματος για μετρήσεις τοξικότητας με το φυτοπλαγκτόν <i>P. Subcapitata</i>	67
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων των υγρών έκπλυσης των ιζημάτων	72
Πίνακας 5.1: Φύλο	82
Πίνακας 5.2: Ηλικία	82
Πίνακας 5.3: Επίπεδο σπουδών	84
Πίνακας 5.4: Οικογενειακή κατάσταση	85
Πίνακας 5.5: Πόσο σημαντικά θεωρείτε τα ζητήματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος;	86
Πίνακας 5.6: Γνωρίζετε ότι η περιοχή της λίμνης είναι προστατευόμενη;.....	86
Πίνακας 5.7: Εάν ναι, αναφέρετε εάν γνωρίζετε το καθεστώς προστασίας	87
Πίνακας 5.8: Πόσο σημαντική θεωρείτε την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας;	88
Πίνακας 5.9: Πόσο ενημερωμένος πιστεύετε ότι είστε σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;	89
Πίνακας 5.10: Υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμοδίους φορείς σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;.....	90
Πίνακας 5.11: Θεωρείτε ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης επηρεάζει την ποιότητα της ζωής σας;	91
Πίνακας 5.12: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας	94
Πίνακας 5.13: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας	99
Πίνακας 5.14: Χρησιμοποιείτε φυτοφάρμακα - λιπάσματα;	103
Πίνακας 5.15: Εάν χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων, πιστεύετε ότι θα αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας σας;.....	104
Πίνακας 5.16: Θεωρείτε ότι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης;.....	105
Πίνακας 5.17: Εάν είχατε τη δυνατότητα, είστε διατεθειμένος-η να χρησιμοποιήσετε κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης της καλλιέργειας σας;.....	106
Πίνακας 5.18: Τρόπος άρδευσης καλλιέργειας	107
Πίνακας 5.19: Τι μέρος του κόστους παραγωγής είναι οι δαπάνες για άρδευση; ...	108

Πίνακας 5.20: Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;	109
Πίνακας 5.21: Ποιος είναι ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείτε;.....	110
Πίνακας 5.22: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους άρδευσης για την προστασία της λίμνης;	111
Πίνακας 5.23: Είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιείτε το νερό της λίμνης Κορώνειας;	112
Πίνακας 5.24: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε μηνιαία;.....	113
Πίνακας 5.25: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε ανά κυβικό μέτρο;	114
Πίνακας 5.26: Εάν όχι, για ποιο λόγο δε θα διαθέτατε κάποιο χρηματικό ποσό; ...	115
Πίνακας 5.27: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό για να την προστασία της λίμνης;.....	116
Πίνακας 6.1: Σχέση μεταξύ όγκου νερού και επιφάνειας της λίμνης	143
Πίνακας 6.2: Δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης	161
Πίνακας 6.3: Ποσότητα νερού επιφανειακής ροής στη λίμνη Κορώνεια από τη λεκάνη απορροής (m^3 /μήνα).....	163
Πίνακας 6.4: Ανάλυση της λεκάνης απορροής.....	164
Πίνακας 6.5: Εκτιμώμενη διήθηση στον υδροφόρο ορίζοντα (m^3 /μήνα)	166
Πίνακας 6.6: Απαιτήσεις της γεωργίας (m^3 /μήνα).....	167
Πίνακας 6.7: Νερό που τροφοδοτεί τη λεκάνη από του χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων (m^3 /μήνα)	168
Πίνακας 6.8: Σύγκριση σεναρίων σε σχέση με τις απαιτήσεις νερού για αγροτική χρήση	176

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1: Ζήτηση νερού ανά χρήση στην Ελλάδα.....	13
Διάγραμμα 4.1: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στο <i>V. fischeri</i> α) για χρόνο μέτρησης 5 min, β) για χρόνο μέτρησης 15 min γ) για χρόνο μέτρησης 30 min	73
Διάγραμμα 4.2: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στο <i>P. Subcapitata</i>	74
Διάγραμμα 4.3: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στη <i>D. Magna</i>	74
Διάγραμμα 5.1: Φύλο	82
Διάγραμμα 5.2: Ηλικία	83
Διάγραμμα 5.3: Επίπεδο σπουδών	84
Διάγραμμα 5.4: Οικογενειακή κατάσταση	85
Διάγραμμα 5.5: Πόσο σημαντικά θεωρείτε τα ζητήματα που αφορούν την προστασία περιβάλλοντος;.....	86
Διάγραμμα 5.6: Γνωρίζετε ότι η περιοχή της λίμνης είναι προστατευόμενη;.....	87
Διάγραμμα 5.7: Εάν ναι, αναφέρετε εάν γνωρίζετε το καθεστώς προστασίας	88
Διάγραμμα 5.8: Πόσο σημαντική θεωρείτε την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας;	89
Διάγραμμα 5.9: Πόσο ενημερωμένος πιστεύετε ότι είστε σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;	90
Διάγραμμα 5.10: Υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμοδίους φορείς σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;.....	91
Διάγραμμα 5.11: Θεωρείτε ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης επηρεάζει την ποιότητα της ζωής σας;	92
Διάγραμμα 5.12: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.....	96
Διάγραμμα 5.13: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.....	103
Διάγραμμα 5.14: Χρησιμοποιείτε φυτοφάρμακα – λιπάσματα;.....	103
Διάγραμμα 5.15: Εάν χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων, πιστεύετε ότι θα αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας σας;.....	104
Διάγραμμα 5.16: Θεωρείτε ότι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης;.....	106
Διάγραμμα 5.17: Εάν είχατε τη δυνατότητα, είστε διατεθειμένος-η να χρησιμοποιήσετε κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης της καλλιέργειας σας;.....	107
Διάγραμμα 5.18: Τρόπος άρδευσης καλλιέργειας	108
Διάγραμμα 5.19: Τι μέρος του κόστους παραγωγής είναι οι δαπάνες για άρδευση;	109
Διάγραμμα 5.20: Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;	110
Διάγραμμα 5.21: Ποιος είναι ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείτε;	111
Διάγραμμα 5.22: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους άρδευσης για την προστασία της λίμνης;.....	112
Διάγραμμα 5.23: Είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιείτε το νερό της λίμνης Κορώνειας;.....	113
Διάγραμμα 5.24: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε μηνιαία;.....	114

Διάγραμμα 5.25: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε ανά κυβικό μέτρο;	114
Διάγραμμα 5.26: Εάν όχι, για ποιο λόγο δε θα διαθέτατε κάποιο χρηματικό ποσό;	115
Διάγραμμα 5.27: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό για να την προστασία της λίμνης;.....	116
Διάγραμμα 6.1: Συσχετισμός όγκου και επιφάνειας κάλυψης με το επίπεδο επιφάνειας	144
Διάγραμμα 6.2. Όγκος νερού της λίμνης Κορώνειας	172
Διάγραμμα 6.3: Όγκος νερού υδροφορέα σε m ³ σε κάθε σενάριο.	173
Διάγραμμα 6.4. Ροή προς τη Βόλβη και τροφοδοσία της λίμνης από άλλες πηγές.	173
Διάγραμμα 6.5: Γεωτρήσεις σε λειτουργία ανά χρονική περίοδο	174

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Υδρολογικός κύκλος.....	8
Εικόνα 3.1: Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής που ανήκει η λεκάνη της Μυγδονίας.....	23
Εικόνα 3.2 : Θέση της λίμνης Κορώνειας στον Ελλαδικό χώρο	27
Εικόνα 4.1: Εφίππιο (επάνω) και ζωντανοί οργανισμοί (κάτω) <i>D.magna</i>	57
Εικόνα 4.2: Αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στη βιοδοκιμή Microtox (α) και αναλυτής τοξικότητας (β).....	59
Εικόνα 4.3: Αδρανοποιημένο φυτοπλαγκτόν <i>P. Subcapitata</i>	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο, στόχοι και συνεισφορά της διδακτορικής διατριβής

«Αρχή πάντων Ὑδωρ» κατά το Θαλή το Μιλήσιο. Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν κατανοήσει τη σπουδαιότητα του νερού αφού αποτελεί έναν μοναδικό, πολύτιμο και αναντικατάστατο φυσικό πόρο, του οποίου η αξία για τη διατήρηση της ζωής στη γη είναι ανεκτίμητη. Δεν είναι τυχαίο ότι το νερό αποτέλεσε πόλο έλξης για τον άνθρωπο από την αρχή της ύπαρξής του, αφού η ζωή του εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από αυτό.

Παγκοσμίως, η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης είχε ως συνέπεια και την αύξηση της ζήτησης του νερού για διάφορες χρήσεις. Σήμερα, οι γεωργικές δραστηριότητες αποτελούν τον κύριο καταναλωτή νερού, ενώ ακολουθούν οι βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες. Η αύξηση αυτή της ζήτησης του νερού σε συνδυασμό με τις υφιστάμενες κακές πολιτικές διαχείρισής ή την παντελή έλλειψη πολιτικών διαχείρισης οδήγησαν στην ποσοτική εξάντληση και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων του πλανήτη, με αποτέλεσμα να μιλάμε για ανεπάρκεια του πόρου και δυσκολία πρόσβασης σε καθαρό νερό (Jonch-Clausen and Fugl, 2001).

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η διαθεσιμότητα και η πρόσβαση σε νερό, καθώς και η υποβάθμιση της ποιότητάς του αποτελεί ένα από τα κρίσιμότερα ζητήματα που απασχολούν την ανθρωπότητα. Επομένως, αποτελεί επιτακτική ανάγκη ο επαναπροσδιορισμός του παραδοσιακού μονόπλευρου τρόπου διαχείρισης του νερού και η κατεύθυνση προς την ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση των υδατικών πόρων που λαμβάνει υπόψη ένα σύνολο θεσμικών, τεχνολογικών, οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Τα τελευταία χρόνια η λίμνη Κορώνεια αποτελεί επίκεντρο πολλών συζητήσεων μιας και αυτός ο πολύτιμος υδατικός πόρος κινδυνεύει να εξαφανιστεί. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες παρατηρείται μία μείωση του νερού της λίμνης και ταυτόχρονα μία αύξηση των ρυπαντικών της φορτίων λόγω των έντονων ανθρωπογενών πιέσεων που δέχεται. Παρότι έχουν εκπονηθεί διάφορα σχέδια για την διάσωσή της, η κατάστασή

της συνεχώς επιδεινώνεται. Η οικολογική καταστροφή του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας σε συνδυασμό με την έμφαση που δίνεται τα τελευταία χρόνια σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος και ειδικότερα σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων αποτέλεσαν κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Η παρούσα διατριβή έχει ως σκοπό την αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Κορώνειας με έναν ολιστικό τρόπο και λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές παραμέτρους. Στο πλαίσιο αυτό τίθενται οι στόχοι της διατριβής:

- Ένας από τους βασικούς στόχους είναι η ανάπτυξη ενός αναλυτικού και ολοκληρωμένου μοντέλου για τη διαχείριση των υδατικών πόρων του οικοσυστήματος της λίμνης. Το μοντέλο επιδιώκει την εύρεση της βέλτιστης λύσης για την δημιουργία ενός θετικού υδατικού ισοζυγίου με το μικρότερο δυνατό κόστος και λαμβάνοντας υπόψη την ικανοποίηση των αναγκών της περιοχής σε νερό. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε ένα μοντέλο Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, το οποίο χρησιμοποιείται για μακροχρόνιες αποφάσεις.
- Ταυτόχρονα, σημαντικό στόχο αποτελεί και η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής κατάστασης της λίμνης μέσω της μελέτης της οικολογικής ποιότητας υγρών έκπλυσης των νερών της λίμνης και των ιζημάτων της περιοχής.
- Παράλληλα, στόχο αποτελεί και η αξιολόγηση της ευαισθητοποίησης των αγροτών σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος και σε θέματα που αφορούν την λίμνη Κορώνεια, καθώς και η αξιολόγηση της πρόθεσης των αγροτών για αλλαγή πρακτικών στη γεωργία για την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης.

Στο πλαίσιο συνεισφοράς της παρούσας διδακτορικής διατριβής στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων και γενικότερα στην προστασία του περιβάλλοντος δημοσιεύθηκαν οι εξής επιστημονικές – ερευνητικές εργασίες σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και διεθνή επιστημονικά συνέδρια:

1. Manakou V., Kungolos A. and Beriatos E., (2008). Hazards that threaten Greek wetlands: the case of Lake Koronia. Risk Analysis VI, eds. C.A. Brebbia, E. Beriatos, WIT Press, Southampton, UK, 3-10.
2. Manakou V., Faraslis I., Stathakis D., Perakis K. and Kungolos A. (2009). Shoreline changes of Lake Koronia during the last seven decades using remote sensing and GIS techniques. Book of Abstracts of Second International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) & SECOTOX Conference, eds A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis and P. Samaras, June 21 – 26, Mykonos island, Greece, pp 401.
3. Manakou V., Tsiakis T. and Kungolos A. (2009). Greek Newspapers coverage of Lake's Koronia environmental problems. Book of Abstracts of Second International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) & SECOTOX Conference, eds A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis and P. Samaras, June 21 – 26, Mykonos island, Greece, pp 79.
4. Manakou V., Tsiakis P. and Kungolos A., (2010). An Integrated Management Approach for the Hydrological Basin of Lake Koronia. Second International Symposium on Green Chemistry for Environment and Health, September 27-29, 2010, Mykonos, Greece.
5. Manakou V., Tsiakis P., Tsiakis T. and Kungolos A., (2011). Management of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming, Third International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2011) & SECOTOX Conference, Skiathos, June 19-24, 2011.
6. Manakou V., Tsiakis P., Tsiakis T. and Kungolos A., (2012). Sustainable Development of the Hydrological Basin of Lake Koronia using Mathematical Programming and Statistical Analysis. Computer Aided Chemical Engineering pp 26-30.

7. Manakou, V., Tsiakis, P. and Kungolos A., (2013). A mathematical programming approach to restore the water balance of the hydrological basin of Lake Koronia. *Desalination and Water Treatment*, 51: 2955-2976.
8. Kungolos, A., Emmanouil, C., Manakou, V. and Darakas, E., (2014). Assessment of vulnerable freshwater ecosystems and various aquatic effluents by means of ecotoxicological assays, *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.1080/19443994.2014.933617 (accepted for publication).

1.2 Διάρθρωση της διατριβής

Η διδακτορική διατριβή αποτελείται από 7 κεφάλαια, τις βιογραφικές αναφορές και το παράρτημα. Η δομή της αναπτύσσεται επιγραμματικά παρακάτω.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται το πρόβλημα με το οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία και αναπτύσσονται συνοπτικά το αντικείμενο ενδιαφέροντος καθώς επίσης και η συνεισφορά της διατριβής. Τέλος, παρουσιάζεται η διάρθρωση της εργασίας και γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των περιεχομένων κάθε κεφαλαίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση στις αιτίες της σημερινής κρίσης του νερού, περιγράφεται η έννοια της διαχείρισης των υδατικών πόρων, η έννοια της βιώσιμης και ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων και γίνεται αναφορά στους σημαντικότερους σταθμούς της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης. Περιγράφονται τα μορφολογικά, γεωλογικά, δημογραφικά και λοιπά χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας. Επίσης, παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τέλος, περιγράφονται επιγραμματικά οι σπουδαιότερες ερευνητικές εργασίες που έχουν εκπονηθεί με αντικείμενο τη λίμνη Κορώνεια.

Το τέταρτο κεφάλαιο ερευνά την ποιοτική κατάσταση της λίμνης Κορώνειας με τη βοήθεια των οικοτοξικολογικών αναλύσεων. Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στην οικοτοξικολογία, στους παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα, στα πιο γνωστά πειράματα οικοτοξικολογικών δοκιμών και αναλύονται οι δοκιμές τοξικότητας που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν πολύτιμα συμπεράσματα, που παρουσιάζονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την διεξαγωγή της δειγματοληπτικής έρευνας, αναφέροντας τη μέθοδο συλλογής των δεδομένων, τη διάρκεια κάθε συνέντευξης, το χρόνο και τον τόπο διεξαγωγής της έρευνας και τον τρόπο σχεδιασμού των ερωτηματολογίων. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η περιγραφική στατιστική ανάλυση για να παρουσιαστούν αναλυτικά τα αποτελέσματα από την διεξαγωγή της έρευνας με ερωτηματολόγια που πραγματοποιήθηκε στους αγρότες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας και γίνεται συσχέτιση των μεταβλητών με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος. Ακολουθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα με τα ερωτηματολόγια.

Στο έκτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μία εισαγωγή στο μαθηματικό προγραμματισμό και ακολουθεί στη συνέχεια μία σύντομη ιστορική αναδρομή και παρουσίαση του μαθηματικού προγραμματισμού και της μεθόδου Simplex. Επιπρόσθετα, αναπτύσσεται ο Μεικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός, καθώς και η μέθοδος επίλυσης διακλάδωσης και ορίων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση του μοντέλου για τη διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Κορώνειας. Πρώτα γίνεται μία θεωρητική προσέγγιση και ακολουθεί η μαθηματική περιγραφή του μοντέλου. Καθορίζονται οι μεταβλητές του προβλήματος και αναπτύσσονται αναλυτικά οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου. Επίσης, δίνονται οι παράμετροι και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου. Ακολουθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

Το έβδομο κεφάλαιο περιέχει τη σύνοψη του διδακτορικού. Περιγράφονται τα κυριότερα αποτελέσματα, η συμβολή και τα πρωτότυπα στοιχεία και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διατριβή και γίνονται προτάσεις για επέκταση της έρευνας.

Στο τέλος της διατριβής παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε και τα παραρτήματα, τα οποία περιλαμβάνουν το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε στην πραγματοποιηθείσα έρευνα, καθώς επίσης και πίνακες με τα αποτελέσματα από τη διασταύρωση των μεταβλητών του ερωτηματολογίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Το νερό είναι αναμφισβήτητα ένας ζωτικής σημασίας φυσικός πόρος, ο οποίος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της καθημερινότητας του ανθρώπου όχι μόνο επειδή εξυπηρετεί βασικές του ανάγκες του, αλλά και γιατί είναι απαραίτητο και για άλλες σημαντικές δραστηριότητες του ανθρώπου όπως η γεωργία, η βιομηχανία, η παραγωγή ενέργειας κτλ. Έτσι, οι πολλαπλές του αξίες και χρήσεις το κατατάσσουν αναμφισβήτητα ως έναν από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους. Δεν είναι τυχαίο ότι ο μοναδικός αυτός φυσικός πόρος απασχολεί τον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Η ανάπτυξη των πρώτων πολιτισμών έγινε σε περιοχές δίπλα σε νερό (ποτάμια, λίμνες, υδροβιότοπους), αφού αποτελεί απαραίτητο και αναντικατάστατο συστατικό για την ύπαρξη ζωής.

Αν και ζούμε στον “μπλε” πλανήτη, καθώς η επιφάνεια της γης καλύπτεται κατά 70% από νερό, λιγότερο από το 3% της συνολικής ποσότητας του νερού είναι γλυκό, ενώ το υπόλοιπο αλμυρό. Από τη συνολική ποσότητα του γλυκού νερού, το 2,5% δεν είναι διαθέσιμο, καθώς είναι παγωμένο (Σχήμα 2.1), (WBCSD, 2006). Η μικρή αυτή ποσότητα του νερού που τελικά είναι διαθέσιμη είναι άνισα κατανεμημένη στο χώρο και το χρόνο (Baltas, 2008, Sofios et al., 2008).



Σχήμα 2.1: Διαθεσιμότητα γλυκού νερού στη Γη (WBCSD, 2006, Ιδία επεξεργασία)

Παρόλο που το νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος που αλλάζει μορφή και θέση μέσω του υδρολογικού κύκλου (Εικόνα 2.1), η άνευ ορίων χρήση του από τον άνθρωπο έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της διαθεσιμότητάς του. Σύμφωνα με τον Gleick (1999) όλοι οι άνθρωποι έχουν βασικό δικαίωμα την πρόσβαση σε νερό. Σήμερα όμως, πάνω από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό και η έλλειψή του αποτελεί ζήτημα επιβίωσης (Gleick, 2000, UNDP, 2006).



Εικόνα 2.1: Υδρολογικός κύκλος (<http://water.usgs.gov/>)

Όσο ο πληθυσμός και συνεπώς και οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνονται, η διαχείριση του νερού γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη. Στις μέρες μας, η αρδευόμενη γεωργία αποτελεί τον κυριότερο καταναλωτή των συνολικών αποθεμάτων νερού με ποσοστό 70%, ενώ οι βιομηχανικές δραστηριότητες καταναλώνουν το 20% και οι αστικές το 10% (FAO, 2007, Gourbesville, 2008). Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισής του το νερό μπορεί να θεωρηθεί κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό αγαθό. Παρά το γεγονός ότι το νερό αντιμετωπίζεται περισσότερο ως κοινωνικό και οικονομικό αγαθό, σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά της Ευρωπαϊκής Ένωσης το νερό δεν είναι εμπορικό αγαθό, αλλά αποτελεί κληρονομιά που προορίζεται για τις επόμενες γενιές και πρέπει να προστατεύεται (WFD, EU 2000).

Τα τελευταία χρόνια οι υδατικοί πόροι έχουν υποστεί μία σημαντική ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση, εξαιτίας των πιέσεων που δέχονται από τις διάφορες ανταγωνιστικές τους χρήσεις. Η περίπτωση της λίμνης Κορώνειας αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υποβάθμισης λόγω της ανεξέλεγκτης άντλησης νερού για ανταγωνιστικές χρήσεις (γεωργικές, βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες). Στις αρχές του αιώνα μας αντιμετωπίζουμε μία παγκόσμια κρίση νερού, αφού οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες. Η κρίση αυτή οφείλεται όχι στον ίδιο τον πόρο, αλλά στην έλλειψη πολιτικών διαχείρισης του και η κατάσταση αυτή δεν προβλέπεται να βελτιωθεί τα επόμενα χρόνια. Για το λόγο αυτό, έχει γίνει επιτακτική η ανάγκη για εύρεση βιώσιμων πολιτικών διαχείρισης των υδατικών πόρων.

2.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη και Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Τα τελευταία χρόνια η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας κοινότητας σε θέματα προστασίας περιβάλλοντος και ανάπτυξης. Σύμφωνα με την έκθεση της Διεθνούς Επιτροπής Brundtland «Το κοινό μας μέλλον» η βιώσιμη ανάπτυξη ορίζεται ως (WCED, 1987):

«Η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί της ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες».

Η αύξηση των πιέσεων των υδατικών πόρων που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα επιτάσσει την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης τους. Η διαχείριση των υδατικών πόρων στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης έχει ως στόχο όχι μόνο τη διατήρηση της ακεραιότητας των οικοσυστημάτων, αλλά και τη συνεχή οικονομική ανάπτυξη (Μυλόπουλος, 1999). Για την επίτευξη αυτών των στόχων απαιτείται η υιοθέτηση και υλοποίηση τεσσάρων βασικών αρχών της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων (ASCE and UNESCO, 1998, Μυλόπουλος, 2000):

- *Ενιαία και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων της διαχείρισης των υδατικών πόρων.* Η προσέγγιση αυτή αντικαθιστά την παραδοσιακή και αναποτελεσματική πολιτική της ανά τομέα αποσπασματικής διαχείρισης του νερού. Οι αστικές, αγροτικές, βιομηχανικές, ενεργειακές, τουριστικές και λοιπές δραστηριότητες και χρήσεις του νερού αντιμετωπίζονται ενιαία εντός των φυσικών ορίων της υδρολογικής λεκάνης και του υδατικού διαμερίσματος. Συγχρόνως, με την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων παύει να υφίσταται η αναχρονιστική και τεχνητή διαφοροποίηση καθώς και η ανεξάρτητη θεώρηση των ποσοτικών από τις ποιοτικές παραμέτρους.
- *Διαχείριση της ζήτησης και όχι της προσφοράς του νερού.* Η λογική της εγκατάλειψης των πηγών του νερού κάθε φορά που αυτές εξαντλούνται ή υποβαθμίζονται και η αναζήτηση διαρκώς νέων υδατικών πόρων αντικαθίσταται από την οικονομικά αποδοτικότερη και συγχρόνως περιβαλλοντικά πιο φιλική πολιτική της διαχείρισης της ζήτησης του νερού, η οποία αποτελεί την πιο φθηνή εναλλακτική λύση για την ικανοποίηση των υδατικών αναγκών.
- *Οικονομική θεώρηση του νερού και κοστολόγησή του σύμφωνα με την πλήρη αξία του, η οποία αντανακλά την αξία της πλέον πολύτιμης εναλλακτικής ή δυνητικής χρήσης του.* Σε περίπτωση που το νερό δεν θεωρηθεί οικονομικό αγαθό, αλλά κοινωνικό αγαθό το οποίο πρέπει να προσφέρεται δωρεάν ή περιβαλλοντικό αγαθό, αυτό οδηγεί σε αναποτελεσματικότητα, σε σπατάλη και σε περιβαλλοντικά καταστροφική διαχείρισή του.
- *Αποκεντρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων με την ένταξη και συμμετοχή στην όλη διαδικασία των τελικών χρηστών του νερού, δηλαδή των εκπροσώπων όλων των συναρμόδιων και άμεσα ενδιαφερόμενων τοπικών και κοινωνικών φορέων, καθώς και του ιδιωτικού τομέα.* Το παραδοσιακό, συγκεντρωτικό, διαρθρωμένο σε τομείς ανάλογα με τη χρήση του νερού, διοικητικό σύστημα διαχείρισης, αντικαθίσταται από ένα σύγχρονο, αποκεντρωμένο και βασισμένο στη συμμετοχική προσέγγιση σύστημα. Η διαχείριση του νερού θα πρέπει να γίνεται στο κατώτερο δυνατό διοικητικό επίπεδο, σε άμεση συσχέτιση με τη διαχείριση των χρήσεων γης.

2.3 Η οδηγία 2000/60 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το νερό

Οι συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις που δέχονται τις τελευταίες δεκαετίες οι υδατικοί πόροι οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση στη διαμόρφωση μιας Οδηγίας Πλαισίου για τα νερά η οποία θεσπίζει τις βασικές αρχές μιας βιώσιμης πολιτικής των υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Οδηγία αυτή θέτει ως στόχο την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων και των υδροτοπικών οικοσυστημάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στοχεύοντας στην επίτευξη καλής οικολογικής ποιότητας των υδάτων. Η Οδηγία συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχείριση τους σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Επίσης, επαναπροσδιορίζει την έννοια της λεκάνης απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά επιφανειακά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια ύδατα, τα μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) και τα παράκτια οικοσυστήματα.

Σκοπός της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2000/60 είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και των υπόγειων υδάτων, το οποίο:

- Να αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υδροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό.
- Να προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
- Να αποσκοπεί στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ρύπων πρωταρχικής σημασίας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των ρύπων πρωταρχικής σημασίας.

- Να διασφαλίζει τη προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και να αποτρέπει τη περαιτέρω ρύπανσή τους.
- Να συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

Η οδηγία με αυτόν τον τρόπο συμβάλλει:

- Στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής επιφανειακού και υπόγειου νερού καλής ποιότητας που απαιτείται για τη βιώσιμη, ισόρροπη και δίκαιη χρήση ύδατος,
- σε σημαντική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων,
- στην προστασία των χωρικών και θαλάσσιων υδάτων και
- στην επίτευξη των στόχων των σχετικών διεθνών συμφωνιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποσκοπούν στην πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος για την παύση ή σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών επικίνδυνων ουσιών πρωταρχικής σημασίας, με απώτερο στόχο να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες, για μεν τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο για δε τις τεχνητές συνθετικές ουσίες να είναι σχεδόν μηδενικές.

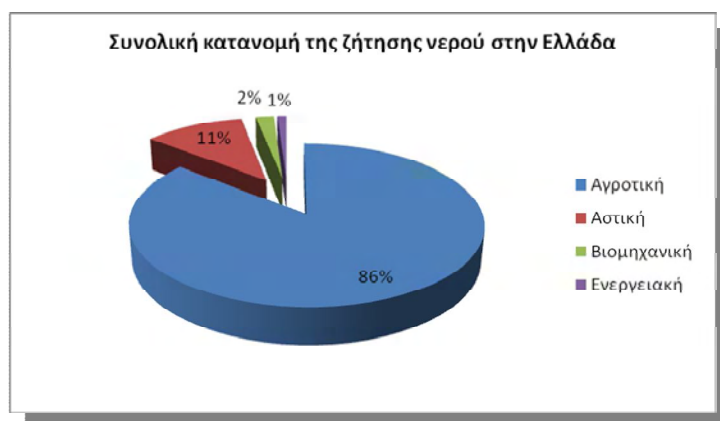
2.4 Υδατικοί πόροι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα μπορεί να χαρακτηριστεί γενικά ως χώρα πλούσια σε επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται περίπου στα 700 mm ανά έτος, με τη Δυτική Ελλάδα να έχει μέσο ετήσιο όγκο βροχοπτώσεων που καλύπτει περίπου το 48% της βροχόπτωσης της χώρας. Παρόλο που υπάρχει η αίσθηση αφθονίας νερού υπάρχουν λόγοι που μειώνουν σημαντικά την πραγματικά διαθέσιμη ποσότητα και προκαλούν προβλήματα στην διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας, οι οποίοι είναι (ΥΠ.ΑΝ, 2003):

- η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο,
- η άνιση κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο, χωρίς αντιστοιχία με την κατανομή της προσφοράς,

- η γεωμορφολογία της χώρας,
- η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από διασυνοριακά ύδατα,
- το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών,
- τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Στη χώρα μας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.1, η γεωργία αποτελεί τον κύριο καταναλωτή νερού. Περίπου το 86% του νερού καταναλώνεται για αρδευτικούς σκοπούς. Η κατανάλωση του νερού για αστικούς έρχεται δεύτερη με ποσοστό 11%, ενώ μόνο το 2% της κατανάλωσης του νερού γίνεται από τη βιομηχανία και 1% για ενέργεια (OECD, 2009, Zaimes and Emmanouloudis, 2012). Σύμφωνα με την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) το μεγαλύτερο ποσοστό ζήτησης νερού στην γεωργία προέρχεται από τη Θεσσαλία (25,1%), την Ανατολική Στερεά Ελλάδα (12,5%) και την Κεντρική Μακεδονία (10,5%). Η μεγαλύτερη ζήτηση νερού για αστική χρήση υπάρχει στην Αττική με ποσοστό 37,1% και στην Κεντρική Μακεδονία (10,5%). Στο βιομηχανικό τομέα, η μεγαλύτερη ζήτηση παρουσιάζεται στη Δυτική (26,5%) και Κεντρική Μακεδονία (21,2%). Τέλος, όσον αφορά την ζήτηση του νερού για ενεργειακή χρήση μεγαλύτερες ανάγκες παρουσιάζει η Δυτική Στερεά Ελλάδα με ποσοστό 19,8% (Πίνακας 2.1).



Διάγραμμα 2.1: Ζήτηση νερού ανά χρήση στην Ελλάδα (ΕΤΜΠ, Ιδία επεξεργασία)

Ζήτηση ανά Υδατικό Διαμέρισμα	Αγροτική χρήση	Αστική χρήση	Βιομηχανική χρήση	Ενεργειακή χρήση
Βόρεια Πελοπόννησος	3,3	3	2,7	7,5
Δυτική Πελοπόννησος	6,4	4,8	2,7	6,8
Ανατολική Πελοπόννησος	3,2	2,2	3,5	3,8
Δυτική Στερεά Ελλάδα	6	2,8	0,9	19,8
Ήπειρος	6	5,5	0,9	10,4
Αττική	1,6	37,1	15,9	0,9
Ανατολική Στερεά Ελλάδα	12,5	5,4	5,3	5,7
Θεσσαλία	25,1	6,9	6,2	8,5
Δυτική Μακεδονία	5,9	5,1	26,5	9,4
Κεντρική Μακεδονία	10,5	10,5	21,2	9,4
Ανατολική Μακεδονία	6,2	3	8,8	7,5
Θράκη	6,7	3,5	2,7	2,8
Κρήτη	5,2	5,4	1,8	4,7
Νησιά Αιγαίου	1,4	4,8	0,9	2,8

Πίνακας 2.1: Ζήτηση νερού ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα (ΕΤΜΠ, Ιδία επεξεργασία)

Η ποιοτική κατάσταση των υδάτων στη χώρα μας είναι γενικά καλή, με εξαίρεση ορισμένες περιοχές που παρουσιάζουν προβλήματα υποβάθμισης των υδατικών πόρων τους λόγω των ρυπαντικών φορτίων που δέχονται από μακροχρόνιες και χωρίς προγραμματισμό δραστηριότητες όπως η γεωργία, η βιομηχανία και τα αστικά λύματα.

Επομένως, συνολικά για τους υδατικούς πόρους της χώρας επισημαίνεται ότι η διαθέσιμη ποσότητα νερού μειώνεται συνεχώς και έτσι ορισμένες περιοχές γίνονται ελλειμματικές σε νερό. Η ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων, στα πλαίσια των μέχρι τώρα θεσμικών ρυθμίσεων για την ποιότητα, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα οξυμμένα προβλήματα, εκτός από μεμονωμένες περιοχές και παράκτιες ζώνες. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι η τάση αναβάθμισης της ποιότητας των υδάτων που διαμορφώνεται σε ευρωπαϊκό επίπεδο δεν επιτρέπει εφησυχασμό και επιτάσσει την αναθεώρηση των μέχρι τώρα αξιολογήσεων (ΥΠ. ΑΝ., 2003)

Το μέχρι πρόσφατα υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης και προστασίας των υδάτινων πόρων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο περιελάμβανε δυο βασικά νομοθετήματα, το νόμο 1650/86 για την «Προστασία του περιβάλλοντος» που

αντιμετωπίζει το νερό ως στοιχείο του περιβάλλοντος και προβλέπει μέτρα οργανωτικά και θεσμικά για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας των υδατικών πόρων και το νόμο 1739/87 για τη «Διαχείριση των Υδάτινων Πόρων». Το 2003 ψηφίστηκε ο νόμος 3199/03, ένα νέο νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδάτων, που αποτελεί την εναρμόνιση της νομοθεσίας της χώρας μας με την Οδηγία – Πλαίσιο για τα Ύδατα.

2.5 Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ) αποτελεί έναν όρο ο οποίος παρόλο που στις μέρες μας χρησιμοποιείται ευρέως στη βιβλιογραφία, δεν υπάρχει κοινή συμφωνία για τον ορισμό της. Ο περισσότερος αποδεκτός ορισμός είναι αυτός που δόθηκε από τον παγκόσμιο οργανισμό Παγκόσμια Σύμπραξη για το Νερό (GWP, 2000):

«Η διαδικασία που προωθεί την συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση του νερού, της γης και των σχετικών πόρων, με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η προκύπτουσα οικονομική και κοινωνική ευημερία με δίκαιο τρόπο, χωρίς να διακυβεύεται η βιωσιμότητα ζωτικών οικοσυστημάτων.»

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η ΟΔΥΠ μπορεί να θεωρηθεί ως μία ολιστική προσέγγιση που προσπαθεί να ενσωματώσει κοινωνικοοικονομικά, τεχνικά, θεσμικά και περιβαλλοντικά κριτήρια με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα των υδατικών πόρων για τις επόμενες γενιές (Jonker, 2002).

Ένας ακόμη συχνά χρησιμοποιήσιμος ορισμός της ΟΔΥΠ είναι αυτός που δόθηκε από το Παγκόσμιο Συμβούλιο Νερού (WWCa, 2000):

«Η φιλοσοφία που υποστηρίζει ότι το νερό πρέπει να αντιμετωπίζεται από μία ολιστική σκοπιά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη φυσική του κατάσταση, όσο και την εξισορρόπηση ανταγωνιστικών απαιτήσεων – νερό για αγροτικούς, βιομηχανικούς και περιβαλλοντικούς σκοπούς. Η διαχείριση των υδατικών πόρων και υπηρεσιών πρέπει να αντικατοπτρίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των απαιτήσεων και επομένως πρέπει να συντονίζεται λαμβάνοντας υπόψη όλους τους τομείς εφαρμογής. Αν οι διασταυρούμενες απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν και αν μπορεί να υπάρξει οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση μέσα στο διαχειριστικό πλαίσιο για τους υδατικούς πόρους και υπηρεσίες, ένα πιο δίκαιο, αποτελεσματικό και βιώσιμο σύστημα θα αναδειχθεί.»

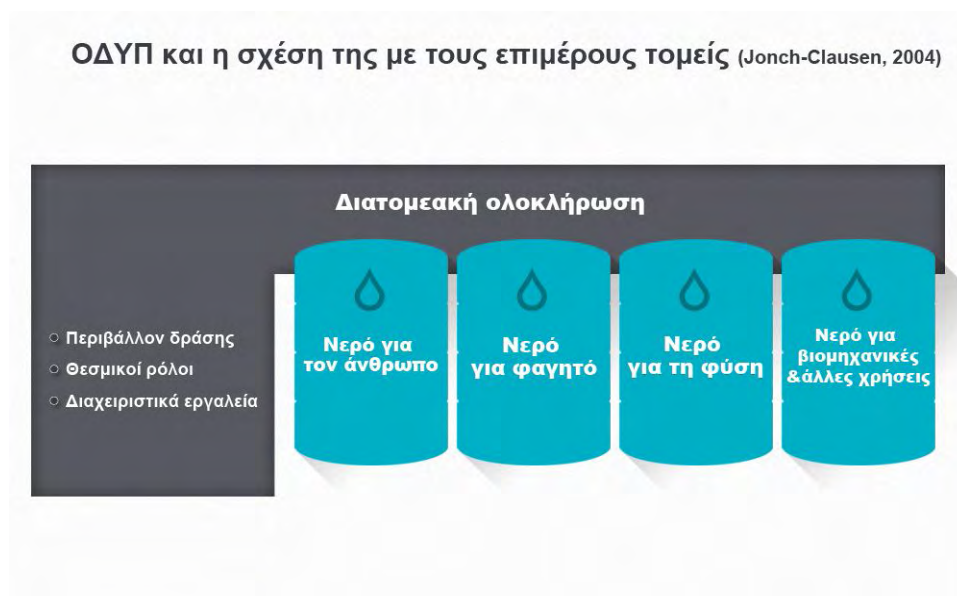
Ορισμοί της ΟΔΥΠ μεταξύ άλλων έχουν δοθεί από World Bank (1993), Pollard (2002), Thomas and Durham (2003) και UN-WWAP (2003). Οι περισσότεροι ορισμοί της συγκλίνουν στο ότι αποτελεί μία προσέγγιση στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων που ως στόχο έχει τη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης στη χρησιμοποίηση του νερού, την προώθηση της ισότητας στην πρόσβαση στο νερό και την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (Savenije and Van der Zaag, 2008, Butterworth et al., 2010). Για την ικανοποίηση των παραπάνω στόχων, η ΟΔΥΠ εστιάζει σε τρεις βασικούς πυλώνες (Jonch- Clausen, 2004):

- Το περιβάλλον δράσης, με την εφαρμογή κατάλληλων πολιτικών, στρατηγικών και νομοθεσιών
- Τη δημιουργία του θεσμικού πλαισίου
- Την ανάπτυξη των διαχειριστικών εργαλείων για την εφαρμογή τους από τους εμπλεκόμενους φορείς



Σχήμα 2.2: Οι Τρεις πυλώνες στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (Jonch- Clausen, 2004, Ιδία επεξεργασία)

Η εφαρμογή της ΟΔΥΠ παρουσιάζει δυσκολίες και η επίτευξη των στόχων της δεν είναι απλή, αφού απαιτεί την χρησιμοποίηση πολλών διαφορετικών εργαλείων (διαχειριστικών, οικονομικών, θεσμικών και τεχνολογικών) και την ανάλυση πολλών και διαφορετικών τομέων (αστικός, βιομηχανικός, γεωργικός και περιβαλλοντικός). Η ολοκλήρωση κατά την εφαρμογή της ΟΔΥΠ μπορεί να επιτευχτεί κάθετα και οριζόντια μέσω της συνεργασίας διάφορων παραγόντων (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.3: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων και η σχέση της με του επιμέρους τομείς (Jonch- Clausen, 2004, Ιδία επεξεργασία)

2.6 Σταθμοί στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Αν και η ιστορία της ΟΔΥΠ έχει τις ρίζες στο 1933 με την ίδρυση της Tennessee Valley Authority (Jeffrey and Gearey, 2006, Molle, 2008, Stalnacke and Gooch, 2010), έγινε ευρέως γνωστή τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της κρίσης που αντιμετωπίζουν οι υδατικοί πόροι από την μη ορθολογική διαχείρισή τους. Σύμφωνα με τους Savenije and Van der Zaag, (2008), πολλοί διεθνείς οργανισμοί, δείχνουν ενδιαφέρον για την ορθολογική διαχείριση του νερού και την προώθηση της ΟΔΥΠ και πολλά συνέδρια έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες.

Η συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το νερό το 1977 στη Mar del Plata της Αργεντινής αποτελεί σταθμό στην ιστορία της διαχείρισης των υδάτων καθώς ήταν η πρώτη διεθνώς συντονισμένη προσέγγιση στην ΟΔΥΠ. Οι στόχοι της συνδιάσκεψης ήταν η αξιολόγηση των υδατικών πόρων, η εξασφάλιση ότι μία επαρκής ποσότητα ποιοτικού νερού ήταν διαθέσιμη για να καλύψει τις κοινωνικοοικονομικές ανάγκες παγκοσμίως, η αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού και η προώθηση της ετοιμότητας, τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και παγκόσμια, ώστε να αποφευχθεί μία κρίση των υδατικών πόρων που θα έχει παγκόσμιες διαστάσεις πριν το τέλος του εικοστού αιώνα (Rahaman and Varis, 2005). Το σχέδιο δράσης του συνεδρίου κάλυψε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων όπως η αξιολόγηση των υδατικών πόρων, η απόδοση του νερού, το περιβάλλον, ο έλεγχος της ρύπανσης και της υγείας, η νομοθεσία, η τοπική και διεθνής συνεργασία κ.α. (Biswas, 2004).

Το 1992, το διεθνές συνέδριο για το νερό και το περιβάλλον πραγματοποιήθηκε στο Δουβλίνο της Ιρλανδίας. Βασικός στόχος του συνεδρίου ήταν η ανάπτυξη, διαχείριση και χρησιμοποίηση των υδατικών πόρων σε αρμονία με το περιβάλλον και η έννοια της βιωσιμότητας. Στο συνέδριο αυτό διατυπώθηκαν οι «βασικές αρχές του νερού», οι οποίες αναγνωρίζουν τη στενή αλληλεξάρτηση της οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής ασφάλειας και αποτελούν ένα σύνολο αρχών που προσδιορίζουν την έννοια της ΟΔΥΠ. Οι αρχές αυτές είναι οι εξής (ICWE, 1992):

- *Το νερό είναι ένας πεπερασμένος και ευαίσθητος πόρος, απαραίτητος για τη διατήρηση της ζωής, της ανάπτυξης και του περιβάλλοντος. Δεδομένου ότι το νερό στηρίζει τη ζωή, η αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων απαιτεί μία ολιστική προσέγγιση, συνδέοντας την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη με την προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων. Η αποτελεσματική διαχείριση συνδέει τις χρήσεις γης και νερού στο σύνολο μίας υδρολογικής λεκάνης ή ενός υπόγειου υδροφορέα.*
- *Η ανάπτυξη και διαχείριση του νερού πρέπει να βασίζεται στη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων (χρηστών, διαχειριστών και πολιτικών). Η συμμετοχική προσέγγιση περιλαμβάνει την αύξηση της ευαισθησίας για τη σπουδαιότητα του νερού μεταξύ των πολιτικών φορέων και της κοινής γνώμης. Σημαίνει ότι οι αποφάσεις λαμβάνονται στο κατώτερο δυνατό επίπεδο, με πλήρη διαβούλευση με το κοινό και συμμετοχή των χρηστών στο σχεδιασμό και την εφαρμογή των σχεδίων.*
- *Οι γυναίκες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη παροχή, διαχείριση και διαφύλαξη του νερού. Αυτός ο κεντρικός ρόλος των γυναικών ως προμηθευτών και χρηστών του νερού και ως φυλάκων του ζωντανού περιβάλλοντος σπάνια αντικατοπτρίζεται στις θεσμικές ρυθμίσεις για το περιβάλλον και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Η αποδοχή και εφαρμογή αυτής της αρχής απαιτεί θετικές πολιτικές για την αντιμετώπιση των ειδικών αναγκών των γυναικών και για να τις ενισχύσουν και να τις εξοπλίσουν ώστε να συμμετέχουν σε όλα τα επίπεδα των προγραμμάτων για τους υδατικούς πόρους, στη λήψη αποφάσεων και την εφαρμογή τους, με τρόπο που καθορίζεται από αυτές.*
- *Το νερό έχει οικονομική αξία σε όλες τις ανταγωνιστικές του χρήσεις και πρέπει να αναγνωρίζεται ως οικονομικό αγαθό. Μέσα σ' αυτή την αρχή, είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωριστεί πρώτα το βασικό δικαίωμα όλων των ανθρώπων στην πρόσβαση σε καθαρό νερό και την υγιεινή σε προσιτή τιμή. Η προηγούμενη αποτυχία να αναγνωριστεί η οικονομική αξία του νερού έχει οδηγήσει σε σπατάλες και περιβαλλοντικά επιζήμιες χρήσεις του πόρου. Η διαχείριση του νερού ως οικονομικού αγαθού είναι ένας σημαντικός τρόπος να επιτευχθεί επαρκής και δίκαιη χρήση και να ενθαρρυνθεί η συντήρηση και η προστασία των υδατικών πόρων.*

Το 1992, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών πραγματοποίησε τη Διάσκεψη Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη στο Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας και ήταν η πρώτη διάσκεψη η οποία έκανε γνωστή την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και εξέτασε προβλήματα περιβαλλοντικής καταστροφής και αναπτυξιακών θεμάτων. Το βασικότερο αποτέλεσμα της συνόδου αυτής ήταν η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου δράσης, γνωστού ως Ατζέντα 21. Στόχος της Ατζέντας 21 ήταν η προώθηση των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης. Στη διάσκεψη επισημάνθηκε ότι η ΟΔΥΠ βασίζεται στην αντίληψη του νερού ως βασικού συστατικού του οικοσυστήματος, ως φυσικού πόρου, ως κοινωνικού και οικονομικού αγαθού (Gleick et al., 2002).

Το 1997, το Παγκόσμιο Συμβούλιο του Νερού πραγματοποίησε το Πρώτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ (WWC) στο Μαρακές. Ακολούθησε, το Μάρτιο του 2000 στη Χάγη, το Δεύτερο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ παράλληλα με την Υπουργική Διάσκεψη. Στο συνέδριο αυτό συζητήθηκε η διαχείριση των υδατικών πόρων παγκοσμίως, δίνοντας έμφαση στην ασφαλή παροχή νερού στους κατοίκους όλου του πλανήτη. Επιπρόσθετα, συζητήθηκε η μελέτη του Παγκόσμιου Συμβουλίου Νερού «Παγκόσμιο Όραμα για το Νερό», η οποία τόνισε ότι απαραίτητο να υιοθετηθεί μια ολιστική προσέγγιση στην ΟΔΥΠ. Οι αποφάσεις πρέπει είναι τεχνικά και επιστημονικά ενημερωμένες, να παίρνονται με τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων και σε επίπεδο λεκάνης απορροής και υδροφόρου ορίζοντα που είναι οι φυσικές μονάδες από τις οποίες η φύση διαχειρίζεται το νερό (WWC, 2000b).

Τον Δεκέμβριο του 2001 πραγματοποιήθηκε στη Βόννη της Γερμανίας το Παγκόσμιο Συνέδριο Γλυκών Υδάτων. Σκοπός του συνεδρίου ήταν να συμβάλλει στην εύρεση λύσεων των παγκοσμίων προβλημάτων νερού και να υποστηρίξει της προετοιμασίες για τη Παγκόσμια Σύνοδο Κορυφής για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (Γιοχάνεσμπουργκ το 2002) και το Τρίτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ (Κιότο, 2003). Στο συνέδριο δόθηκε έμφαση στα βασικά βήματα που οδηγούν στη βιώσιμη ανάπτυξη τα οποία είναι η κάλυψη της ανάγκης των φτωχών για ασφαλές νερό, η αποκέντρωση, οι νέες συνεργασίες. Για την επίτευξη αυτών των στόχων και την αποφυγή περαιτέρω κρίσης

στον τομέα των υδάτων η ΟΔΥΠ αποτελεί την πιο κατάλληλη προσέγγιση (Scoullou et al., 2002).

Η Παγκόσμια Σύνοδος Κορυφής για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, η οποία διεξήχθη στο Γιοχάνεσμπουργκ το 2002 συμπεριέλαβε την ΟΔΥΠ ως μία βασική προσέγγιση στην επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Στη σύνοδο αυτή υιοθετήθηκε το «Σχέδιο εφαρμογής του Γιοχάνεσμπουργκ» που είχε ως στόχο την επιτάχυνση της υλοποίησης των στόχων που είχαν τεθεί από την Ατζέντα 21 του συνεδρίου του Ρίο και ωθούσε τα κράτη να πετύχουν αυτούς τους στόχους μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια. Οι σημαντικότεροι από τους στόχους που υιοθετήθηκαν στο Γιοχάνεσμπουργκ αφορούν στην εξάλειψη της φτώχειας, καθώς και στην υγιεινή και την πρόσβαση σε καθαρό νερό.

Το Τρίτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ πραγματοποιήθηκε το 2003 στο Κιότο της Ιαπωνίας. Τα κύρια ζητήματα που απασχόλησαν ήταν η πρόσβαση σε καθαρό νερό για όλους μέσω της αποτελεσματικής διακυβέρνησης, τη δημιουργία κατάλληλης υποδομής και τη συμμετοχή του κοινού. Και σε αυτό το Φόρουμ τονίστηκε μεταξύ άλλων ότι η ΟΔΥΠ είναι ο τρόπος να επιτευχθεί η βιωσιμότητα των υδατικών πόρων, καθώς και η ανάγκη να συμπεριληφθεί ο συμμετοχικός σχεδιασμός στη διαχείριση των υδατικών πόρων (Rahaman and Varis, 2005). Στη συνέχεια ακολούθησαν ακόμη τρία Παγκόσμια Υδατικά Φόρουμ κάθε τρία χρόνια στα οποία δόθηκε όλο και περισσότερη έμφαση στην ΟΔΥΠ.

Το 2012 πραγματοποιήθηκε στο Ρίο ντε Τζανέιρο η τρίτη συνδιάσκεψη για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Στη συνδιάσκεψη επιβεβαιώθηκε ουσιαστικά η αναγκαιότητα ανανέωσης των δεσμεύσεων που είχαν διατυπωθεί στις δύο προηγούμενες, ενώ δημιουργήθηκε μία έκθεση με τίτλο «Το μέλλον που επιθυμούμε», στο οποίο ορίστηκε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο δράσης καθώς και οι στόχοι της βιώσιμης ανάπτυξης. Επίσης αναφέρεται ότι η προστασία και διαχείριση των φυσικών πόρων αποτελεί βασική αρχή της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης και αναγνωρίστηκε

η συμβολή της «πράσινης οικονομίας», ειδικά στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και στην εξάλειψη της φτώχειας.

ΤΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΤΟΣ	ΓΕΓΟΝΟΣ	ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ
<i>Mar del Plata, 1977</i>	<i>Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το νερό</i>	Εμφάνιση για πρώτη φορά του ορισμού της ΟΔΥΠ
<i>Δουβλίνο, 1992</i>	<i>Διεθνές συνέδριο για το Νερό και το Περιβάλλον</i>	Διατύπωση των τεσσάρων αρχών της ΟΔΥΠ:
<i>Ρίο Ντε Τζανέιρο, 1992</i>	<i>Διάσκεψη Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη</i>	Ατζέντα 21 - Υιοθέτηση των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης
<i>Μαρακές, 1997</i>	<i>Πρώτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ</i>	Νερό ως παγκόσμιο πρόβλημα
<i>Χάγη, 2000</i>	<i>Δεύτερο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ και Υπουργική Διάσκεψη</i>	«Παγκόσμιο Όραμα για το νερό» - Υιοθέτηση ολιστικής προσέγγισης στην ΟΔΥΠ
<i>Βόννη, 2001</i>	<i>Παγκόσμιο Συνέδριο Γλυκών Υδάτων</i>	Η ΟΔΥΠ ως προσέγγιση για τη βιώσιμη ανάπτυξη
<i>Γιοχάνεσμπουργκ, 2002</i>	<i>Παγκόσμια Σύνοδος Κορυφής για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη</i>	«Σχέδιο εφαρμογής του Γιοχάνεσμπουργκ»- Στόχοι για την βιώσιμη ανάπτυξη
<i>Κιότο, 2003</i>	<i>Τρίτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ</i>	Η ΟΔΥΠ ως προσέγγιση για τη βιώσιμη ανάπτυξη
<i>Μεξικό, 2006</i>	<i>Τέταρτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ</i>	Δόθηκε έμφαση στην ΟΔΥΠ
<i>Κωνσταντινούπολη, 2009</i>	<i>Πέμπτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ</i>	Δόθηκε έμφαση στην ΟΔΥΠ
<i>Μασσαλία, 2012</i>	<i>Έκτο Παγκόσμιο Υδατικό Φόρουμ</i>	Δόθηκε έμφαση στην ΟΔΥΠ
<i>Ρίο ντε Τζανέιρο, 2012</i>	<i>Παγκόσμια Διάσκεψη για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη-Ρίο+20</i>	«Το μέλλον που επιθυμούμε» - Ολοκληρωμένο πλαίσιο Δράσης για τη βιώσιμη ανάπτυξη

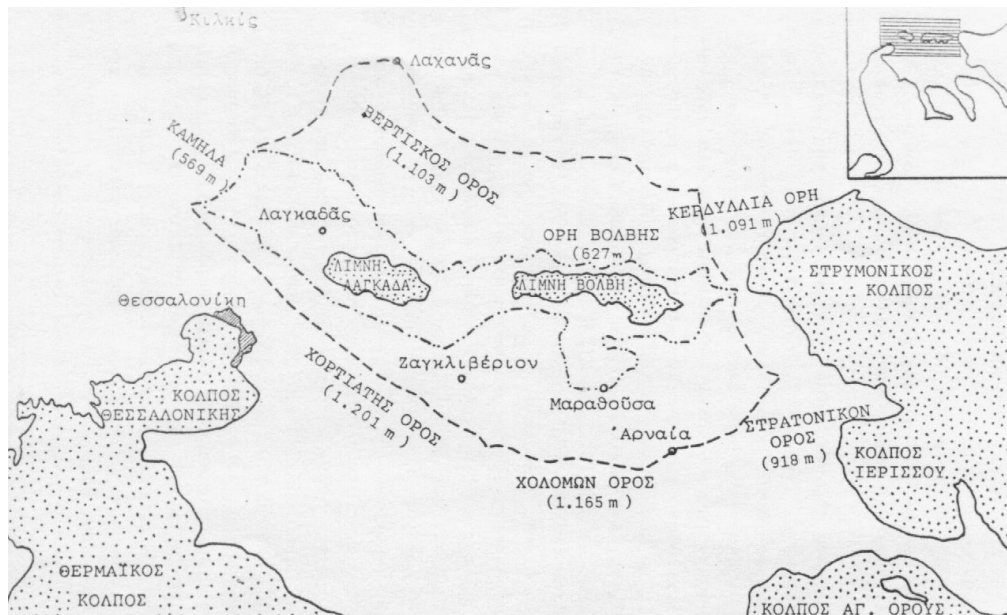
Πίνακας 2.2: Σταθμοί στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Υδρολογική λεκάνη Μυγδονίας

3.1.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η υδρολογική λεκάνη Μυγδονίας αποτελεί ένα εκτεταμένο και επίμηκες τεκτονικό βύθισμα γης, το οποίο διαχωρίζει τη χερσόνησο της Χαλκιδικής από τον κεντρικό κορμό της Μακεδονίας. Η λεκάνη της Μυγδονίας περιλαμβάνει δύο υπολεκάνες, την υπολεκάνη του Λαγκαδά και την υπολεκάνη της Βόλβης, στις οποίες ανήκουν η λίμνη του Λαγκαδά ή Κορώνεια ή Αγίου Βασιλείου και η λίμνη Βόλβη αντίστοιχα. Οι λίμνες αυτές αποτελούν υπολειμματικές μορφές της μεγάλης λίμνης της Μυγδονίας, η οποία είχε βάθος 110 μ και σχηματίστηκε στην Πλειόκαινο περίοδο (Ψιλοβίκος, 1977).



Εικόνα 3.1: Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής που ανήκει η λεκάνη της Μυγδονίας (Ψιλοβίκος, 1977)

Η λεκάνη της Μυγδονίας βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία, βορειοανατολικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και καταλαμβάνει έκταση περίπου 2,026 Km². Από το

Βορρά και το Νότο περικλείεται από βουνά το ύψος των οποίων κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1200 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ στα δυτικά υπάρχουν χαμηλότεροι λόφοι ύψους περίπου 550 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το ορεινό και ημιορεινό τμήμα της υδρολογικής λεκάνης καταλαμβάνει έκταση 1370 Km², ενώ το πεδινό της τμήμα καταλαμβάνει 656 Km² και οριοθετείται περίπου από την ισοϋψή των 200 m. Το δυτικό τμήμα της Μυγδονίας λεκάνης αποτελεί η υπολεκάνη της λίμνης Κορώνειας, η οποία καταλαμβάνει έκταση 282 Km², ενώ το ανατολικό της τμήμα καταλαμβάνει η υπολεκάνη της λίμνης Βόλβης με συνολική έκταση 220 Km². Το όριο μεταξύ των δύο υπολεκανών δεν είναι σαφές και προσεγγίζεται από τον άξονα Στίβου-Σχολαρίου, μέσω ενός συστήματος ραχών, λοφίσκων και αναβαθμίδων μέσω των οποίων διέρχεται ο ποταμός Δερβένι (Karavokyris and Partners κ.α, 1998).

Η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται 38 m ψηλότερα από τη λίμνη Βόλβη και παρότι υπήρχε αυτή η υψομετρική διαφορά, παλαιότερα δεν υπήρχε φυσική ροή ανάμεσα στις δύο λίμνες. Αργότερα, οι δύο λίμνες επικοινωνήσαν μεταξύ τους μέσω της ενωτικής αποστραγγιστικής τάφρου Δερβενίου, η οποία είχε βάθος 1 m και πλάτος 8 m. Σήμερα, λόγω της πτώσης της στάθμης των υδάτων της λίμνης Κορώνειας, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς πιέσεις που δέχεται η λίμνη κυρίως τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, δεν υπάρχει ροή μεταξύ των δύο λιμνών.

3.1.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη της Μυγδονίας αποτελεί τμήμα της Προ-μυγδονιακής λεκάνης, η οποία σχηματίστηκε κατά το Μειόκαινο, λόγω έντονων κανονικών ρηγματώσεων. Η Προ-μυγδονιακή λεκάνη κατακλύστηκε από εισρέοντα ύδατα και έτσι σχηματίστηκε η Προ-μυγδονιακή λίμνη. Κατά τη διάρκεια του Άνω Πλειοκαίνου, η δράση των περαιτέρω μετακινήσεων ανύψωσης είχαν ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της Προ-μυγδονιακής λίμνης. Ο περιορισμός αυτός της Προ-μυγδονιακής λίμνης αποκάλυψε περιοχές με λιμναίες ιζηματογενείς αποθέσεις. Κατά τη διάρκεια του Κάτω Πλειοκαίνου, η τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής αυξήθηκε και αυτή η αύξηση οδήγησε στην καθίζηση μεγάλου τμήματος της περιοχής. Αποτέλεσμα ήταν η συγκέντρωση περισσότερου νερού στην περιοχή και ο σχηματισμός της λίμνης Μυγδονίας.

Λόγω και άλλων τεκτονικών δραστηριοτήτων, αλλά και διάβρωσης του εδάφους που παρατηρήθηκαν κατά το Άνω Τεταρτογενές, η στάθμη της λίμνης της Μυγδονίας άρχισε να μειώνεται καθώς ένα μεγάλο ποσοστό νερού διέρρευσε από τη λίμνη προς το Στρυμονικό κόλπο. Η μείωση αυτή της στάθμης της λίμνης, είχε τελικά ως αποτέλεσμα το σχηματισμό δύο νέων λιμνών, της λίμνης Κορώνειας και της λίμνης Βόλβης (Κατιρτζόγλου Κ., 2001).

Το υπόβαθρο της λεκάνης της Μυγδονίας αποτελείται από Προαλπικής και Αλπικής ηλικίας μεταμορφωμένα πετρώματα που ανήκουν κυρίως στη Σερβομακεδονική μάζα, ενώ ένα μικρότερο τμήμα στα νοτιοδυτικά αυτής αποτελείται από πετρώματα της Περιοδοπικής και της ζώνης Αξιού.

Οι κυριότερες ιζηματογενείς αποθέσεις που υπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή έρευνας μπορούν να διακριθούν σε δύο συστήματα: το Προ-Μυγδονιακό σύστημα και το Μυγδονιακό σύστημα. Οι κυριότεροι σχηματισμοί που αποτελούν το Προ-Μυγδονιακό σύστημα είναι: α) ασβεστιτικές άργιλοι, β) κροκαλοπαγή, που αποτελούνται κυρίως από κροκάλες μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου, αμφιβολιτών και γνευσίου, γ) ψαμμίτες, δ) αργιλοψαμμιτικά ιζήματα εναλλαγών αργίλου, άμμου και ιλύος και ε) ερυθροστρώματα που αποτελούνται από αργλικές στρώσεις, στρώσεις άμμου και κροκαλλών τα οποία έχουν ένα χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα. Το Μυγδονιακό σύστημα χωρίζεται σε κατώτερες και ανώτερες αποθέσεις. Οι σχηματισμοί που αποτελούν τις κατώτερες αποθέσεις είναι: α) κροκάλες μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου, γνευσίου και ψυλλίτη, β) άμμους και γ) αργλικά υλικά που σχηματίστηκαν κατά τη φάση δημιουργίας της λίμνης Μυγδονίας. Οι ανώτερες αποθέσεις αποτελούνται από α) αργλικά στρώματα, β) εναλλασσόμενα στρώματα αργίλου και άμμου, γ) καλά διαβαθμισμένη άμμος και δ) άμμους και κροκάλες που σχηματίστηκαν κατά τη φάση αποστράγγισης της λίμνης της Μυγδονίας. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης της Μυγδονίας και σε πολλές περιοχές το πάχος τους ξεπερνά τα 100 m (Ψιλοβίκος, 1977).

3.1.3 Κλίμα

Η περιοχή έρευνας, με βάση τη ταξινόμηση κατά Köppen ανήκει στον κλιματικό τύπο Csa, που αναφέρεται στο κλίμα της ενδοχώρας της λεκάνης της Μεσογείου. Τα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου κλίματος είναι μεσόθερμο κλίμα με ξηρή περίοδο το καλοκαίρι, ενώ στα τμήματα μεγαλύτερου υψομέτρου επικρατούν συγκριτικά δριμύτερες κλιματικές καταστάσεις, οι οποίες ανταποκρίνονται πληρέστερα στους χαρακτήρες του ηπειρωτικού κλίματος. Ο μέσος όρος των θερμοκρασιών της περιοχής είναι 15° C. Τόσο η λίμνη Κορώνεια, όσο και η λίμνη Βόλβη παίζουν ρυθμιστικό ρόλο για το κλίμα της περιοχής, επειδή οι υδάτινοι όγκοι τους αποθηκεύουν αλλά και απελευθερώνουν θερμότητα, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την υγρασία και τη θερμοκρασία της περιοχής (Μυλόπουλος και Τολίκας, 2001).

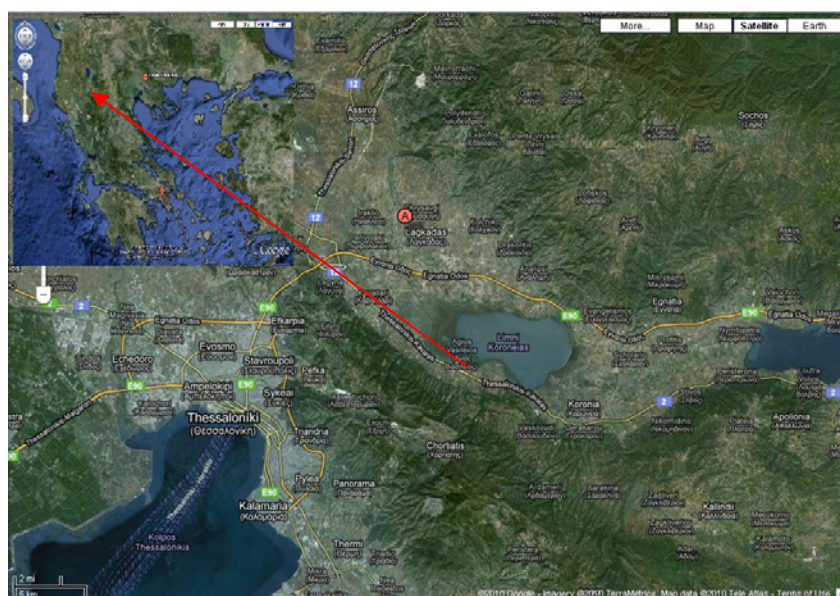
3.2 Υδρολογική υπολεκάνη Λαγκαδά

Η υπολεκάνη του Λαγκαδά βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Μυγδονίας, και εκτείνεται ανατολικά από τα υψώματα της περιοχής Στίβου- Σχολαρίου και δυτικότερα μέχρι Μελισσοχώρι, Δρυμό, όρος Καμήλα και Άσσηρο. Η έκταση αυτή μέχρι το υψόμετρο των 200 m καταλαμβάνεται από χαλαρά ιζήματα και έχει έκταση 282 Km². Από αυτά τα 269 Km² αποτελούν το πεδινό τμήμα και τα 13 Km² αποτελούν τη λοφώδη περιοχή του Δρυμού, στην οποία κυριαρχούν οι αποθέσεις ερυθρών αργίλων με λίγες εναλλαγές από στρώσεις μιγμάτων άμμων, αργίλων, κροκαλών και ψηφίδων. Το μέσο υψόμετρο του πεδινού τμήματος είναι 116 m. Η υπόλοιπη έκταση, η οποία έχει υψόμετρο μεγαλύτερο των 200 m είναι 464 Km², με μέσο υψόμετρο 420 m και συνίσταται από την υδρολογική υπολεκάνη απορροής Μπογδάνα ποταμού, την υπολεκάνη απορροής Κολχικού ρέματος, το ρέμα Ανάληψης και τη λοφώδη-ημιορεινή περιοχή νότια της λίμνης Κορώνειας (Μήτσου και Τσακουμής, 2002). Στην υπολεκάνη του Λαγκαδά ο βασικός αποδέκτης των αποστραγγιζόμενων νερών της περιοχής είναι η λίμνη Κορώνεια.

3.3 Λίμνη Κορώνεια

3.3.1 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η λίμνη Κορώνεια, γνωστή και ως λίμνη Λαγκαδά ή λίμνη Αγ. Βασιλείου, βρίσκεται σε απόσταση περίπου 12 Km βορειοανατολικά της Θεσσαλονίκης και ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Η λίμνη βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ}40'58''$ N και μήκος $23^{\circ}09'33''$ E, με μέσο υψόμετρο 75 m από την επιφάνεια της θάλασσας και αποτελεί το ανώτερο τμήμα της λεκάνης της Μυγδονίας. Από Βορρά και Νότο περικλείεται από βουνά, με ύψος μεταξύ 600 και 1200 m από την επιφάνεια της θάλασσας και από μια σειρά με χαμηλούς λόφους και κοιλώματα μέσου υψομέτρου περίπου 550 m από την επιφάνεια της θάλασσας στα δυτικά. Παλιότερα η λίμνη Κορώνεια αποτελούσε την τέταρτη μεγαλύτερη λίμνη της Ελλάδας και η υδατική της επιφάνεια καταλάμβανε έκταση περίπου 47 Km (Moustaka-Gouni et al., 2012). Τα τελευταία χρόνια η επιφάνειά της δεν είναι σταθερή και το μέγιστο βάθος είναι μικρότερο του 1 m. (Papakostas et al., 2013). Τα αποθέματα νερού της λίμνης Κορώνειας μέχρι το 1985 ήταν 200 Mm^3 , ενώ το 2002 ήταν 20 Mm^3 (Myloroulos et al., 2006). Ο χείμαρρος Μπογδάνας, αποτελεί μέρος της βόρειας περιοχής της υπολεκάνης του Λαγκαδά και είναι ο βασικός χείμαρρος που τροφοδοτούσε τη λίμνη Κορώνεια, με έκταση λεκάνης απορροής περίπου στα 300 Km^2 .



Εικόνα 3.2 : Θέση της λίμνης Κορώνειας στον Ελλαδικό χώρο

3.3.2 Γεωλογικά-τεκτονικά χαρακτηριστικά

Οι Προ-Νεογενείς γεωλογικοί σχηματισμοί στη λεκάνη της Μυγδονίας, αποτελούν τμήμα της Σερβομακεδονικής μάζας με εξαίρεση το δυτικό της τμήμα, το οποίο αντιστοιχεί στην πεδινή περιοχή της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας και το οποίο σχηματίζει το όριο της Σερβομακεδονικής μάζας με τη ζώνη Αξιού. Τα ιζήματα της ευρύτερης περιοχής έρευνας είναι Μειοκαινικής- Ολιγοκαινικής ηλικίας, με πάχος από 50 έως 450 μ και με μέση τιμή τα 250 μ. Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται κυρίως από έντονα ρωγματομένα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα στα λοφώδη και ορεινά της περιοχής και από τεταρτογενείς σχηματισμούς οι οποίοι προέρχονται από την αποσάθρωση των πρώτων στα εδάφη που βρίσκονται κοντά στην λίμνη (Λυμπεροπούλου, 1994).

Η Μυγδονία λεκάνη είναι ένα εκτεταμένο τεκτονικό βύθισμα που είναι ενεργό μέχρι και σήμερα και σχηματίστηκε στην διάρκεια του Νεογενούς. Τα ρήγματα αυτά σχετίζονται με την αύξηση κατά θέσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας των βραχωδών πετρωμάτων. Επικρατέστερες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι η ΒΔ-ΝΑ και η Α-Δ και ακολουθούν τα ΒΑ-ΝΔ και Β-Ν. Σε ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης έχει βρεθεί ότι οφείλονται ανυψώσεις του υποβάθρου σε δύο περιοχές της λεκάνης. Η πρώτη ανύψωση εντοπίζεται στην περιοχή που βρίσκεται ανατολικά του Σχολαρίου και η δεύτερη ανύψωση βρίσκεται στην περιοχή των λουτρών Λαγκαδά, στο υπόβαθρο των οποίων εντοπίζεται τεκτονικό κέρας εκατέρωθεν του οποίου σχηματίζονται δύο τεκτονικοί τάφροι (Βεράνης κ.α., 2002).

3.3.3 Υδρογεωλογία

Εντός της υπολεκάνης του Λαγκαδά, στην οποία ανήκει η λίμνη Κορώνεια κυριαρχούν δύο υδροφορείς, ένας ρηχός και ένας βαθύς υδροφορέας, οι οποίοι διαχωρίζονται μεταξύ τους από ένα αργιλικό ημιδιαπερατό στρώμα, παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά στη ροή των υπόγειων υδάτων τους και εμπλουτίζονται εντός της λεκάνης απορροής. Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, η στάθμη των υπόγειων υδάτων μειώθηκε σημαντικά. Όταν υπάρχουν κανονικές συνθήκες ροής, τα υπόγεια

ύδατα ρέουν από την υπολεκάνη του Λαγκαδά στην υπολεκάνη της Βόλβης και στη συνέχεια εκβάλλουν στο Στρυμονικό κόλπο.

Ρηχός υδροφορέας

Ο ρηχός υδροφορέας εντοπίζεται από την επιφάνεια του εδάφους και φτάνει σε βάθος μέχρι περίπου 40 με 50 m, είναι ελεύθερος και συνίσταται από μία διαδοχή λιμναίων αποθεμάτων που αποτελούνται από άμμο και χαλίκι που διαχωρίζονται μεταξύ τους από στρώσεις αργίλου. Η τροφοδοσία του πραγματοποιείται με απ' ευθείας κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρυσμωμάτων της τάξης των 30 Mm³/έτος, καθώς και από άλλες διάφορες διαρροές από ρέματα και κοίτες ποταμών σε περιόδους που υπάρχουν υψηλές βροχοπτώσεις. Όλες οι επιφανειακές ροές αυξάνονται από τη βασική παροχή, μέσω των χαλικιών και της άμμου του ρηχού υδροφορέα. Οι παραπάνω ρηχοί υδροφορείς επικοινωνούν υδραυλικά με τη λίμνη Κορώνεια (Karavokyris and Partners κ.α., 1998).

Βαθύς υδροφορέας

Ο βαθύς υδροφορέας εντοπίζεται από το βάθος των 60 m μέχρι το βάθος των 450 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους και έχει έκταση επιφανειακής αποκάλυψης, μεταξύ 5 με 7 Km². Αποτελείται από Τεταρτογενή και Νεογενή κλαστικά υλικά και διαχωρίζεται από τον ρηχό υδροφορέα από ένα αργιλικό ημιδιαπερατό στρώμα. Η τροφοδοσία αυτού του υδροφορέα πραγματοποιείται με απευθείας κατείσδυση στις επιφανειακές αποκαλύψεις της τάξης των 2 Mm³/έτος και έμμεσα με πλευρική τροφοδοσία από πετρώματα που βρίσκονται στα κράσπεδα του τεκτονικού βυθίσματος, μέσω ρωγμών, κατακλάσεων και ρηγμάτων στα σημεία επαφής τους, τα οποία λειτουργούν ως δίοδοι κυκλοφορίας των υδάτων από κατείσδυση στους παραπάνω σχηματισμούς.

Επιφανειακή Υδρολογία

Ολόκληρη η λεκάνη απορροής της λίμνης Κορώνειας διασχίζεται από ένα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο καλύπτει μία επιφάνεια περίπου 850 Km². Παρατηρείται ότι η κύρια μορφή της επιφανειακής ροής είναι τύπου χειμαρρώδους

ροής, η οποία αποστραγγίζει στα υψηλότερα σημεία της λεκάνης και τροφοδοτεί στη συνέχεια την πεδινή περιοχή της λίμνης.

Οι κυριότεροι χείμαρροι λεκάνης απορροής σύμφωνα με τους Karavokyris and Partners κ.α. (1998) είναι:

- Ο χείμαρρος Μπογδάνας που πηγάζει από τον Βερτίσκο στο βόρειο μέρος της λεκάνης, συγκεντρώνει τα ύδατα της περιοχής νοτίως του Λαχανά και εκβάλλει στο βορειοδυτικό μέρος της λίμνης. Ο Μπογδάνας έχει έκταση λεκάνης 212 Km².
- Μεγάλο Ρέμα ή Ρέμα Κολχικού που συγκεντρώνει τα ύδατα της περιοχής του Κολχικού στο βόρειο μέρος της λεκάνης και εκβάλλει στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα της λίμνης Κορώνειας. Η λεκάνη του έχει έκταση 86,1 Km².
- Ρέματα Αγ. Παρασκευής και Πλατανάρα που συγκεντρώνουν τα ύδατα της βορειοανατολικής πλευράς του Χορτιάτη και συντελούν στην αποστράγγιση του νοτιότερου μέρους της λεκάνης. Ενώνονται μεταξύ τους και ρέουν σε κοινή κοίτη, πριν εκβάλλουν στο νότιο μέρος της λίμνης. Η λεκάνη τους καλύπτει περιοχή περίπου 52,6 Km².
- Η τάφρος του Καβαλλαρίου, η οποία αποστραγγίζει όλη την περιοχή δυτικά της λίμνης Κορώνειας και είναι επιβαρυνμένη με σημαντικό ποσοστό ρυπαντικών φορτίων κυρίως από τη γαλακτοβιομηχανία, βαφεία κ.α. Μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί καμία υδρολογική μελέτη στην τάφρο Καβαλλαρίου.

Η επιφανειακή απορροή της λεκάνης παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες η ροή αυτή μειώνεται ή εξαφανίζεται τελείως. Η μέση απορροή στη λεκάνη της λίμνης Κορώνειας έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου 30 Mm³/έτος, ενώ η συνολική απορροή επηρεάζεται από απολήψεις και τοπικές διαθέσεις νερού.

3.4 Χλωρίδα - Πανίδα

Η ευρύτερη περιοχή των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς καταλαμβάνεται από ποικιλία βιοτόπων, στους οποίους αναπτύσσεται πλούσια βλάστηση και υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία ειδών πανίδας. Για το λόγο αυτό η περιοχή προστατεύεται από μία σειρά ελληνικών νόμων, κοινοτικών οδηγιών και διεθνών συμβάσεων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι:

- **Σύμβαση Ραμσάρ:** Η λίμνη Κορώνεια, καθώς και η περιοχή γύρω της προστατεύεται από την Διεθνή Σύμβαση Ραμσάρ ως τόπος διεθνούς σπουδαιότητας για την αξία του υδροτοπικού της περιβάλλοντος.
- **Οδηγία 2009/147/ΕΟΚ** (πρώην 79/409/ΕΟΚ) περί της διατηρήσεως των άγριων πτηνών. Η οδηγία θεσμοθετήθηκε με σκοπό την προστασία, τη διατήρηση και τη ρύθμιση της εκμετάλλευσης όλων των ειδών πτηνών που ζουν εκ φύσεως σε άγρια κατάσταση στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών. Σύμφωνα με την οδηγία η λίμνη χαρακτηρίστηκε ως «Ειδικά Προστατευόμενη Περιοχή» (SPA).
- **Οδηγία 92/43/ΕΟΚ** για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας: Σε εφαρμογή αυτής της κοινοτικής οδηγίας η λίμνη Κορώνεια χαρακτηρίστηκε ως «Τόπος Κοινοτικής Σημασίας» (SCI) για την προστασία της βιοποικιλότητας της περιοχής, μέσω της δημιουργίας του «Natura 2000», ενός Ευρωπαϊκού οικολογικού δικτύου Ειδικών Ζωνών Διατήρησης.
- **Σύμβαση της Βέρνης** για τη διατήρηση της άγριας ζωής και των φυσικών βιοτόπων της Ευρώπης.
- **Σύμβαση της Βόννης** για τη διατήρηση των μεταναστευτικών ειδών άγριων ζώων.
- **Π.Δ. 67/1981** Περί προστασίας της αυτοφυούς χλωρίδας και πανίδας και καθορισμού διαδικασίας συντονισμού και ελέγχου της έρευνας επ' αυτών.
- **ΦΕΚ 172/Β/86**, σύμφωνα με το οποίο τμήματα της περιοχής αποτελούν καταφύγια θηραμάτων.

3.4.1 Χλωρίδα- Τύποι οικοτόπων

Η περιοχή έρευνας παρουσιάζει ιδιαίτερα σημαντική βιοποικιλότητα, με πλούσια βλάστηση, που αποτελείται από μία αξιόλογη και πολυπληθή σε φυτικά είδη χλωρίδα. Στην ευρύτερη περιοχή απαντούν περίπου 800 είδη φυτών στα ορεινά και 340 είδη στα υδατικά και υγροτοπικά οικοσυστήματα. Ορισμένα από αυτά τα είδη είναι σπάνια, όπως π.χ. η *Najas minor* (ναΐας η μικρή) και το *Potamogeton obtusifolius*. Οι οικοτόποι που συνθέτουν την υδρόβια και υγρόφιλη βλάστηση της περιοχής της λίμνης Κορώνειας είναι υγρά λιβάδια, παρόχθια δάση, καλαμώνες, απομεινάρια υγρόφιλων δασών και παραποτάμιοι θαμνώνες. Οι κύριες υγροτοπικές διαπλάσεις της λίμνης σύμφωνα με το Υπουργείο περιβάλλοντος, χωροταξίας και δημόσιων έργων είναι:

Διαπλάσεις των υδρόβιων πλευστόφυτων, δηλαδή των φυτικών ειδών που παρατηρούνται να επιπλέουν στην επιφάνεια ορισμένων παρόχθιων τμημάτων της λίμνης, στα αποστραγγιστικά κανάλια και γενικότερα σε νεροσυλλογές που λιμνάζουν ή ρέουν βραδέως

Διαπλάσεις υφυδατικών και εφυδατικών βενθικών υδρόφυτων, των οποίων τα είδη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα υφυδατικά ριζόφυτα που φύονται στο βυθό με τα περισσότερα μέρη τους να αναπτύσσονται μέσα στο νερό και τα εφυδατικά ριζόφυτα, στελέχη των οποίων, όπως π.χ. φύλλα και άνθη επιπλέουν στην επιφάνεια των νερών.

Υδρόβιες ελοφυτικές διαπλάσεις, δηλαδή καλαμιώνες οι οποίοι αναπτύσσονται περιφερειακά στα παρόχθια τμήματα της λίμνης και το ύψος τους σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά τα 4 m

Ημιυδρόβιες ζώνες βλάστησης, δηλαδή υγρά λιβάδια ποικίλης φυσιογνωμίας και χλωριδικής σύνθεσης βλάστησης, όπου κυριαρχούν συνήθως είδη *juncus*, γνωστά ως βούρλα και

Ζώνες βλάστησης με ελάχιστες διάσπαρτες συστάδες δέντρων, οι οποίες αποτελούν απομεινάρια υγρόφιλων δασών και παίζουν ρυθμιστικό ρόλο στην επιβίωση και την αναπαραγωγή πολλών ειδών πουλιών

3.4.2 Πανίδα

Πλούσια θεωρείται και η πανίδα της περιοχής. Στις λίμνες Κορώνεια και Βόλβη έχουν καταγραφεί 24 είδη ψαριών. Κάποτε η περιοχή χαρακτηριζόταν από πλούσια ιχθυοπανίδα συμπεριλάμβανε και τα ενδημικά είδη *Alosa macedonica* (λιπαριά) and *Chalcalburnus chalcoides macedonicus* (γελάρτζα) (Αραμπατζή- Καρρά κ.α. 1996) Σήμερα, δεν συναντάμε καθόλου ψάρια στην λίμνη Κορώνεια, ενώ στη λίμνη Βόλβη συναντάμε διάφορα είδη, μεταξύ αυτών τη λιπαριά, το ασπρογρίβαδο και τη γελάρτζα.

Στις παραλίμνιες ζώνες της περιοχής έχουν καταγραφεί 19 είδη ερπετών και αμφιβίων και 34 είδη θηλαστικών, από τα οποία 3 είδη περιλαμβάνονται στον κατάλογο του Παραρτήματος II της οδηγίας 92/43/ΕΟΚ και θεωρούνται ως είδη κοινοτικού ενδιαφέροντος και η διατήρησή τους επιβάλλει των καθορισμό ειδικών ζωνών διατήρησης. Αυτά τα είδη είναι τα εξής: *Myotis bechsteini* (Μυώτιδα του Bechstein), *Myotis blythi* (μικρομυώτιδα) και *Lutra lutra* (βίδρα). Σημαντικότερος θεωρείται η πληθυσμός της βίδρας, ενώ τα δύο πρώτα έχουν μικρό και μέτριο πληθυσμό.

Όσον αφορά στην ορνιθοπανίδα, στην ευρύτερη περιοχή έχουν καταγραφεί 248 είδη πουλιών, με ποσοστό ίσο με το 58% του συνολικού πλυθησμού της Ελλάδας, από τα οποία τα 106 φωλιάζουν στην περιοχή. Οι λίμνες Κορώνεια και Βόλβη θεωρούνται εξαιρετικής σημασίας για τα διαβατικά και διαχειμάζοντα υδρόβια είδη πτηνών, επειδή χρησιμοποιούνται για το ξεχειμώνιασμα και την αναπαραγωγή. Στις δύο λίμνες διαχειμάζουν σε τακτική βάση πάνω από 20.000 υδρόβια πτηνά.

3.5 Ανθρωπογενείς δραστηριότητες

Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας παρουσιάζει έντονη ανθρωπογενή δραστηριότητα κυρίως στον πρωτογενή τομέα, με τη γεωργία να αποτελεί την κύρια απασχόληση των κατοίκων των οικισμών γύρω από τη λίμνη. Οι δραστηριότητες αυτές επιδρούν άμεσα ή έμμεσα τόσο στα ποσοτικά όσο και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης, επηρεάζοντας έντονα την υδρολογική και οικολογική ισορροπία της περιοχής.

3.5.1 Πρωτογενής τομέας

3.5.1.1 Γεωργία

Οι περιοχές γύρω από τη λίμνη Κορώνεια παρουσιάζουν έντονα γεωργικό χαρακτήρα, λόγω των γόνιμων εδαφών που υπάρχουν στην περιοχή τα οποία αποτελούν τον πυθμένα της άλλοτε Μυγδονίας λίμνης. Η αλματώδης ανάπτυξη της γεωργικής δραστηριότητας, εξαιτίας του κατάλληλου κλίματος που δημιουργεί η λίμνη, της δυνατότητας άρδευσης, αλλά και των πολλών επιδοτήσεων της δεκαετίας του 1990, οδήγησε στην καλλιέργεια όλων σχεδόν των διαθέσιμων για την γεωργία εκτάσεων των οικισμών γύρω από την λίμνη. Από τη συνολική πεδινή έκταση της υπολεκάνης του Λαγκαδά που είναι περίπου 300 Km², συμπεριλαμβανομένης της λίμνης, των εκτάσεων που αποκαλύφθηκαν, των οικισμών, των εκτάσεων που χρησιμοποιούνται για τη γεωργία, τη βιομηχανία, την κτηνοτροφία και τις δασικές εκτάσεις, το 70% περίπου χρησιμοποιείται από τη γεωργία.

Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία καλλιεργειών, οι οποίες είναι κυρίως αδρευόμενες, με τη μηδική και το καλαμπόκι να κυριαρχούν. Οι υπόλοιπες αρδευόμενες εκτάσεις περιλαμβάνουν καπνά, οπωροφόρα δέντρα, όπως μήλα και ελιές και λαχανικά, με σημαντικότερα τα πεπόνια, τις ντομάτες και τις πατάτες. Εκτός όμως από τις αρδευόμενες εκτάσεις, στην περιοχή υπάρχουν και πολλές καλλιέργειες σιτηρών, με σημαντικότερες τις καλλιέργειες μαλακού και σκληρού σιταριού.

Η άρδευση αυτών των καλλιεργειών προέρχεται είτε από αρδευτικά δίκτυα, είτε από γεωτρήσεις, από τις οποίες ένας άγνωστος αριθμός λειτουργεί παράνομα, είτε με απ' ευθείας αντλήσεις από τη λίμνη Κορώνεια και Βόλβη. Από το 1995 η απ' ευθείας άντληση από τη λίμνη Κορώνεια έχει απαγορευτεί. Η περίοδος άρδευσης για τις περισσότερες καλλιέργειες της περιοχής ξεκινάει το Μάιο και τελειώνει το Σεπτέμβριο. Από τις παραπάνω καλλιέργειες, οι περισσότερες είναι πολύ απαιτητικές σε νερό και η άρδυσή του γίνεται κυρίως με συστήματα επιφανειακής άρδευσης και λάστιχα (Πίνακας 3.1) (Μυλόπουλος κ.α, 2001).

Καλλιέργεια	Έκταση (Στρέμματα)	Απαίτηση σε νερό (MM)
Σιτάρι μαλακό	90,613	146
Σιτάρι σκληρό	50,683	211
Καλαμπόκι	11,464	532
Καπνός	3,556	499
Ηλιοτρόπιο	1,300	266
Μηδική	20,383	884
Βαμβάκι	1,189	533
Ντομάτα	1,400	591
Πεπόνι	454	571
Οπωροφόρα	3,251	798
Σταφύλια	336	619
Πράσινο	12,420	983
Πατάτες	120	441
Ελιές	-	529

Πίνακα 3.1: Είδη των καλλιεργειών, έκταση και απαίτησή τους σε νερό στη περιοχή της λίμνης Κορώνειας (Μυλόπουλος κ.α., 2001, ίδια επεξεργασία)

3.5.1.2 Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία αποτελεί μία από τις κύριες πηγές απασχόλησης που υπάρχουν στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας. Αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν καλλιέργειες που παράγουν ζωοτροφές και οι οποίες επαρκούν για να συντηρήσουν ένα αξιόλογο αριθμό ζώων. Η κτηνοτροφία που ασκείται στην περιοχή είναι κυρίως εντατική, ενώ σε μικρότερο βαθμό γίνεται και βόσκηση. Η εντατική κτηνοτροφία περιλαμβάνει την εκτροφή βοοειδών, χοίρων και πουλερικών, ενώ βόσκηση γίνεται κυρίως από αιγοπρόβατα σε περιοχές που είναι καλυμμένες από αείφυλλα σκληρόφυλλα φυτά, καθώς και στις παραλίμνιες εκτάσεις.

3.5.1.3 Αλιεία

Η αλιεία στη λίμνη Κορώνεια κατά τη δεκαετία του 1950 αποτελούσε σημαντικό παράγοντα της οικονομικής ανάπτυξης των οικισμών γύρω από αυτή, καθώς αποτελούσε μία από τις πιο παραγωγικές σε αλιεύματα λίμνες της χώρας. Στις δύο λίμνες, Κορώνεια και Βόλβη, έχουν καταγραφεί 24 είδη ψαριών (Michaloudi and Kostecka, 2004). Η αλιεία στην λίμνη επιτρεπόταν όλη τη διάρκεια του έτους, εκτός μίας περιόδου 30-50 ημερών την άνοιξη που αποτελεί την αναπαραγωγική περίοδο των ψαριών και που απαγορεύεται για την προστασία της αναπαραγωγής. Σήμερα, στη λίμνη Κορώνεια δεν υπάρχει αλιεία, καθώς ο ιχθυοπληθυσμός της έχει εξαφανιστεί.

3.5.2 Δευτερογενής τομέας

3.5.2.1 Βιομηχανίες- Βιοτεχνίες

Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας αποτέλεσε τις τελευταίες δεκαετίες πόλο έλξης για την εγκατάσταση πολλών βιομηχανικών και βιοτεχνικών μονάδων, πολλές από τις οποίες λειτουργούσαν χωρίς άδεια και χωρίς την ύπαρξη κάποιου σχεδιασμού, η έλλειψη του οποίου οδήγησε στην ανεξέλεγκτη διασπορά τους.

Οι βιομηχανικές μονάδες που έχουν καταγραφεί στην περιοχή είναι κυρίως βαφεία-φινιριστήρια, κονσερβοποιεία, τυροκομεία και γαλακτοβιομηχανία. Οι μονάδες που επιβαρύνουν περισσότερο τη λίμνη Κορώνεια είναι τα βαφεία, η γαλακτοβιομηχανία ΑΓΝΟ και το κονσερβοποιείο της Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι σημαντικότερες βιομηχανίες που υπήρχαν στη περιοχή και επιβάρυναν την κατάσταση της λίμνης. Σήμερα, οι περισσότερες από αυτές τις βιομηχανίες έχουν σταματήσει τη λειτουργία τους.

Βιομηχανία	Είδος επιχείρησης	Τοποθεσία
Αστήρ	Βαφείο-φινιριστήριο	Δρυμός
Maxim	Βαφείο-φινιριστήριο	Δρυμός
Βουλινός	Βαφείο-φινιριστήριο	Αγ. Βασίλειος
Protex	Βαφείο-φινιριστήριο	Χρυσανγή
Novaknit	Βαφείο-φινιριστήριο	Περιβολάκι
Αποστόλου	Βαφείο-φινιριστήριο	Περιβολάκι
Ευρωβαφή	Βαφείο-φινιριστήριο	Άσσυρος
Κρίνος	Βαφείο-φινιριστήριο	Άσσυρος
Έκτων	Βαφείο-φινιριστήριο	Κολχικό
Ουράνιο τόξο	Βαφείο-φινιριστήριο	Κολχικό
Κύκνος	Βαφείο-φινιριστήριο	Λαγκαδάς
Αγνό	Γαλακτοβιομηχανία	Καβαλάρι
Συνεταιρισμός Αγροτικών Προϊόντων	Κονσερβοποιείο	Λαγκαδάς
ETENA	Λαχανικά	Λαγκαδάς
Πισεκτισίδη	Γαλακτοβιομηχανία	Λαγκαδάς
Πυραμίσ	Ανοξείδωτα	Δρυμός
Νικολαΐδης	Σιδηρικά	Δρυμός
Τρίαινα	Παστά ψάρια	Κρυθέα

Πίνακας 3.2: Βιομηχανίες που επιδεινώνουν τη κατάσταση της λίμνης Κορώνειας (Karavokyris and Partners et al., 1998, Ιδία επεξεργασία)

Εκτός από τις βιομηχανίες, υπάρχει και σημαντικός αριθμός βιοτεχνιών οι οποίες δραστηριοποιούνται στην περιοχή μελέτης. Αυτές περιλαμβάνουν μονάδες μεταλλικών κατασκευών, μονάδες παραγωγής τροφίμων, βιοτεχνίες μαρμάρων, κεραμοποιεία κ.α.

3.5.2.2 Εξορυκτικές δραστηριότητες

Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν δύο λατομεία, το ένα στην κοιλάδα της Ρεντίνας, έξω ακριβώς από τα όρια της λεκάνης απορροής και ένα στη βάση του ορεινού όγκου

της Καμήλας, στη βορειοδυτική μεριά της λεκάνης απορροής. Το δεύτερο λατομείο δεν επηρεάζει την περιοχή της λίμνης, λόγω της απόστασής του από αυτή.

3.5.3 Τριτογενής τομέας

Ο τριτογενής τομέας δεν είναι καθόλου ανεπτυγμένος στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης. Η πολύ μικρή τουριστική κίνηση στην περιοχή οφείλεται στην ύπαρξη των ιαματικών λουτρών του Λαγκαδά και της Ν. Απολλωνίας. Για την εξυπηρέτηση των αναγκών τουρισμού υπάρχουν συνολικά τέσσερις ξενοδοχειακές μονάδες και δύο πανδοχεία.

3.6 Μετεωρολογικά δεδομένα

3.6.1 Βροχόπτωση- Θερμοκρασία αέρα

Στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας, από τους περίπου 10 μετεωρολογικούς σταθμούς του υπουργείου Γεωργίας που υπήρχαν πριν το 1980, σήμερα δεν λειτουργεί κανένας, με εξαίρεση αυτόν του Λαγκαδά, ο οποίος βρίσκεται μεταξύ του Λαγκαδά και της Χρυσαιγής σε υψόμετρο 110 μ. Στους μετεωρολογικούς αυτούς σταθμούς γινόταν μετρήσεις τόσο βροχόπτωσης (mm), όσο και θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) (Πίνακας 3.3) (Βεράνης και Κατιρζόγλου, 2001).

Μετεωρολογικός σταθμός	Απόλυτο υψόμετρο (m)	Βροχόπτωση (mm/έτος)	Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)
Αγ. Βασιλείου	130	532,9	15,4
Αρέθουσα	390	667,8	12,9
ΑΠΘ	46	470,4	16,3
Αρναία	760	712,5	12,7
Λαχανάς	634	481,1	12,6
Λαγκαδάς	93	457,0	14,9
Μελάνθιο	490	573,5	12,9
Ν. Απολλωνία	37	503,0	15,6
Νικόπολις	570	558,6	12,9
Σέδες	61	444,0	16,1
Σοχός	668	661,8	12,4
Ζαγκλιβέρι	209	639,7	14,8

Πίνακας 3.3 : Μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης κατά την περίοδο 1963-1980
(Βεράνης και Κατιρζόγλου, 2001)

Σύμφωνα με τις μετρήσεις στους σταθμούς αυτούς το μέσο ύψος βροχόπτωσης κατά την περίοδο από το 1971 μέχρι το 1989 ήταν 541 mm. Στη λίμνη Κορώνεια η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα του έτους είναι πάνω από 22 °C, με μέγιστη θερμοκρασία τους 43 °C, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία που έχει παρατηρηθεί είναι - 25 °C.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βροχομετρικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Λαγκαδά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή κατά την περίοδο 1972 μέχρι και το 2000. Τα δεδομένα του Φεβρουαρίου του 1986, καθώς και των ετών 1990 και 1991 δεν είναι διαθέσιμα. Σύμφωνα με τον πίνακα της βροχόπτωσης παρατηρείται μία διακύμανση που κυμαίνεται περίπου από 450 έως 650 mm ανά έτος, ενώ παρατηρούνται τέσσερις ακραίες ξηρές περίοδοι και τρεις ακραίες υγρές περίοδοι. Η χαμηλότερη μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης παρατηρείται το 1992 με 283 mm, ενώ η υψηλότερη το 1995 με 721 mm. Η μέση τιμή βροχόπτωσης που παρατηρείται είναι περίπου 510 mm ανά έτος.

Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιούν	Ιούλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Σύνολο
1972	37	90	20	122	22	42	118	26	36	20	5	51	589
1973	57	46	61	43	10	67	46	29	78	134	14	51	636
1974	60	45	64	59	46	47	0	6	48	56	62	48	541
1975	36	35	21	11	83	58	38	50	2	28	44	63	469
1976	8	29	36	34	80	78	22	71	0	27	38	26	449
1977	16	16	21	15	69	96	24	10	15	154	112	20	568
1978	46	49	34	89	98	22	0	38	84	0	69	21	550
1979	12	58	24	109	65	12	6	28	51	84	23	82	554
1980	76	11	68	49	110	38	37	44	0	126	92	66	717
1981	50	11	17	38	41	11	33	37	0	126	47	81	492
1982	22	56	68	143	40	28	36	96	30	25	74	78	696
1983	2	14	34	15	29	180	52	46	14	49	160	36	631
1984	45	63	54	86	4	22	4	22	2	19	71	106	498
1985	17	7	78	9	45	17	1	14	13	1	48	52	302
1986	132	—	42	30	104	110	29	20	11	5	153	7	643
1987	37	56	71	63	23	37	27	67	0	21	42	6	450
1988	12	55	126	46	35	19	0	3	3	29	126	61	515
1989	0	0	98	27	100	83	56	0	30	7	123	62	586
1990	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	390
1991	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	401
1992	0	0	15	64	85	82	21	0	16	0	0	0	283
1993	0	24	28	12	107	38	0	18	0	46	35	27	335
1994	89	55	13	54	78	0	64	42	0	10	102	22	529
1995	53	10	33	6	53	16	92	40	63	70	70	62	568
1996	130	94	35	36	33	71	28	39	94	5	37	119	721
1997	15	39	34	32	13	127	0	16	21	47	41	58	443
1998	45	56	12	8	108	58	0	4	48	89	45	88	561
1999	25	47	78	59	49	25	15	0	50	34	147	32	561
2000	30	27	8	13	54	0	6	2	13	56	75	85	369
Μέσος όρος	39,9	36,6	46,2	47,0	60,7	47,4	24,1	27,4	25,9	40,4	75,2	54,8	513

Πίνακας 3.4: Βροχομετρικά δεδομένα στο μετεωρολογικό σταθμό Λαγκαδά κατά τα έτη 1972-2000 (mm) (Karavokyris and Partners κ.α., 1998, Ιδία επεξεργασία)

3.6.2 Εξατμισοδιαπνοή

Για την εξατμισοδιαπνοή σπάνια υπάρχουν μετρήσεις. Για την μέτρησή της απαιτείται να γνωρίζουμε διάφορους παράγοντες όπως είναι η ηλιοφάνεια, η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η βλάστηση, οι άνεμοι κ.α. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι τύποι είναι αυτοί του Turc και Thornthwaite. Από τους δύο, ο τύπος του Turc είναι αυτός που χρησιμοποιείται περισσότερο στις χώρες της Μεσογείου γιατί λαμβάνει ιδιαίτερα υπόψη και τη γεωγραφική θέση της περιοχής (Υδρομελετητική, 1995). Στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας δεν υπάρχουν μετρήσεις εξατμισοδιαπνοής. Διαθέσιμες μετρήσεις υπάρχουν από την περιοχή της Σίνδου, οι οποίες συμφωνούν με τις τιμές που βρίσκουμε στη βιβλιογραφία.

	<i>Εξατμισοδιαπνοή</i>	
Έτος	Χειμώνας	Καλοκαίρι
1980	9,55	32,85
1981	10,54	28,14
1982	6,46	33,35
1983	11,82	35,61
1984	10,82	36,49
1985	9,03	38,61
1986	7,60	32,72
1987	7,31	33,69
1988	10,00	36,44
1989	11,47	36,54
1990	11,44	37,08
1991	11,91	28,70
1992	13,61	35,34
1993	9,88	37,97
1994	9,00	31,94
1995	8,90	35,64

Πίνακας 3.5: Τιμές εξατμισοδιαπνοής (mm/ημέρα) στο σταθμό Σίνδου κατά τα έτη 1980-1995

3.6.3 Άνεμος

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης επικρατούν κυρίως βορειοδυτικοί, βορειοανατολικοί και βόρειοι άνεμοι. Οι κυριότεροι αυτών είναι ο Βαρδάρης, ο άνεμος του Χορτιάτη και ο Ρουπελιώτης. Ο άνεμος που επηρεάζει περισσότερο τη λίμνη Κορώνεια είναι ο Βαρδάρης, ο οποίος πνέει από βόρεια διεύθυνση κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού και κατά την πνοή του παρατηρούνται αύξηση ορατότητας και αίθριος ουρανός, καθώς και πτώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα. Ο άνεμος του Χορτιάτη επηρεάζει κυρίως την παραλίμνια ζώνη της λίμνης, καθώς και το νότιο τμήμα της. Είναι σφοδρός τοπικός άνεμος και πνέει από τα ανατολικά της λεκάνης της Μυγδονίας. Ο Ρουπελιώτης είναι ένας άνεμος με βορειοανατολική διεύθυνση, ο οποίος φτάνει εξασθενημένος στην υπολεκάνη της λίμνης Κορώνειας. Την περιοχή επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό και άνεμοι νότιας διεύθυνσης, οι οποίοι επιδρούν κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και προέρχονται από τη θαλάσσια περιοχή του Στρυμονικού κόλπου (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1986).

3.7 Προγενέστερες έρευνες

Το οικοσύστημα της λίμνης Κορώνειας και η ευρύτερη περιοχή αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους υδροτόπους της χώρας μας και χαρακτηρίζεται ως οικοσύστημα εξαιρετικής σημασίας. Τις τελευταίες δεκαετίες η λίμνη Κορώνεια αντιμετωπίζει σοβαρή οικολογική κρίση λόγω των πιέσεων που δέχεται κυρίως από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες (Kaiserli et al., 2002, Alexandridis et al., 2007, Michaloudi et al., 2009, 2012). Ο όγκος του νερού της λίμνης έχει μειωθεί περίπου κατά 90%, ενώ παράλληλα έχει επιδεινωθεί και η ποιότητα του (Myloropoulos et al., 2007). Για το λόγο αυτό η προστασία του οικοσυστήματος έχει γίνει επιτακτική ανάγκη. Η ανάγκη διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας του οικοσυστήματος, επιβάλλει την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση τόσο των περιβαλλοντικών, όσο και των οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων της περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία του οικοσυστήματος, η λίμνη Κορώνεια έγινε αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών, οι οποίοι μελέτησαν τα γεωλογικά-εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η ποιοτική κατάσταση των υδάτων της, η υδρολογία της και η περιβαλλοντική αποκατάσταση της. Πολλές από αυτές τις μελέτες εκπονήθηκαν από

το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και τη Νομαρχία Θεσσαλονίκης. Άλλες μελέτες πραγματοποιήθηκαν από διάφορα τμήματα του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών κ.α. Η σημαντικότερη από αυτές τις μελέτες είναι το Master Plan της λίμνης Κορώνειας, το οποίο πραγματοποιήθηκε το 1998 από κοινοπραξία εταιριών και αφορούσε την περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης.

Η BRGM (1972) ερεύννησε τη δυνατότητα χρήσης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης της Μυγδονίας. Ο Ψιλοβίκος (1977) ασχολήθηκε με την παλαιογραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας. Η εταιρία EMYΘEM (1978) μελέτησε τη δυνατότητα κατασκευής ενός εξωτερικού υδραγωγείου για τη Θεσσαλονίκη από τη λεκάνη της Μυγδονίας. Η μελέτη εστίαζε κυρίως στη λίμνη Βόλβη, δίνοντας όμως στοιχεία για την υδρολογία ολόκληρης της λεκάνης της Μυγδονίας, συμπεριλαμβανομένης και της λίμνης Κορώνειας.

Ο Δεμίρης (1994) στην έρευνα των υδάτων της λεκάνης της Μυγδονίας δημιούργησε ένα μαθηματικό ομοίωμα για τη βέλτιστη διαχείριση της λεκάνης της Μυγδονίας. Το 1995, η Νομαρχία Θεσσαλονίκης ανέθεσε στην εταιρία Υδρομελετητική την μελέτη των υδάτων της λεκάνης της Μυγδονίας. Στην μελέτη αυτή παρουσιάστηκαν αρκετά στοιχεία σχετικά με την υδρολογία της λίμνης. Η Αραμπατζή- Καρρά και συνεργάτες (1996) μελέτησαν την οικολογία του υγροτοπικού συστήματος Κορώνειας και Βόλβης και παρουσίασαν λεπτομερώς ένα κατάλογο με τα είδη χλωρίδας και πανίδας της περιοχής και δόθηκε έμφαση στη σπουδαιότητά τους για την ισορροπία του οικοσυστήματος.

Το 1998, μετά από συνεργασία μεταξύ ελληνικών και αγγλικών ιδιωτικών εταιριών δημιουργήθηκε το Master Plan της λίμνης Κορώνειας που αφορούσε την περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης. Ήταν η πρώτη προσπάθεια για τη βελτίωση τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών χαρακτηριστικών της λίμνης και προτάθηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για την επίτευξη των στόχων του σχεδίου. Το σχέδιο παρουσιάζει μία σε βάθος ανάλυση των υδρολογικών χαρακτηριστικών που επιδρούν στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης.

Το 2001, στα πλαίσια χρηματοδότησης από το Β'ΚΠΣ, το ΙΓΜΕ ανέθεσε στον Κατιρτζόγλου την εκπόνηση μία υδρογεωλογική μελέτη των λεκανών Μυγδονίας-Οlynθίου-Χαβριά των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Η μελέτη περιλαμβάνει γεωμορφολογικά στοιχεία, παροχές των κύριων υδρορευμάτων της λεκάνης, καθώς και στοιχεία για τις υδρογεωτρήσεις. Οι Βεράνης και Κατιρτζόγλου (2001) ασχολήθηκαν με τη διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας και υπολόγισαν ποσοτικά τις εισροές και εκροές στην υδρολογική υπολεκάνη. Με το ίδιο θέμα ασχολήθηκαν και ο Μυλόπουλος κ.α (2001), οι οποίοι παρουσίασαν ένα μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης των υδροφορέων της λίμνης και την εφαρμογή του για την μελέτη εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης της υπολεκάνης.

Το 2002, ανατέθηκε από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης στους Μήτσιου και Τσακουμή μελέτη για τον εμπλουτισμό της λίμνης Κορώνειας από τον βαθύ υδροφορέα. Στη συγκεκριμένη μελέτη, αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο που προσανατολίστηκε στη προσομοίωση των υδραυλικών και υδρογεωλογικών συνθηκών του υδροφορέα της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας, οι οριακές συνθήκες από γεωμετρική και υδραυλική άποψη, καθώς και η μελλοντική συμπεριφορά του υδροφορέα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Το 2004, η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης σε συνέχεια του Master Plan ανέθεσε στο Ζαλίδη και άλλους τη δημιουργία του αναθεωρημένου σχεδίου αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Στη μελέτη αυτή προτάθηκαν μία σειρά από δράσεις για την σταδιακή αποκατάσταση των λειτουργιών της λίμνης και την αναίρεση των αιτιών υποβάθμισής της. Αυτές οι δράσεις αποτελούν ένα υποσύνολο του Master Plan και εστιάζονται περισσότερο σε λύσεις οι οποίες πρέπει να εφαρμοστούν για την αποκατάσταση της λίμνης με ένα βιώσιμο τρόπο.

Το 2004, ο Τζιμόπουλος ασχολήθηκε με ένα επιχειρησιακό σχέδιο αποκατάστασης της λίμνης Κορώνειας που αφορά στην εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου της και παρουσιάζει σενάρια για την βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης. Οι Τζιμόπουλος κ.α (2005) παρουσίασαν τα αποτελέσματα από τη μελέτη της

εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου της λίμνης Βόλβης, ως μέρος ολόκληρης της υδρολογικής λεκάνης της Μυγδονίας. Στη μελέτη αυτή, η μέθοδος του Turc χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσει το διαθέσιμο απόθεμα νερού και προτάθηκαν μέτρα για την αποκατάσταση των υδατικών της πόρων. Την ίδια χρονιά οι Τζιμόπουλος και Πλιάτσικα μελέτησαν το θεωρητικό υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της λίμνης Κορώνειας και ανέπτυξαν διάφορα σενάρια για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής.

Οι Gantidis et al. (2007) παρουσίασαν τα αποτελέσματα ποιοτικών παραμέτρων των λιμνών Βόλβης και Κορώνειας από δειγματοληψίες διάρκειας ενός έτους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά όπως pH, διαλυμένο οξυγόνο και αγωγιμότητα, δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες διαφορές στις δύο λίμνες ούτε μεταξύ των σημείων συλλογής των δειγμάτων, αλλά και ούτε μεταξύ των χρονικών περιόδων συλλογής των δειγμάτων. Αντίθετα, οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών (αζώτου και φωσφόρου) ήταν υψηλότερες στη λίμνη Κορώνεια, δείχνοντας σχετικά μικρές χρονικά και χωρικά αποκλίσεις, οι οποίες αποδίδονται σε αγροτικές και αστικές δραστηριότητες. Επίσης, οι μετρήσεις βαρέων μετάλλων έδειξαν ότι η ρύπανση στη λίμνη Κορώνεια είναι μεγαλύτερη από ότι στη Βόλβη και ειδικά στα μέταλλα Fe, Mn, Zn, Pb και Cd.

Παράλληλα, πολλές ακόμη εργασίες μπορεί κάποιος να βρει στην βιβλιογραφία, μεταξύ των οποίων αυτές των Kaiserli et al., 2002, Mitraki et al., 2004, Michaloudi and Kostecka, 2004, Fytianos and Laurantou, 2004, Crisman et al., 2005, 2014, Mylopoulos et al., 2006, 2007, Alexandridis et al., 2007, Genitsaris et al., 2009, και αφορούν τόσο στην ποσοτική όσο και στην ποιοτική κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

ΟΙΚΟΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Η προστασία των υδατικών πόρων από την ρύπανση αποτελεί στις μέρες μας στόχο πρωταρχικής σημασίας και διασφαλίζει την διατήρηση υγιών οικοσυστημάτων, τα οποία είναι τα πρώτα που κινδυνεύουν από την απόρριψη χημικών ουσιών και μιγμάτων. Η ποιότητα των υδάτων ελέγχεται με θεσμοθετημένους κανόνες και παραμέτρους και τα όρια που τίθενται στις τιμές αυτών των παραμέτρων είναι σε κάθε περίπτωση ανάλογα της μετέπειτα χρήσης των συγκεκριμένων υδατικών δειγμάτων. Έτσι, όπως είναι φυσικό οι απαιτήσεις για το πόσιμο νερό που πρέπει να ικανοποιούνται είναι πολλές και τα όρια που αντιστοιχούν είναι ιδιαίτερα αυστηρά. Όσον αφορά στην Ε.Ε. οι απαιτήσεις αυτές καταγράφονται στην Οδηγία 98/83/ΕΚ και αναφέρονται σε όλα τα νερά που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, εξαιρουμένων των φυσικών μεταλλικών νερών και των θεραπευτικών νερών.

Στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας, εξηγούνται πλήρως οι παράμετροι οι οποίες οφείλεται να μετρηθούν. Αυτές είναι:

- Μικροβιολογικές οι οποίες αναφέρονται στην παρουσία και το πλήθος δυνητικών παθογόνων οργανισμών.
- Χημικές οι οποίες αναφέρονται στην παρουσία και συγκέντρωση στοιχείων, ιόντων και χημικών ενώσεων.
- Φυσικοχημικές οι οποίες αναφέρονται σε φυσικοχημικές ιδιότητες του υδατικού δείγματος συμπεριλαμβανομένης της ραδιενέργειάς του.

Αντίστοιχα, πλήθος παραμέτρων μετρώνται σε υδατικά δείγματα τα οποία χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο για άλλους σκοπούς πλην της κατανάλωσης. Έτσι, η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων διέπεται εν γένει από τις προδιαγραφές της Οδηγίας του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.) και τον

Κανονισμό της Πολιτείας της Καλιφόρνιας που υιοθετήθηκε από τις πολιτείες της «πράσινης ζώνης» των Η.Π.Α (Τασούλα, 2007). Σημαντικό κριτήριο για την εφαρμογή της Οδηγίας του Π.Ο.Υ. αποτελεί ο διαχωρισμός ανάμεσα σε την “περιορισμένη άρδευση”, η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά και την “απεριόριστη”, η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων και πάρκων. Η Οδηγία του Π.Ο.Υ. αναφέρεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες παραμέτρων και συγκεκριμένα στις μικροβιολογικές (δίνοντας έμφαση σε δυνητικά παθογόνα) και στις χημικές (αναφερόμενη σε βαρέα μέταλλα και συγκεκριμένα αγροχημικά) (WHO, 1995). Οι κατευθυντήριες του Π.Ο.Υ υιοθετήθηκαν και από τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (F.A.O) (FAO, 1997). Αντίστοιχα, ο κανονισμός της Πολιτείας της Καλιφόρνιας όπως αναθεωρήθηκε το 2003 αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης σε αναπτυγμένες χώρες. Οι παράμετροι που αναφέρονται σε αυτόν είναι μικροβιολογικές και ορισμένες χημικές (ενώσεις αζώτου, μέταλλα και οργανικοί ρύποι) και φυσικοχημικές (θολότητα, BOD₅, TSS, pH) (SMILES, 2004).

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως και αυτούσια η απόρριψη ρυπασμένων υδάτων (λυμάτων) διέπεται από αντίστοιχους κανόνες καθώς η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ και οι ανανεώσεις της ορίζει σαφώς τις φυσικοχημικές (BOD₅, COD, TDS) και χημικές παραμέτρους (ολικός Ρ και ολικό Ν) που πρέπει να μετρούνται.

Εντούτοις η ολοκληρωμένη στρατηγική στη διαχείριση των υδατικών πόρων απαιτεί πλέον και την συγκέντρωση και επεξεργασία ενός άλλου είδους πληροφορίας-δηλαδή την μέτρηση της επίδρασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε έμβιους υδρόβιους οργανισμούς, προκειμένου να υπολογισθεί δυνητικά το αντίκτυπο στο υδατικό οικοσύστημα. Η στρατηγική αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παραδοχή της περιορισμένης χρησιμότητας των χημικών αναλύσεων στα παρακάτω πεδία:

- Είναι τεχνικά και οικονομικά αδύνατον σε ένα δείγμα νερού ή υγρών αποβλήτων να πραγματοποιηθεί μεγάλος αριθμός χημικών αναλύσεων.
- Οι χημικές αναλύσεις αποκαλύπτουν την αιτία της ρύπανσης (ύπαρξη κάποιων τοξικών ουσιών στο περιβάλλον) αλλά δεν πληροφορούν για το αποτέλεσμα της ύπαρξης των ρυπαντών ενός δείγματος στο οικοσύστημα.

- Με βάση το φαινόμενο του συνεργισμού, είναι δυνατόν η συνύπαρξη δύο ή περισσότερων ουσιών να επιτείνει το τοξικό αποτέλεσμα το οποίο να μην είναι απλά αθροιστικό. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατον να προβλεφθεί με τις χημικές αναλύσεις.
- Διαφορετικοί οργανισμοί του οικοσυστήματος παρουσιάζουν διαφορετικές ευαισθησίες. Είναι αναγκαία λοιπόν μια σειρά πειραμάτων με διαφορετικούς οργανισμούς του οικοσυστήματος έτσι ώστε να χαρακτηριστεί συνολικά η τοξικότητα κάποιου υδατικού δείγματος.

Η πραγματική επίδραση των μεμονωμένων ρυπαντών ή των συνδυασμών τους στο υδατικό οικοσύστημα μπορεί πλέον να προσομοιαστεί επιτυχώς με τις οικοτοξικολογικές αναλύσεις (βιοδοκιμές) οι οποίες μετρούν την οξεία τοξικότητα ουσιών και μιγμάτων σε ευαίσθητους οργανισμούς-δείκτες. Ο όρος οικοτοξικολογία εμφανίστηκε πρώτη φορά το 1969, από το Γάλλο τοξικολόγο René Truhaut, ο οποίος την όρισε ως τον κλάδο της τοξικολογίας που μελετά τις τοξικές επιδράσεις που προκαλούνται από φυσικούς ή συνθετικούς ρύπους στα οικοσυστήματα (Truhaut, 1977). Σύμφωνα με τον Fent (2001), η οικοτοξικολογία εδραιώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες και είναι η περιβαλλοντική επιστήμη που αναπτύχθηκε από τη μία μεριά από την τοξικολογία και από την άλλη από την εφαρμοσμένη οικολογία και την περιβαλλοντική χημεία. Ως εκ τούτου, η οικοτοξικολογία μπορεί να θεωρηθεί ως ένας διεπιστημονικός κλάδος, που στοχεύει στο συνδυασμό της οικολογίας και της τοξικολογίας (Chapman, 1995, Bard, 2008). Σημαντικό τμήμα της οικοτοξικολογίας αποτελεί η υδατική τοξικολογία. Η τοξικότητα στο υδατικό περιβάλλον είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων χημικών ουσιών στους υδατικούς αποδέκτες (Βαλαβανίδης, 2007). Ο Αριστοτέλης έκανε τα πρώτα τεστ υδατικής τοξικολογίας τοποθετώντας ζωικούς οργανισμούς από γλυκά σε αλμυρά νερά, προσδιορίζοντας τις επιπτώσεις που είχε αυτό στους οργανισμούς (Buikema et al., 1982). Η υδατική οικοτοξικολογία αν και είναι γνωστή πάνω από 2000 χρόνια, αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό τις τελευταίες δεκαετίες. Υδατική οικοτοξικολογία καλείται η ποιοτική και ποσοτική μελέτη των τοξικών επιπτώσεων των χημικών ουσιών στα υδατικά συστήματα και στους υδρόβιους οργανισμούς (Adams, 1995). Επίσης, προβλέπει και τις συγκεντρώσεις των ρύπων

που αναμένονται στο υδατικό περιβάλλον στο νερό, ίζημα ή στους οργανισμούς (Rand and Petrocelli, 1985).

Η βασική αρχή των οικοτοξικολογικών δοκιμών (βιοδοκιμών) συνίσταται στην έκθεση των οργανισμών μη-στόχων στο ρυπασμένο δείγμα για σαφώς ορισμένο χρονικό διάστημα και η μετέπειτα καταγραφή της επίδρασης αυτής της έκθεσης σε μια σειρά από φυσιολογικές ή βιοχημικές λειτουργίες (θνησιμότητα, αναστολή ανάπτυξης, ακινητοποίηση κλπ). Είναι σαφές πως όσο πιο τοξικό είναι ένα δείγμα, τόσο πιο εκτεταμένη είναι η αναστολή της φυσιολογικής λειτουργίας των οργανισμών-δεικτών (% ποσοστό των εκτιθέμενων οργανισμών). Χρησιμοποιώντας ως στοιχείο έρευνας τις βιοδοκιμές, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA), εισήγαγε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της ποιότητας των υδάτων, βασισμένη σε δύο κεντρικούς άξονες: την προστασία α) των υδρόβιων οργανισμών και β) της ανθρώπινης ζωής (USEPA, 1996). Στο πλαίσιο της μείωσης της τοξικότητας των εκροών εφαρμόστηκαν δύο σχετικά πρωτόκολλα: α) μείωση της τοξικότητας με τη χρήση βιοδοκιμών (TRE, Toxicity Reduction Evaluation), και β) εκτίμηση των ουσιών που προκαλούν τοξικότητα με συνδυασμένη χρήση βιοδοκιμών και χημικών αναλύσεων (TIE, Toxicity Identification Evaluation). Οι δράσεις προσδιορισμού της τοξικότητας και αναγνώρισης των τοξικών ρύπων ήταν επιτυχής σε πολλές περιπτώσεις, οπότε τα παραπάνω πρωτόκολλα ανανεώθηκαν και βελτιώθηκαν σημαντικά τα επόμενα χρόνια (βλ. και USEPA, 2004). Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει επίσης υιοθετήσει στρατηγικές ελέγχου της ποιότητας των υδάτων με οικοτοξικολογικά κριτήρια, εδώ και δύο δεκαετίες (Environment Agency UK, 1995) το σχέδιο της οποίας περιλαμβάνει την βιοδοκιμή αναστολής ανάπτυξης των θαλάσσιων αλγών *Skeletonema costatum* (Environment Agency, UK, 2009). Την προσέγγιση της USEPA για τις εκροές υιοθέτησε και η Δανία προτείνοντας τη χρήση βιοδοκιμών με 3 – 5 διαφορετικούς οργανισμούς, ενώ η Γαλλία πρότεινε την προαιρετική χρήση βιοδοκιμών με οστρακόδερμα σε εκροές (Environment Agency, UK, 1995). Αντίστοιχη νομοθεσία για τα υγρά απόβλητα διαθέτει η Ισπανία (Decree 286/1992, Law 10/1993, Decree 103/2000) και η Ιταλία (D. Lgs. 18/08/00, n. 258, D. Lgs. 11/05/99 n. 152). Η Ιταλική νομοθεσία για τα υγρά απόβλητα (D. Lgs. 152/11-05-99) προτείνει την χρήση του πειράματος ακινητοποίησης της *Daphnia magna* ως βιοδοκιμή και θέτει ως όριο τοξικότητας $TU_{50} < 2$, ενώ η Ισπανική (Ley 10/26-10-1993) προτείνει τόσο την *Daphnia magna* όσο και το *Vibrio fischeri* ως οργανισμούς-

δείκτες και προτείνει το όριο $TU50 < 4$. Εναρμονισμένη με την στρατηγική που αναπτύχθηκε από την USEPA η Ευρωπαϊκή Ένωση στην Οδηγία-Πλαίσιο 60/2000/EK για την ποιότητα των επιφανειακών νερών, αναφέρεται πέρα από τις χημικές αναλύσεις και στον προσδιορισμό της οικολογικής ποιότητας των επιφανειακών νερών με την εφαρμογή των βιοδοκιμών. Η συγκεκριμένη οδηγία προτείνει τον προσδιορισμό της τοξικότητας με τη χρήση υδρόβιων οργανισμών όπως τα οστρακόδερμα *Daphnia*, τα βακτήρια, το φυτοπλαγκτόν κλπ. Επομένως, σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο 2000/60/EE, οι αναλύσεις τοξικότητας είναι απαραίτητες για την ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον προσδιορισμό και την πρόληψη της ρύπανσης των υδάτων.

Το ενδιαφέρον για την εφαρμογή των βιοδοκιμών στην Ελλάδα αυξάνεται συνεχώς, καθώς εκτός από την Οδηγία 60/2000/EK για την ποιότητα των επιφανειακών νερών, οικοτοξικολογικές αναλύσεις έχουν συμπεριληφθεί και στην Υ.Α. οικ. 145116/2011 «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», η οποία προβλέπει τον έλεγχο της ποιότητας του ανακτημένου νερού με χημικές αναλύσεις αλλά και ταυτόχρονη εκτίμηση της τοξικότητάς του στον οργανισμό-δείκτη *D. magna*. Το όριο που θέτει η συγκεκριμένη Υ.Α. για την τοξικότητα των επεξεργασμένων εκροών είναι $TU50 (Daphnia magna) \leq 1$. Επιπλέον, η Απόφαση 30/οικ. 2885 (Τεύχος Β, ΦΕΚ 1079/15-07-2010) υποχρεώνει τις εταιρείες πετρελαίου και άνθρακα (διυλιστήρια πετρελαίου και παραγωγή λιπαντικών) να ελέγχουν την τοξικότητα των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων τους με την εφαρμογή οικοτοξικολογικών αναλύσεων. Συνοψίζοντας, καθίσταται σαφές πως στα πλαίσια της ολοκληρωμένης προσέγγισης της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, ολοένα και περισσότερες χώρες προσανατολίζονται στην παρακολούθηση και εξυγίανση της ποιότητας των υδάτων και των εκροών με ταυτόχρονη διεξαγωγή βιοδοκιμών και χημικών αναλύσεων (Κούγκολος και Εμμανουήλ, 2013).

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τοξικότητα

Ο τρόπος δράσης ενός ρύπου κατά την εισαγωγή του σε ένα οικοσύστημα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται τόσο με τις ιδιότητες του ίδιου του ρύπου, όσο και με τις ιδιότητες του οικοσυστήματος στο οποίο εισέρχεται. Οι

κυριότεροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την τοξική δράση μιας ουσίας είναι οι παρακάτω (Rand and Petrocelli, 1985, Landis and Yu, 1999, Κούγκολος και Εμμανουήλ, 2013):

- Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ρύπων, όπως η φυσική, η χημική και ιοντική του κατάσταση, καθώς και η διαλυτότητά του στο νερό ή σε άλλους οργανικούς διαλύτες. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν τη βιοδιαθεσιμότητα, τη παραμονή και τον τρόπο δράσης του ρύπου στο οικοσύστημα και επομένως την τοξικότητά του.
- Βιολογικοί παράγοντες. Ένας ρύπος είναι φυσικό να μην επηρεάζει το ίδιο όλους τους οργανισμούς, διότι κάθε οργανισμός παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι σημαντικότεροι από αυτούς τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόκριση ενός οργανισμού είναι τα γενετικά χαρακτηριστικά του, η ανάπτυξή του (ηλικία, ωρίμανση ανοσοποιητικού συστήματος και αποτοξινωτικών μηχανισμών), οι διατροφικές του συνήθειες, η κατάσταση υγείας, το φύλο και η συμπεριφορά του σε καταστάσεις στρες.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες. Οι σημαντικότεροι περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τοξική δράση μιας ουσίας είναι η θερμοκρασία, το pH, η υγρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η ένταση του φωτός.
- Χρόνος και τρόπος έκθεσης. Συνήθως, όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική διάρκεια έκθεσης ενός οργανισμού σε ένα ρύπο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τοξικότητα του ρύπου στον οργανισμό αυτό. Επιπρόσθετα, η συνεχής έκθεση ενός οργανισμού σε κάποιο ρύπο προκαλεί περισσότερο βλαβερές συνέπειες, σε σχέση με την περιοδική έκθεση.
- Συνδυαστική δράση ρύπων. Η τοξικότητα που προκαλείται από την έκθεση ενός οργανισμού σε ένα μίγμα ουσιών πολλές φορές διαφέρει από αυτή που θα αναμενόταν εάν ο οργανισμός εκτίθονταν σε κάθε μία ξεχωριστά. Η πραγματική δράση των ρυπαντών επομένως ενδέχεται να είναι συνεργιστική, προσθετική ή ανταγωνιστική. Η προσθετική δράση είναι παρόμοια του αθροίσματος των επιμέρους δράσεων ενώ η ανταγωνιστική και η συνεργιστική διαφέρουν με στατιστική σημαντικότητα από την θεωρητική προσθετική δράση. Όπως φαίνεται από τους ορισμούς, η συνεργιστική δράση οδηγεί σε αυξημένη τοξικότητα σε σχέση με την αναμενόμενη ενώ η

ανταγωνιστική δράση οδηγεί σε μειωμένη τοξικότητα σε σχέση με την αναμενόμενη. Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης τοξικότητας έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα, τα οποία στηρίζονται κυρίως στον τρόπο δράσης των χημικών ουσιών του μίγματος (Bliss, 1939, Kungolos et al., 2004, Tammes, 1964).

4.3 Δοκιμές προσδιορισμού τοξικότητας

Οι δοκιμές τοξικότητας χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις μιας χημικής ουσίας σε ζωντανούς οργανισμούς (βιοδείκτες). Γενικά, καμία χημική ουσία δεν είναι απόλυτα επικίνδυνη ή απόλυτα ασφαλής. Ο παράγοντας που καθορίζει αν μία χημική ουσία είναι επικίνδυνη ή ασφαλής για έναν οργανισμό είναι η συγκέντρωση της ουσίας στην οποία εκτίθεται ο οργανισμός και η διάρκεια της έκθεσης (Rand and Petrocelli, 1985). Οι δοκιμές ελέγχου τοξικότητας μπορούν να χρησιμοποιήσουν οργανισμούς από ένα ευρύ φάσμα, χαρακτηρίζονται από διαφορετικά πρωτόκολλα με ποικίλη χρονική διάρκεια και μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά είδη δειγμάτων. Κυριότερες εφαρμογές αποτελούν οι παρακάτω (Κούγκολος, 2007):

- Έλεγχος τοξικότητας χημικών ουσιών και μιγμάτων τους.
- Έλεγχος ποιότητας νερού που προορίζεται για πόσιμο.
- Έλεγχος ποιότητας επιφανειακών νερών.
- Έλεγχος ποιότητας υδατικών αποβλήτων.

Είναι σημαντικό να επιλέγεται κάθε φορά η βιοδοκιμή (ή οι βιοδοκιμές) που θα προσφέρουν όχι μόνο αξιόπιστα και επαναλήψιμα αποτελέσματα αλλά και αποτελέσματα τα οποία θα έχουν πρακτική αξιοποίηση και θα εκφράζουν τους πιθανούς κινδύνους που απειλούν το οικοσύστημα που εξετάζουμε. Σύμφωνα με τους Ferrari et al. (1999), τα κριτήρια για την επιλογή των βέλτιστων δοκιμών τοξικότητας είναι τα εξής:

- Το χαμηλό κόστος.

- Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται να καλύπτουν όσο το δυνατό περισσότερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας και να μετρούν διαφορετικές επιδράσεις (π.χ αναστολή ανάπτυξης, θνησιμότητα).
- Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται να έχουν υψηλή ευαισθησία.
- Να έχουν πρότυπη μέθοδο μέτρησης.
- Ο χρόνος διάρκειας του πειράματος να είναι σχετικά μικρός και τα αποτελέσματα να θεωρούνται αξιόπιστα.
- Να μην περιλαμβάνουν σπονδυλωτά.

Επίσης, είναι σημαντικό να υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης πολλών πειραμάτων, ώστε να ελέγχονται οι πολλές νέες ουσίες που παράγονται κάθε χρόνο (Κούγκολος, 2007). Οι οργανισμοί-δείκτες που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές τοξικότητας ποικίλλουν και είναι αντιπροσωπευτικοί από διάφορα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας. Με τον τρόπο αυτό, εκτιμάται η επίδρασή τους σε μια κατηγορία οργανισμών και κατ' επέκταση μπορεί να αξιολογηθεί η επικινδυνότητά τους.

Ορισμένα από τα πιο γνωστά πειράματα οικοτοξικολογικών δοκιμών αποτελούν τα παρακάτω (Κούγκολος, 2007, Κούγκολος και Εμμανουήλ, 2013, Newman and Unger, 2002):

- Το πείραμα μέτρησης αναστολής της βιοφωταύγειας του βακτηρίου *Vibrio fischeri* που είναι γνωστό και ως πείραμα Microtox. Τα βακτήρια αυτά έχουν την ικανότητα να παράγουν και να εκπέμπουν φως. Το πείραμα αυτό ελέγχει την αναστολή της φωταύγειας που προκαλεί στο βακτήριο η έκθεση του σε τοξικές ουσίες για χρόνο 15 έως 30 λεπτά.
- Το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia magna*., στο οποίο ελέγχεται το ποσοστό των οργανισμών που έχουν ακινητοποιηθεί μετά από έκθεση τους σε τοξικές ουσίες για 24 ή 48 ώρες (ISO 6341, 1982, OECD 202, 1984). Τα πειράματα χρησιμοποιούν μόνο νεογνά και όχι ενήλικα ζώα.
- Το πείραμα αναστολής ανάπτυξης του μικροφύκου *Pseudokirchneriella subcapitata*, συνήθως για χρόνο έκθεσης 72 ώρες.

- Το πείραμα αναπαραγωγής των βραγχιόποδων *Ceriodaphnia dubia*, διάρκειας 7 ημερών.
- Τα πειράματα με τους οργανισμούς *Brachionus plicatilis* και *Artemia franciscana*. Οι δοκιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της τοξικότητας σε αλμυρά ή υφάλμυρα νερά. Οι δοκιμές με την *Artemia franciscana* μπορούν να γίνουν με γυμνό οφθαλμό, ενώ με το *Brachionus plicatilis* χρειαζόμαστε μία μεγέθυνση 10 φορές περίπου για να μπορέσουμε να το δούμε ευκρινώς. Το πλεονέκτημα του οργανισμού *Brachionus plicatilis* είναι ότι είναι πιο ευαίσθητος στην ανίχνευση τοξικών ουσιών από την *Artemia franciscana*.
- Τα πειράματα με ψάρια. Οι δοκιμές με ψάρια έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν ανώτερους οργανισμούς με φυσιολογία πολύ κοντινή με αυτή του ανθρώπου και με σημαντικό ρόλο στην τροφική αλυσίδα. Από την άλλη μεριά, το ότι είναι σπονδυλωτά ταυτόχρονα αποτελεί και μειονέκτημα για τις δοκιμές. Επιπλέον, ο μικρός αριθμός των οργανισμών ανά πείραμα και η μεγάλη διάρκεια των πειραμάτων αποτελούν μειονέκτημα για τις μετρήσεις τοξικότητας.
- Τα πειράματα με καλλιεργημένα κύτταρα ψαριών, τα οποία είναι πιο ευαίσθητα από τα πειράματα με ολόκληρα ψάρια και έχουν μικρότερη διάρκεια. Η χρήση των κυττάρων ψαριών έχει ενταθεί τις τελευταίες δεκαετίες, εντούτοις η ανταπόκριση των μεμονωμένων κυττάρων δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να είναι αντιπροσωπευτική της πολυπλοκότητας της ανταπόκρισης του οργανισμού ή της διαφορετικής ευαισθησίας των ατόμων ενός πληθυσμού.
- Τα πειράματα με μύκητες (*Saccharomyces cerevisiae*) τα οποία διαρκούν λιγότερο από τα πειράματα με φύκη ωστόσο η χρήση των μυκήτων ως οργανισμών-δεικτών δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Ο *Saccharomyces cerevisiae* αποτελεί ένα ιδανικό σύστημα για την μελέτη διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα κύτταρα των ανώτερων θηλαστικών, όπως είναι η ενεργοποίηση πρωτο-ογκογονιδίων (Botstein et al, 1997) και ίσως αυτό να αποτελεί τον λόγο της σχεδόν αποκλειστικής χρήσης του στις ιατρικές επιστήμες

- Το πείραμα μεταλλαξιγένεσης με χρήση στελεχών τού βακτηριδίου *Salmonella typhimurim*, γνωστό και ως Ames test. Οι δοκιμές μεταλλαξιγένεσης με χρήση στελεχών του *Salmonella typhimurium* προτάθηκαν από τον καθηγητή Ames και τους συνεργάτες του το 1975 (Ames and Kammen, 1975). Ο λόγος που γίνονται αυτά τα πειράματα είναι η δυσκολία τού να κάνουμε πειράματα με ποντίκια σε όλες τις νέες ουσίες που βγαίνουν στο εμπόριο κάθε χρόνο. Έχει βρεθεί ότι το 90 % των ουσιών που προκαλούν μεταλλάξεις στη *Salmonella typhimurium* είναι και καρκινογόνες σε ανώτερους οργανισμούς.

Η χρήση μιας συστοιχίας βιοδοκιμών όπως είναι φυσικό θα προσφέρει περισσότερες πληροφορίες από κάποια μεμονωμένη βιοδοκιμή, εντούτοις οι χρονικοί και οικονομικοί περιορισμοί θα πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη. Οι προαναφερθείσα πρόταση των Ferrari et al. (1999), δηλαδή η χρήση πολλών επιπέδων της τροφικής αλυσίδας είναι μια βασική αρχή, καθώς και το είδος του τελικού αποδέκτη του υδατικού δείγματος. Έτσι οι Carballeira et al. (2012) χρησιμοποίησαν την βιοδοκιμή αναστολής βιοφωταύγειας με το θαλάσσιο βακτήριο *Vibrio fischeri*, τη βιοδοκιμή αναστολής ανάπτυξης των μικροφυκών *Phaeodactylum tricornutum* και *Isochrysis galbana* και τη βιοδοκιμή αναστολής ανάπτυξης της θαλάσσιας ανεμώνης *Paracentrotus lividus* και *Arbacia lixula*, για να υπολογίσουν το βαθμό ρύπανσης ενός κλειστού κόλπου. Αντίστοιχα οι Prato et al. (2011) χρησιμοποίησαν τους οργανισμούς *Dunaliella tertiolecta*, *Tigriopus fulvus*, *Mytilus galloprovincialis* και *Corophium insidiosum* σε διάφορες οξείες βιοδοκιμές για να καταδείξουν τον βαθμό ρύπανσης των ιζημάτων ενός κόλπου, μιας και οι προαναφερθέντες οργανισμοί έχουν άμεση επαφή με το θαλάσσιο ίζημα. Η επίδραση των αποβλήτων βυρσοδεψείων σε παραλίμνια οικοσυστήματα υπολογίσθηκε με τη βοήθεια μιας συστοιχίας βιοδοκιμών που περιελάμβανε το *Vibrio fischeri* και τη *Daphnia magna* (καθώς και βιοδοκιμές χερσαίας φυτοτοξικότητας) (Arias-Barreiro et al., 2010). Σε μια μεγαλύτερης έκτασης έρευνα για τα απόβλητα βυρσοδεψείων οι Tigrini et al. (2011), χρησιμοποίησαν 7 διαφορετικές βιοδοκιμές οι οποίες περιελάμβαναν τα *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* και *Tetrahymena thermophila* όσον αφορά στους υδρόβιους οργανισμούς.

Ανάμεσα στους πιο δημοφιλείς οργανισμούς για βιοδοκιμές είναι τα βακτήρια *V.fischeri*, τα μικροφύκη *P. subcapitata* και το καρκινοειδές *D. magna* (Manusadzianas et al., 2003, Mendonca et al., 2009, Hernando et al., 2005). Το πείραμα αναστολής βιοφωταύγειας του *V.fischeri* έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στην υδατική τοξικολογία και χαρακτηρίζεται από πλούσια βιβλιογραφία. Η χρήση ενός πρωτεύοντος παραγωγού στην τροφική αλυσίδα όπως είναι τα μικροφύκη επίσης αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της οικοτοξικολογικής έρευνας. Μάλιστα, το μικροφύκος του γλυκού νερού *P. subcapitata* αποδείχθηκε το πιο ευαίσθητο είδος σε ένα πείραμα τοξικότητας τριών οργανικών και τριών ανόργανων ενώσεων (Rojíčkova and Maršálek, 1999). Επίσης σε ένα δείγμα 27 αγροχημικών το *P. subcapitata* ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις το πιο ευαίσθητο από τα 4 εξεταζόμενα είδη μικροφύκους γλυκού νερού (Aguoja, 2011). Τέλος όσον αφορά στα είδη της *Daphnia*, αυτά αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία των βιοδοκιμών καθώς χαρακτηρίζονται από σύντομο κύκλο παρθενογενετικής αναπαραγωγής, έχουν κατάλληλο μέγεθος για αναλύσεις και επωάζονται εύκολα σε εργαστηριακές συνθήκες (Seda and Petrusek, 2011).

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμές τοξικότητας με *Daphnia magna*, με το βακτήριο εκπομπής φωτός *Vibrio fischeri*, καθώς και με τα φύκη *Pseudokirchneriella subcapitata*, για τη μελέτη της τοξικότητας νερού και περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω.

4.3.1 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με τα καρκινοειδή *Daphnia magna*.

Τα είδη του γένους *Daphnia* είναι από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους υδρόβιους οργανισμούς γλυκού νερού και χρησιμοποιούνται πολλά χρόνια για την εκτίμηση της οξείας και χρόνιας τοξικότητας χημικών ουσιών και μιγμάτων. Η παρουσία της *D.magna* έχει καταγραφεί και στην λίμνη Κορώνεια (Michaloudi and Kostecka, 2004). Η *Daphnia* ανήκει στην κλάση των βραγχίοποδων και χαρακτηρίζεται από πλατυσμένα φυλλοειδή εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την αναπνοή, για το φιλτράρισμα της τροφής, καθώς και για τη μετακίνησή της (Λαζαρίδου-Δημητριάδου, 1991). Τα βασικά χαρακτηριστικά των οργανισμών αυτών που τους καθιστούν κατάλληλους για δοκιμές τοξικότητας είναι το μέγεθός τους, η ευαισθησία τους στις περισσότερες τοξικές ουσίες, η ευρεία εξάπλωσή τους, η

απλότητα του πειράματος και η σχετικά μικρή διάρκεια. Η *Daphnia magna* είναι μεγαλύτερη σε μέγεθος από το υπόλοιπα είδη του γένους *Daphnia* και έτσι η παρατήρησή της με γυμνό οφθαλμό είναι ευκολότερη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συχνότερα σε δοκιμές τοξικότητας. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι ότι είναι δύσκολο σε ένα πείραμα να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός ζώων και έτσι μερικές φορές η επαναληψιμότητα δεν είναι καλή.

Το πείραμα ακινητοποίησης της *Daphnia* (24 ή 48 h acute immobilization test), μαζί με το πείραμα οξείας τοξικότητας (96 h) σε ψάρια, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στην υδατική τοξικολογία. Για τη διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιούνται νεογνά, ηλικίας μικρότερης από 24 h. Προκειμένου να αποφευχθεί η ανάγκη προσαρμογής των οργανισμών στα δείγματα πριν τη διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιείται, ως μέσο διάλυσης, το μέσο καλλιέργειας. Ο έλεγχος της τοξικότητας των δειγμάτων πραγματοποιείται συνήθως εις τριπλούν. Κατά τη διάρκεια του πειράματος ελέγχεται το ποσοστό των ζώων που έχουν ακινητοποιηθεί 24 ή 48 ώρες μετά την έκθεσή τους σε τοξικές ουσίες (ISO 6341, 1982, OECD 202, 1984). Ένας οργανισμός θεωρείται ακίνητος, εάν δεν κολυμπάει στο δείγμα σε διάστημα 15 δευτερολέπτων από τη στιγμή μετακίνησής του με τη βοήθεια μικροσιφωνίου. Κατά τη διάρκεια του πειράματος δεν πρέπει να δίνεται τροφή στα νεογνά της *Daphnia* και συνήθως το πείραμα πραγματοποιείται σε απόλυτο σκοτάδι (Κούγκολος, 2007).



Εικόνα 4.1: Εφίππιο (επάνω) και ζωντανοί οργανισμοί (κάτω) *D.magna* (Microbiotests Inc., 2004b)

4.3.2 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με το βακτήριο εκπομπής φωτός *Vibrio fischeri* (Microtox test)

Το *V. fischeri* είναι ένα βακτήριο που ζει στη θάλασσα και έχει την ιδιότητα να εκπέμπει βιοφωταύγεια ως παραπροϊόν της κυτταρικής του αναπνοής. Σε περίπτωση που το βακτήριο έρθει σε επαφή με τοξικές ουσίες, η πρόσληψη οξυγόνου μειώνεται, η λειτουργία της αναπνοής του αναστέλλεται και επομένως μειώνεται και η εκπομπή φωτός (Johnson, 2005). Το βακτήριο αυτό βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα φωσφορίζοντα μέρη του σώματος μεγαλύτερων πολυκύτταρων οργανισμών που ζουν κυρίως στο βυθό των θαλασσών. Το Microtox test είναι ένα πολύ σύντομο τεστ (30 λεπτών) και χρησιμοποιεί το γένος B-11177 του βακτηρίου λόγω της υψηλής του ευαισθησίας σε μεγάλο εύρος χημικών ουσιών. Τα συγκεκριμένα φωτοβακτήρια έχουν σχετικά απλή μορφολογία χωρίς επιπλέον λειτουργικά συστήματα στο εσωτερικό των κυττάρων τους, οπότε διαθέτουν αρκετά σημεία κοντά ή στην επιφάνεια της κυτταρικής μεμβράνης όπου μπορεί να δράσει μια ουσία. Για τη μέτρηση της τοξικότητας με το βακτήριο εκπομπής φωτός *V. fischeri* συνήθως χρησιμοποιείται ο εργαστηριακός αναλυτής Microtox Model 500. Τα ενεργοποιημένα βακτήρια, το διάλυμα αραίωσης και το προς μέτρηση δείγμα μετρώνται σε γυάλινη κυψελίδα στον εργαστηριακό αναλυτή. Σε δείγματα που δεν χαρακτηρίζονται από υψηλή αλατότητα, γίνεται αρχικά διόρθωση με προσθήκη συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl. Το αποτέλεσμα των μετρήσεων βασίζεται στην μείωση της βιοφωταύγειας που παράγεται από τα βακτήρια. Η επεξεργασία των μετρήσεων γίνεται με το λογισμικό Microtox Omni το οποίο υπολογίζει την τοξικότητα ως % αναστολή της φωταύγειας των βακτηρίων και τα τοξικολογικά μεγέθη που μας ενδιαφέρουν.

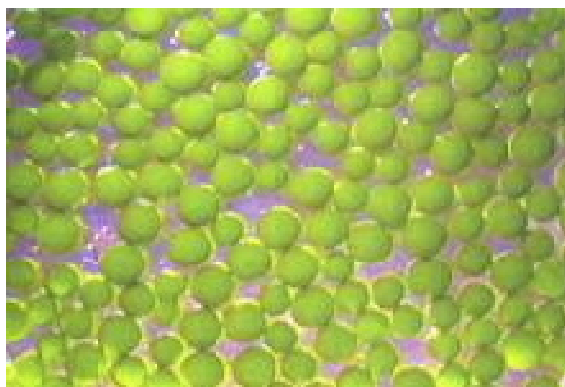


Εικόνα 4.2: Αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στη βιοδοκιμή Microtox (α) και αναλυτής τοξικότητας (β) (<http://www.modernwater.co.uk>)

4.3.3 Δοκιμή προσδιορισμού τοξικότητας με τα φύκη *Pseudokirchneriella subcapitata*

Τα μικροφύκη αποτελούν αντιπροσωπευτικούς οργανισμούς του υδρόβιου περιβάλλοντος και έχουν σχετικά μεγάλη ευαισθησία σε μια σειρά από ρυπαντές. Η ευαισθησία τους μαζί με τη μεγάλη οικολογική τους σημασία τα καθιστούν σημαντικούς οργανισμούς βιοδείκτες με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται σε πολλά πειράματα οικοτοξικολογικών αναλύσεων. Τα μικροφύκη βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα υδρόβια οικοσυστήματα, όπου μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα, παράγουν οξυγόνο, συμμετέχουν σε διεργασίες ανακύκλωσης θρεπτικών συστατικών και αποτελούν τροφή για διάφορους οργανισμούς. Για τα παρόντα πειράματα επιλέχθηκε το μικροφύκος *P. subcapitata* το οποίο συναντάται στο γλυκό νερό και έχει μέσο μέγεθος σωματιδίων μήκους 8-14 μm . Το πείραμα αναστολής της ανάπτυξης του μικροφύκου *Pseudokirchneriella subcapitata* διαρκεί 72 ώρες και περιλαμβάνει την προσθήκη προκαθορισμένου θρεπτικού μίγματος στο προς εξέταση δείγμα, την προσθήκη του μικροφύκου στο δείγμα και επώαση κάτω από κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και φωτισμού για την μελέτη των διαφορών στην ανάπτυξη ανάμεσα στο δείγμα και το μάρτυρα. Η μέθοδος αρχικά πραγματοποιούνταν σε κωνικές φιάλες και με εργαστηριακή καλλιέργεια των

μικροφυκών, ενώ αργότερα χρησιμοποιήθηκαν και πεπλατυσμένες κυψελίδες, οι οποίες προσφέρουν υψηλή επαναληψιμότητα και μικρότερες απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις και ποσότητα δείγματος (Staveley and Smrcek, 2005).



Εικόνα 4.3: Αδρανοποιημένο φυτοπλαγκτόν *P. subcapitata* (Microbiotests Inc., 2004a).

Στην παρούσα εργασία δείγματα από την περιοχή μελέτης (λίμνη Κορώνεια) εξετάσθηκαν κατά πόσο μπορούν να προκαλέσουν τοξικότητα στους παραπάνω οργανισμούς. Επιπρόσθετα, μετρήθηκαν ορισμένες φυσικοχημικές ιδιότητες των δειγμάτων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε συσχέτιση ανάμεσα στην επιβάρυνση της λίμνης όπως αυτή αποτυπώθηκε μέσω των φυσικοχημικών παραμέτρων και των τοξικολογικών αποτελεσμάτων στους προαναφερθέντες οργανισμούς.

4.4 Μεθοδολογία

4.4.1 Πρόσληψη-κατεργασία δειγμάτων

Λόγω της έλλειψης επαρκούς ποσότητας νερού στη λίμνη το φθινόπωρο του 2012, έγινε συλλογή ιζήματος από τον πυθμένα της λίμνης. Συλλέχθηκαν 4 δείγματα σύμφωνα με τις κατευθυντήριες των APHA-AWWA-WEF, 1999 σε διαφορετικές αποστάσεις από την όχθη της λίμνης όπως απεικονίζεται στον πίνακα 4.1. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε πλαστικά σκεύη τα οποία είχαν προηγουμένως καθαριστεί με 10% HNO₃ για 24 h και μετέπειτα με απιονισμένο νερό. Τα σκεύη πληρώθηκαν με το ίζημα και πωματίστηκαν. Τα δείγματα διατηρήθηκαν στους 4 °C μέχρι την κατεργασία τους.

Κωδικός	Προέλευση	Υγρασία (%)	Ημερομηνία δειγματοληψίας
IZ1	Ίζημα σε απόσταση περίπου 1000 m από τη βλάστηση της λίμνης	34,8	05/09/2012
IZ2	Ίζημα σε απόσταση περίπου 650 m από τη βλάστηση της λίμνης Κορώνειας	38,0	05/09/2012
IZ3	Ίζημα σε απόσταση περίπου 350 m από τη βλάστηση της λίμνης Κορώνειας	40,7	05/09/2012
IZ4	Ίζημα από τη βλάστηση της λίμνης Κορώνειας	31,0	05/09/2012

Πίνακας 4.1: Κωδικοποίηση και υγρασία των ιζημάτων της λίμνης Κορώνεια.

Οι φυσικοχημικές και οικοτοξικολογικές αναλύσεις των ιζημάτων που συλλέχθηκαν από την αποξηραμένη κοίτη της λίμνης Κορώνειας βασίστηκαν στην εφαρμογή της δοκιμής έκπλυσης EN 12457-2 και χρήση των υγρών έκπλυσης που προέκυψαν. Σύμφωνα με τη μέθοδο έκπλυσης EN 12457-2 (CEN, 2002) προστέθηκε ίζημα (90 g ξηρό δείγμα) σε υάλινη φιάλη (1 L) και αντίστοιχη ποσότητα απιονισμένου νερού για να επιτευχθεί αναλογία υγρού/στερεού, L/S=10 L/kg. Ακολουθούσε περιστροφική ανάδευση για 24 h $\pm$ 0.5 h στα 10 rpm (Velp, Italy). Η επιλογή της ποσότητας στερεού δείγματος και νερού έγινε με σκοπό να υπάρχει διαθέσιμος ελεύθερος χώρος στη φιάλη κατά την ανάμιξή τους. Μετά το τέλος της περιστροφικής ανάδευσης, το μίγμα υγρού/στερεού διηθήθηκε με ηθμό υάλινων ινών (glass fiber) και αμέσως μετά καταγράφηκε το pH και η αγωγιμότητα του διηθήματος (υγρό έκπλυσης). Στη συνέχεια η συντήρηση των υγρών έκπλυσης καθώς και οι αναλύσεις που εφαρμόστηκαν ακολούθησαν τα πρότυπα ανάλυσης που ορίζονται από τους APHA-AWWA-WEF, 1999.

4.4.2 Φυσικοχημικές αναλύσεις

Αναλυτικές τεχνικές εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών για την εκτίμηση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων των οικοτοξικολογικών αναλύσεων και του βαθμού ρύπανσης. Το pH μετρήθηκε με το εργαστηριακό πεχάμετρο Basic 20+ (Crison, Ισπανίας) η ακρίβεια του οποίου πριν από κάθε σειρά μετρήσεων ελεγχόταν με τρία πρότυπα διαλύματα βαθμονόμησης pH 4, 7 και 9.2. Η αγωγιμότητα των δειγμάτων μετρήθηκε με το εργαστηριακό όργανο Cond 720 (WTW, Γερμανίας). Ο ολικός οργανικός άνθρακας μετρήθηκε με τον αναλυτή TOC-5000A (Shimadzu, Ιαπωνίας) με τη χρήση πρότυπων καμπύλων βαθμονόμησης TOC κλίμακας 0-2, 2-5, 5-10, 10-50 και 50-100 mg/L TOC. Στον αναλυτή τροφοδοτούνταν υπερκάθαρος αέρας, ενώ για κάθε μέτρηση χρησιμοποιήθηκαν 4 επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίδονταν ως ο μέσος όρος των τεσσάρων επαναλήψεων, με την αντίστοιχη τυπική απόκλιση.

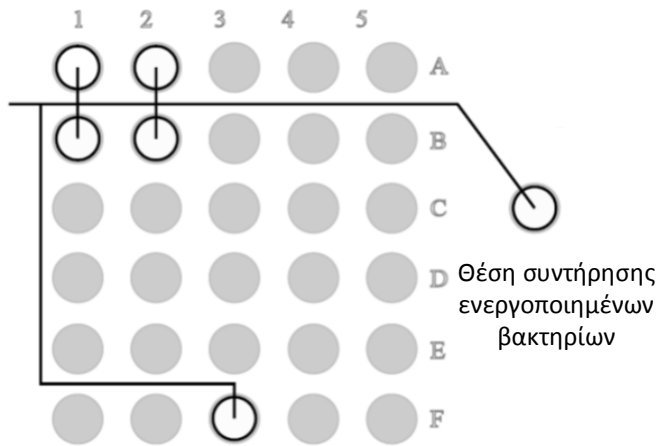
4.4.3 Οικοτοξικολογικές αναλύσεις

4.4.3.1 Μέτρηση τοξικότητας με το φωτοβακτήριο *V. Fischeri*

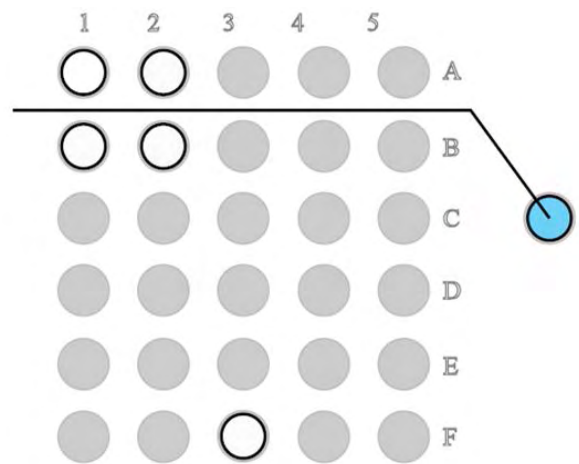
Η οικοτοξικότητα των δειγμάτων με το φωτοβακτήριο εκπομπής φωτός *V. fischeri* (Microtox test) μετρήθηκε με τον εργαστηριακό αναλυτή Microtox Model 500 και η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε με το λογισμικό MicrotoxOmni (SDI, ΗΠΑ). Ο αναλυτής Microtox Model 500 διαθέτει 30 θερμοστατούμενες θέσεις για την προετοιμασία των δειγμάτων και την συντήρηση των βακτηρίων στις κυψελίδες των δειγμάτων και του μάρτυρα. Τα φωτοβακτήρια κατά τη διάρκεια του πειράματος διατηρούνταν στους 15 ± 0.5 °C. Η αλατότητα των δειγμάτων προς ανάλυση, πριν την προσθήκη των βακτηρίων, ρυθμίστηκε στο 2%, με την προσθήκη διαλύματος 22% NaCl (διάλυμα ρύθμισης της οσμωτικής πίεσης), σε αναλογία διαλύματος NaCl/δείγματος ίση με 1/10. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις συνοψίζονται παρακάτω:

- Αδρανοποιημένα φωτοβακτήρια *V.fischeri*. Τα φωτοβακτήρια βρίσκονταν λυοφιλιωμένα σε φιαλίδια υπό κενό και συντηρούνταν στην κατάψυξη (στους -20 με -25 °C). Κάθε φιαλίδιο περιείχε περίπου 108 φωτοβακτήρια τα οποία ενεργοποιούνταν με κατάλληλο διάλυμα ενεργοποίησης.
- Διάλυμα ενεργοποίησης. Διάλυμα 0.01 % NaCl σε υπερκάθαρο νερό. Για την ενεργοποίηση ενός φιαλιδίου με αδρανοποιημένα φωτοβακτήρια χρησιμοποιούνταν 1 mL διαλύματος ενεργοποίησης, στους 5 °C.
- Διάλυμα αραιώσης. Διάλυμα 2% NaCl σε απιονισμένο νερό, το οποίο χρησιμοποιούνταν ως μάρτυρας, καθώς και για να γίνουν οι απαραίτητες αραιώσεις των δειγμάτων ή των βακτηρίων.
- Διάλυμα ρύθμισης της ωσμωτικής πίεσης. Διάλυμα 22 % NaCl σε απιονισμένο νερό, το οποίο χρησιμοποιούνταν για τη ρύθμιση της αλατότητας των δειγμάτων στο 2 %.

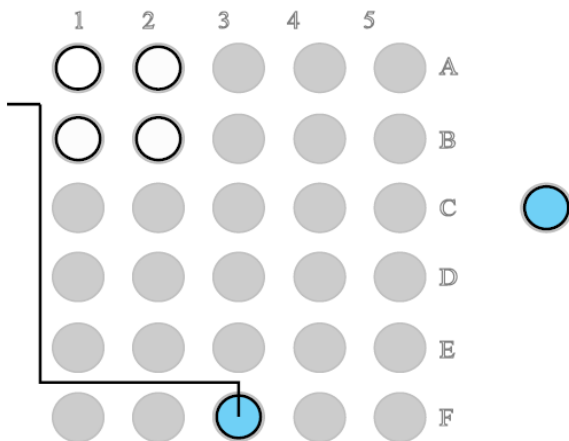
Η τοξικότητα των δειγμάτων μετρήθηκε στη μέγιστη δυνατή συγκέντρωσή τους, που ήταν 82 %. Τα ενεργοποιημένα φωτοβακτήρια αραιώνονταν σε διάλυμα αραιώσης, σε αναλογία βακτηρίων/διαλύματος αραιώσης 1/10. Η αλατότητα των δειγμάτων ρυθμιζόταν με την προσθήκη στα δείγματα διαλύματος ρύθμισης της ωσμωτικής πίεσης, σε αναλογία διαλύματος ρύθμισης/δείγματος 1/10. Αρχικά, μετριόταν η φωταύγεια των αραιωμένων βακτηρίων σε κάθε κυψελίδα που θα εισερχόταν ο μάρτυρας (διάλυμα αραιώσης) και τα δείγματα. Στη συνέχεια εισάγονταν στις αντίστοιχες κυψελίδες ο μάρτυρας και τα δείγματα με αλατότητα 2 % σε NaCl. Έτσι, η ρύθμιση της αλατότητας των δειγμάτων και η προσθήκη τους στο διάλυμα των βακτηρίων, έδινε κατά τη μέτρηση συγκέντρωση δείγματος 82 %. Η τοξικότητα των δειγμάτων μετρήθηκε για χρόνους έκθεσης των βακτηρίων στα δείγματα 5, 15 και 30 min. Σε όλες τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο μάρτυρες.



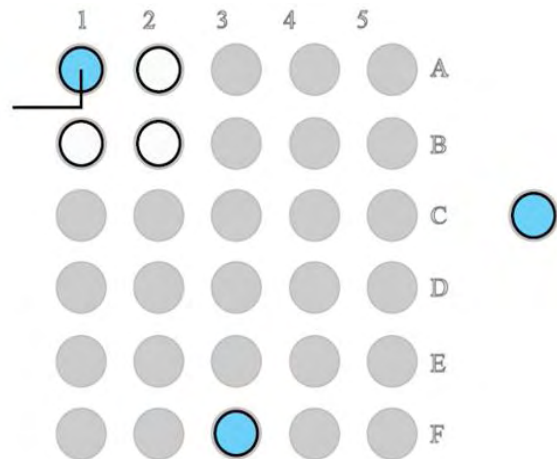
1. Τοποθέτηση κυψελών: στις θέσεις A1, A2, B1, B2, F3 και στη θέση συντήρησης των ενεργοποιημένων βακτηρίων.



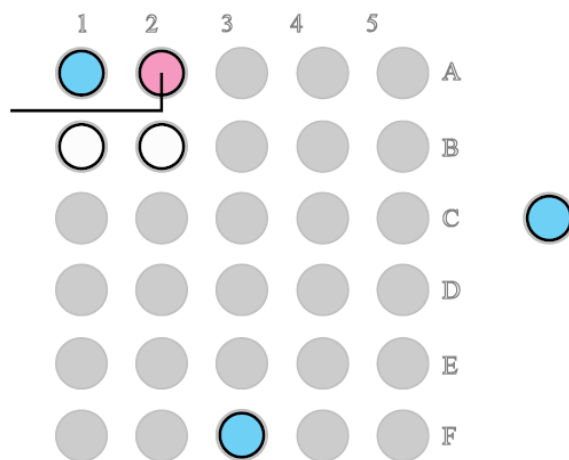
2. Προσθήκη 1000 μ L διαλύματος ενεργοποίησης στη θέση συντήρησης των ενεργοποιημένων βακτηρίων.



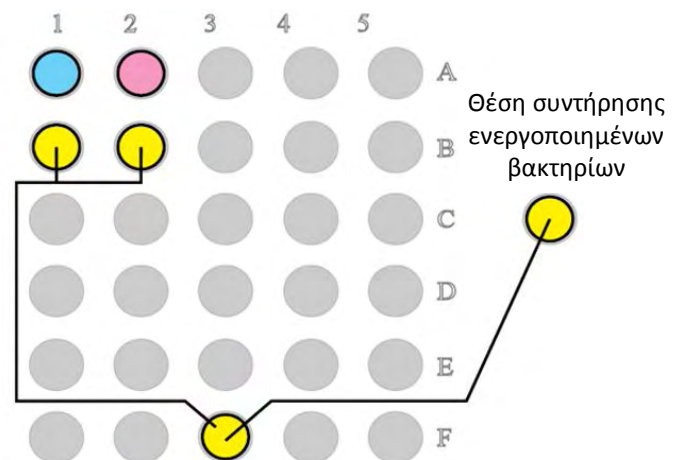
3. Προσθήκη 1000 μ L διαλύματος αραιώσης στην κυψελίδα F3.



4. Προσθήκη 1000 μ L διαλύματος αραιώσης στην κυψελίδα A1.

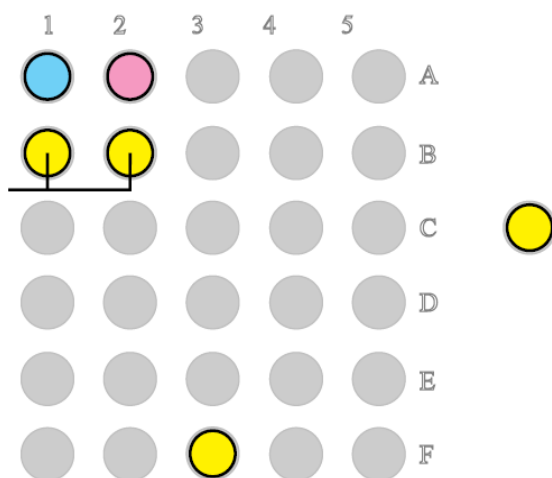


5. Προσθήκη 1000 μ L δείγματος και 100 μ L OAS στην κυψελίδα A2.



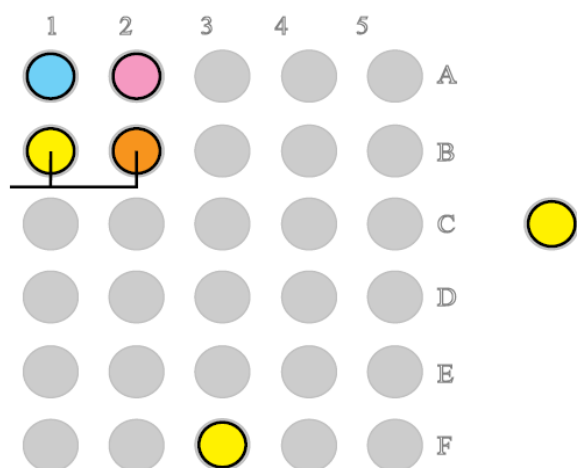
6. Ενεργοποίηση βακτηρίων – Μεταφορά 100 μ L ενεργοποιημένων βακτηρίων στην

κυψελίδα F3 – Μεταφορά 100 μ L αραιωμένων βακτηρίων στις κυψελίδες B1 και B2 – Αναμονή για 15 min.



7. Μέτρηση της αρχικής φωταύγειας I_0 στις κυψελίδες B1 και B2 και στη συνέχεια....

8. Άμεση μεταφορά 900 μ L από τις κυψελίδες: A1 στη B1 και A2 στη B2.



Θέση συντήρησης ενεργοποιημένων βακτηρίων

9. Μέτρηση της φωταύγειας στις κυψελίδες B1 και B2 μετά από 5, 15 και 30 min.

Σχήμα 4.1: Περιγραφή της διαδικασίας μέτρησης τοξικότητας με τα βακτήρια εκπομπής φωτός *V. fischeri* με βάση το πρωτόκολλο 82 % Screening test (Microbics Corporation, 1992)

4.4.3.2 Μέτρηση τοξικότητας με το φυτοπλαγκτόν *P. Subcapitata*

Η δοκιμή οικοτοξικότητας με το μικροφύκος *Pseudokirchneriella subcapitata* στηρίζεται στη μέτρηση της αναστολής της ανάπτυξης που προκαλεί η έκθεση σε υδατικό δείγμα μετά από 24, 48 και 72 h. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται και ως δοκιμή

οικοτοξικότητας μακράς περιόδου, λόγω της σχετικά μεγάλης χρονικής διάρκειάς της. Οι οργανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν σε αδρανοποιημένη μορφή, σε σφαιρίδια διαμέτρου 2-3 mm τα οποία συντηρούνται σε διάλυμα αδρανοποίησης (Microbiotests Inc.). Η ενεργοποίηση των οργανισμών γίνεται με διάλυμα ενεργοποίησης, ενώ στο μάρτυρα και στα δείγματα προστίθονται μια σειρά από θρεπτικά συστατικά όπως ορίζεται στο σχετικό πρωτόκολλο (OECD 201,1984). Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Σωληνάρια με αδρανοποιημένο φυτοπλαγκτόν *P. subcapitata*. Κάθε σωληνάριο περιείχε 10 σφαιρίδια με αδρανοποιημένο φυτοπλαγκτόν σε διάλυμα αδρανοποίησης (Microbiotests Inc.).
- Διάλυμα ενεργοποίησης (Microbiotest Inc.).
- Συμπυκνωμένα διαλύματα. Για την παρασκευή του μάρτυρα και την προσθήκη των κατάλληλων θρεπτικών στα δείγματα, σύμφωνα με το πρότυπο OECD 201 (1984).
- Πλαστικές κυψελίδες των 10 cm, όγκου 30 mL.

Η ενεργοποίηση των μικροφυκών έγινε με προσθήκη των αδρανοποιημένων σφαιριδίων σε διάλυμα ενεργοποίησης (5 mL) και ανάδευση για περίπου μισή ώρα, ώστε να διαλυθούν τα σφαιρίδια. Τα διαλυμένα μικροφύκη διαχωρίστηκαν από το διάλυμα ενεργοποίησης με φυγοκέντρηση στα 3000 rpm (Chetti Rotofix 32A), για 10 min. Τα μικροφύκη που ελήφθησαν από τη φυγοκέντρηση διαλύθηκαν σε απιονισμένο νερό (10 mL) και ακολούθησε νέα φυγοκέντρηση. Στη συνέχεια, τα μικροφύκη διαλύθηκαν σε πρότυπο διάλυμα θρεπτικών και ιχνοστοιχείων (20 mL) ανά κυψελίδα των 10 cm και μετρήθηκε η οπτική τους πυκνότητα στα 670 nm (SECOMAM Anthelie Advanced, France). Από υπάρχον διάγραμμα αντιστοίχισης οπτικής πυκνότητας με συγκέντρωση των μικροφυκών, υπολογίσθηκε η ποσότητα του διαλύματος θρεπτικών που θα έπρεπε να προστεθεί στο αιώρημα, έτσι ώστε να προκύψει αιώρημα συγκέντρωσης 10^6 μικροφύκη/100 mL. Αυτή η αρχική συγκέντρωση ενδείκνυται να χρησιμοποιείται για το *P. subcapitata*.

Η παρασκευή του πρότυπου διαλύματος έγινε με προσθήκη κατάλληλης ποσότητας συμπυκνωμένων διαλυμάτων (Microbiotests Inc.) σε 1 L απιονισμένου νερού. Τα

συμπυκνωμένα διαλύματα αραιώνονται σε αναλογία 1/100 για την επίτευξη των συγκεντρώσεων που αναφέρονται παρακάτω.

Συστατικό		Συγκέντρωση
Θρεπτικά (mg/L)	NH ₄ Cl	15
	MgCl ₂ ·6H ₂ O	12
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	18
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	15
	KH ₂ PO ₄	1.6
Fe-EDTA (μg/L)	FeCl ₃ ·6H ₂ O	64
	Na ₂ EDTA·2H ₂ O	100
Ιχνοστοιχεία (μg/L)	H ₃ BO ₃	185
	MnCl ₂ ·4H ₂ O	415
	ZnCl ₂	3
	CoCl ₂ ·6H ₂ O	1.5
	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0,01
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	7
NaHCO ₃ (mg/L)	NaHCO ₃	50

Πίνακας 4.2: Σύσταση πρότυπου διαλύματος για μετρήσεις τοξικότητας με το φυτοπλαγκτόν *P. Subcapitata* (OECD 201, 1984)

Ανάλογες ποσότητες συμπυκνωμένων διαλυμάτων προστέθηκαν και στα δείγματα πέρα από τον μάρτυρα, έτσι ώστε να έχουν και τα δείγματα τις ίδιες ποσότητες θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού. Τα δείγματα προστέθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες (100 mL) και στη συνέχεια προστέθηκαν κατάλληλες ποσότητες συμπυκνωμένων διαλυμάτων για την επίτευξη και στα δείγματα των παραπάνω συγκεντρώσεων. Τελευταίο προστέθηκε το αιώρημα φυτοπλαγκτού (1 mL) στις ογκομετρικές φιάλες που περιείχαν τα δείγματα και το πρότυπο διάλυμα (μάρτυρας). Τα 75 mL των δειγμάτων και του μάρτυρα μοιράστηκαν, σε τρεις πλαστικές κυψελίδες των 10 cm (25 mL σε κάθε κυψελίδα). Στη συνέχεια οι κυψελίδες τοποθετήθηκαν σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (23 – 25 °C) όπου και παρέμειναν για διάστημα 72 h κάτω από συνεχή φωτισμό (~8000 lux). Η οπτική πυκνότητα των δειγμάτων και του μάρτυρα μετρήθηκε σε χρονικά

διαστήματα 24, 48 και 72 h και από τις Εξισώσεις 1 και 2 υπολογίσθηκε η αναστολή στην ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού που προκάλεσαν τα δείγματα μετά από 72 h.

$$A = \frac{N_1 - N_0}{2} t_1 + \frac{N_1 + N_2 - 2N_0}{2} t_2 + \dots + \frac{N_{n-1} + N_n - 2N_0}{2} (t_n - t_{n-1}) \quad 1$$

όπου:

A : η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t

t_1 : ο χρόνος της πρώτης μέτρησης μετά την έναρξη του πειράματος (24 h)

t_n : ο χρόνος της τελευταίας μέτρησης (72 h)

N_0 : η ονομαστική αρχική συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού στον μάρτυρα και στα δείγματα

N_1 : η μετρούμενη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού σε χρόνο t_1

N_n : η μετρούμενη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού σε χρόνο t_n

Για κάθε δείγμα και για το μάρτυρα υπολογίζεται η μέση τιμή της παραμέτρου A από τις τρεις επαναλήψεις, και στη συνέχεια υπολογίζεται η αναστολή (%) στην ανάπτυξη, σύμφωνα με την Εξίσωση 2.

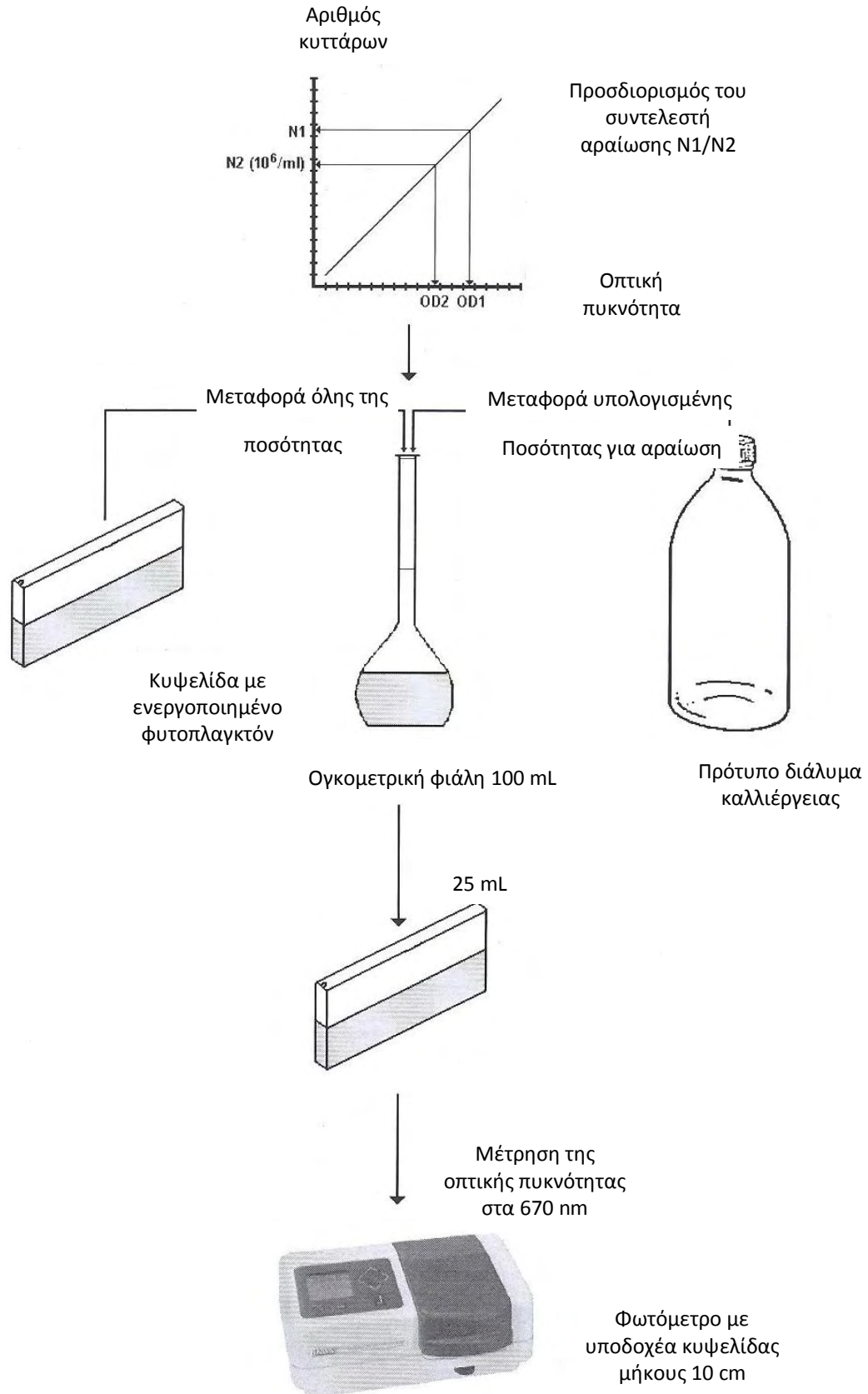
$$I_{A_i} = \frac{A_e - A_i}{A_e} \times 100 \quad 2$$

όπου:

I_{A_i} : η αναστολή (%)

A_i : η μέση επιφάνεια που υπολογίστηκε για το δείγμα

A_e : η μέση επιφάνεια που υπολογίστηκε για τον μάρτυρα



Σχήμα 4.2: Διαδικασία ενεργοποίησης του αδραντοποιημένου φυτοπλαγκτού *P. Subcapitata* (Microbiotests Inc., 2004a)

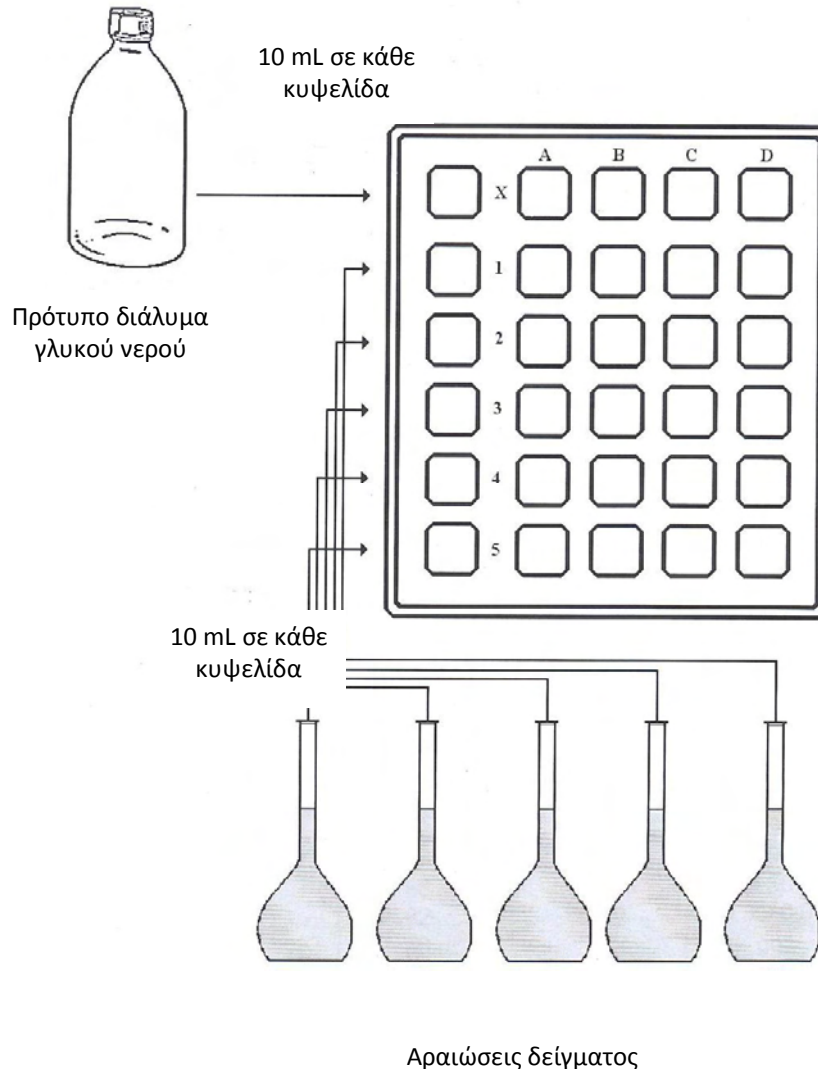
4.4.3.3 Μέτρηση τοξικότητας με το καρκινοειδές *D. magna*

Για τη μέτρηση της τοξικότητας με το καρκινοειδές *Daphnia magna* χρησιμοποιήθηκαν οργανισμοί που ήταν αδρανοποιημένοι ως εφίππια τα οποία επωάζονταν για τη διεξαγωγή των μετρήσεων (Microbiotests Inc., Βελγίου). Τα εφίππια διατίθενται σε σωληνάρια μέσα σε διάλυμα αδρανοποίησης και πλένονται με νερό βρύσης πριν την επώασή τους. Η επώαση των εφίππιων γίνεται σε μη χλωριωμένο μαλακό νερό σε σταθερή θερμοκρασία 20 °C και συνεχή φωτισμό (~6000 lux), για διάστημα 3 ημερών. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της δοκιμής συνοψίζονται παρακάτω:

- Σωληνάρια με εφίππια *D. Magna*.
- Πλαστικά μικροκόσκινα για την πλύση των εφίππιων.
- Πλαστικά μικροσιφόνια για τη μεταφορά των οργανισμών.
- Πλαστικά δισκία με 30 κυψελίδες (6x5).
- Φύλλα parafilm, για το σκέπασμα των δισκίων έτσι ώστε να εμποδίζεται η διασπορά δείγματος ή οργανισμών μεταξύ των κυψελίδων.

Οι μετρήσεις έγιναν σε πλαστικά δισκία με 30 κυψελίδες (6x5) στις οποίες προστέθηκαν τα δείγματα και ο μάρτυρας. Σε μία σειρά 5 κυψελίδων προστέθηκε ο μάρτυρας (μη χλωριωμένο μαλακό νερό) σε ποσότητα 10 mL ανά κυψελίδα. Στην πρώτη κυψελίδα ανά στήλη εισήχθησαν περίπου 20 νεογνά (ηλικίας μικρότερης των 24 h) και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν 5 νεογνά σε κάθε μία από τις υπόλοιπες 4 κυψελίδες. Ομοίως, στις υπόλοιπες 5 στήλες κυψελίδων εισήχθησαν τα δείγματα και 20 νεογνά σε κάθε δείγμα (5 νεογνά σε κάθε κυψελίδα). Τα δισκία τοποθετήθηκαν σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 20°C για 24 h, απουσία φωτισμού. Στη συνέχεια, μετρήθηκε ο αριθμός των οργανισμών που ήταν ακινητοποιημένοι ή θανατωμένοι σε κάθε δείγμα (ISO, 1996). Το πείραμα θεωρείται έγκυρο εάν στον μάρτυρα δεν παρατηρούνται περισσότεροι από δύο ακινητοποιημένοι οργανισμοί (ακινητοποίηση $\leq 10\%$). Η παρατήρηση των οργανισμών έγινε με γυμνό οφθαλμό, καθώς το μέγεθός τους ήταν μεγαλύτερο από 1 mm. Ένας οργανισμός θεωρούνταν ακινητοποιημένος όταν για χρονικό διάστημα περίπου 15 sec δεν έδειχνε καμία ένδειξη κινητικότητας.

Η τοξικότητα όλων των δειγμάτων μετρήθηκε χωρίς αραιώση (συγκέντρωση δείγματος 100 %) και με την εφαρμογή μιας επανάληψης.



Σχήμα 4.3: Προσθήκη του μάρτυρα (σειρά X) και των διαδοχικών αραιώσεων τού δείγματος (σειρές 1 έως 5) στις κυψελίδες τις δοκιμής τοξικότητας με το καρκινοειδές *D. magna* (Microbiotests Inc., 2004b)

4.5 Αποτελέσματα

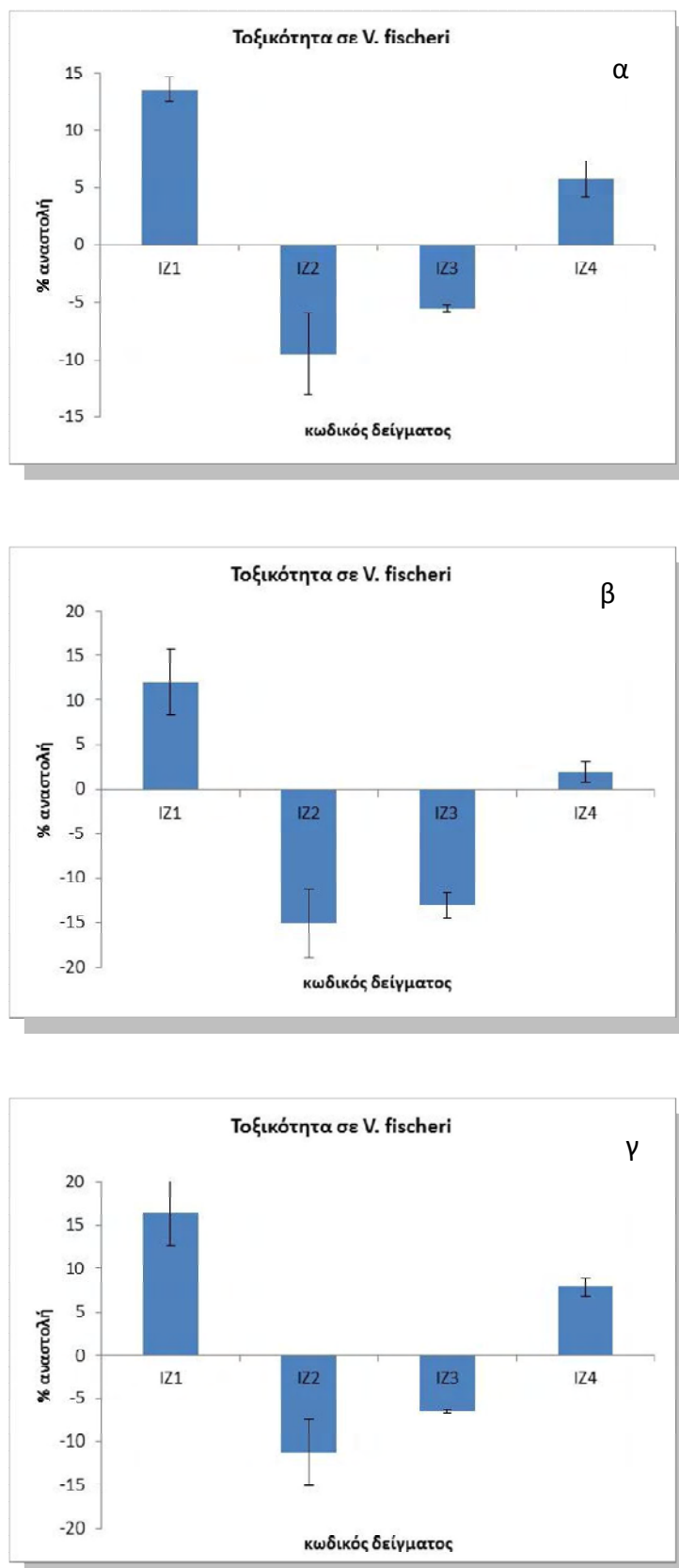
Οι φυσικοχημικές αναλύσεις διακρίνονται σε αυτές που ήταν απαραίτητες για την πληρέστερη εκτίμηση των αποτελεσμάτων των οικοτοξικολογικών αναλύσεων (pH, αγωγιμότητα) και στις αναλύσεις που δίνουν μια πρώτη εκτίμηση του πιθανού

βαθμού ρύπανσης (TOC). Σχετικά με την πρώτη κατηγορία των αναλύσεων σε κανένα από τα δείγματα δεν παρατηρήθηκαν τιμές του pH χαμηλότερες από 6 ή υψηλότερες από 9, με εξαίρεση το υγρό έκπλυσης ενός ιζημάτος, το οποίο ήταν ιδιαίτερος αλκαλικό. Σχετικά με την αγωγιμότητα, οι τιμές που μετρήθηκαν ήταν χαμηλότερες από τις τιμές αγωγιμότητας βάσει των οποίων θα μπορούσε να χαρακτηριστεί κάποιο δείγμα ως υφάλμυρο.

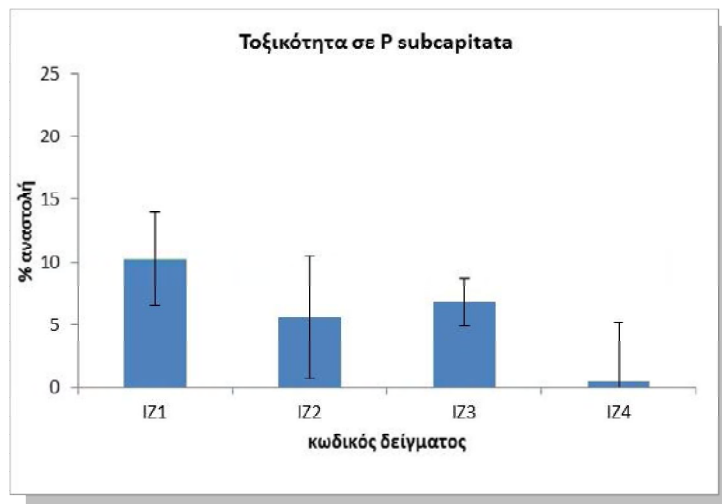
Παράμετρος	IZ1	IZ2	IZ3	IZ4	Μονάδες
Αγωγιμότητα	4,60	4,08	4,30	3,32	mS/cm
TOC	28,66 ($\pm 0,19$)	19,39 ($\pm 0,25$)	20,08 ($\pm 0,35$)	17,50 ($\pm 0,19$)	mg/L
pH	9,2	8,4	8,75	8,8	-

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων των υγρών έκπλυσης των ιζημάτων

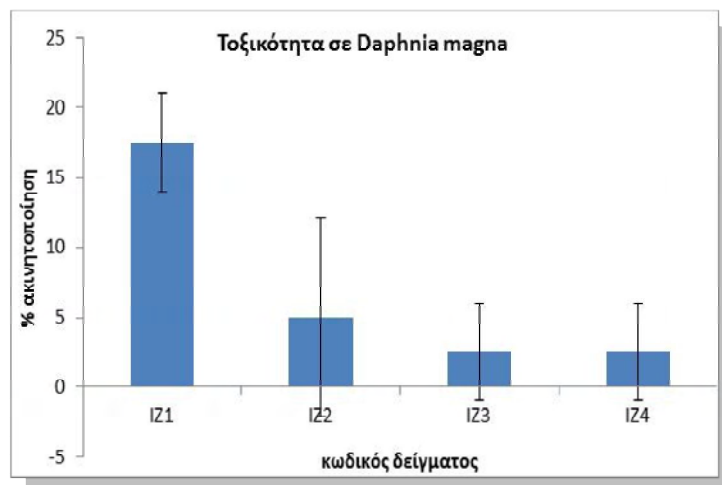
Τα υγρά έκπλυσης των ιζημάτων παρουσίασαν χαμηλή τοξική δράση σε όλους τους οργανισμούς που μελετήθηκαν, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθεί τοξικότητα σημαντικά υψηλότερη από 20 %. Την υψηλότερη τοξικότητα παρουσίασε το IZ1 το οποίο συλλέχθηκε σε απόσταση περίπου 1 km από την περίμετρο της λίμνης όπου ξεκινούσε η βλάστηση. Η τοξικότητα του IZ1 στο καρκινοειδές *D. magna* και στο βακτήριο *V. fischeri* ήταν 17,5 % ($\pm 3,5$ %) στα 30 min και 16,4 % ($\pm 6,3$ %), αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο δείγμα παρουσίασε την υψηλότερη συγκέντρωση TOC ($28,66 \pm 0,19$ mg/L) και την υψηλότερη αγωγιμότητα (4,60 mS/cm) συγκριτικά με τα υγρά έκπλυσης των υπόλοιπων ιζημάτων. Η τοξικότητα των υπόλοιπων ιζημάτων δεν ξεπέρασε το 10 %, ενώ την υψηλότερη ευαισθησία μεταξύ των οργανισμών παρουσίασε το βακτήριο *V. fischeri*.



Διάγραμμα 4.1: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στο *V. fischeri* α) για χρόνο μέτρησης 5 min, β) για χρόνο μέτρησης 15 min γ) για χρόνο μέτρησης 30 min



Διάγραμμα 4.2: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στο *P. subcapitata*



Διάγραμμα 4.3: Τοξικότητα των υγρών έκπλυσης στη *D. magna*

4.6 Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια της παρούσας μελέτης δεν κατέστη δυνατό να ληφθούν δείγματα νερού από το ευαίσθητο οικοσύστημα της Κορώνειας. Παρά το ότι η λίμνη και η παραλίμνια περιοχή προστατεύονται από τη συνθήκη RAMSAR, η οικολογική ποιότητα της λίμνης βρίσκεται υπό διαρκή υποβάθμιση. Σε αυτήν συντελούν τα μέγιστα το αρνητικό ισοζύγιο νερού καθώς και η διαρκής ρύπανση από εστιακές και

μη εστιακές πηγές. Όπως σημειώθηκε και σε μελέτη του 2002, το μέγιστο βάθος της λίμνης κατά την προηγούμενη δεκαετία ανερχόταν σε λιγότερο από 1 m (Manakou et al., 2013, Gennitsaris et al., 2009) ενώ το καλοκαίρι του 2009 πεζός μπορούσε να διασχίσει τη λίμνη. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η οικοτοξικότητα της λίμνης συλλέχθηκαν ιζήματα του πυθμένα και υποβλήθηκαν στη δοκιμασία έκπλυσης EN 12457-2. Πρέπει να σημειωθεί πως τα δείγματα πάρθηκαν αμέσως μετά το τέλος της ξηρής περιόδου (καλοκαίρι 2012) εντούτοις, η χειμερινή περίοδος που ακολουθεί είναι δυνατόν να πληρώσει ένα ποσό της λίμνης με νερό. Επομένως, ο πυθμένας της λίμνης δύναται να δράσει ως δεξαμενή ρυπαντών οι οποίοι να επαναδιαλυτοποιηθούν μέχρι αποκατάσταση δυναμικής ισορροπίας ανάμεσα στο ίζημα και στο υπερκείμενο νερό. Τουλάχιστον για μια σειρά από μέταλλα (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd) ο πυθμένας της λίμνης Κορώνειας, έχει όντως λειτουργήσει ως δεξαμενή (Gantidis et al., 2007).

Η τοξικότητα που παρατηρήθηκε ήταν γενικά χαμηλή και δεν ξεπερνούσε το 10% με εξαίρεση το IZ1 το οποίο είχε και τις πιο επιβαρυνμένες φυσικοχημικές παραμέτρους. Όπως διαπιστώθηκε και από την παρούσα εργασία, δεν υπήρξε συσχέτιση μεταξύ των φυσικοχημικών αναλύσεων και των οικοτοξικολογικών αποτελεσμάτων των υγρών έκπλυσης των ιζημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί και σε μια σειρά αντίστοιχων μελετών (Persoone et al., 1993, Latif and Licek, 2004). Μια πιθανή εξήγηση για αυτή την έλλειψη συσχέτισης πιθανόν να αποτελεί και το γεγονός ότι τα υγρά έκπλυσης των ιζημάτων αποτελούν ένα πολύπλοκο μίγμα συστατικών. Σε αυτά τα μίγματα η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να μειώσει τη βιοδιαθεσιμότητα διαφόρων βαρέων μετάλλων λόγω του σχηματισμού σύμπλοκων ενώσεων (Boluda et al., 2002, Tsiridis et al., 2006). Έτσι ακόμα και αν ανιχνευθούν κάποιοι ρύποι μέσω αναλυτικών τεχνικών, είναι πιθανό η βιοδιαθεσιμότητα και επομένως και η τοξικότητά τους να είναι εν τέλει μειωμένη, όπως επιβεβαιώνεται και μέσω των οικοτοξικολογικών αναλύσεων.

Μελέτες έχουν δείξει ότι το φωτοβακτήριο *V. fischeri* παρουσιάζει υψηλή ευαισθησία σε μια πληθώρα από ρυπαντές. Σύμφωνα με τον Kaiser (1998) οι τιμές LC50 στο *V. fischeri* μπορούσαν να προβλέψουν με ακρίβεια τις αντίστοιχες τιμές για τους ιχθύες (*Pimephales promelas*) αλλά και για την *Tetrahymena pyriformis*, την *D magna* και τα άλγη, ενώ χαμηλότερες αναλογίες υπήρχαν για την τοξικότητα σε θηλαστικά μοντέλα (μυς και επίμυς). Υπάρχουν ενδείξεις πως το *V. fischeri* παρουσιάζει

μεγαλύτερη ευαισθησία στη δράση οργανικών ουσιών απ' ό,τι στα βαρέα μέταλλα (Kungolos et al., 2009, Kaiser and Palabrica, 1991). Αντίθετα, το φυτοπλαγκτόν *P. subcapitata* και η *D. magna* είναι πολύ πιο ευαίσθητοι οργανισμοί από το *V. fischeri* στη δράση ορισμένων μετάλλων, όπως Cu, Cr, Cd (Kungolos et al., 2004). Έτσι, σε αδρές γραμμές, σε περιπτώσεις όπου ένα δείγμα παρουσιάζει υψηλότερη τοξικότητα στους οργανισμούς *D. magna* και *P. subcapitata* τότε υπάρχει ένδειξη της παρουσίας βαρέων μετάλλων στο δείγμα. Επίσης, η ύπαρξη βαρέων μετάλλων σε ένα δείγμα μπορεί να προκαλέσει μεταβολή της βιοφωταύγειας του *V. fischeri*, όταν οι χρόνοι έκθεσης είναι διαφορετικοί (για παράδειγμα 5, 15 και 30 min). Εξάλλου έχει διαπιστωθεί πως ειδικά για τα μεταλλικά ιόντα, η παρατεταμένη έκθεση του *V. fischeri* σε αυτά μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω μείωση της βιωσιμότητας και της ανάπτυξης της μικροβιακής καλλιέργειας ή ακόμα και ενίσχυση της ανάπτυξης και της βιωσιμότητας. Το τελευταίο φαινόμενο, το οποίο χρήζει παραπάνω έρευνας ενδέχεται να οφείλεται σε ανάπτυξη ανοχής του βακτηρίου (Fulladosa et al., 2005). Έτσι, σκοπός των μετρήσεων τοξικότητας σε τρεις διαφορετικούς χρόνους ήταν να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο η τοξικότητα μπορεί να προέρχεται από τη δράση βαρέων μετάλλων που πιθανόν να περιέχονται στα υγρά έκπλυσης των ιζημάτων (Διάγραμμα 4.1). Αυτή η χρονική διαφορά στην απόκριση του *V. fischeri* ενδέχεται να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως υδρόλυση, διάχυση μέσω της κυτταρικής μεμβράνης και σχηματισμό διαφόρων χημικών φάσεων (Kaiser and Palabrica, 1991). Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων συσχετίζεται κυρίως με τη συγκέντρωση των ελεύθερων ιόντων τους παρά με οποιαδήποτε άλλη φάση τους. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διάχυση του μετάλλου μέχρι την κυτταρική μεμβράνη, η προσρόφηση στην επιφάνειά της και εν τέλει η διαμέσου της μεταφορά στο εσωτερικό του κυττάρου σύμφωνα και με το Free Ion Activity Model (Morel, 1983). Έτσι, συμπλοκοποίηση των ιόντων λόγω φυσικοχημικών ιδιοτήτων του υδατικού μέσου και δημιουργία διαφόρων μεταλλικών φάσεων μπορεί να επηρεάσει τόσο την διάχυση όσο και την προσρόφηση και να τροποποιήσει την τοξικότητά τους (Deheyn et al., 2004). Επιπλέον οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ιόντων που περιέχονται σε ένα υδατικό διάλυμα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την αργή απόκριση του φωτοβακτηρίου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, η τοξικότητα των υγρών έκπλυσης των ιζημάτων δεν αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του χρόνου έκθεσης από τα 5 στα 30 min. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την χαμηλότερη τοξικότητα που παρατηρήθηκε στους οργανισμούς *D. magna* και *P. subcapitata*

οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τοξικότητα του δείγματος IZ1 οφείλεται πιθανότατα στην δράση οργανικών ρύπων. Καταχρηστικά, μπορεί να ειπωθεί πως πιθανόν η ρύπανση της λίμνης Κορώνεια οφείλεται σε κάποιους, μη ταυτοποιημένους οργανικούς ρυπαντές, περισσότερο από ό,τι σε πιθανούς ανόργανους. Αυτή η υπόθεση βέβαια μπορεί να επιβεβαιωθεί μόνο μέσω εκτεταμένων χημικών αναλύσεων.

Όσον αφορά στη *D. magna* η απόκριση του συνόλου των υγρών έκπλυσης ήταν χαμηλής τοξικότητας. Αυτή η χαμηλή τοξικότητα επιβεβαιώνεται και από προηγούμενες μελέτες, όπου στο σύνολο των ασπόνδυλων της λίμνης, υπήρχε πρωτοκαθεδρία του είδους. Εντούτοις, και πάλι τα προβλήματα ήταν εμφανή καθώς ο πραγματικός πληθυσμός της *D. magna* στη λίμνη αποτελούνταν από ενήλικα άτομα με ελάχιστά νεογνά 24-48 ωρών (Michaloudi and Kostecka, 2004) ενώ δεν υπήρχε ιδιαίτερη ποικιλότητα σε ασπόνδυλα. Εξάλλου, όπως είναι γνωστό, η μειωμένη βιοποικιλότητα μιας κοινότητας, θέτει αυτή την κοινότητα σε μειονεκτική θέση σε περιβαλλοντικές προκλήσεις και αλλαγές (Depledge, 1994). Μια ενδιαφέρουσα μελέτη για τη Κορώνεια, η οποία όμως εκτείνεται σε βάθος 20ετίας, μέτρησε αντίστοιχους παράγοντες τοξικότητας στην Κορώνεια (Kungolos et al., 1998). Άμεσες συσχετίσεις με την παρούσα μελέτη δεν μπορούν να γίνουν καθώς το 1997 όπου και πάρθηκαν τα σχετικά δείγματα, υπήρχε ακόμα αρκετό νερό για κατευθείαν έκθεση της *D. magna* σε αυτά και όχι μέσω υγρών έκπλυσης όπως τώρα. Η τοξικότητα (48 ωρών) στη *D. magna* ήταν εξαιρετικά υψηλή με θνησιμότητα 50-90% στο δείγμα που πάρθηκε από τον κύριο όγκο νερού της λίμνης (τοποθεσία Άγιος Βασίλειος). Κατά φθίνουσα σειρά οι τοξικότητες που παρατηρήθηκαν ήταν Άγιος Βασίλειος (κύριος όγκος λίμνης) > απόβλητα βιοτεχνίας κατεργασίας υφασμάτων, με θνησιμότητα 35% > Κανάλι Μπογδάνας (αστικά απόβλητα Λαγκαδά), με θνησιμότητα 15-25% > Κανάλι Καβαλάρι (απόβλητα γαλακτοπαραγωγικών μονάδων και μονάδων κατεργασίας υφασμάτων), με θνησιμότητα 0-35% (Kungolos et al., 1998). Κατ' αντιστοιχία στην παρούσα μελέτη το ίζημα IZ1 στη μέση της λίμνης ήταν πιο τοξικό από τα ιζήματα που προέρχονταν από τις όχθες της. Η τοξικότητα στα δείγματα του Αγίου Βασιλείου συνοδευόταν από υψηλό COD (900-1342 mg/L) και από υψηλή αλκαλική αντίδραση (pH 10,3-10,6), σε αντιστοιχία με το ίζημα IZ1 της παρούσας μελέτης το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό pH 9,2. Μπορεί να υποστηριχθεί λοιπόν πως η πιθανή τοξικότητα στη λίμνη Κορώνεια στους

ασπόνδυλους οργανισμούς είναι υψηλότερη στον κύριο όγκο της παρά στα ρεύματα αποβλήτων που λαμβάνει. Μια τέτοια θεώρηση είναι αρκετά λογική λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλομορφία και τον όγκο ρυπαντών που η λίμνη λαμβάνει συγκεντρωτικά από τη μία, καθώς και την ελάχιστη έως μηδαμινή αραίωση που αυτοί οι ρυπαντές υφίστανται από την άλλη, λόγω του αρνητικού ισοζυγίου νερού της λίμνης το οποίο συνεχώς χειροτερεύει.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως οποιεσδήποτε οικοτοξικολογικές αναλύσεις στη λίμνη είναι πλέον μόνο ενδεικτικές καθώς η οικολογική κατάσταση της λίμνης βρίσκεται υπό διαρκή υποβάθμιση με ιδιαιτέρως αρνητικό ισοζύγιο νερού. Το οικοσύστημα της λίμνης είναι μόνιμα διαταραγμένο, με ολική έλλειψη ανώτερων καταναλωτών (ψάρια), κοινότητα ασπόνδυλων με χαμηλή βιοποικιλότητα (Michaloudi and Kostecka, 2004) και παρασιτικούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς (Gennitsaris et al, 2009). Καταλήγοντας, μπορεί να ειπωθεί πως ένα δραστικό σχέδιο διαχείρισης και απορρύπανσης της λίμνης είναι καθοριστικής σημασίας για τη βιωσιμότητα της λίμνης Κορώνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΥΣ ΑΓΡΟΤΕΣ ΠΟΥ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Η δειγματοληπτική έρευνα με τη χρήση ερωτηματολογίων είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην κοινωνική έρευνα (Σιάρδος, 2005, Burton, 2000, Kotler and Armstrong, 2001), και χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διδακτορικής διατριβής για την συγκέντρωση των πρωτογενών δεδομένων που αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο. Ένα ερωτηματολόγιο, αποτελείται από ένα σύνολο ερωτήσεων, οι οποίες πρέπει να απαντηθούν από μία ομάδα ατόμων, που αποτελούν το δείγμα της έρευνας.

Πρωταρχικός σκοπός του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων του στο μαθηματικό μοντέλο, τα οποία θα συμβάλλουν στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Κορώνειας. Επίσης, στόχο αποτελεί και η διερεύνηση των στάσεων και των αντιλήψεων των αγροτών σε θέματα που αφορούν στη λίμνη, καθώς αποτελούν καθοριστικό παράγοντα τόσο για την μέχρι τώρα υποβάθμιση της λίμνης, όσο και για την προστασία και αποκατάσταση της λίμνης.

5.2 Μεθοδολογία της έρευνας

Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε με συλλογή πρωτογενών στοιχείων με τη συμπλήρωση 120 ερωτηματολογίων με προσωπικές συνεντεύξεις από την ερευνήτρια. Από αυτά συμπληρώθηκαν ορθά τα 112 ερωτηματολόγια, τα οποία συνιστούν το δείγμα της έρευνας αυτής. Το μέγεθος του δείγματος θεωρείται ικανοποιητικό για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων συγκρινόμενο με το συνολικό αριθμό αγροτών της περιοχής. Για την πραγματοποίηση της έρευνας αρχικά

χρησιμοποιήθηκε ένα δείγμα ευκολίας και στη συνέχεια η μέθοδος της δειγματοληψίας χιονοστιβάδας. Η συλλογή των δεδομένων με τη μέθοδο των προσωπικών συνεντεύξεων επιλέχθηκε, παρά το μεγάλο χρόνο προσωπικής απασχόλησης και το υψηλότερο κόστος που απαιτείται, διότι παρέχει τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς βοηθά στην καλύτερη κατανόηση του ερωτηματολογίου και επιτρέπει τον έλεγχο του δείγματος (Pearce and Ozdemiroglu, 2002). Η διάρκεια κάθε συνέντευξης ήταν περίπου 20 λεπτών. Η διεξαγωγή της έρευνας ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2014 και ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2014 και ο τύπος διεξαγωγής ήταν τα χωριά περιμετρικά της λίμνης Κορώνειας.

5.3 Σχεδιασμός του ερωτηματολογίου

Η σύνταξη του ερωτηματολογίου που καταρτίστηκε στο πλαίσιο αυτής της διδακτορικής διατριβής βασίστηκε στη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας και τροποποιήθηκε με βάση τους αντικειμενικούς σκοπούς της έρευνας (Oppenheim, 1992, Foddy, 1994, Kinnear and Taylor, 1996, Δαουτόπουλος, 2005, Σιάρδος, 2005). Το ερωτηματολόγιο που συντάχθηκε, συμπληρώθηκε πιλοτικά από ένα μικρό αριθμό αγροτών για να εντοπιστούν αδυναμίες, καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την συμπλήρωσή του. Στη συνέχεια, αφού έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις το ερωτηματολόγιο πήρε την τελική του μορφή και παρατίθεται στο παράρτημα Α της διατριβής. Η πλειονότητα των ερωτήσεων που επιλέχθηκαν ήταν κλειστού τύπου, ορισμένες ήταν ημι-κλειστού τύπου, ενώ υπήρχαν και ελάχιστες ανοιχτού τύπου που ήταν περισσότερο συμπληρωματικές κάποιας κλειστής ερώτησης. Ορισμένες από τις ερωτήσεις διαιρέθηκαν σε δύο υποερωτήματα. Κλειστού τύπου ερωτήσεις θεωρούνται αυτές που συνοδεύονται με απαντήσεις από τις οποίες καλούνται οι ερωτώμενοι να επιλέξουν και προτιμούνται επειδή είναι ευκολότερο να απαντηθούν και να επεξεργαστούν (Σιάρδος, 2005). Σε αντίθεση με τις κλειστές ερωτήσεις, η ανάλυση ανοιχτού τύπου ερωτήσεων αποτελεί μία πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία (Javeau, 2000). Οι ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο ήταν είτε σύμφωνα με τη μέθοδο της κλίμακας Likert επτά βαθμών, είτε “ναι”, “ίσως” και “όχι”, είτε πολλαπλής επιλογής.

Το ερωτηματολόγιο περιλαμβάνει τρία τμήματα. Στο πρώτο τμήμα αρχικά ζητήθηκε από τους αγρότες να απαντήσουν σε ερωτήσεις που στόχο είχαν να διερευνήσουν το

βαθμό που οι ερωτώμενοι θεωρούν σημαντική την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας και γενικότερα του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια θεωρήθηκε σημαντικό να διερευνηθούν οι στάσεις και οι αντιλήψεις τους σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης και να διαπιστωθεί σε τι βαθμό είναι ενημερωμένοι για θέματα σχετικά με τη λίμνη. Το δεύτερο τμήμα του ερωτηματολογίου περιελάμβανε ερωτήσεις που αφορούσαν τις καλλιέργειες των αγροτών, ερωτήσεις που στόχο είχαν να διερευνήσουν την προθυμία των αγροτών να αλλάξουν πρακτικές στη γεωργία για την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας, καθώς και την προθυμία πληρωμής για την χρησιμοποίηση του νερού της λίμνης. Το τρίτο μέρος του ερωτηματολογίου περιελάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος, όπως το φύλο, η ηλικία, το επίπεδο εκπαίδευσης και η οικογενειακή κατάσταση.

5.4 Επεξεργασία και ανάλυση των ερωτηματολογίων

Μετά την ολοκλήρωση της προσπάθειας συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων του, η οποία οδήγησε σε χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία παραθέτονται παρακάτω. Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό επεξεργασίας στατιστικών δεδομένων SPSS.

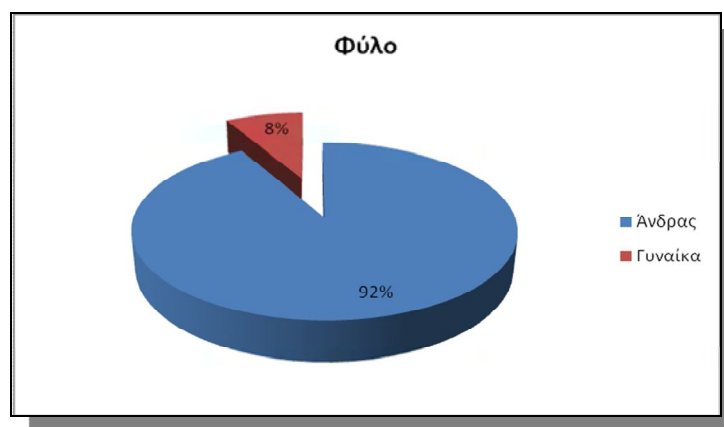
5.4.1 Περιγραφική στατιστική ανάλυση δεδομένων έρευνας

Τα αποτελέσματα του τρίτου μέρους του ερωτηματολογίου, το οποίο περιελάμβανε ερωτήσεις σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος, παρουσιάζονται πρώτα, καθώς συνθέτουν την ταυτότητα του δείγματος. Στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος της έρευνας.

Όσον αφορά το φύλο, το δείγμα αποτελείται, όπως φαίνεται παρακάτω, από 103 άνδρες και 9 γυναίκες στο σύνολο των 112 ερωτηθέντων αγροτών. Είναι φανερό ότι οι γυναίκες είναι μειοψηφία στο δείγμα αυτό, με ποσοστό μόλις 8%.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Άνδρας	103	92,0	92,0	92,0
Γυναίκα	9	8,0	8,0	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.1: Φύλο

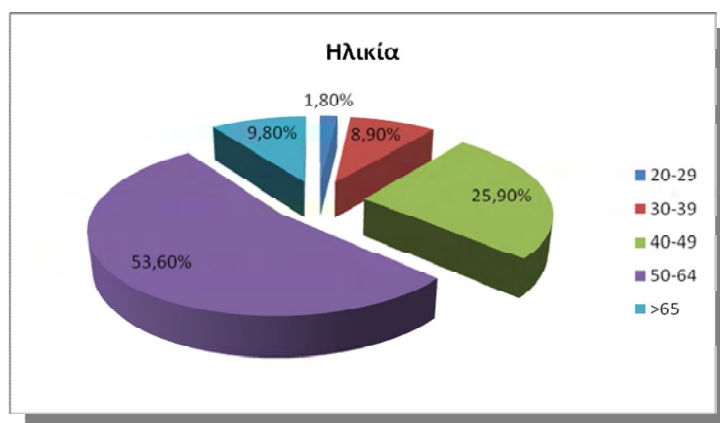


Διάγραμμα 5.1: Φύλο

Ως προς την ηλικιακή διαφοροποίηση, η σχετική ερώτηση περιελάμβανε 5 κατηγορίες και από τις απαντήσεις προέκυψαν τα παρακάτω:

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
20-29	2	1,8	1,8	1,8
30-39	10	8,9	8,9	10,7
40-49	29	25,9	25,9	36,6
50-64	60	53,6	53,6	90,2
>65	11	9,8	9,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.2: Ηλικία



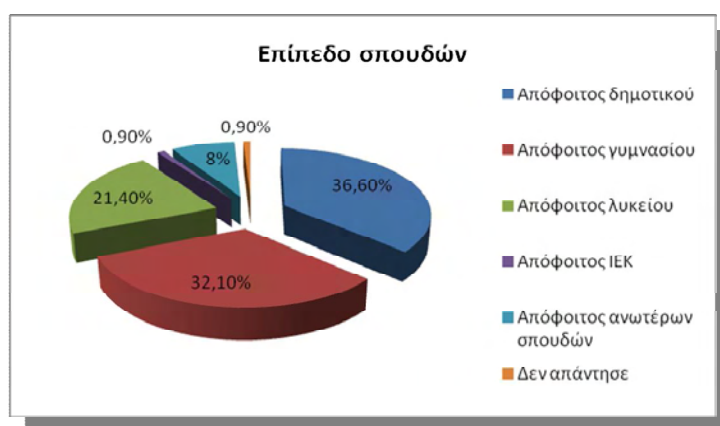
Διάγραμμα 5.2: Ηλικία

Όπως προκύπτει από τις απαντήσεις του δείγματος, η πλειοψηφία των αγροτών ανήκουν στην κατηγορία 50-64 ετών με ποσοστό 53,6%, ακολουθεί με ποσοστό 25,9% η κατηγορία 40-49 ετών, ενώ αντίθετα μειοψηφία αποτελεί η κατηγορία 20-29 ετών με ποσοστό 1,8%. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι με τις αγροτικές εργασίες ασχολούνται περισσότερο άτομα ηλικίας από 40 ετών και άνω και ότι το επάγγελμα του αγρότη δεν αποτελεί πρώτη επιλογή σε νεαρά άτομα.

Όσον αφορά το επίπεδο σπουδών των ερωτηθέντων, διαπιστώνουμε ότι στην πλειοψηφία τους έχουν ως ανώτερο επίπεδο σπουδών το απολυτήριο λυκείου. Πιο συγκεκριμένα, το 36,6% των ερωτηθέντων είναι απόφοιτοι δημοτικού, το 32,1% είναι απόφοιτοι γυμνασίου και το 21,4% είναι απόφοιτοι λυκείου. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας, όπως επίσης και η κοινωνική ομάδα στην οποία ανήκει το δείγμα, συνήθως έχουν χαμηλότερο μορφωτικό επίπεδο.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Απόφοιτος δημοτικού	41	36,6	36,6	36,6
Απόφοιτος γυμνασίου	36	32,1	32,1	68,8
Απόφοιτος λυκείου	24	21,4	21,4	90,2
Απόφοιτος ΙΕΚ	1	0,9	0,9	91,1
Απόφοιτος ανωτέρων σπουδών	9	8,0	8,0	99,1
Δεν απάντησε	1	0,9	0,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.3: Επίπεδο σπουδών



Διάγραμμα 5.3: Επίπεδο σπουδών

Ως προς την οικογενειακή κατάσταση του δείγματος, τα αποτελέσματα φανερώνουν μια σαφή επικράτηση των έγγαμων αγροτών. Από τους 112 ερωτηθέντες γεωργούς του δείγματος, η συντριπτική πλειοψηφία είναι έγγαμοι με ποσοστό 81,3 %, ακολουθούν οι άγαμοι αγρότες με ποσοστό 14,3%, ενώ οι υπόλοιποι, με ποσοστό 4,5% είναι διαζευγμένοι ή χήροι.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Άγαμος/η	16	14,3	14,3	14,3
Έγγαμος/η	91	81,3	81,3	95,5
Διαζευγμένος/η	4	3,6	3,6	99,1
Χήρος/α	1	0,9	0,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.4: Οικογενειακή κατάσταση



Διάγραμμα 5.4: Οικογενειακή κατάσταση

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ερωτήσεων του πρώτου μέρους του ερωτηματολογίου. Οι πρώτες ερωτήσεις ήταν σχετικά εύκολες να απαντηθούν, πιο γενικές και ουδέτερες για να νιώσουν άνετα οι συμμετέχοντες και να μπορέσουν να δώσουν μη προκατειλημμένες και ειλικρινείς απαντήσεις.

Τα αποτελέσματα στην ερώτηση σχετικά με το πόσο σημαντικά θεωρούν τα ζητήματα προστασίας του περιβάλλοντος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Είναι φανερό ότι σχεδόν όλο το δείγμα θεωρεί πολύ ή εξαιρετικά σημαντικά τα ζητήματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος:

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Μετρίας σημαντικότητας	3	2,7	2,7	2,7
Αρκετά σημαντικά	8	7,1	7,1	9,8
Πολύ σημαντικά	24	21,4	21,4	31,3
Εξαιρετικά σημαντικά	77	68,8	68,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.5: Πόσο σημαντικά θεωρείτε τα ζητήματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος;



Διάγραμμα 5.5: Πόσο σημαντικά θεωρείτε τα ζητήματα που αφορούν την προστασία περιβάλλοντος;

Η επόμενη ερώτηση για το αν οι ερωτώμενοι γνωρίζουν ότι η περιοχή της λίμνης Κορώνειας είναι προστατευόμενη είχε ως απάντηση τις επιλογές ΝΑΙ/ΟΧΙ με σκοπό να διαπιστωθεί κατά πόσο οι αγρότες έχουν γνώση για ό,τι αφορά τη λίμνη που βρίσκεται στην περιοχή που ζουν και δραστηριοποιούνται. Σε περίπτωση που η απάντηση ήταν θετική ο ερωτώμενος έπρεπε να σημειώσει υπό ποιο καθεστώς προστατεύεται το οικοσύστημα.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	88	78,6	78,6	78,6
Όχι	24	21,4	21,4	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.6: Γνωρίζετε ότι η περιοχή της λίμνης είναι προστατευόμενη;



Διάγραμμα 5.6: Γνωρίζετε ότι η περιοχή της λίμνης είναι προστατευόμενη;

Όπως είναι φανερό, η πλειοψηφία του δείγματος με ποσοστό 78,6% έχει γνώση ότι η λίμνη βρίσκεται υπό καθεστώς προστασίας, ενώ το 21,4% δήλωσε ότι γνωρίζει πως η λίμνη Κορώνεια χαρακτηρίστηκε ως υγρότοπος διεθνούς σημασίας, συμπεριλαμβανόμενος στον κατάλογο της Σύμβασης Ramsar. Η γνώση αυτή μπορεί να θεωρηθεί σημαντική για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, γιατί δείχνει ότι οι απαντήσεις των ερωτηθέντων δεν είναι τυχαίες, αλλά αντίθετα τεκμηριωμένες. Βέβαια, υπήρχε ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 18,8% που αν και γνώριζε ότι βρίσκεται η λίμνη υπό καθεστώς προστασίας δε γνώριζε υπό ποιο καθεστώς.

	Συχνότητα Ποσοστό		Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Δε γνωρίζω	21	18,8	18,8	18,8
Natura-Ramsar	15	13,4	13,4	32,1
Ramsar	49	43,8	43,8	75,9
Natura	3	2,7	2,7	78,6
Επαρχείο Λαγκαδά	1	0,9	0,9	79,5
Δεν απάντησε	23	20,5	20,5	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.7: Εάν ναι, αναφέρετε εάν γνωρίζετε το καθεστώς προστασίας



Διάγραμμα 5.7: Εάν ναι, αναφέρετε εάν γνωρίζετε το καθεστώς προστασίας

Όσον αφορά στην ερώτηση για το πόσο σημαντική θεωρούν οι αγρότες την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας η πλειοψηφία του δείγματος με ποσοστό 85,7% θεωρεί πολύ (20,5%) ή εξαιρετικά σημαντική (65,2%) την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου σημαντική	2	1,8	1,8	1,8
Ελάχιστα σημαντική	1	0,9	0,9	2,7
Λίγο σημαντική	1	0,9	0,9	3,6
Μετρίας σημαντικότητας	1	0,9	0,9	4,5
Αρκετά σημαντική	11	9,8	9,8	14,3
Πολύ σημαντική	23	20,5	20,5	34,8
Εξαιρετικά σημαντική	73	65,2	65,2	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.8: Πόσο σημαντική θεωρείτε την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας;



Διάγραμμα 5.8: Πόσο σημαντική θεωρείτε την προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας;

Στις επόμενες δύο ερωτήσεις για το πόσο ενημερωμένοι πιστεύουν ότι είναι σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης, αλλά και αν υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς είναι φανερό ότι σε γενικές γραμμές οι ερωτηθέντες δεν είναι ικανοποιητικά ενημερωμένοι αν παρατηρηθούν οι Πίνακες 5.9 και 5.10.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου ενημερωμένος	22	19,6	19,6	19,6
Ελάχιστα ενημερωμένος	22	19,6	19,6	39,3
Λίγο ενημερωμένος	9	8,0	8,0	47,3
Μέτρια ενημερωμένος	25	22,3	22,3	69,6
Αρκετά ενημερωμένος	20	17,9	17,9	87,5
Πολύ ενημερωμένος	5	4,5	4,5	92,0
Εξαιρετικά ενημερωμένος	9	8,0	8,0	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.9: Πόσο ενημερωμένος πιστεύετε ότι είστε σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;



Διάγραμμα 5.9: Πόσο ενημερωμένος πιστεύετε ότι είστε σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;

Πιο συγκεκριμένα, το 22,3% των ερωτηθέντων είναι μέτρια ενημερωμένοι, το 17,9% είναι αρκετά ενημερωμένοι ενώ πρέπει να υπογραμμιστεί ότι ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως 47,2% είναι καθόλου (19,6%), ελάχιστα (19,6%) ή λίγο (8%) ενημερωμένοι. Όσον αφορά στην ενημέρωσή τους από τους αρμόδιους φορείς, η έλλειψη ενημέρωσης τους για το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης είναι γεγονός καθώς το 88,4% θεωρεί ότι δεν έχει επαρκή πληροφόρηση σχετικά με το πρόβλημα που έχει η λίμνη.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	6	5,4	5,4	5,4
Όχι	99	88,4	88,4	93,8
Ίσως	5	4,5	4,5	98,2
Δεν απάντησε	2	1,8	1,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.10: Υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμοδίους φορείς σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;



Διάγραμμα 5.10: Υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμοδίους φορείς σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;

Όσον αφορά στην ερώτηση αν επηρεάζεται η ποιότητα της ζωής τους από το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτώμενων, αν και διαπιστώσαμε παραπάνω ότι δεν είναι επαρκώς ενημερωμένοι σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης, θεωρούν ότι επηρεάζει την ποιότητα της ζωής τους. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα, καθώς οι αγρότες εξαρτώνται οικονομικά από την κατάσταση της λίμνης. Πιο συγκεκριμένα, το 17% των ερωτηθέντων αγροτών θεωρεί ότι η ποιότητα ζωής τους επηρεάζεται αρκετά, το 16,1% ότι επηρεάζεται πολύ ενώ το 36,6% αξιολογεί ότι η ποιότητα ζωής τους επηρεάζεται εξαιρετικά. Βέβαια, υπάρχει και ένα μικρότερο ποσοστό της τάξεως περίπου 20% που θεωρεί ότι η ποιότητα ζωής τους δεν επηρεάζεται καθόλου, επηρεάζεται ελάχιστα ή λίγο.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	7	6,3	6,3	6,3
Ελάχιστα	8	7,1	7,1	13,4
Λίγο	8	7,1	7,1	20,5
Μέτρια	11	9,8	9,8	30,4
Αρκετά	19	17,0	17,0	47,3
Πολύ	18	16,1	16,1	63,4
Εξαιρετικά	41	36,6	36,6	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.11: Θεωρείτε ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης επηρεάζει την ποιότητα της ζωής σας;



Διάγραμμα 5.11: Θεωρείτε ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης επηρεάζει την ποιότητα της ζωής σας;

Στην επόμενη ερώτηση οι αγρότες καλούνται να αξιολογήσουν σε τι βαθμό συγκεκριμένοι παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας. Ο παρακάτω πίνακας παραθέτει την αξιολόγηση των ερωτώμενων για κάθε ένα παράγοντα ξεχωριστά:

Γεωργικές δραστηριότητες

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	27	24,1	24,1	24,1
Ελάχιστα	31	27,7	27,7	51,8
Λίγο	13	11,6	11,6	63,4
Μέτρια	17	15,2	15,2	78,6
Αρκετά	11	9,8	9,8	88,4
Πολύ	1	0,9	0,9	89,3
Εξαιρετικά	12	10,7	10,7	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Βιομηχανικές δραστηριότητες

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	1	0,9	0,9	0,9
Λίγο	3	2,7	2,7	3,6
Μέτρια	1	,9	,9	4,5
Αρκετά	8	7,1	7,1	11,6
Πολύ	33	29,5	29,5	41,1
Εξαιρετικά	66	58,9	58,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	10	8,9	8,9	8,9
Ελάχιστα	8	7,1	7,1	16,1
Λίγο	20	17,9	17,9	33,9
Μέτρια	37	33,0	33,0	67,0
Αρκετά	25	22,3	22,3	89,3
Πολύ	6	5,4	5,4	94,6
Εξαιρετικά	6	5,4	5,4	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Προβλήματα στη διοικητική οργάνωση

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	2	1,8	1,8	1,8
Λίγο	3	2,7	2,7	4,5
Μέτρια	13	11,6	11,6	16,1
Αρκετά	11	9,8	9,8	25,9
Πολύ	33	29,5	29,5	55,4
Εξαιρετικά	50	44,6	44,6	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Ελλείψεις στη νομοθεσία, καθώς και στον έλεγχο εφαρμογής της

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ελάχιστα	2	1,8	1,8	1,8
Λίγο	5	4,5	4,5	6,3
Μέτρια	8	7,1	7,1	13,4
Αρκετά	19	17,0	17,0	30,4
Πολύ	35	31,3	31,3	61,6
Εξαιρετικά	43	38,4	38,4	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

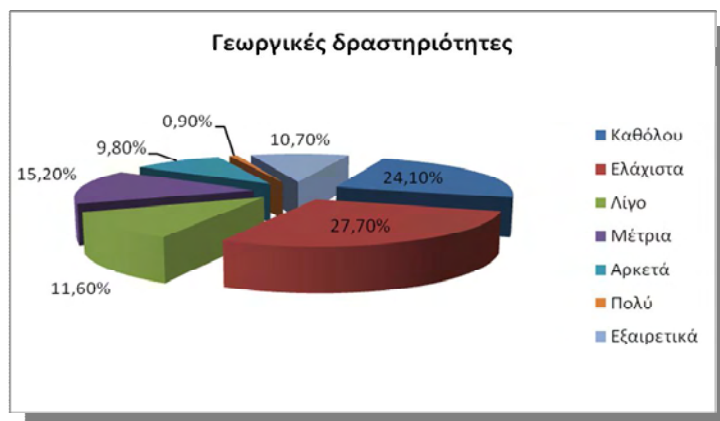
Πίνακας 5.12: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

Με βάση τα αποτελέσματα, το 51,8% των αγροτών που ερωτήθηκαν θεωρούν ότι οι γεωργικές δραστηριότητες δεν ευθύνονται καθόλου(24,1%) ή ευθύνονται ελάχιστα (27,7%) για το περιβαλλοντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η λίμνη Κορώνεια. Υπάρχει, βέβαια και ένα ποσοστό της τάξεως 15,2% που θεωρεί ότι οι γεωργικές δραστηριότητες ευθύνονται σε μέτριο βαθμό για το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η λίμνη Κορώνεια. Οι απαντήσεις στην ερώτηση αυτή φαίνεται να μην ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, καθώς παρατηρείται προσπάθεια αποφυγής ευθυνών στο μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτώμενων.

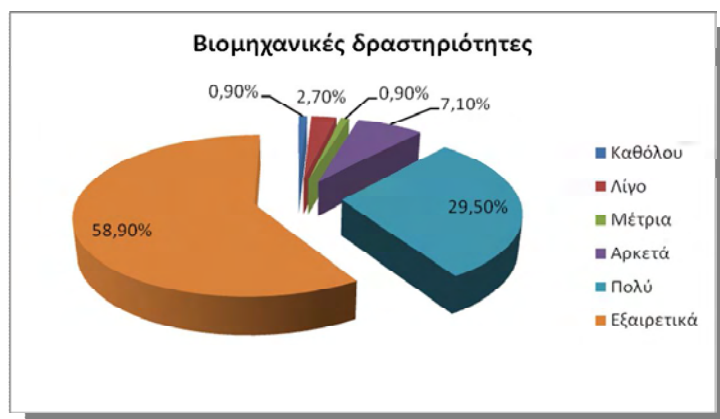
Επιπλέον, οι βιομηχανικές δραστηριότητες αναφέρονται ως κύριες ιθύνουσες για το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης. Συγκεκριμένα, το 58,9% θεωρεί ότι ευθύνονται εξαιρετικά και το 29,5% θεωρεί ότι ευθύνονται πολύ. Αναφορικά με τις άλλες ανθρωπογενείς δράσεις, οι ερωτηθέντες θεωρούν ότι ευθύνονται σε μεγαλύτερο βαθμό μέτρια (33%) ή αρκετά (22,3%) ενώ υπάρχει ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 17,9% που καταλογίζουν λιγότερες ευθύνες. Τα προβλήματα στη διοικητική οργάνωση, σύμφωνα με το δείγμα μας, θεωρούνται ότι ευθύνονται πολύ (29,5%) ή εξαιρετικά (44,6%) για το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης. Τέλος, ο παράγοντας “Ελλείψεις στη νομοθεσία και στον έλεγχο της εφαρμογής της υπάρχουσας νομοθεσίας” θεωρούν οι αγρότες που ερωτήθηκαν πως ευθύνονται σε

μεγάλο βαθμό για το πρόβλημα της λίμνης. Συγκεκριμένα, θεωρούν ότι ευθύνονται σε ποσοστό συνολικά 86,7%, αρκετά (17%) ή πολύ (31,3%) ή εξαιρετικά (38,4%).

Γεωργικές δραστηριότητες



Βιομηχανικές δραστηριότητες



Άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες



Προβλήματα στη διοικητική οργάνωση



Ελλείψεις στη νομοθεσία, καθώς και στον έλεγχο εφαρμογής της



Διάγραμμα 5.12: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

Στην επόμενη ερώτηση οι αγρότες καλούνται να αξιολογήσουν το βαθμό στον οποίο συγκεκριμένες ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης. Η συγκεκριμένη ερώτηση περιείχε 8 διαφορετικές ενέργειες που μπορούν να πραγματοποιηθούν ώστε να βελτιωθεί το οικοσύστημα της λίμνης. Ο παρακάτω πίνακας παραθέτει την αξιολόγηση των ερωτώμενων για κάθε ένα παράγοντα ξεχωριστά.

Κατάργηση παράνομων γεωτρήσεων

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	39	34,8	34,8	34,8
Ελάχιστα	34	30,4	30,4	65,2
Λίγο	7	6,3	6,3	71,4
Μέτρια	13	11,6	11,6	83,0
Αρκετά	3	2,7	2,7	85,7
Πολύ	6	5,4	5,4	91,1
Εξαιρετικά	10	8,9	8,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Αλλαγή πρακτικών στη γεωργία

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	10	8,9	8,9	8,9
Ελάχιστα	14	12,5	12,5	21,4
Λίγο	16	14,3	14,3	35,7
Μέτρια	23	20,5	20,5	56,3
Αρκετά	18	16,1	16,1	72,3
Πολύ	13	11,6	11,6	83,9
Εξαιρετικά	18	16,1	16,1	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Επιδότησεις για αλλαγή καλλιεργειών

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	7	6,3	6,3	6,3
Ελάχιστα	3	2,7	2,7	8,9
Λίγο	5	4,5	4,5	13,4
Μέτρια	10	8,9	8,9	22,3
Αρκετά	27	24,1	24,1	46,4
Πολύ	23	20,5	20,5	67,0
Εξαιρετικά	37	33,0	33,0	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Τιμολόγηση νερού

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	47	42,0	42,0	42,0
Ελάχιστα	36	32,1	32,1	74,1
Λίγο	8	7,1	7,1	81,3
Μέτρια	6	5,4	5,4	86,6
Αρκετά	3	2,7	2,7	89,3
Πολύ	4	3,6	3,6	92,9
Εξαιρετικά	8	7,1	7,1	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Εφαρμογή νομοθεσίας – Επιβολή προστίμων

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	19	17,0	17,0	17,0
Ελάχιστα	14	12,5	12,5	29,5
Λίγο	4	3,6	3,6	33,0
Μέτρια	11	9,8	9,8	42,9
Αρκετά	16	14,3	14,3	57,1
Πολύ	23	20,5	20,5	77,7
Εξαιρετικά	25	22,3	22,3	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Ενημέρωση από του αρμοδίους φορείς των προβλημάτων του οικοσυστήματος-εφαρμογή φιλικών περιβαλλοντικών πρακτικών

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	7	6,3	6,3	6,3
Ελάχιστα	5	4,5	4,5	10,7
Λίγο	3	2,7	2,7	13,4
Μέτρια	12	10,7	10,7	24,1
Αρκετά	22	19,6	19,6	43,8
Πολύ	22	19,6	19,6	63,4
Εξαιρετικά	41	36,6	36,6	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	2	1,8	1,8	1,8
Ελάχιστα	2	1,8	1,8	3,6
Λίγο	4	3,6	3,6	7,1
Μέτρια	4	3,6	3,6	10,7
Αρκετά	16	14,3	14,3	25,0
Πολύ	29	25,9	25,9	50,9
Εξαιρετικά	55	49,1	49,1	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Τουριστική αξιοποίηση της περιοχής

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	2	1,8	1,8	1,8
Ελάχιστα	1	,9	,9	2,7
Λίγο	1	,9	,9	3,6
Μέτρια	7	6,3	6,3	9,8
Αρκετά	4	3,6	3,6	13,4
Πολύ	29	25,9	25,9	39,3
Εξαιρετικά	68	60,7	60,7	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.13: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

Αν παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι:

Το μεγαλύτερο μέρος των ερωτώμενων, ποσοστό 65,2%, υποστηρίζει ότι η κατάργηση των παράνομων γεωτρήσεων βελτιώνει ελάχιστα (30,4%) ή δε βελτιώνει καθόλου (34,8%) την κατάσταση στην οποία έχει περιέλθει το οικοσύστημα της λίμνης.

Αναφορικά με την ενέργεια των αλλαγών πρακτικών στη γεωργία η άποψη είμαι σχεδόν ισότιμα κατανεμημένη στις 7 βαθμίδες της κλίμακας αξιολόγησης. Το 20,5% θεωρεί ότι βελτιώνει σε μέτριο βαθμό την κατάσταση του οικοσυστήματος και το 32,2% θεωρεί ότι επηρεάζει αρκετά ή εξαιρετικά τη βελτίωση του οικοσυστήματος.

Η χρηματοδότηση μέσω επιδοτήσεων για αλλαγή των καλλιεργειών είναι μία από τις πιο δημοφιλείς κατά τους αγρότες ενέργεια βελτίωσης του οικοσυστήματος της λίμνης. Συγκεκριμένα, το 77% περίπου θεωρεί ότι οι επιδοτήσεις για αλλαγή των καλλιεργειών θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη σημερινή κατάσταση του οικοσυστήματος αρκετά (24,1%), πολύ (20,5%) και εξαιρετικά (33%).

Η τιμολόγηση του νερού αποτελεί μια ενέργεια που οι αγρότες δε θεωρούν ότι συνεισφέρει στη βελτίωση του οικοσυστήματος της λίμνης. Συγκριμένα, το 74,1% δε θεωρεί καθόλου (42%) ή θεωρεί ελάχιστα (32,1%) ότι η τιμολόγηση του νερού συμβάλλει στη βελτίωση του οικοσυστήματος της λίμνης.

Οι αγρότες θεωρούν στην πλειοψηφία τους, κατά το 57,1% των ερωτώμενων, ότι η εφαρμογή της νομοθεσίας και η επιβολή προστίμων συμβάλλει αρκετά (14,3%), πολύ (20,5%) ή εξαιρετικά (22,3%) στη βελτίωση του οικοσυστήματος .

Δεδομένου ότι η ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς, κατά την άποψη των αγροτών, δεν είναι επαρκής είναι αναμενόμενο να θεωρούν την ενημέρωση και την εφαρμογή “φιλικών” περιβαλλοντικών πρακτικών εξαιρετικά σημαντική ενέργεια για βελτίωση του οικοσυστήματος της λίμνης (33,3% του δείγματος).

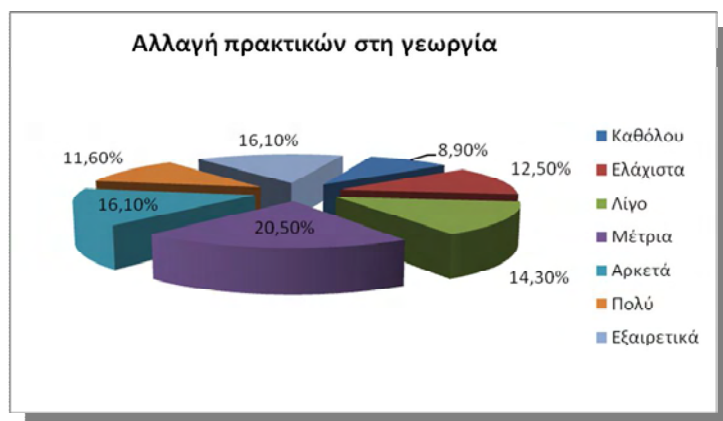
Εκτός από την ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς, οι αγρότες θεωρούν ότι η συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης είναι εξαιρετικά σημαντική ενέργεια στην πλειοψηφία του δείγματος, ποσοστό 36,6%. Επίσης, το 25,9% θεωρεί ότι είναι πολύ σημαντική ενέργεια και το 14,3% αρκετά σημαντική ενέργεια.

Όσον αφορά στη τουριστική αξιοποίηση της περιοχής, οι αγρότες θεωρούν σε ποσοστό 86,6% ότι η ενέργεια αυτή συμβάλλει πολύ ή εξαιρετικά στη βελτίωση του οικοσυστήματος.

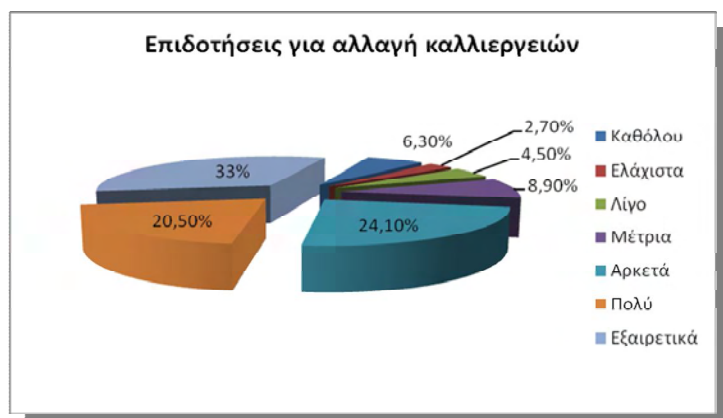
Κατάργηση παράνομων γεωτρήσεων



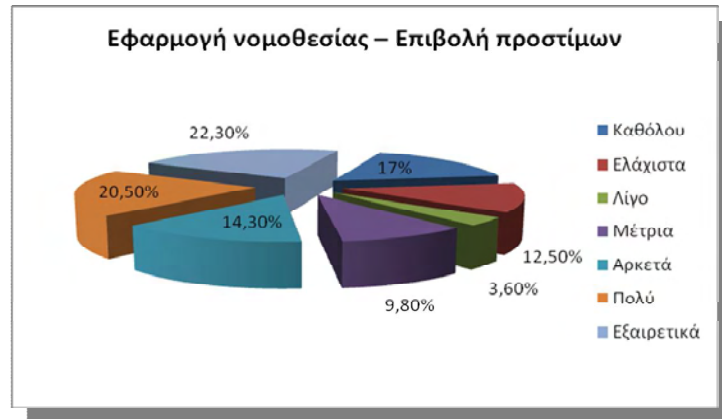
Αλλαγή πρακτικών στη γεωργία



Επιδότησεις για αλλαγή καλλιεργειών



Εφαρμογή νομοθεσίας – Επιβολή προστίμων



Ενημέρωση από του αρμοδίους φορείς των προβλημάτων του οικοσυστήματος-εφαρμογή φιλικών περιβαλλοντικών πρακτικών



Συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης





Διάγραμμα 5.13: Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας.

Τα αποτελέσματα του δεύτερου και σημαντικότερου μέρους του ερωτηματολογίου παρουσιάζονται παρακάτω. Στην ερώτηση αν χρησιμοποιούν λιπάσματα ή φυτοφάρμακα, στο σύνολο του δείγματος, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5.14, το 82,1%, απάντησε ότι χρησιμοποιεί λιπάσματα ή φυτοφάρμακα κατά την παραγωγική διαδικασία.

	Συχνότητα Ποσοστό		Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	92	82,1	82,1	82,1
Όχι	20	17,9	17,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.14: Χρησιμοποιείτε φυτοφάρμακα - λιπάσματα;



Διάγραμμα 5.14: Χρησιμοποιείτε φυτοφάρμακα – λιπάσματα;

Η επόμενη ερώτηση είχε ως στόχο να διερευνήσει κατά πόσο οι αγρότες πιστεύουν ότι η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειάς τους. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	66	58,9	58,9	58,9
Όχι	21	18,8	18,8	77,7
Ίσως	25	22,3	22,3	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.15: Εάν χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων, πιστεύετε ότι θα αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας σας;



Διάγραμμα 5.15: Εάν χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων-φυτοφαρμάκων, πιστεύετε ότι θα αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας σας;

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των αγροτών (58,9%) θεωρεί ότι η αύξηση της ποσότητας των λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας ενώ υπάρχει και ένα ποσοστό 22,3% που θεωρεί ότι ίσως και να βοηθά στην αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας τους. Μόλις το 18,8% θεωρεί ότι η απόδοση της καλλιέργειας τους δεν αυξάνεται με την αύξηση της χρήσης λιπασμάτων ή φυτοφαρμάκων.

Στην επόμενη ερώτηση για το αν τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης Κορώνειας, είναι προφανές ότι η άποψη των αγροτών είναι συγκεχυμένη και οι απαντήσεις κατανεμημένες και στις 7 της κλίμακας. Αν μελετήσουμε λίγο το διάγραμμα μπορούμε να σημειώσουμε ότι στις πρώτες κατηγορίες, Καθόλου (10,81%), Ελάχιστα (18,02%), και Λίγο (14,41%), συγκεντρώνεται το 43,24% των ερωτηθέντων αγροτών. Αυτό το 43,24% θεωρεί ότι η χρήση λιπασμάτων – φυτοφαρμάκων δεν επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης καθώς επίσης και το 18% θεωρεί ότι η χρήση τους επηρεάζει αρνητικά σε μέτριο βαθμό την ποιότητα του νερού της λίμνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 19,6% έχει διαφορετική άποψη καθώς πιστεύει ότι η χρήση λιπασμάτων – φυτοφαρμάκων επηρεάζει αρνητικά σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό την ποιότητα του νερού της λίμνης.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	12	10,7	10,8	10,8
Ελάχιστα	20	17,9	18,0	28,8
Λίγο	16	14,3	14,4	43,2
Μέτρια	20	17,9	18,0	61,3
Αρκετά	14	12,5	12,6	73,9
Πολύ	7	6,3	6,3	80,2
Εξαιρετικά	22	19,6	19,8	100,0
Missing System	1	0,9		
Σύνολο	112	100,0		

Πίνακας 5.16: Θεωρείτε ότι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης;



Διάγραμμα 5.16: Θεωρείτε ότι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης;

Στην ερώτηση αν είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιήσουν κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης στις καλλιέργειές τους τα αποτελέσματα είναι πολύ θετικά, καθώς οι αγρότες αν τους δινόταν η δυνατότητα είναι διατεθειμένοι να χρησιμοποιήσουν κάποια βιώσιμη εναλλακτική μέθοδο λίπανσης σε ποσοστό 84,8% σκεπτόμενοι την προστασία της λίμνης.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	95	84,8	84,8	84,8
Όχι	3	2,7	2,7	87,5
Ίσως	14	12,5	12,5	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.17: Εάν είχατε τη δυνατότητα, είστε διατεθειμένος-η να χρησιμοποιήσετε κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης της καλλιέργειας σας;



Διάγραμμα 5.17: Εάν είχατε τη δυνατότητα, είστε διατεθειμένος-η να χρησιμοποιήσετε κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης της καλλιέργειας σας;

Η επόμενη ερώτηση αποτελείται από δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος οι αγρότες καλούνται να απαντήσουν στο είδος της άρδευσης που χρησιμοποιούν, ενώ στο δεύτερο σκέλος της ερώτησης καλούνται να απαντήσουν τι μέρος του κόστους παραγωγής αποτελούν οι δαπάνες για άρδευση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.18 και 5.19.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ποτάμι	1	0,9	0,9	0,9
Δημόσιο δίκτυο άρδευσης και ιδιωτική γεώτρηση (νόμιμη)	1	0,9	0,9	1,8
Ιδιωτική γεώτρηση (νόμιμη)	109	97,3	97,3	99,1
Σύνολο	111	99,1	99,1	
Missing system	1	0,9	0,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.18: Τρόπος άρδευσης καλλιέργειας

Επομένως, η άρδευση από ποτάμι ή από δημόσιο δίκτυο άρδευσης πραγματοποιείται μόλις από έναν αγρότη. Οι υπόλοιποι πραγματοποιούν την άρδευση με ιδιωτική γεώτρηση (νόμιμη), η οποία είναι και η επικρατέστερη μέθοδος άρδευσης.



Διάγραμμα 5.18: Τρόπος άρδευσης καλλιέργειας

Στο δεύτερο μέρος της ερώτησης παρατηρούμε ότι το 31,25% των ερωτώμενων θέτει το 25% ως ποσοστό δαπανών για άρδευση, το 25,89% το 30% και το 22,32% το 20%. Επομένως, η πλειοψηφία των ερωτώμενων ως ποσοστό δαπανών για άρδευση ορίζει κυρίως το 20%, 25% ή το 30%. Υπάρχει, βέβαια, και ένα ποσοστό της τάξεως του 8,04% που αναφέρεται σε ποσοστά δαπανών για άρδευση μεγαλύτερα από τις επιλογές που τέθηκαν στο πλαίσιο του ερωτηματολογίου.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
0%	1	0,9	0,9	0,9
10%	5	4,5	4,5	5,4
15%	8	7,1	7,1	12,5
20%	25	22,3	22,3	34,8
25%	35	31,3	31,3	66,1
30%	29	25,9	25,9	92
Άλλο	9	8	8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.19: Τι μέρος του κόστους παραγωγής είναι οι δαπάνες για άρδευση;



Διάγραμμα 5.19: Τι μέρος του κόστους παραγωγής είναι οι δαπάνες για άρδευση;

Οι απαντήσεις που δόθηκαν στην ερώτηση “Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;” ήταν οι ακόλουθες:

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Καθόλου	19	17,0	17,0	17,0
Ελάχιστα	30	26,8	26,8	43,8
Λίγο	20	17,9	17,9	61,6
Μέτρια	16	14,3	14,3	75,9
Αρκετά	11	9,8	9,8	85,7
Πολύ	5	4,5	4,5	90,2
Εξαιρετικά	11	9,8	9,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.20: Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων, 61,6%, δεν πιστεύει (17%) ή πιστεύει ελάχιστα (26,8%) ή λίγο (17,9%) ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών ταπεινώνει τον υδροφόρο ορίζοντα της λίμνης.



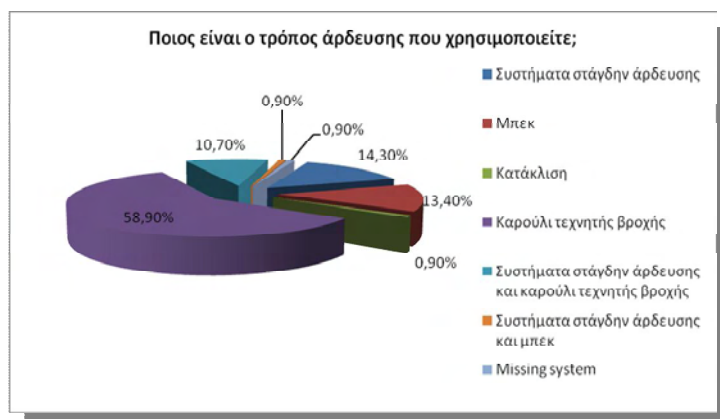
Διάγραμμα 5.20: Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;

Η επόμενη ερώτηση αφορούσε τον τρόπο ποτίσματος που χρησιμοποιούν οι αγρότες και τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Συστήματα στάγδην άρδευσης	16	14,3	14,3	14,3
Μπεκ	15	13,4	13,4	27,7
Κατάκλιση	1	0,9	0,9	28,6
Καρούλι τεχνητής βροχής	66	58,9	58,9	87,5
Συστήματα στάγδην άρδευσης και καρούλι τεχνητής βροχής	12	10,7	10,7	98,2
Συστήματα στάγδην άρδευσης και μπεκ	1	0,9	0,9	99,1
Missing system	1	0,9	0,9	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.21: Ποιος είναι ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείτε;

Όπως ήταν αναμενόμενο οι αγρότες χρησιμοποιούν κατά βάση το καρούλι τεχνητής βροχής (58,9%) για την άρδευση των καλλιεργειών τους. Ακολουθεί η χρήση των συστημάτων στάγδην άρδευσης με 14,3% καθώς και 13,4% το μπεκ. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 10,7% χρησιμοποιεί συνδυαστικά συστήματα στάγδην άρδευσης και καρούλι τεχνητής βροχής ενώ παρατηρήθηκε και η περίπτωση ενός αγρότη που χρησιμοποιεί συστήματα στάγδην άρδευσης και μπεκ.

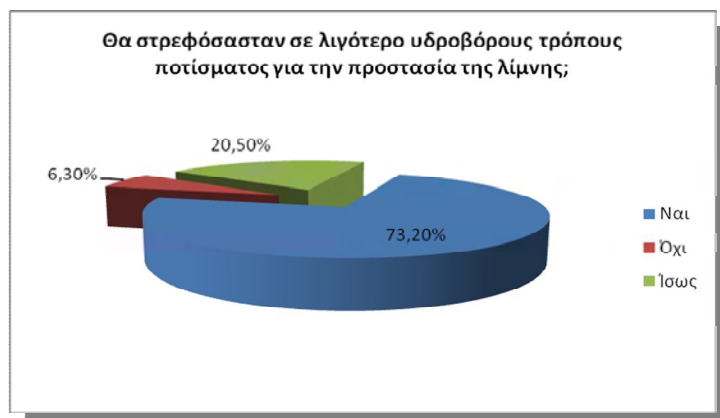


Διάγραμμα 5.21: Ποιος είναι ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείτε;

Στην ερώτηση αν θα στρεφόταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους ποτίσματος, τα αποτελέσματα είναι πολύ αισιόδοξα, καθώς οι αγρότες στην πλειοψηφία τους (73,5%) είναι διατεθειμένοι αν τους δινόταν η ευκαιρία να στραφούν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους ποτίσματος για την προστασία της λίμνης.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	82	73,2	73,2	73,2
Όχι	7	6,3	6,3	79,5
Ίσως	23	20,5	20,5	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.22: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους άρδευσης για την προστασία της λίμνης;

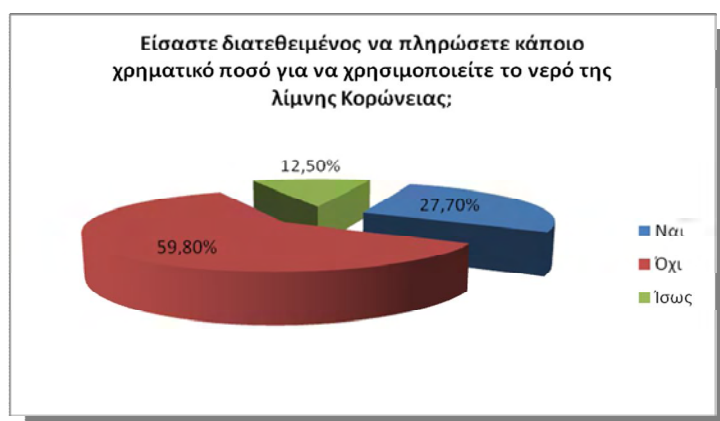


Διάγραμμα 5.22: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους άρδευσης για την προστασία της λίμνης;

Στην επόμενη ερώτηση διερευνάται η προθυμία των αγροτών να πληρώσουν κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιούν το νερό της λίμνης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.23. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι οι αγρότες δεν είναι διατεθειμένοι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, 59,8%, να καταβάλλουν κάποιο χρηματικό ποσό. Η ερώτηση αυτή συνδέεται με τις δύο επόμενες του ερωτηματολογίου, ερωτήσεις 16 και 17, ανάλογα με το τι απαντήθηκε σε αυτήν.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	31	27,7	27,7	27,7
Όχι	67	59,8	59,8	87,5
Ίσως	14	12,5	12,5	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.23: Είσατε διατεθειμένος-η να πληρώσετε κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιείτε το νερό της λίμνης Κορώνειας;



Διάγραμμα 5.23: Είσατε διατεθειμένος-η να πληρώσετε κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιείτε το νερό της λίμνης Κορώνειας;

Στην περίπτωση που απάντησαν ναι ή ίσως, ζητήθηκε να διευκρινιστεί το ακριβές ποσό που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν μηνιαία ή ανά κυβικό μέτρο. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων προέκυψαν οι Πίνακες 5.24 και 5.25.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
0 Ευρώ	1	0,9	0,9	0,9
10 Ευρώ	22	19,6	19,6	20,5
15 Ευρώ	11	9,8	9,8	30,4
20 Ευρώ	4	3,6	3,6	33,9
Άλλο	5	4,5	4,5	38,4
Δεν απάντησε	2	1,8	1,8	40,2
N.A.	67	59,8	59,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.24: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσατε διατεθειμένος-η να πληρώσετε μηνιαία;



Διάγραμμα 5.24: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε μηνιαία;

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
5 Λεπτά	18	16,1	16,1	16,1
10 Λεπτά	17	15,2	15,2	31,3
15 Λεπτά	2	1,8	1,8	33,0
Άλλο	6	5,4	5,4	38,4
Δεν απάντησε	2	1,8	1,8	40,2
N.A.	67	59,8	59,8	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.25: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε ανά κυβικό μέτρο;



Διάγραμμα 5.25: Εάν ναι ή ίσως τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε ανά κυβικό μέτρο;

Παρατηρούμε ότι από τους αγρότες που είναι διατεθειμένοι να καταβάλλουν ένα χρηματικό ποσό για τη χρήση του νερού η μηνιαία τιμή ορίζεται στα 10 ή 15 Ευρώ , ενώ ανά κυβικό μέτρο η τιμή ορίζεται 5 ή 10 λεπτά.

Στην περίπτωση που η ερώτηση 17 απαντήθηκε με Όχι, οι αγρότες χρειάστηκε να αιτιολογήσουν την απάντησή τους. Έτσι, οι λόγοι που παρέθεσαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Οικονομικοί λόγοι	31	27,7	27,7	27,7
Προστασία της λίμνης	14	12,5	12,5	40,2
Μη ύπαρξη νερού στη λίμνη	10	8,9	8,9	49,1
Απόσταση από τη λίμνη	5	4,5	4,5	53,6
Μη χρήση πόρων ΕΕ προς όφελος της λίμνης	1	0,9	0,9	54,5
Οικονομικοί λόγοι- Προστασία της λίμνης	2	1,8	1,8	56,3
Δεν απάντησε	3	2,7	2,7	58,9
N.A.	46	41,1	41,1	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.26: Εάν όχι, για ποιο λόγο δε θα διαθέτατε κάποιο χρηματικό ποσό;



Διάγραμμα 5.26: Εάν όχι, για ποιο λόγο δε θα διαθέτατε κάποιο χρηματικό ποσό;

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των ερωτηματολογίων ο πιο βασικός λόγος μη διάθεσης χρηματικού ποσού για χρήση του νερού της λίμνης είναι ο οικονομικός. Οι αγρότες δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να προβούν σε αυτή την ενέργεια σε ποσοστό 27,7%. Ο δεύτερος πιο σημαντικός λόγος κατά το δείγμα μας είναι η προστασία του περιβάλλοντος της λίμνης αφού αν διέθεταν κάποιο ποσό θα χρησιμοποιούσαν το νερό της λίμνης, επιβαρύνοντας ενδεχομένως και άλλο το ευαίσθητο οικοσύστημά της. Άλλοι λόγοι λιγότερο δημοφιλείς είναι η έλλειψη νερού στη λίμνη, η απόσταση της καλλιεργούμενης έκτασης από τη λίμνη και η μη χρήση των πόρων που δόθηκαν από την ΕΕ για το σκοπό αυτό.

Η τελευταία ερώτηση έχει ως πιθανές απαντήσεις, Ναι/Ίσως/Όχι και αφορά στο αν οι αγρότες που ερωτήθηκαν είναι διατεθειμένοι να στραφούν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό σκεπτόμενοι ότι με αυτόν τον τρόπο θα προστατεύσουν το οικοσύστημα της λίμνης. Οι απαντήσεις τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Συχνότητα	Ποσοστό	Έγκυρο ποσοστό	Αθροιστική συχνότητα
Ναι	53	47,3	47,3	47,3
Όχι	16	14,3	14,3	61,6
Ίσως	43	38,4	38,4	100,0
Σύνολο	112	100,0	100,0	

Πίνακας 5.27: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό για να την προστασία της λίμνης;



Διάγραμμα 5.27: Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό για να την προστασία της λίμνης;

Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι το 47,3% του δείγματος είναι διατεθειμένο να στραφεί σε καλλιέργειες με λιγότερες απαιτήσεις νερού αν αυτό θα σήμαινε πως θα προστατευτεί η λίμνη. Επίσης, ένα σημαντικό ποσοστό, της τάξεως του 38,4%, αν και δείχνει μία διάθεση, δηλώνοντας ότι ίσως και να στρέφονταν σε καλλιέργειες με λιγότερες απαιτήσεις νερού, δεν το δηλώνει με βεβαιότητα.

5.4.2 Διασταύρωση μεταβλητών-Cross tabulation

Μετά την αναλυτική παράθεση των πληροφοριών που συλλέχτηκαν από τη διεξαγωγή της έρευνας με τα ερωτηματολόγια, προχωράμε στη διερεύνηση συσχετίσεων των μεταβλητών μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, έγινε προσπάθεια συσχέτισης της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, καθώς και της στάσης και αντίληψης των αγροτών σε θέματα που αφορούν την λίμνη Κορώνεια με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ερωτώμενων. Σε αυτό το σημείο θα παραθέσουμε τα αποτελέσματα που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής συσχέτισης. Έχοντας ως στόχο να ερευνήσουμε την ύπαρξη εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος chi-square για τον έλεγχο υποθέσεων. Το ζεύγος υποθέσεων που ελέγχεται κάθε φορά είναι το ακόλουθο:

H_0 : Τα χαρακτηριστικά του δείγματος κατανέμονται ανεξάρτητα στον πληθυσμό

H_1 : Τα χαρακτηριστικά του δείγματος δεν κατανέμονται ανεξάρτητα στον πληθυσμό

Θα υπολογιστεί μία στατιστική chi-square και μία Probability value (p-value) βάσει της οποίας θα αξιολογήσουμε ποια από τις παραπάνω υποθέσεις απορρίπτουμε. Χρησιμοποιώντας το σύνηθες επίπεδο σημαντικότητας 5%, αν η p-value είναι μικρότερη του 5% τότε συμπεραίνουμε ότι οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται. Τα αποτελέσματα από τη διασταύρωση μεταβλητών παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Στη συνέχεια παραθέτονται μόνο οι περιπτώσεις που υπήρξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Πρέπει να σημειωθεί ότι, αν και παρουσιάζει ενδιαφέρον η διερεύνηση συσχέτισης ως προς το φύλο, το δείγμα μας έχει δυσανάλογα μικρό αριθμό γυναικών σε σχέση με τον αριθμό των ανδρών γεγονός που δεν καθιστά συγκρίσιμα τα όποια ευρήματα συσχετίσεων ως προς το φύλο.

5.4.2.1 Συσχετίσεις με την ηλικία

Από τα 112 άτομα του δείγματος, η πλειοψηφία ανήκει στην κατηγορία 50-64 ετών με ποσοστό 53,6%, ακολουθεί με ποσοστό 25,9% η κατηγορία 40-49 ετών, ενώ αντίθετα μειοψηφία αποτελεί η κατηγορία 20-29 ετών με ποσοστό 1,8%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου ελέγχου παρατηρείται ότι τα άτομα που ανήκουν στην ηλικιακή κλάση “50-64” είναι περισσότερο ενημερωμένα σχετικά με το καθεστώς προστασίας της λίμνης Κορώνειας σε σχέση με τις υπόλοιπες ηλικιακές κλάσεις. Επίσης, οι τρεις μεγαλύτερες ηλικιακές κλάσεις καταλογίζουν ευθύνες για το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης στις ελλείψεις στη νομοθεσία και στον έλεγχο εφαρμογής της υπάρχουσας νομοθεσίας, σε αντίθεση με τα νεαρότερα άτομα έως 39 ετών. Όσον αφορά στα προτεινόμενα μέτρα για την βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης του οικοσυστήματος της λίμνης, οι μεγαλύτερες ηλικιακές κλάσεις είναι περισσότερο συνειδητοποιημένοι και θεωρούν σε μεγαλύτερο βαθμό ότι η εφαρμογή της νομοθεσίας και η επιβολή προστίμων, καθώς και η συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης και η τουριστική ανάπτυξη της περιοχής θα συμβάλλουν στην βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης.

5.4.2.2 Συσχετίσεις με το επίπεδο σπουδών

Από τους 112 ερωτώμενους, το 36,6% είναι απόφοιτοι δημοτικού, το 32,1% είναι απόφοιτοι γυμνασίου, το 21,4% είναι απόφοιτοι λυκείου, το 0,9% είναι απόφοιτοι ΙΕΚ και το 8% απόφοιτοι ανωτέρων σπουδών. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι αγρότες που ανήκουν σε χαμηλότερο μορφωτικό επίπεδο παρουσιάζονται περισσότερο απόλυτοι στο να καταλογίσουν ευθύνες στις βιομηχανικές δραστηριότητες για τη σημερινή κατάσταση της λίμνης, ενώ άτομα με υψηλότερη μόρφωση δίνουν βαρύτητα και σε άλλους παράγοντες που μαζί με τις βιομηχανικές δραστηριότητες επιβαρύνουν την κατάσταση της λίμνης. Όσον αφορά στην κατάργηση των γεωτρήσεων ως μέτρο αποκατάστασης του οικοσυστήματος της λίμνης οι απόφοιτοι δημοτικού που αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος του δείγματος και αφορούν ηλικίες 50 και άνω ως επί το πλείστον τείνουν να θεωρούν πως η κατάργηση των γεωτρήσεων δεν βοηθάει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της λίμνης. Σχετικά με την τιμολόγηση του νερού ως μέτρο για την βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι απόφοιτοι ανώτατων σχολών

εμφανίζονται περισσότερο απόλυτοι ως προς την άποψη ότι η τιμολόγηση του νερού δεν θα έχει θετικά αποτελέσματα στην αποκατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης. Όσον αφορά στην συμμετοχή των πολιτών και την τουριστική ανάπτυξη ως ενέργειες για την βελτίωση της κατάστασης οι αγρότες με χαμηλότερο μορφωτικό επίπεδο είναι περισσότερο απόλυτοι στη θεώρηση ότι οι ενέργειες αυτές θα βοηθήσουν στην αποκατάσταση του προβλήματος σε σχέση με τα άτομα υψηλότερου μορφωτικού επιπέδου.

5.4.2.3 Συσχετίσεις με την οικογενειακή κατάσταση

Από τους 112 ερωτηθέντες γεωργούς του δείγματος, η συντριπτική πλειοψηφία είναι έγγαμοι με ποσοστό 81,3 %, ακολουθούν οι άγαμοι αγρότες με ποσοστό 14,3%, ενώ οι υπόλοιποι, με ποσοστό 4,5% είναι διαζευγμένοι ή χήροι. Οι έγγαμοι αγρότες παρουσιάζονται περισσότερο συνειδητοποιημένοι σχετικά με ζητήματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες χωρίς όμως να έχουν μεγάλη διαφορά. Το ίδιο ισχύει και για τον παράγοντα βιομηχανικές δραστηριότητες ως ιθύνων για το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης. Οι απόψεις των αγροτών όλων των ομάδων με μικρές διαφορές μεταξύ τους τείνουν να θεωρούν τις βιομηχανικές δραστηριότητες ως βασικό παράγοντα υποβάθμισης του οικοσυστήματος της λίμνης. Τέλος, η συμμετοχή των πολιτών στην προστασία του περιβάλλοντος θεωρείται ενέργεια βελτίωσης του περιβάλλοντος της λίμνης περισσότερο από τους έγγαμους και διαζευγμένους σε σχέση με τις δύο άλλες ομάδες. Ενδεικτικό είναι άλλωστε και το γεγονός ότι μερίδα των άγαμων υποστηρίζουν ότι η συμμετοχή των πολιτών δε βελτιώνει καθόλου την υπάρχουσα κατάσταση.

5.5 Συμπεράσματα

Σκοπός της έρευνας με ερωτηματολόγια αποτέλεσε και η καταγραφή των απόψεων, των στάσεων και των αντιλήψεων των αγροτών, μιας ομάδας άμεσα εμπλεκόμενης, σε ζητήματα που αφορούν το οικοσύστημα της λίμνης Κορώνειας καθώς η συμβολή των κοινωνικών παραμέτρων αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων και γενικότερα του περιβάλλοντος.

Στην παρούσα έρευνα με ερωτηματολόγια η συντριπτική πλειοψηφία του δείγματος ήταν άντρες. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο αφού το γεωργικό επάγγελμα παραδοσιακά θεωρείται ανδροκρατούμενο (Wilson, 1996). Επιπρόσθετα, περισσότερο από το 60% του συνολικού δείγματος αφορά ηλικίες από 50 ετών και πάνω αφού το επάγγελμα του αγρότη είναι γνωστό ότι χαρακτηρίζεται από άτομα μεγάλης ηλικίας. Το επίπεδο μόρφωσης του δείγματος ανήκει περισσότερο στις δύο πρώτες ομάδες με ποσοστό περίπου 70%, ενώ οι απόφοιτοι ανώτατων σχολών αποτελούν μόλις το 8% του δείγματος. Αυτό το αποτέλεσμα σχετίζεται με το μέσο όρο ηλικίας των ερωτώμενων, καθώς τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας, όπως επίσης και η κοινωνική ομάδα στην οποία ανήκει το δείγμα, συνήθως έχουν χαμηλότερο επίπεδο μόρφωσης. Όσον αφορά στην οικογενειακή κατάσταση η συντριπτική πλειοψηφία είναι έγγαμοι με ποσοστό 81,3 %.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα του πρώτου μέρους του ερωτηματολογίου οι αγρότες δείχνουν να είναι ενημερωμένοι και ευαισθητοποιημένοι στα ζητήματα που αφορούν στην προστασία της λίμνης και του περιβάλλοντος γενικότερα. Από αυτούς που απάντησαν ότι γνωρίζουν ότι η περιοχή είναι προστατευόμενη, η συντριπτική τους πλειοψηφία γνώριζε ότι το οικοσύστημα προστατεύεται είτε από τη «Συνθήκη Ραμσάρ» είτε από το δίκτυο «Νατούρα 2000». Παρόλο που από τις απαντήσεις τους φαίνεται να έχουν γνώση της κατάστασης που επικρατεί, περίπου το μισό δείγμα πιστεύει ότι δεν είναι πλήρως ενημερωμένο για την υπάρχουσα κατάσταση και θεωρεί δεν έχει επαρκεί ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς. Με βάση τις παραπάνω απαντήσεις διαπιστώνεται ότι οι αγρότες ως διαχειριστές του περιβάλλοντος, οι οποίοι εξαρτώνται οικονομικά από αυτό, τείνουν να έχουν προστατευτική στάση προς αυτό. Επιπρόσθετα, σε γενικές γραμμές θεωρούν ότι η ποιότητα της ζωής τους επηρεάζεται από την κατάσταση της περιοχής, καθώς η επιβίωσή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη λίμνη.

Από τις απαντήσεις που έδωσαν οι αγρότες για την αξιολόγηση των παραγόντων που ευθύνονται για την υποβάθμιση του οικοσυστήματος διακρίνεται αποφυγή ευθυνών και μη αξιοπιστία των απαντήσεων τους ως προς τον παράγοντα υποβάθμισης «γεωργικές δραστηριότητες», αφού το μεγαλύτερο ποσοστό θεωρεί ότι οι γεωργικές δραστηριότητες ευθύνονται λίγο, ελάχιστα ή καθόλου για την υποβάθμιση της λίμνης. Αντίθετα, θεωρούν ότι η σημερινή κατάσταση της λίμνης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό

στις βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και σε ελλείψεις και προβλήματα στη διοικητική οργάνωση και τη νομοθεσία.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση των παραγόντων που θα συνεισφέρουν στη βελτίωση της υπάρχουσας κατάστασης, οι περισσότεροι αγρότες θεωρούν ότι η κατάργηση των παράνομων γεωτρήσεων και η τιμολόγηση του νερού είναι μέτρα τα οποία δεν θα βοηθήσουν στην αποκατάσταση του οικοσυστήματος. Αντίθετα, θεωρούν ότι οι επιδοτήσεις για αλλαγή καλλιεργειών θα βελτιώσουν την κατάσταση σε μεγάλο βαθμό, ενώ και η αλλαγή πρακτικών στη γεωργία και η εφαρμογή της νομοθεσίας είναι ένα μέτρο που περίπου οι μισοί αγρότες πιστεύουν ότι θα βοηθήσει στη αποκατάσταση του προβλήματος. Επιπρόσθετα, οι ερωτώμενοι θεωρούν πάρα πολύ σημαντικούς τους παράγοντες «ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς των προβλημάτων του οικοσυστήματος και της εφαρμογής φιλικών περιβαλλοντικών πρακτικών», «συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης» και «τουριστική αξιοποίηση της περιοχής».

Από τα αποτελέσματα του δεύτερου μέρους του ερωτηματολογίου φαίνεται ότι το δείγμα σε γενικές γραμμές δεν θεωρεί ότι οι πρακτικές που χρησιμοποιεί υποβαθμίζουν το οικοσύστημα της λίμνης Κορώνειας. Από την άλλη μεριά, δείχνει ευαισθητοποιημένο και πρόθυμο να αλλάξει πρακτικές προκειμένου να προστατευτεί η λίμνη. Συγκεκριμένα, οι αγρότες στην πλειοψηφία τους είναι διατεθειμένοι αν είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν κάποια εναλλακτική μέθοδο λίπανσης των καλλιεργειών τους, να στραφούν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους ποτίσματος και σε καλλιέργειες με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό, εφόσον με τον τρόπο αυτό θα συνεισφέρουν στην προστασία της λίμνης. Τέλος, οι περισσότεροι από τους ερωτώμενους δεν είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιούν το νερό της λίμνης κυρίως λόγω οικονομικής δυσχέρειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ – ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ

6.1 Μαθηματικός Προγραμματισμός

Η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί στις μέρες μας επιτακτική ανάγκη, προκειμένου να καλυφθούν οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό, τόσο στον αστικό, όσο στον γεωργικό και βιομηχανικό τομέα. Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός (ΜΠ) αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα και σημαντικά εργαλεία στη διαχείριση των υδατικών πόρων (Zechman and Ranjithan, 2007).

Με τον όρο ΜΠ εννοείται το σύνολο των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Επομένως, ο ΜΠ χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η άριστη λύση σε προβλήματα που απαιτούν τη λήψη μιας απόφασης. Ένα πρόβλημα ΜΠ έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης, οι μεταβλητές της οποίας υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς.

Η ανάπτυξη των μεθόδων του ΜΠ ήταν ραγδαία περίπου από την δεκαετία του '50 και μετέπειτα, λόγω της σύνδεσης του με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της πληροφορικής. Οι τεράστιες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, αποτέλεσαν εργαλείο για την επίλυση πολύ σύνθετων προβλημάτων σε διάφορους κλάδους της επιστήμης, όπως των μαθηματικών, της μηχανικής, του περιβάλλοντος κτλ.

Τα προβλήματα ΜΠ μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των μαθηματικών σχέσεων του εκάστοτε προβλήματος (γραμμικές, μη γραμμικές), το είδος των μεταβλητών απόφασης (συνεχείς ή ακέραιες), το είδος των παραμέτρων κτλ. Οι βασικές και πιο διαδεδομένες κατηγορίες Μαθηματικού Προγραμματισμού είναι οι εξής (Winston and Venkataramanan, 2003):

- Γραμμικός Προγραμματισμός (ΓΠ)
- Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (ΑΓΠ)
- Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΑΓΠ)
- Δυναμικός Προγραμματισμός (ΔΠ)
- Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΓΠ)
- Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΑΜΓΠ)
- Μικτός Ακέραιος Μη Γραμμικός Προγραμματισμός (ΜΑΜΓΠ)
- Ασαφής Προγραμματισμός (ΑΠ)
- Στοχαστικός Προγραμματισμός (ΣΠ)
- Τετραγωνικός Προγραμματισμός (ΤΠ)

6.2 Γραμμικός Προγραμματισμός

6.2.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη του ΓΠ κατατάσσεται αναμφίβολα μεταξύ των πιο σημαντικών προόδων της επιστήμης τον εικοστό αιώνα (Hillier and Lieberman, 2001, Matoušek and Gärtner, 2007). Ο ΓΠ είναι ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο επιχειρεί τη βελτιστοποίηση, δηλαδή τη μεγιστοποίηση ή την ελαχιστοποίηση, μιας γραμμικής συνάρτησης κάτω από ορισμένους γραμμικούς περιορισμούς και εφαρμόζεται με σκοπό την επίλυση προβλημάτων. Τέτοιου είδους προβλήματα αναφέρονται στην κατανομή των διαθέσιμων πόρων ενός συστήματος, με τέτοιο τρόπο ώστε οι απαιτήσεις του συστήματος να ικανοποιούνται και η απόδοσή του να βελτιστοποιείται.

Η μεθοδολογία του ΓΠ έχει τις ρίζες της στο 1826, όταν ο Fourier μελέτησε συστήματα γραμμικών ανισώσεων. Ωστόσο, ορόσημο της ραγδαίας ανάπτυξης του γραμμικού προγραμματισμού θεωρείται ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος, όπου οι L.V. Kantorovich, F. Hitchcock, T. Koopmans και G. Dantzing ανέπτυξαν τις θεωρίες τους, με κίνητρο τα θεωρητικά μοντέλα οικονομικής ισορροπίας και βελτιστοποίησης της κατανομής των πόρων των J. V. Neumann και W. Leontief που διατυπώθηκαν κατά τη δεκαετία του 1930 (Dantzig, 1981).

Ο πρώτος αλγόριθμος για την επίλυση μιας κατηγορίας προβλημάτων ΓΠ αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1930, και συγκεκριμένα το 1939, από τον Ρώσο μαθηματικό L. V. Kantorovich, με τη δημοσίευση της έρευνάς του με τίτλο “Μαθηματικές μέθοδοι για την οργάνωση και το σχεδιασμό της παραγωγής” (Kantorovich, 1939). Η έρευνα όμως του L. V. Kantorovich αρχικά αγνοήθηκε και έμεινε για πολλά χρόνια άγνωστη στη Δύση. Λίγο αργότερα, το 1941 ένας άλλος επιστήμονας, ο Αμερικανός F. Hitchcock, διατύπωσε το πρόβλημα μεταφοράς, το οποίο είναι γνωστό ως πρόβλημα μεταφοράς του Hitchcock (Thie and Keough, 2008). Στη συνέχεια, ο T. Koopmans με την ερευνά του συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη του γραμμικού προγραμματισμού και μάλιστα είναι αυτός που πρώτος πρότεινε το όνομα Γραμμικός Προγραμματισμός (Dantzig, 1963). Το 1975, το βραβείο Νόμπελ Οικονομίας απονεμήθηκε στους L. V. Kantorovich και T. Koopmans.

Κύριος θεμελιωτής του ΓΠ, μιας από τις σημαντικότερες επινοήσεις στην επιστήμη των μαθηματικών, θεωρείται ο G. Dantzing. Το 1947, ο G. Dantzing όρισε το γενικό πρόβλημα του ΓΠ και έδωσε μια απλοποιημένη μέθοδο επίλυσης του προβλήματος της βέλτιστης κατανομής περιορισμένων πόρων μεταξύ ανταγωνιζόμενων δραστηριοτήτων, η οποία έγινε γνωστή ως “Μέθοδος Simplex”. Η μέθοδος Simplex είναι μία από τις πιο απλές και διαδεδομένες μεθοδολογίες και έχει αποδειχθεί εκπληκτικά αποτελεσματική στην πράξη. Μετά από αυτή την ανακάλυψη, έγινα πολλές προσπάθειες βελτίωσης και επέκτασης της υπάρχουσας μεθόδου και έτσι δημιουργήθηκαν νέες μαθηματικές δομές (Eiselt and Sandblom, 2007).

Ο ΓΠ χρησιμοποιείται ευρέως στην επιχειρησιακή έρευνα, καθώς και σε διάφορους τομείς της επιστήμης για την αντιμετώπιση προβλημάτων που μπορεί να υπάρχουν (Murty, 1983). Τα πιο γνωστά από αυτά τα προβλήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως κλασικά προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού είναι το πρόβλημα κατανομής πόρων, της παραγωγικής διαδικασίας, της διαχείρισης και προστασίας του περιβάλλοντος, της διαίτας, της διοίκησης προσωπικού κ.α. Το αποτέλεσμα που επιδιώκεται από τη λύση αυτών των προβλημάτων μπορεί να είναι η μεγιστοποίηση της απασχόλησης, η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, η ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κτλ.

6.2.2 Μαθηματική διατύπωση του Γραμμικού Προγραμματισμού

Το μαθηματικό μοντέλο του ΓΠ αποτελείται από μία γραμμική συνάρτηση που πρέπει να βελτιστοποιηθεί (μεγιστοποιηθεί ή ελαχιστοποιηθεί) και της οποίας οι άγνωστες μεταβλητές υπόκεινται σε γραμμικούς περιορισμούς.

Η γενική μορφή ενός προβλήματος ΓΠ μπορεί να διατυπωθεί ως εξής (Kallrath and Wilson, 1997):

$$\max \text{ or } \min \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Η παραπάνω συνάρτηση ονομάζεται *αντικειμενική συνάρτηση*. Οι άγνωστες μεταβλητές $x_1, x_2, \dots, x_n$ προσδιορίζουν το αντικείμενο απόφασης του προβλήματος και ονομάζονται *μεταβλητές απόφασης*.

Οι μεταβλητές απόφασης πρέπει να ικανοποιούν τους εξής περιορισμούς:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, \geq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\leq, \geq) b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\leq, \geq) b_m$$

$$\text{και } x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

όπου

x_i ($i = 1, \dots, n$) οι άγνωστες μεταβλητές του προβλήματος,

c_j ($j = 1, \dots, n$), a_{ij} ($i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$) και b_i ($i = 1, \dots, m$) είναι γνωστές πραγματικές παράμετροι (Πολύζος, 2006).

Το πρόβλημα έχει n μεταβλητές απόφασης και m περιορισμούς. Οι περιορισμοί $x_j \geq 0$ ονομάζονται *περιορισμοί μη αρνητικότητας* αφού οι μεταβλητές απόφασης εκφράζουν φυσικές ποσότητες.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω σχέσεις ισχύει μόνο ένα από τα σύμβολα ανισότητας και η μορφή του γραμμικού προγραμματισμού είναι γνωστή ως *κανονική ή ανισοτική μορφή*. Όταν οι περιορισμοί που πρέπει να πληρούνται είναι ισοτικοί, η μορφή του γραμμικού προγραμματισμού ονομάζεται τυποποιημένη ή *ισοτική μορφή* και μπορούν να γραφούν ως εξής:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \pm x_{n+1} = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \pm x_{n+2} = b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \pm x_{n+m} = b_m$$

όπου οι x_{n+j} ονομάζονται *χαλαρές μεταβλητές* και με την πρόσθεση ή την αφαίρεσή τους

μετατρέπουν τις ανισότητες σε ισότητες.

Με τη βοήθεια μητρών και διανυσμάτων, η γενική μορφή του Γραμμικού Προγραμματισμού μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\max \text{ or } \min \quad z = c^T x$$

υπό τους περιορισμούς

$$Ax (\leq, \geq) b \text{ και}$$

$$x \geq 0$$

όπου $c, x \in \mathbb{R}^n$, $b \in \mathbb{R}^m$, $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ και T δηλώνει αναστροφή.

6.2.3 Προϋποθέσεις εφαρμογής του Γραμμικού Προγραμματισμού

Οι προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να ισχύουν σε ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού είναι αυτές της αναλογικότητας, της προσθετικότητας, της διαιρετότητας και της προσδιοριστικότητας (Hillier and Lieberman, 2001, Πολύζος, 2006):

Αναλογικότητα

Η αναλογικότητα είναι μία υπόθεση που αφορά τόσο την αντικειμενική συνάρτηση όσο και τους περιορισμούς του προβλήματος. Σύμφωνα με αυτή, θα πρέπει η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί του προβλήματος να συνδέονται με γραμμικές σχέσεις ως προς τις μεταβλητές απόφασης. Θα πρέπει δηλαδή η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και η χρησιμοποίηση των διαθέσιμων μέσων να είναι ποσά ανάλογα προς τις ποσότητες κάθε δραστηριότητας.

Σε γενικές γραμμές, η αναλογικότητα σημαίνει ότι εάν a_{ij} είναι μονάδες του πόρου i που καταναλώνονται ($a_{ij} > 0$) ή παράγονται ($a_{ij} < 0$) για την εκτέλεση της δραστηριότητας j σε επίπεδο μονάδας, τότε καταναλώνονται ή παράγονται $a_{ij}x_{ij}$ μονάδες για την εκτέλεση της δραστηριότητας j σε επίπεδο x_j για κάθε $x_j > 0$. Επίσης, εάν c_j είναι το κέρδος μονάδας της δραστηριότητας j , τότε c_jx_j είναι η συμβολή της δραστηριότητας j στο ολικό κέρδος για κάθε $x_j > 0$.

Προσθετικότητα

Σύμφωνα με την υπόθεση της προσθετικότητας, η συνολική συνεισφορά δυο ή περισσότερων μεταβλητών στην αντικειμενική συνάρτηση είναι το άθροισμα των μεμονωμένων συνεισφορών των αντίστοιχων μεταβλητών. Για παράδειγμα, η αντικειμενική συνάρτηση $z(x) = z(x_1, x_2, \dots, x_n)$ μπορεί να γραφεί και ως άθροισμα n συναρτήσεων κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει μία μεταβλητή. Δηλαδή:

$$z(x_1, x_2, \dots, x_n) = z_1(x_1) + z_2(x_2) + \dots + z_n(x_n)$$

Το ίδιο ισχύει και για τους περιορισμούς του προβλήματος.

Η υπόθεση της αναλογικότητας από μόνη της δεν εξασφαλίζει τη γραμμικότητα. Μαζί με την υπόθεση της προσθετικότητας εξασφαλίζουν την *υπόθεση της γραμμικότητας*, δηλαδή όλες οι συναρτήσεις του προβλήματος, αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές x_j , με $j=1,2,3,\dots,n$.

Διαιρετότητα

Το μοντέλο του γραμμικού προγραμματισμού επιλύει ένα πρόβλημα βρίσκοντας το βέλτιστο σύνολο τιμών των μεταβλητών απόφασης x_j . Ορισμένες φορές οι μεταβλητές απόφασης έχουν φυσικό νόημα μόνο όταν παίρνουν ακέραιες τιμές. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η λύση που επιτυγχάνεται σε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού δεν είναι ακέραιοι αριθμοί. Επομένως, η διαιρετότητα είναι μία υπόθεση που επιτυγχάνει οι μη ακέραιες τιμές των μεταβλητών απόφασης να είναι επιτρεπτές.

Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει σε όλα τα πρακτικά προβλήματα. Για παράδειγμα, αν οι μεταβλητές απόφασης παριστάνουν αριθμό παραγόμενων τεμαχίων, τότε δεν μπορούν να πάρουν δεκαδικές τιμές, αλλά μόνο ακέραιες. Στη περίπτωση που η βέλτιστη λύση δίνει δεκαδική τιμή, γίνεται στρογγυλοποίηση των τιμών αυτών προς τις κοντινότερες ακέραιες τιμές.

Σε περίπτωση που η υπόθεση της διαιρετότητας δεν μπορεί να εφαρμοστεί και επιβάλλεται η λύση να είναι ακέραια, τότε το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση μοντέλου *ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού*. Τέλος, αν μερικές λύσεις παίρνουν ακέραιες και μερικές συνεχείς τιμές (ικανοποιούν δηλαδή την ιδιότητα της διαιρετότητας), το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με *μικτό ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό*.

Προσδιοριστικότητα

Σύμφωνα με την υπόθεση της προσδιοριστικότητας, οι τιμές που αποδίδονται σε κάθε παράμετρο ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού πρέπει να είναι γνωστές και

σταθερές ποσότητες. Πολλές φορές όμως αυτό είναι δύσκολο να συμβεί στην πραγματικότητα, διότι τα προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού προσομοιώνουν καταστάσεις που συνεπάγονται τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε πρόβλεψη μελλοντικών συνθηκών και οι οποίες αναπόφευκτα εισάγουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Για το λόγο αυτό κρίνεται συνήθως σκόπιμο να γίνεται *ανάλυση ευαισθησίας*, η οποία μας παρουσιάζει τις επιπτώσεις που δημιουργούνται σε περίπτωση που αλλάξει τιμή μία παράμετρος. Η διενέργεια ανάλυσης ευαισθησίας κάνει το μοντέλο αξιόπιστο συναρτήσει των παραμέτρων του. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο βαθμός αβεβαιότητας είναι μεγάλος και είναι αναγκαίο να θεωρηθεί ότι οι συντελεστές αυτοί ακολουθούν μία κατανομή συχνότητας εμφάνισής τους. Τότε το πρόβλημα θεωρείται στοχαστικό και αντιμετωπίζεται με τη βοήθεια του *στοχαστικού προγραμματισμού*.

6.2.4 Λύση του γραμμικού προβλήματος

Σε ένα γραμμικό πρόβλημα *εφικτά σημεία ή εφικτές λύσεις* ονομάζονται τα σημεία ή οι λύσεις που ικανοποιούν όλους του περιορισμούς του γραμμικού προβλήματος. Το σύνολο των εφικτών σημείων ονομάζεται *εφικτή περιοχή*. Σε περίπτωση που η εφικτή περιοχή είναι κενό σύνολο, το πρόβλημα θεωρείται *αδύνατο ή μη εφικτό*, ενώ σε διαφορετική περίπτωση *εφικτό*. Στο γραμμικό προγραμματισμό πρωταρχική σημασία παρουσιάζει το *βέλτιστο σημείο ή βέλτιστη λύση*. Βέλτιστο θεωρείται το εφικτό σημείο x του γραμμικού προβλήματος για το οποίο ισχύει $c^T x \leq c^T y$, $\forall y \in F$ προβλήματα ελαχιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού και $c^T x \geq c^T y$, $\forall y \in F$ για προβλήματα μεγιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού. *Βέλτιστη τιμή* είναι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που αντιστοιχεί στο βέλτιστο σημείο. *Απεριόριστο* είναι το εφικτό πρόβλημα που δεν είναι βέλτιστο.

Σύμφωνα με το θεμελιώδες θεώρημα του Γραμμικού Προγραμματισμού λύση του γραμμικού προβλήματος θεωρείται ο προσδιορισμός της κατηγορίας στην οποία ανήκει, δηλαδή εάν είναι αδύνατο, βέλτιστο ή απεριόριστο. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση που έχουμε βέλτιστη λύση, πρέπει να προσδιοριστεί τουλάχιστον ένα βέλτιστο σημείο. Επομένως, ο γραμμικός προγραμματισμός ασχολείται με κατασκευαστικές μεθόδους επίλυσης, δηλαδή με αλγορίθμους, οι οποίοι υπολογίζουν τουλάχιστον ένα βέλτιστο σημείο.

6.2.5 Μέθοδος Simplex

Ακρογωνιαίος λίθος στην επίλυση προβλημάτων ΓΠ θεωρείται η μέθοδος Simplex. Η μέθοδος Simplex αποτελεί μία μέθοδο προσδιορισμού της άριστης λύσης γραμμικών προβλημάτων ανεξαρτήτως πλήθους μεταβλητών. Κατά την εφαρμογή της θα πρέπει το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού να μετατραπεί στην τυποποιημένη του μορφή, δηλαδή όλοι οι περιορισμοί του προβλήματος θα πρέπει να είναι ισοτικοί και οι μεταβλητές απόφασης να είναι μη αρνητικές. Για να συμβεί αυτό σε κάθε ανισοτικό περιορισμό πρέπει να χρησιμοποιηθούν νέες μεταβλητές (ψευδομεταβλητές) που θα τους μετατρέψουν σε ισότητες. Η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα πίνακα, τον πίνακα Simplex για την αναπαράσταση του μοντέλου. Κάθε πίνακας Simplex αντιστοιχεί σε ένα βασικό εφικτό σημείο.

Η διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος ΓΠ με τη μέθοδο Simplex αποτελείται από μερικά βασικά βήματα που συνοψίζονται παρακάτω:

- Μετατρέπουμε το πρόβλημα στην τυποποιημένη του μορφή.
- Βρίσκουμε ένα βασικό εφικτό σημείο.
- Πραγματοποιείται έλεγχος βελτιστότητας. Σε περίπτωση που το βασικό εφικτό σημείο είναι βέλτιστο, τότε το πρόβλημα έχει λυθεί και η διαδικασία τερματίζεται. Σε διαφορετική περίπτωση προχωράμε στο επόμενο βήμα.
- Βρίσκουμε το αμέσως πλησιέστερο βασικό εφικτό σημείο. Αυτό γίνεται καθορίζοντας ποια μη βασική μεταβλητή θα αντικαταστήσει την τρέχουσα βασική μεταβλητή ώστε να βρεθεί καλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση. Η μεταβλητή που αντικαθίσταται καλείται *εξερχόμενη*, ενώ αυτή που την αντικαθιστά καλείται *εισερχόμενη*. Επαναλαμβάνουμε το βήμα 3.

Πιο αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου μπορεί να αναζητηθεί στα συγγράμματα των Dantzig and Thapa (Dantzig and Thapa, 1997) Hillier and Lieberman (Hillier and Lieberman, 2001), Winston and Venkataramanan, (Winston and Venkataramanan, 2003) και Σίσκου (Σίσκος, 1998).

6.3 Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός

6.3.1 Γενικά

Ο όρος Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (ΑΓΠ) μπορεί να θεωρηθεί ως μία ειδική περίπτωση του ΓΠ, αφού αναφέρεται στη μοντελοποίηση γραμμικών προβλημάτων σύμφωνα με τον οποία ορισμένες ή όλες οι μεταβλητές απόφασης πρέπει να πάρουν ακέραιες τιμές. Αποτελεί δηλαδή μία επέκταση του ΓΠ καθώς μπορεί να δώσει λύση σε προβλήματα που δεν μπορεί να αντιμετωπίσει ο ΓΠ. Ο ΑΓΠ έχει καθιερωθεί ως ένα σημαντικό εργαλείο στην επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης (προβλημάτων που περιλαμβάνουν ακέραιες μεταβλητές), η οποία παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον σε διάφορους τομείς.

Υπάρχουν τρεις ειδικές κατηγορίες ΑΓΠ οι οποίες είναι οι εξής (Taylor, 2006):

- *Αμιγώς Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (Total Integer Linear Programming)*, στην περίπτωση που όλες οι μεταβλητές απόφασης του προβλήματος απαιτείται να είναι ακέραιες.
- *Μικτός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (Mixed Integer Linear Programming)*, στην περίπτωση που μόνο μερικές μεταβλητές απόφασης είναι ακέραιες και
- *0-1 ή Δυαδικός Ακέραιος Γραμμικός Προγραμματισμός (0-1 ή Binary Integer Linear Programming)*, στην περίπτωση που όλες οι μεταβλητές απόφασης παίρνουν τις τιμές 0-1 (δυαδικές μεταβλητές)

6.3.2 Μαθηματική διατύπωση του Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού

Ένα πρόβλημα ΑΓΠ, όπως και αυτό του ΓΠ έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση μίας αντικειμενικής συνάρτησης, της οποίας οι μεταβλητές πρέπει να ικανοποιούν ορισμένους περιορισμούς.

Η γενική μορφή ενός προβλήματος ΑΓΠ μπορεί να διατυπωθεί ως εξής

$$\max \text{ or } \min \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

με περιορισμούς

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n (\leq, \geq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n (\leq, \geq) b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n (\leq, \geq) b_m$$

και $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ και ακέραιοι

όπου

x_i ($i = 1, \dots, n$) οι άγνωστες μεταβλητές του προβλήματος,

c_j ($j = 1, \dots, n$), a_{ij} ($i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$) και b_i ($i = 1, \dots, m$) είναι γνωστοί πραγματικοί παράμετροι.

6.3.3 Μέθοδος επίλυσης προβλημάτων Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού Branch and Bound

Η φύση των προβλημάτων ΑΓΠ είναι τέτοια που δεν μπορεί να λυθεί με τις συνήθεις μεθόδους, αλλά απαιτεί ειδικές μεθοδολογίες. Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους επίλυσης προβλημάτων ΑΓΠ αποτελεί η μέθοδος Branch and Bound, η οποία στα ελληνικά αποδίδεται με τους όρους μέθοδος διακλάδωσης και ορίων, διαδοχικών ορίων, επέκτασης και οριοθέτησης ή διακλάδωσης και φράγματος. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε αρχικά από τους Land και Doig το 1960 για προβλήματα Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (Ignizio, 1982, Williams, 1999, Hilier and Lieberman, 2001) και επεκτάθηκε αργότερα από τον Balas για προβλήματα Δυναδικού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (Balas, 1965). Η μέθοδος Branch and Bound βασίζεται στη διαίρεση και επέκταση του αρχικού

προβλήματος και των υπο-προβλημάτων που προκύπτουν από το αρχικό. Η βασική ιδέα της μεθόδου αυτής είναι να διαχωρίσει το σύνολο των εφικτών λύσεων σε μικρότερα υποσύνολα, έτσι ώστε να απομονώσει σε κάποιο από αυτά τα σύνολα μία βέλτιστη λύση.

Τα στάδια επίλυσης ενός προβλήματος ΑΓΠ με τη μέθοδο Branch and Bound είναι τα εξής:

- Επίλυση του προβλήματος με τη μέθοδο Simplex χωρίς περιορισμούς ακεραιότητας, θεωρώντας δηλαδή ότι οι ακέραιες μεταβλητές απόφασης είναι συνεχείς.
- Στην περίπτωση που η λύση που παράγεται ικανοποιεί τους περιορισμούς ακεραιότητας, τότε το πρόβλημα έχει λυθεί και η λύση του είναι η επιθυμητή. Η λύση αυτή αποτελεί το αρχικό άνω φράγμα. Σε αντίθετη περίπτωση, καθορίζεται συνήθως μετά από στρογγυλοποιήσεις μία πρώτη ακέραια λύση, η οποία αποτελεί το αρχικό κάτω φράγμα.
- Το σύνολο των μη ακέραιων λύσεων διακλαδίζεται σε δύο υπο-προβλήματα Α και Β για μία τυχαία μεταβλητή και εισάγονται δύο συμπληρωματικοί περιορισμοί: $x_i \leq [x_i^+]$ και $x_i \geq [x_i^+] + 1$, όπου $[x_i^+]$ το ακέραιο μέρος της μη ακέραιας μεταβλητής x_i^+
- Στη συνέχεια δημιουργούνται δύο θυγατρικά υπο-προβλήματα στα οποία επιβάλλονται οι πρόσθετοι περιορισμοί των υπο-προβλημάτων Α και Β και από τη λύση τους υπολογίζονται οι τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης και των μεταβλητών απόφασης. Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κάθε υπο-προβλήματος της άριστης μη ακέραιας λύσης ορίζεται ως άνω φράγμα, ενώ η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης της καλύτερης μέχρι τώρα ακέραιας λύσης ορίζεται ως κάτω φράγμα. Τα υπο-προβλήματα που τα άνω φράγματα έχουν μικρότερες τιμές από το ισχύον κάτω φράγμα δεν εξετάζονται περαιτέρω και ο κλάδος εγκαταλείπεται. Στην περίπτωση που υπάρχει ακέραια λύση με τιμή αντικειμενικής συνάρτησης ίση ή μεγαλύτερη του άνω φράγματος κάθε υπο-προβλήματος, τότε η λύση αυτή αποτελεί την βέλτιστη λύση του προβλήματος ΑΓΠ (Σίσκος, 1998). Εάν δεν υπάρχει τέτοια λύση επιλέγεται ένα υπο-πρόβλημα με το καλύτερο άνω φράγμα και διακλαδίζεται.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και σταματάει όταν βρεθεί το ολικό βέλτιστο.

6.4 Περιγραφή μοντέλου διαχείρισης των υδατικών πόρων του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας

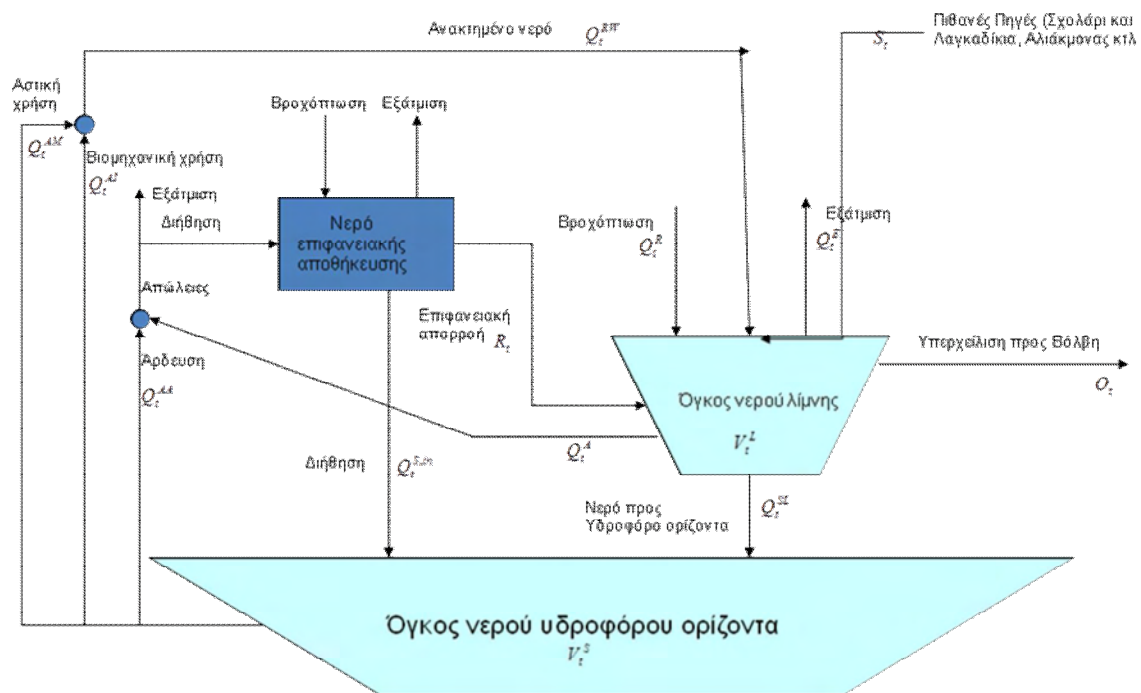
6.4.1 Περιγραφή του προβλήματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα τελευταία χρόνια η λίμνη Κορώνεια αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα λόγω κυρίως της υπεράντλησης των υδάτων της για την άρδευση των καλλιεργειών γύρω από την περιοχή της λίμνης. Τη δεκαετία του 1960 η λίμνη είχε βάθος περίπου 8 μέτρα, ενώ σήμερα έχει βάθος λιγότερο του ενός μέτρου. Η δραματική αυτή μείωση των υδάτων της λίμνης, σε συνδυασμό με ρύπανση που δέχεται η λίμνη από βιομηχανικές και αστικές δραστηριότητες υποβάθμισαν σημαντικά και την ποιότητα των υδάτων της. Η κατάσταση αυτή κάνει επιτακτική την ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των υδάτων αυτού του ιδιαίτερα ευαίσθητου οικοσυστήματος.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε συνδυασμό με τη βέλτιστη πρακτική δείχνουν ότι απαιτείται ένα ολιστικό μοντέλο για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού μοντέλου διαχείρισης το οποίο θα βοηθήσει να ληφθούν οι απαραίτητες αποφάσεις και να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις. Το πρόβλημα διατυπώνεται ως ένα ντετερμινιστικό πρόβλημα ΜΑΓΠ. Αν και ντετερμινιστικό, το μοντέλο είναι δυναμικό ή παροδικό, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη το χρόνο και καθορίζει τις περιόδους. Ορισμένα στοιχεία του μοντέλου αντιμετωπίζονται ως μαύρα κουτιά χρησιμοποιώντας παραμέτρους για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς τους. Αυτά είναι η χωρητικότητα αποθήκευσης και η υπόγεια ροή του νερού, τα οποία αν θέλουμε τα μελετήσουμε με λεπτομέρεια, μπορούν να περιγραφούν μόνο χρησιμοποιώντας υψηλής τάξης μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις. Τέτοιου είδους δουλειά είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής της παρούσας μελέτης καθώς απαιτεί επενδύσεις για την εξερεύνηση του υπόγειου υδροφορέα και αποτελεί ένα ξεχωριστό ερευνητικό πεδίο.

Το μοντέλο ΜΑΓΠ που προκύπτει αποτελεί μια θεωρητική προσέγγιση της φυσικής αναπαράστασης της λεκάνης της λίμνης Κορώνειας και η μαθηματική προσέγγιση εισάγει το ποσοτικό στοιχείο για τη λήψη αποφάσεων. Το μοντέλο περιλαμβάνει εξισώσεις ισοζυγίου μάζας για τη λίμνη και τον υδροφορέα ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο

αλληλεπιδρά κάτω από τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, δηλαδή του πληθυσμού, των πρακτικών άρδευσης και κάθε άλλης απόφασης που ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους της λεκάνης. Επίσης, χρησιμοποιείται ένας αριθμός από συνεχείς και ακέραιες μεταβλητές.



Σχήμα 6.1: Άποψη της λεκάνης με τις διάφορες ροές

6.4.2 Περιγραφή του μοντέλου

Το πρόβλημα που περιγράφεται παραπάνω έχει διατυπωθεί μαθηματικά ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ΜΑΓΠ. Στόχος μας είναι να αποκτήσει το σύστημα αυτό ένα βέλτιστο σχεδιασμό.

6.4.2.1 Σημειογραφία

Η σημειογραφία που χρησιμοποιείται σε αυτό το κεφάλαιο φαίνεται παρακάτω:

Δείκτες

i Τύπος προϊόντος για την γεωργία

k	επιλογή άρδευσης για τη γεωργία
t	χρονική περίοδος
e	επιλογή διαθέσιμου σχεδίου

Παράμετροι

A^S	Έκταση του υδροφορέα, σε m^2
A^L	Έκταση που καλύπτεται από τη λίμνη, σε m^2
A_i	Έκταση που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια i , σε m^2
C_P^W	Δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την επιλογή p
CWR_i	Απαιτήσεις σε νερό για την καλλιέργεια i σε mm ανά μήνα
$DCWR_i$	Έλλειμμα των απαιτήσεων σε νερού για την καλλιέργεια i σε mm ανά μήνα
D_{it}^A	Ζήτηση νερού για γεωργική χρήση για την καλλιέργεια i για τη χρονική περίοδο t , σε m^3
D_i^A	Ζήτηση νερού για την καλλιέργεια i , σε mm ανά μήνα όπως υπολογίστηκε
D_t^M	Ζήτηση νερού για όλες τις άλλες ανθρωπογενείς χρήσεις κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3
E_t	Εξάτμιση, σε mm ανά μήνα
E_e^{AR}	Μέγιστη ποσότητα νερού που επιτρέπεται να αντλείται από τον ποταμό Αλιάκμονα υπό την επιλογή e κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3
E_e^{WT}	Μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να παρέχεται από τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υπό την επιλογή e κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3
E^{VL}	Μέγιστη ποσότητα νερού που επιτρέπεται να αντλείται από τη λίμνη Βόλβη κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3
f^R	Αποτελεσματικός συντελεστής βροχόπτωσης
f_i^C	Συντελεστής καλλιέργειας για την καλλιέργεια i
H^S	Πάχος του υδροφορέα, σε m
H^{RS}	Πάχος των μόνιμων αποθεμάτων του υδροφορέα, σε m

n^S Πορώδες του υδροφορέα, το οποίο καθορίζει την ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί

Q_t^{AI} Ποσότητα νερού που αντλείται από τον υδροφορέα για βιομηχανική χρήση κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^{AM} Ποσότητα νερού που αντλείται από τον υδροφορέα για οικιακή κατανάλωση κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^E Εξάτμιση από τη λίμνη κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^R Άμεση βροχόπτωση στη λίμνη κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^{RW} Ανακτημένο νερό που φτάνει από τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^{SL} Ποσότητα νερού από τη λίμνη προς τον υδροφορέα κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

$Q_t^{S,in}$ Ποσότητα νερού που εισέρχεται στον υδροφορέα λόγω βροχόπτωσης ή κατακρημνισμάτων κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

$\bar{Q}^{SW}$ Μέγιστη ποσότητα νερού που επιτρέπεται να αντλείται από μία γεώτρηση στο ρηχό υδροφορέα, σε m^3 ανά μήνα

$\bar{Q}^{DW}$ Μέγιστη ποσότητα νερού που επιτρέπεται να αντλείται από μία γεώτρηση στο βαθύ υδροφορέα, σε m^3 ανά μήνα

P_{it} Συνολικές καλλιέργειες i κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^2

RF_t Βροχόπτωση, σε mm ανά μήνα

W_t^{WA} Γεωργικά απόβλητα που παράγονται κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

W_t^{WI} Βιομηχανικά απόβλητα που παράγονται κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

W_t^{WM} Αστικά απόβλητα που παράγονται κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 /month

$V_t^{L,min}, V_t^{L,max}$ Ελάχιστος και μέγιστος όγκος νερού της λίμνης κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3

$V_t^{S,min}, V_t^{S,max}$ Ελάχιστος και μέγιστος όγκος νερού του υδροφορέα κατά τη χρονική t , σε m^3

Συνεχείς μεταβλητές

O_t Ποσότητα νερού υπερχειλίσσης από την Κορώνεια προς την Βόλβη κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^A Ποσότητα νερού που αντλείται από τη λίμνη για αγροτικές χρήσεις κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

Q_t^{AA} Ποσότητα νερού που αντλείται από τον υδροφορέα για αγροτικές χρήσεις κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

R_t Επιφανειακό/χειμαρρώδες νερό που συλλέγεται στη λίμνη από πεδινές και ορεινές εκτάσεις κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{IN} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από άλλες πηγές κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{VL} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από τη λίμνη Βόλβη κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{AR} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από τον ποταμό Αλιάκμονα κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{LR} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από τους χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{WT} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Θεσσαλονίκης κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

S_t^{AW} Ποσότητα νερού που φτάνει στη λίμνη από γεωτρήσεις κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3 ανά μήνα

V_t^L Όγκος νερού της λίμνης κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3

V_t^S Όγκος νερού του υδροφορέα κατά τη χρονική περίοδο t , σε m^3

Δυναμικές μεταβλητές

N_{kt} 1 αν η επιλογή επένδυσης k λειτουργεί κατά τη χρονική περίοδο t , 0 σε διαφορετική περίπτωση

Y_{ik}^A 1 αν η επιλογή άρδευσης k επιλεγεί για την καλλιέργεια i , 0 σε διαφορετική περίπτωση

Y^{VL} 1 αν επιλεγεί η μεταφορά νερού από τη λίμνη Βόλβη, 0 σε διαφορετική περίπτωση

Y_e^{AR} 1 αν επιλεγεί η μεταφορά νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα με το σχέδιο e , 0 σε διαφορετική περίπτωση

Y_e^{WT} 1 αν επιλεγεί η μεταφορά νερού από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με το σχέδιο e , 0 σε διαφορετική περίπτωση

Y^{LR} 1 αν επιλεγεί η εκτροπή νερού από τους τοπικούς χείμαρρους, 0 σε διαφορετική περίπτωση

Ακέραιες μεταβλητές

N^D Αριθμός γεωτρήσεων σε λειτουργία από τον βαθύ υδροφόρα

N^S Αριθμός γεωτρήσεων σε λειτουργία από τον ρηχό υδροφόρα

6.4.3 Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος

Το προτεινόμενο μαθηματικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού και περιγράφεται παρακάτω.

6.4.3.1 Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής

i. Ισοζύγιο μάζας της Λίμνης Κορώνειας

Το υδατικό ισοζύγιο το οποίο περιλαμβάνει όλες τις εισροές και εκροές της λίμνης μάς δίνει τον όγκο του νερού που είναι αποθηκευμένο στη λίμνη κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου t . Το υδατικό ισοζύγιο δεν περιλαμβάνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης, αλλά υποθέτει ότι η ποιότητα του νερού είναι εντός των ορίων σύμφωνα με τους κανονισμούς. Αυτό θα εξασφαλίζεται από τη λειτουργία κατάλληλων υποδομών. Το συνολικό υδατικό ισοζύγιο της λίμνης είναι:

$$V_t^L = V_{t-1}^L + (S_t^{IN} - O_t - Q_t^E + Q_t^R + R_t - Q_t^A - Q_t^{SL} + Q_t^{RW}) \cdot \Delta t, \forall t \quad (6.1)$$

όπου $\Delta t = 1$ μήνας.

Η παροχή νερού (S_t^{IN}) στη λίμνη από άλλες πηγές που δεν συνδράμουν επί του παρόντος στο υδατικό ισοζύγιο της λίμνης εξηγείται στην παράγραφο 6.4.3.4

Κατά τις υγρές περιόδους η υπερχειλίση από τη λίμνη Κορώνεια προς τη λίμνη Βόλβη συμβολίζεται με τη μεταβλητή O_t . Η τιμή της εξαρτάται από τις απαιτήσεις άλλων παραγόντων.

Η βροχόπτωση έχει άμεση συσχέτιση με την απευθείας συνεισφορά προς τη λίμνη (Q_t^R) και την επιφανειακή ροή (R_t) από τις πεδινές και ορεινές περιοχές περισυλλογής που καταλήγει μέσω διαφόρων ρεμάτων στον υδροφορέα. Η παράμετρος εξάτμισης (Q_t^E) περιλαμβάνει

μόνο την άμεση εξάτμιση από τη λίμνη. Η εξάτμιση στις υπόλοιπες επιφάνειες έχει υπολογιστεί στο μοντέλο υπολογισμού της επιφανειακής ροής.

Για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας, η οποία καθορίζει την ποσότητα του νερού που συγκρατείται από το έδαφος και επιτρέπει τον υπολογισμό του επιπλέον νερού και της επιφανειακής ροής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Thornthwaite και Mather (Thornthwaite and Mather, 1955). Σύμφωνα με το μοντέλο, η ποσότητα του νερού που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος εξαρτάται από τη σύσταση του και δεν μπορεί να υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο βασίζεται στην χωρητικότητα εδαφικής υγρασίας S_o . Αυτή η παράμετρος εξαρτάται από το τύπο εδάφους και έχει διαφορετικές τιμές για διαφορετικές περιοχές γύρω από τη λεκάνη απορροής της λίμνης Κορώνειας. Η ποσότητα της εδαφικής υγρασίας S_t κάθε μήνα εξαρτάται από το αν τα κατακρημνίσματα P_t είναι περισσότερα ή λιγότερα από την αντίστοιχη εξατμισοδιαπνοή PE_t .

Στην περίπτωση που $P_t \geq PE_t$ η εδαφική υγρασία δίνεται από την εξίσωση:

$$S_t = \min\{(P_t - PE_t) + S_{t-1}, S_o\}, \quad P_t \geq PE_t \quad (6.2)$$

Ενώ την περίπτωση που $P_t < PE_t$ η εδαφική υγρασία δίνεται από την εξίσωση:

$$S_t = S_{t-1} e^{-\frac{PE_t - P_t}{S_o}}, \quad P_t < PE_t \quad (6.3)$$

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή AE_t καθορίζεται βάσει της μηνιαίας εδαφικής υγρασίας σε σχέση με την τιμή του προηγούμενου μήνα:

- Εάν $\Delta S = S_t - S_{t-1} < 0$ τότε $AE_t = P_t - \Delta S_t$; (6.4)

- Εάν $\Delta S = S_t - S_{t-1} > 0$ τότε $AE_t = PE_t$. (6.5)

Στην περίπτωση όπου τα κατακρημνίσματα είναι περισσότερα από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και η εδαφική υγρασία S_t είναι ίση με την χωρητικότητα εδαφικής υγρασίας S_o , τότε το πλεόνασμα νερού δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta Q_t = (P_t - PE_t) + S_{t-1} - S_o, \quad S_t \geq S_o \quad (6.6)$$

Διαφορετικά:

$$\Delta Q_t = 0, \quad S_t < S_o \quad (6.7)$$

Το νερό απορροής είναι αποτέλεσμα του πλεονάζοντος νερού που ρέει ως επιφανειακό. Ένα ποσοστό επιστρέφει στο έδαφος. Το ποσοστό αυτό συμβολίζεται με το συντελεστή λ . Το νερό απορροής ανά περίοδο t δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$R_t = (1 - \lambda)(Q_{t-1} + \Delta Q_t) \quad (6.8)$$

όπου το πλεόνασμα νερού κάθε μήνα δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_t = \lambda(Q_{t-1} + \Delta Q_t) \quad (6.9)$$

Η τιμή του συντελεστή λ που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι 0,65.

Η άντληση νερού από την λίμνη για άρδευση (Q_t^A) δεν συνιστάται, αλλά σε περιόδους υπερβολικής βροχόπτωσης ίσως επιτρέπεται ώστε να δοθεί χρόνος στον υδροφορέα να ανακάμψει καθώς είναι η κύρια πηγή άρδευσης.

Η λίμνη αποτελεί μέσο αναπλήρωσης του ρηχού υδροφορέα (Q_t^{SL}), με την ποσότητα νερού να εξαρτάται από τη διαπερατότητα του πυθμένα, όπως εξηγείται στην παράγραφο 6.4.3.2.

Η λίμνη από Βόρεια τροφοδοτείται απευθείας από τον ποταμό Μπόγδωνα, του οποίου η λεκάνη καλύπτει μία έκταση περίπου 212 Km². Οι χειμάρροι Κολχικού και Ανάληψης τροφοδοτούν τη λίμνη με νερό επιφανειακής ροής το οποίο προέρχεται από επιφάνειες 86 Km² και 53 Km² αντίστοιχα (Myloropoulos et al., 2007). Αυτές είναι και οι κύριες πηγές τροφοδοσίας νερού στη λίμνη, κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες.

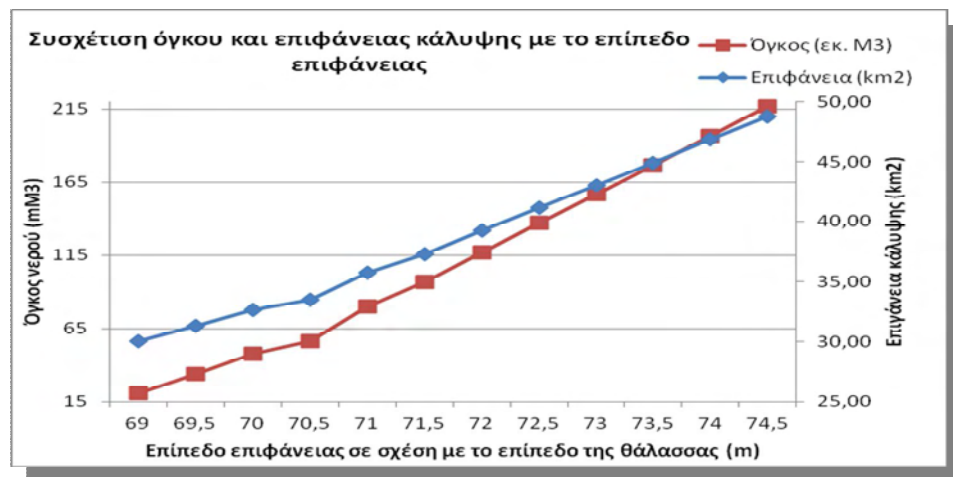
Βάσει του σχεδίου αποκατάστασης της λίμνης, στόχο αποτελεί ο μέγιστος όγκος νερού κατά τις υγρές περιόδους (χειμώνα) και ο ελάχιστος όγκος νερού κατά τις ξηρές περιόδους (καλοκαίρι) να είναι τέτοιοι ώστε να υποστηρίζουν τη ζωή στη λίμνη και τη δυνατότητα να αποκατασταθούν οι λειτουργίες της.

$$V^{L,\min} \leq V_t^L \leq V^{L,\max} \quad (6.10)$$

Με βάση τη μελέτη των Zalidis et. al. (2004) συνιστάται η λίμνη να καταλαμβάνει μία επιφάνεια περίπου 35,000,000 m² με αντίστοιχο όγκο νερού 83,8 Mm³. Το σχέδιο προτείνει ότι το 90% της επιφάνειας της λίμνης θα είναι σε μόνιμη υδατική κάλυψη, ενώ θα υπάρχει εποχική κάλυψη αναλόγως των καιρικών συνθηκών. Πιο συγκεκριμένα η σχέση υδατικής κάλυψης, όγκου και επιπέδου από την επιφάνεια της θάλασσας δίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Υψομετρική Επιφάνεια (m)	Όγκος νερού (Mm ³)	Επιφάνεια (Km ²)	Τύπος κάλυψης
69,5	33,8	31,31	
70	47,9	32,65	
70,5	56,5	33,48	
>71	79,9	35,71	Μόνιμη
>71,5	96,6	37,30	Εποχική
>72	117	39,25	Περιοδική
>72,5	136,7	41,13	Παροδική
>73	156,7	43,03	Κορεσμός
<73,5	176,7	44,94	

Πίνακας 6.1: Σχέση μεταξύ όγκου νερού και επιφάνειας της λίμνης



Διάγραμμα 6.1: Συσχετισμός όγκου και επιφάνειας κάλυψης με το επίπεδο επιφάνειας.

Βάσει των τιμών που υπάρχουν στη βιβλιογραφία, υπολογίζουμε τον όγκο νερού της λίμνης χρησιμοποιώντας γραμμική προσέγγιση όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1.

ii. Αγροτική χρήση

Το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για κάθε γεωγραφική περιοχή για άρδευση ή άλλες αγροτικές χρήσεις μπορεί να αντληθεί απευθείας από τη λίμνη (Q_t^A) κατά τη διάρκεια εξαιρετικά υγρών περιόδων ή από τον υδροφορέα (Q_t^{AA}). Η πρακτική αυτή έχει απαγορευθεί αλλά σε περιόδους υπερκορεσμού ίσως ανακουφίσει τον υδροφορέα.

$$Q_t^A + Q_t^{AA} \leq \sum_i P_{it} D_{it}^A, \forall t \quad (6.11)$$

Κάθε καλλιέργεια έχει διαφορετικό προφίλ αναγκών σε νερό, το οποίο εξαρτάται από το είδος καλλιέργειας.

Επιπρόσθετα, η μέθοδος άρδευσης που χρησιμοποιείται για κάθε καλλιέργεια συντελεί σε διαφορετική ζήτηση νερού όπως φαίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$D_{it}^A \leq \sum_k D_{ik}^A Y_{ik}^A, \forall i, t, \quad (6.12)$$

$$\sum_k Y_{ik}^A \leq 1, \forall i, \quad (6.13)$$

Το μοντέλο θα καθορίσει την καλύτερη επιλογή άρδευσης βάσει της ζήτησης και του κόστους νερού. Οι επιλογές άρδευσης που υπάρχουν δεν είναι κατάλληλες για κάθε καλλιέργεια, για το λόγο αυτό η μεταβλητή Y_{ik}^A θα πρέπει να πάρει την τιμή 0 για την επιλογή άρδευσης η οποία δεν είναι κατάλληλη για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια. Η μεταβλητή αυτή δεν περιορίζει τη χρήση του μοντέλου καθώς κάθε νέα τεχνολογία μπορεί να γίνει μέρος του συνόλου των μεταβλητών.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις σε νερό των καλλιεργειών, το μοντέλο λαμβάνει υπ' όψιν το έλλειμμα νερού που δημιουργείται από τις βροχοπτώσεις εκείνης της περιόδου, καθώς και της υπολογισμένης εξατμισοδιαπνοής για την ίδια περίοδο. Οι απαιτήσεις σε νερό κάθε καλλιέργειας είναι διαφορετικές, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τις διαφορετικές συνολικές απαιτήσεις σε νερό, βάσει του συνδυασμού καλλιεργειών.

Οι αλλαγές στην υδρολογία της λίμνης είναι συνυφασμένες με τη χρήση γης και των μεθόδων καλλιέργειας. Για να κατανοήσουμε τις επιδράσεις χρησιμοποιούμε ένα μοντέλο καταγραφής των υδατικών απαιτήσεων κάθε καλλιέργειας. Με αυτό το τρόπο μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε τις απαιτήσεις και να καταλάβουμε τις επιδράσεις από την αλλαγή καλλιεργειών. Κάθε καλλιέργεια έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε νερό. Οι απαιτήσεις σε νερό δίνονται από την εξίσωση:

$$D_{it} = DCWR_i \cdot A_i, \forall i, t \quad (6.14)$$

όπου i = καλλιέργεια, και A_i = η διατιθέμενη έκταση για κάθε καλλιέργεια. Για να υπολογιστούν με ακρίβεια οι πραγματικές απαιτήσεις, το μοντέλο χρησιμοποιεί την εξατμισοδιαπνοή, την βροχόπτωση και την εξάτμιση ώστε να υπολογίσει το έλλειμμα νερού που καλύπτεται από άλλες πηγές ως άρδευση.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστεί το έλλειμμα νερού χρησιμοποίησε ένα αποτελεσματικό συντελεστή βροχόπτωσης, ο οποίος ρυθμίζει τη βροχόπτωση και τη

συγκρίνει με τη πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα έτσι ώστε να προσδιοριστεί το έλλειμμα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένας συντελεστής καλλιέργειας για να ρυθμίσει τις απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας ως μέρος των υδατικών απαιτήσεων σοδειάς.

$$CWR_i = f_i^C \cdot E_i$$

Ο παραπάνω συντελεστής εξαρτάται τόσο από την καλλιέργεια όσο και από το μήνα και το στάδιο της ωριμότητας της καλλιέργειας.

Εάν $f^R \cdot RF_i - CWR_i > 0$ τότε $DCWR_i = 0$ διαφορετικά $DCWR_i = CWR_i - f^R \cdot RF_i$

Η παραγωγή υγρών αποβλήτων γίνεται κυρίως από κτηνοτροφικές δραστηριότητες και θεωρείται παρόμοια με αυτή των αστικών αποβλήτων και πρέπει να αντιμετωπίζονται και να διατίθενται σύμφωνα με τους κανονισμούς.

iii. Βιομηχανική χρήση

Το νερό που χρησιμοποιείται για βιομηχανικούς σκοπούς (Q_i^{AI}) πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας λόγω των ειδικών απαιτήσεων παραγωγής των βιομηχανιών. Το νερό που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων θα πρέπει να είναι υψηλών προδιαγραφών ποιότητας, για το λόγο αυτό μόνο πόσιμο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιομηχανικών διεργασιών απαιτείται εκτεταμένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων τους. Τα επεξεργασμένα αυτά υγρά απόβλητα μπορεί να αποτελέσουν πηγή νερού στη λίμνη, εφόσον όλες οι τοξικές ή άλλες επικίνδυνες ουσίες απομακρυνθούν.

Η ζήτηση του νερού κάθε βιομηχανίας δίνεται βάσει της χωρητικότητάς τους, η οποία ουσιαστικά καθορίζει την ποσότητα των παραγόμενων υγρών αποβλήτων. Η δυναμικότητα των μονάδων θεωρείται σταθερή για τη μελέτη αυτή χωρίς αλλαγές, εκτός τις εποχικές μεταβολές λόγω του τρόπου λειτουργίας.

iv. Οικιακή χρήση

Το νερό που προορίζεται για οικιακή χρήση (Q_t^{AM}) πρέπει να είναι και αυτό υψηλών προδιαγραφών ποιότητας, λόγω των περιορισμών υγείας που εφαρμόζονται για την χρήση του νερού από άνθρωπο. Επίσης, η παραγωγή αστικών αποβλήτων πρέπει να επεξεργαστεί κατάλληλα λόγω της περιεκτικότητας τους σε οργανική ύλη, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η διακύμανση του πληθυσμού στην περιοχή είναι μικρή, γεγονός που σημαίνει ότι οι καταναλωτικές απαιτήσεις είναι σταθερές στο χρόνο. Η μόνη διακύμανση στην κατανάλωση είναι μεταξύ καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχει μία αύξηση της κατανάλωσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες περίπου 25-40% (García et al., 2001). Αυτό καταγράφεται στην κατανομή της ετήσιας ζήτησης ανά μήνα.

6.4.3.2 Μοντελοποίηση των αποθεμάτων νερού του υδροφορέα

Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κορώνειας όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.1 πρέπει να συμπεριλάβει τη ροή από τη λίμνη στον υδροφορέα και αντιστρόφως. Αυτό έχει γίνει λεπτομερώς χρησιμοποιώντας απλοποιημένες εξισώσεις του Darcy λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν το υδατικό ισοζύγιο.

Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της ποσότητας του νερού του υδροφορέα και την ποσότητα του νερού της λίμνης, καθώς θεωρούνται ως ένα συνδεδεμένο σύστημα.

Ο περιορισμένος υδροφορέα τροφοδοτείται απευθείας από τις βροχοπτώσεις και τους χείμαρρους. Σε πολλές περιπτώσεις ο ρηχός και ο περιορισμένος υδροφορέας είναι ενωμένοι καθώς τα στρώματα αργίλου έχουν εξαφανιστεί. Η τροφοδοσία γίνεται απευθείας από τις βροχοπτώσεις και από επιφανειακά ρέματα.

Στην περίπτωση της λίμνης Κορώνεια υδρογεωλογικά υπάρχουν δύο υδατικά συστήματα (Karavokyris and Partners κ.α., 1998):

- Ένας ρηχός μη περιορισμένος υδροφορέας από την επιφάνεια της λίμνης μέχρι περίπου 40-50 m βάθος, ο οποίος αποτελείται από παχιά κλαστικά υλικά, κυρίως από χαλίκια και άμμο και ενδιάμεσα μικρές στρώσεις αργίλου. Αυτός ο υδροφορέας έχει επεκταθεί έως τα 269 Km² στην περιοχή συλλογής. Η υδραυλική του αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ $5.1 \times 10^{-2} - 9.2 \times 10^{-2}$ m²/sec και ο συντελεστής αποθήκευτικότητας μεταξύ $1.2 \times 10^{-2} - 6.1 \times 10^{-3}$ m²/sec. Το σύστημα είναι συνδεδεμένο υδρολογικά με τη λίμνη, η οποία παρέχει στον υδροφορέα όγκο νερού της τάξης των 30 Mm³/y μέσω του πυθμένα της και των άλλων επιφανειών.
- Ένας βαθύς περιορισμένος υδροφορέας, ο οποίος εκτείνεται από 60 έως τα 500 m βάθος. Αποτελείται από ψαμμίτες, πετρώδη, ιζήματα κλπ, με ενδιάμεσες στρώσεις άμμου και αργίλου. Αυτοί οι σχηματισμοί τροφοδοτούνται με νερό από βράχους που βρίσκονται στο περίγραμμα τεκτονικού ρήγματος και επικοινωνούν υδρολογικά μέσω ρήξεων και κενών. Από υδρολογικές και ισοτοπικές δοκιμές που έγιναν διαπιστώθηκε ότι η ηλικία του νερού σε αυτόν τον υδροφορέα δεν είμαι μεγαλύτερη των πενήντα ετών και ότι δεν επηρεάζεται σημαντικά από τον ρηχό υδροφορέα.

Βάσει των παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο νερού του υδροφορέα χρησιμοποιώντας μέσες τιμές, οι οποίες παρουσιάζονται στον υπολογισμό των ορίων του υδροφορέα.

i. Υδατικό ισοζύγιο υδροφορέα

Η ποσότητα του νερού που αντλείται από τον υδροφορέα χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση, καθώς και για αστική και βιομηχανική χρήση. Η συνεισφορά στον υδροφορέα γίνεται απευθείας από τη λίμνη αλλά και άλλες πηγές ως επιφανειακό νερό.

$$V_t^S = V_{t-1}^S + (Q_t^{S,in} + Q_t^{SL} - Q_t^{AM} - Q_t^{AA} - Q_t^{AI}) \cdot \Delta t, \forall t \quad (6.15)$$

όπου $\Delta t = 1$ μήνας.

Ο υδροφορέας έχει βάθος μεταξύ 40-60 m και καλύπτει μία περιοχή περίπου 270 Km². Η δυναμικότητά του είναι περιορισμένη. Σύμφωνα με τους Ζαλίδη κ.α., (2004) υπάρχουσες γεωτρήσεις δεν επιτρέπεται να αντλούν νερό βαθύτερα, οπότε μία ελάχιστη ποσότητα νερού θα υπάρχει ακόμη και σε περιόδους ξηρασίας.

$$V^{S,\min} \leq V_t^S \leq V^{S,\max} \quad (6.16)$$

ii. Υπολογισμός των ορίων του υδροφορέα

Όλη η ποσότητα του νερού στον υδροφορέα δεν είναι διαθέσιμη για χρήση. Το διαθέσιμο για χρήση νερό χαρακτηρίζεται ως ρυθμιζόμενα ή ελεγχόμενα αποθέματα, ενώ η ελάχιστη ποσότητα νερού χαρακτηρίζεται ως μόνιμα αποθεματικά και εξαρτάται από το βάθος των γεωτρήσεων, το οποίο είναι συνήθως μερικά μέτρα μέσα στον υδροφορέα:

$$V^{S,\min} = A^S (H^S - H^{RS}) n^S \quad (6.17)$$

Η ποσότητα του νερού εξαρτάται πολύ από την διαπερατότητα του υδροφορέα. Στο παρόν μοντέλο δεν θα εξεταστούν τα λεπτομερή φυσικά φαινόμενα και η ροή αυτή θα υπολογιστεί προσεγγιστικά με βάση τις τιμές της βιβλιογραφίας.

iii. Υπολογισμός εισροών υδροφορέα

Τόσο ο ρηχός όσο και ο βαθύς υδροφορέας αναπληρώνεται κάθε χρόνο με ρυθμό που εξαρτάται από τις υδρολογικές συνθήκες του έτους.

Ο ρηχός υδροφορέας αναπληρώνεται απευθείας από τη λεκάνη απορροής γύρω από τη λίμνη καθώς και απευθείας από τη λίμνη. Για να υπολογιστεί η ποσότητα του νερού που δέχεται ο

υδροφορέας χρησιμοποιείται η θεωρία διήθησης, σύμφωνα με την οποία ένας διαφορετικός συντελεστής εφαρμόζεται για κάθε μία από τις διακριτές περιοχές γύρω από τη λίμνη.

Για την εκροή από τη λίμνη προς τον ρηχό υδροφορέα χρησιμοποιήθηκε η θεωρία του Darcy και ένας απλός υπολογισμός που βασίζεται στην υδραυλική αγωγιμότητα K και της αντίστοιχης περιοχής A :

$$Q_t^{SL} = K \cdot A \quad (6.18)$$

Η αναπλήρωση του βαθύ υδροφορέα είναι δυσκολότερη, καθώς η ποσότητα του νερού που φτάνει σε αυτόν είναι πολύ μικρότερη από αυτή που φτάνει στον ρηχό υδροφορέα. Αυτή η ποσότητα του νερού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη θεωρία του Darcy, η οποία βασίζεται σε πειράματα που έγιναν στην περιοχή.

6.4.3.3 Διαχείριση των γεωτρήσεων

Οι γεωτρήσεις είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που δημιουργούν σοβαρές επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους της περιοχής μελέτης, αφού αντλούν μεγάλες ποσότητες νερού από τον υδροφορέα για άρδευση, δημιουργώντας ένα αρνητικό υδατικό ισοζύγιο.

Σύμφωνα με το Master Plan της λίμνης Κορώνειας μία συνδυαστική χρήση του ρηχού και του βαθύ υδροφορέα μπορεί να βελτιώσει το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης και να βοηθήσει στην αποκατάσταση του οικοσυστήματος σε ορίζοντα χρόνου.

Οι γεωτρήσεις του ρηχού υδροφορέα που βρίσκονται σε λειτουργία θα μοντελοποιηθούν ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της γεωργίας ως μέρος της συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Αυτό μπορεί να απαιτεί την αναβάθμιση ορισμένων εγκαταστάσεων ώστε να καταστεί δυνατός ο εφοδιασμός των δικτύων άρδευσης και όχι η χρήση ατομικής άρδευσης.

$$Q_t^{AA} \leq N^S \bar{Q}^{SW}, \forall t \quad (6.19)$$

Ο αριθμός των γεωτρήσεων σε λειτουργία από τον βαθύ υδροφορέα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες της λίμνης, εάν η συνδρομή τους χρειαστεί, αλλά ταυτόχρονα να καλύπτει την οικιακή και βιομηχανική ζήτηση.

Αυτό προϋποθέτει ότι τα απαιτούμενα μέτρα εφαρμόζονται για τη μεγιστοποίηση της χρήσης του νερού με πρακτικές που προωθούν την βιωσιμότητα.

$$Q_t^{AM} + Q_t^{AI} + S_t^{AW} \leq N^D \bar{Q}^{DW}, \forall t \quad (6.20)$$

Σύμφωνα με το Master Plan η συνολική ποσότητα νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο, όπως αυτό ορίζεται από την χωρητικότητα του υδροφορέα.

$$\sum_t (Q_t^{AM} + Q_t^{AI} + S_t^{AW}) \leq \bar{S} \bar{Q}^{DW} \quad (6.21)$$

6.4.3.4 Μεταφορά νερού από άλλες πηγές

Σύμφωνα με το Master Plan μία από τις επιλογές που προτάθηκαν για την αποκατάσταση της ποσότητας του νερού στη λίμνη ήταν η μεταφορά νερού από γειτονικές πηγές, όπως είναι η λίμνη Βόλβη, ο ποταμός Αλιάκμονας, οι χείμαρροι Σχολαρίου και Λαγκαδίκια, καθώς και από το βιολογικό καθαρισμό της Θεσσαλονίκης.

$$S_t^{IN} = S_t^{VL} + S_t^{AR} + S_t^{LR} + S_t^{WT} + S_t^{AW}, \forall t \quad (6.22)$$

Παρακάτω θα εξετάσουμε τις επιλογές καθώς και τους περιορισμούς από κάθε προτεινόμενη λύση. Η καλύτερη επιλογή ή συνδυασμός επιλογών θα βρεθεί βάσει του κόστους και της βιωσιμότητας της λύσης και λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που επιβάλλονται.

i. Μεταφορά νερού από τη λίμνη Βόλβη

Η λίμνη Βόλβη είναι πολύ μεγαλύτερη από τη λίμνη Κορώνεια και έχει όγκο νερού περίπου 940 Mm^3 σε σύγκριση με τη λίμνη Κορώνεια που έχει περίπου 58 Mm^3 . Η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι της τάξης του 2% του συνολικού όγκου.

Για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη λύση θα πρέπει να υπάρχουν τα εξής:

- Αντλιοστάσιο;
- Δίκτυο σωληνώσεων;
- Εγκαταστάσεις απόρριψης

Η ποσότητα του νερού για μεταφορά θα οριοθετείται από τη χωρητικότητα του αντλιοστασίου και τις υπόλοιπες εγκαταστάσεις βάσει του παρακάτω περιορισμού:

$$S_t^{VL} \leq E^{VL} Y^{VL}, \forall t \quad (6.23)$$

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η λύση είναι διαθέσιμη μόνο κατά τις υγρές περιόδους που το νερό στη λίμνη Βόλβη είναι σε κορεσμό.

ii. Μεταφορά νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα

Η μεταφορά νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα προτάθηκε λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποτάμι ήδη εφοδιάζει με νερό την πόλη της Θεσσαλονίκης. Για την εφαρμογή αυτής της πρότασης υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις, που είναι είτε η χρησιμοποίηση της υπάρχουσας υποδομής, εφαρμόζοντας τις κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να είναι εφικτή η μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας νερού μέσω του δικτύου, είτε η κατασκευή ενός καινούριου ανεξάρτητου δικτύου για να καλύψει τις ανάγκες της συγκεκριμένης πρότασης.

Η ποσότητα του νερού προς μεταφορά θα εξαρτηθεί από τη χωρητικότητα του αντλιοστασίου και των εγκαταστάσεων με βάση το σχεδιασμό όπως δηλώνει ο περιορισμός παρακάτω:

$$S_t^{AR} \leq \sum_{e \in R^{AR}} E_e^{AR} Y_e^{AR}, \forall t \quad (6.24)$$

$$\sum_{e \in R^{AR}} Y_e^{AR} \leq 1 \quad (6.25)$$

Αν και οι δύο επιλογές είναι παρόμοιες, διαφέρουν στο κόστος των υποδομών και στο κόστος λειτουργίας και πρέπει να ληφθεί υπόψη στο συνολικό μοντέλο. Πρέπει να αναφερθεί ότι η εφαρμογή αυτής της επιλογής είναι εποχική και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις μετεωρολογικές συνθήκες.

iii. Μεταφορά νερού από τους χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων

Τόσο ο χείμαρρος Σχολαρίου, όσο και τα Λαγκαδίκια καταλήγουν στην περιοχή μεταξύ των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης και λόγω της μορφολογίας της περιοχής, στη Βόλβη. Καλύπτουν έκταση 137 Km² και 144 Km² αντίστοιχα και συλλέγουν περίπου 44,6 Mm³ νερού κατά μέσο όρο. Το 50% περίπου της ποσότητας αυτής του νερού καταλήγει ως επιφανειακή ροή στη λίμνη Βόλβη, αφού η υπόλοιπη ποσότητα χάνεται λόγω απωλειών προς τους υδροφορείς και λόγω εξάτμισης. Μέρος αυτής της ποσότητας του νερού μπορεί να εκτραπεί στην Κορώνεια, μετά από τις απαραίτητες τροποποιήσεις του καναλιού που υπάρχει μεταξύ της Βόλβης και της Κορώνειας. Η ποσότητα του νερού είναι περιορισμένη λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών του καναλιού.

$$S_t^{LR} \leq E^{LR} Y^{LR}, \forall t \quad (6.26)$$

Το συγκεκριμένο μοντέλο δε χρησιμοποιεί μέσες ετήσιες ροές αλλά χρησιμοποιεί μηνιαίες ποσότητες όπως περιγράφεται στη παράγραφο του ισοζυγίου μάζας της λίμνης Κορώνειας.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της λύσης είναι μικρές και οι επιπτώσεις της μείωσης της ποσότητας του νερού που ρέει στη Βόλβη δεν είναι σημαντικές εάν η εκτροπή γίνεται για περιορισμένη χρονική περίοδο. Αυτή η εφαρμογή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή

και την ποσότητα των βροχοπτώσεων και για το λόγο αυτό είναι επιλογή μεγάλης αβεβαιότητας.

iv. Μεταφορά νερού από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων της Θεσσαλονίκης (ΜΕΥΑΘ)

Μία επιλογή που εξετάστηκε είναι η χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων από τη ΜΕΥΑΘ ώστε να βελτιωθεί το υδατικό ισοζύγιο και κατά συνέπεια και ολόκληρο το οικοσύστημα. Σύγχρονες πρακτικές που εφαρμόζονται σε περιοχές που επικρατούν ξηρές συνθήκες επιτρέπουν τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση. Η ΜΕΥΑΘ θα πρέπει να είναι ικανή να επεξεργάζεται 300,000 m³ νερού ανά ημέρα, εφαρμόζοντας αυστηρά κριτήρια ποιότητας. Στο παρόν σχέδιο της μονάδας επεξεργασίας δεν επιτρέπεται η απευθείας απόρριψη των επεξεργασμένων λυμάτων στη λίμνη ή η χρήση τους για άρδευση. Επιπλέον επεξεργασία των λυμάτων χρειάζεται με σκοπό τη μείωση της περιεκτικότητας σε άλατα ώστε να είναι σε αποδεκτά όρια.

Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η επιλογή χρειάζονται τα εξής:

- Μονάδα αφαλάτωσης για επιπρόσθετη επεξεργασία των αποβλήτων
- Αντλιοστάσια για τη μεταφορά του νερού λόγω υψομετρικής διαφοράς
- Δίκτυο σωληνώσεων
- Κανάλι για την απόρριψη των λυμάτων στο ρέμα Καβαλαρίου
- Διάφορα έργα για την αποφυγή πλημμύρων που μπορεί να οφείλονται στο επιπρόσθετο φορτίο νερού

Η ποσότητα του νερού που θα μεταφέρεται θα εξαρτάται από τη χωρητικότητα του αντλιοστασίου και των λοιπών εγκαταστάσεων σύμφωνα με τον παρακάτω περιορισμό:

$$S_t^{WT} \leq \sum_{e \in R^{WT}} E_e^{WT} Y_e^{WT}, \forall t \quad (6.27)$$

$$\sum_{e \in R^{WT}} Y_e^{WT} \leq 1 \quad (6.28)$$

Σήμερα τα υγρά απόβλητα απορρίπτονται στη θάλασσα, οπότε οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επιλογή αυτής της λύσης θα είναι ελάχιστες. Η επιλογή αυτή εγγυάται μία σταθερή ροή νερού στη λίμνη κατά τη διάρκεια όλων των περιόδων.

6.4.3.5 Αντικειμενική συνάρτηση

Στόχος του μοντέλου είναι η αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας σε μία βιώσιμη κατάσταση μέσα στα επόμενα 10 χρόνια με την επένδυση να διατηρείται στο ελάχιστο αλλά ταυτόχρονα να σέβεται το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης. Το συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης ορίζεται ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους των επενδύσεων και των λειτουργικών κοστών που απαιτούνται για την αποκατάσταση της κατάστασης της λίμνης Κορώνειας και την επίτευξη μιας βιώσιμης κατάστασης με ορθολογική χρήση και διαχείριση νερού.

i. Κόστη άρδευσης

Για να ελαχιστοποιηθεί η χρήση νερού προτείνεται η χρέωση τόσο των λειτουργικών δαπανών των γεωτρήσεων ταυτόχρονα με την άρδευση των καλλιεργειών. Η τιμή χρέωσης εξαρτάται από παράγοντες που εξετάζονται ξεχωριστά.

Θα πρέπει να υπάρχουν δύο βασικές χρεώσεις για το νερό που χρησιμοποιείται. Η πρώτη είναι η χρέωση για τη λειτουργία μίας γεώτρησης και θα χρεώνεται ανά περιοχή και γεώτρηση. Αυτό δίνεται από τη σχέση:

$$C^{AW, fixed} N^S$$

Η δεύτερη είναι η χρέωση ανά μονάδα νερού που χρησιμοποιείται ανεξαρτήτως από που προέρχεται. Αυτό θα εφαρμοστεί με τη χρήση μέτρων για κάθε γεώτρηση σε λειτουργία (ηλεκτρική ή ντίζελ).

$$C^{AW} \sum_t (Q_t^A + Q_t^{AA})$$

ii. Κόστη μεταφοράς νερού από τη λίμνη Βόλβη

Για τη μεταφορά νερού από τη λίμνη Βόλβη υπάρχουν κάποια κόστη υποδομής τα οποία έχουν αναχθεί με βάση το κόστος επένδυσης του Master Plan. Έξοδα συντήρησης καθώς και άλλα πάγια έξοδα περιλαμβάνονται, δεδομένου ότι θα υπάρχουν αν η λύση αυτή υλοποιηθεί.

$$C^{VL} Y^{VL}$$

Τα λειτουργικά κόστη προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού, η οποία έχει άμεση σχέση με τη πραγματική ροή του νερού. Οπότε, τα κόστη υπολογίζονται ως Ευρώ/m³ και εφαρμόζονται όποτε η μονάδα είναι σε λειτουργία:

$$\sum_t O^{VL} S_t^{VL}$$

iii. Κόστη μεταφοράς νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα

Παρομοίως και σε αυτή τη περίπτωση, για τη μεταφορά νερού από τον Αλιάκμονα ποταμό υπάρχουν κάποια κόστη υποδομής τα οποία έχουν αναχθεί με βάση το κόστος επένδυσης του Master Plan. Έξοδα συντήρησης καθώς και άλλα πάγια έξοδα περιλαμβάνονται και εδώ, δεδομένου ότι θα υπάρχουν αν η λύση αυτή υλοποιηθεί.

$$\sum_{e \in E^A} C_e^{AR} Y_e^{AR}$$

Τα λειτουργικά κόστη και εδώ προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού, η οποία έχει άμεση σχέση με τη πραγματική ροή του νερού και την επιλογή της συγκεκριμένης λύσης.

$$O^{AR} = \sum_e O_e^{AR} Y_e^{AR}$$

Τα κόστη υπολογίζονται ως Ευρώ/m³ και εφαρμόζονται όποτε η μονάδα είναι σε λειτουργία:

$$\sum_t O^{AR} S_t^{AR}$$

iv. Κόστη μεταφοράς νερού από τους χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και εδώ για τη μεταφορά νερού από τους χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων υπάρχουν κάποια κόστη υποδομής τα οποία έχουν αναχθεί με βάση το κόστος επένδυσης του Master Plan. Έξοδα συντήρησης καθώς και άλλα πάγια έξοδα περιλαμβάνονται και εδώ, δεδομένου ότι θα υπάρχουν αν η λύση αυτή υλοποιηθεί.

$$C^{LR} Y^{LR}$$

Τα λειτουργικά κόστη προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού, η οποία έχει άμεση σχέση με τη πραγματική ροή του νερού. Οπότε, τα κόστη υπολογίζονται ως Ευρώ/m³ και εφαρμόζονται όποτε η μονάδα είναι σε λειτουργία:

$$\sum_t O^{LR} S_t^{LR}$$

v. Κόστη μεταφοράς νερού από τη ΜΕΥΑΘ

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και εδώ για τη μεταφορά νερού από τη ΜΕΥΑΘ υπάρχουν κάποια κόστη υποδομής τα οποία έχουν αναχθεί με βάση το κόστος

επένδυσης του Master Plan. Έξοδα συντήρησης καθώς και άλλα πάγια έξοδα περιλαμβάνονται και εδώ, δεδομένου ότι θα υπάρχουν αν η λύση αυτή υλοποιηθεί.

$$C^{WT} Y^{WT}$$

Τα λειτουργικά κόστη προκύπτουν από τη λειτουργία του εξοπλισμού, η οποία έχει άμεση σχέση με τη πραγματική ροή του νερού. Οπότε, τα κόστη υπολογίζονται ως Ευρώ/m³ και εφαρμόζονται όποτε η μονάδα είναι σε λειτουργία:

$$\sum_t O^{WT} S_t^{WT}$$

vi. Κόστη τροφοδοσίας της λίμνης από τον υδροφορέα

Ως εναλλακτική επιλογή της παροχής νερού από ποτάμια ή από εκτροπή του νερού από διάφορες άλλες πηγές προτείνεται η χρησιμοποίηση γεωτρήσεων που θα αντλούν νερό από το βαθύ υδροφορέα αλλά για μία περιορισμένη περίοδο.

Στη περίπτωση που επιλεγεί αυτή η λύση, θα δημιουργηθούν δύο βασικά κόστη. Το ένα θα είναι το κόστος επένδυσης για τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων γεωτρήσεων ή για τη δημιουργία καινούργιας γεώτρησης. Αυτό δίνεται ως εξής:

$$C^{DW, fixed} N^D$$

Το δεύτερο κόστος είναι το ετήσιο κόστος λειτουργίας ανά μονάδα παραγόμενου νερού.

$$C^{DW} \sum_t S_t^{AW}$$

vii. Συνολική αντικειμενική συνάρτηση

Ο συνολικός στόχος του μοντέλου είναι να ελαχιστοποιηθούν τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας, ενώ παράλληλα θα μεγιστοποιηθεί η ποσότητα του νερού στη λίμνη.

$$\begin{aligned}
 & \min \\
 & C^{AW, fixed} N^S + C^{AW} \sum_t (Q_t^A + Q_t^{AA}) + \\
 & C^{VL} Y^{VL} + \sum_t O^{VL} S_t^{VL} + \\
 & \sum_{e \in E^A} C_e^{AR} Y_e^{AR} + \sum_t O^{AR} S_t^{AR} + \\
 & C^{LR} Y^{LR} + \sum_t O^{LR} S_t^{LR} + \quad (4.29) \\
 & C^{WT} Y^{WT} + \sum_t O^{WT} S_t^{WT} + \\
 & C^{DW, fixed} N^D + C^{DW} \sum_t S_t^{AW}
 \end{aligned}$$

6.4.4 Δημιουργία πολιτικής για την αποκατάσταση της Λίμνης Κορώνειας

Το προτεινόμενο μοντέλο αναπτύχθηκε ειδικά για την περίπτωση της λίμνης Κορώνειας και χρησιμοποιεί κάποιες από τις προτάσεις του Master Plan καθώς και τις μεταγενέστερες αναθεωρήσεις του για να δημιουργήσει μία βιώσιμη κατάσταση στη λίμνη.

Το Master Plan ολοκληρώθηκε το 1998 και η κύρια αναθεώρησή του ολοκληρώθηκε το 2004 και εγκρίθηκε το 2005. Στόχος τους ήταν να έρθει η λίμνη σε μία αποδεκτή κατάσταση σε χρονικό διάστημα 5 ετών, αλλά και τα δύο δεν κατάφεραν να υλοποιήσουν το στόχο τους. Το προτεινόμενο μοντέλο ξεκινάει από το 2011 (υποθετικό έτος) και στόχος του είναι έως 2015 να έρθει σε μία αυτοσυντηρούμενη κατάσταση χωρίς επιπλέον επεμβάσεις και χωρίς επιπρόσθετες επενδύσεις. Χρησιμοποιείται ορίζοντας δεκαετίας στοχεύοντας να λειτουργεί η λεκάνη κάτω από ένα βιώσιμο υδατικό ισοζύγιο. Η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν εξετάζει

τους ποιοτικούς παράγοντες, αλλά υποθέτει ότι οι τυχόν πηγές νερού με κατάληξη τη λίμνη αντιμετωπίζονται και διαχειρίζονται αναλόγως ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ποιοτική υποβάθμιση των υδάτινων πόρων της λίμνης. Το μοντέλο χρησιμοποιεί διακριτές περιόδους μηνιαίας διάρκειας συνόλου 120 χρονικών περιόδων.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο η μεταφορά νερού από τη ΜΕΥΑΘ και από τη λίμνη Βόλβη δεν θα εξεταστούν, καθώς τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επαρκούν και περαιτέρω μελέτες εκκρεμούν. Αυτές οι λύσεις μπορούν να αποτελέσουν μέρος μελλοντικής έρευνας.

6.4.4.1 Περιγραφή δεδομένων

i. Υδρολογικά δεδομένα

Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Κορώνειας αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης σε διάφορες ερευνητικές περιοχές με έμφαση στη γεωθερμική και σεισμική δραστηριότητα, υδρολογία και υδρογεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής. Τα δεδομένα του ύψους της βροχόπτωσης, όπως έχουν καταγραφεί στο σταθμό του Λαγκαδά χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες αυτής της διατριβής λόγω της γεωγραφικής θέσης και παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3. Σύμφωνα με τα δεδομένα δεν υπάρχει σημαντική διακύμανση του ύψους βροχόπτωσης με τέσσερις ακραίες ξηρές περιόδους και τρεις ακραίες υγρές περιόδους, ενώ τα υπόλοιπα έτη το ύψος βροχόπτωσης κυμαίνεται μεταξύ 450 και 650 mm ανά έτος.

Όσον αφορά τον ρυθμό εξάτμισης, αυτός παρουσιάζει μία λογική περιοδική διακύμανση, η οποία επιτρέπει την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών χωρίς σημαντικό σφάλμα. Τα δεδομένα βασίζονται σε μετρήσεις του μέσου ρυθμού εξάτμισης (mm/ημέρα) στην περιοχή της Σίνδου και παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3.

Ο πίνακας 6.2 παρουσιάζει τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Το ύψος βροχόπτωσης είναι σε mm ανά μήνα, ενώ της εξάτμισης σε mm ανά ημέρα.

	Οκτ	Νοβ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
Συντελεστής "Pan"	0,68	0,69	0,47	0,59	0,79	0,88	0,91	0,95	0,81	0,82	0,81	0,72
"Pan" εξάτμιση (mm/ανά ημέρα)												
2011	2,71	1,36	2,11	0,19	1,46	1,72	3,33	3,85	6,7	7,42	6,3	5,25
2012	3,33	2,35	1,07	0,22	1,46	2,11	3,55	4,77	7,65	9,12	6,38	4,99
2013	1,96	1,05	0,82	0,87	1,76	2,22	2,75	4,28	7,48	7,93	6,04	4,87
2014	2,81	1,2	1,04	1,56	1,96	3,25	4,57	6,27	5,68	7,43	7,05	4,61
2015	3,46	1,74	1,25	1,32	0,98	2,07	2,65	5,38	8,04	8,77	6,56	5,09
2016	2,86	1,17	0,94	1,18	1,2	1,68	4,17	5,57	7,69	8,7	7,28	5,2
2017	2,41	1,19	0,87	1,05	0,67	1,41	3,8	4,13	6,63	6,81	6,65	4,7
2018	1,65	0,84	1,03	0,84	1,35	1,6	3,11	4,77	6,84	7,38	6,73	4,86
2019	2,7	1,51	1,3	0,62	1,63	2,24	2,95	4,87	7,5	8,52	7,2	5,4
2020	2,88	1,7	0,86	1,7	2,08	2,25	3,9	4,4	7,14	8	7,8	5,3
Βροχόπτωση (mm/μήνα)												
2011	126	92	66	76	11	68	49	110	38	37	44	0
2012	126	47	81	50	11	17	38	41	11	33	37	0
2013	25	74	78	22	56	68	143	40	28	36	96	30
2014	49	160	36	2	14	34	15	29	180	52	46	14
2015	19	71	106	45	63	54	86	4	22	4	22	2
2016	1	48	52	17	7	78	9	45	17	1	14	13
2017	5	153	7	132	38	42	30	104	110	29	20	11
2018	21	42	6	37	56	71	63	23	37	27	67	0
2019	29	126	61	12	55	126	46	35	19	0	3	3
2020	7	123	62	0	0	98	27	100	83	56	0	30

Πίνακας 6.2: Δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης (Karavokyris and Partners κ.α., 1998, Ιδία επεξεργασία)

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές εξάτμισης και βροχόπτωσης μπορούμε να υπολογίσουμε την άμεση εξάτμιση και βροχόπτωση στη λίμνη Κορώνεια. Βάση του σχεδίου αποκατάστασης, η περιοχή που θα καλύπτεται μόνιμα από νερό πρέπει να είναι περίπου $35,000,000 \text{ m}^2$. Σύμφωνα με αυτό, καθώς και με το ύψος βροχόπτωσης και την “pan” εξάτμιση ανά μήνα (30 ημέρες), μπορεί να υπολογιστεί ο μηνιαίος όγκος άμεσης βροχόπτωσης και εξάτμισης. Η βασική υπόθεση του μοντέλου είναι ότι η λίμνη θα έχει μία μόνιμη κάλυψη, που αντιστοιχεί σε όγκο νερού 83 Mm^3 και σε επιφάνεια περίπου 35 Km^2 .

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης χρησιμοποιείται ο συντελεστής “pan” για την ρύθμιση των παρατηρούμενων τιμών του ρυθμού εξάτμισης.

Για να υπολογιστεί το νερό επιφανειακής ροής (Πίνακας 6.3) από τη λεκάνη απορροής (Πίνακας 6.4) στη λίμνη χρησιμοποιείται η μέθοδος που περιγράφεται στη παράγραφο του ισοζυγίου μάζας της λίμνης Κορώνειας. Σύμφωνα με τον πίνακα 6.4 διακρίνονται τρεις κύριες λεκάνες συλλογής απορροής.

	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
2011	0	4,005,265	7,345,265	10,581,807	6,878,174	1,973,997	1,283,098	2,656,112	1,726,473	0	0	0
2012	0	0	6,010,485	7,157,100	4,652,115	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	175,885	3,229,027	5,312,570	11,973,510	7,782,782	0	0	0	0
2014	0	3,639,385	4,156,943	2,702,013	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	3,528,918	5,052,332	7,087,167	6,443,461	7,102,639	4,616,716	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	1,404,327	912,812	10,301,216	8,040,192	5,882,727	3,823,773	444,508	288,930	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	418,281	271,882	0	0	0	0
2019	0	0	3,405,713	2,213,713	2,539,414	10,568,621	6,869,604	0	0	0	0	0
2020	0	0	2,848,285	1,851,385	0	2,738,246	1,779,860	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.3: Ποσότητα νερού επιφανειακής ροής στη λίμνη Κορώνεια από τη λεκάνη απορροής (m³/μήνα).

α/α	Λεκάνη απορροής	Έκταση (Km ²)	Μέσο απόλυτο υψόμετρο (m)	Χωρητικότητα εδαφικής υγρασίας S _o (mm)
A	<i>Πεδινές Εκτάσεις</i>			
A ₁	Πεδινά	269	117	
A ₂	Λοφώδης Περιοχή Δρυμού	13	140	
	Υποσύνολο (A)	282		210,3
B	<i>Βόρειες Ορεινές Εκτάσεις</i>			
B ₁	Μπογδάνας ποταμός	178	471	
B ₂	Ρέμα Κολχικού	86	484	
B ₃	Ρέμα Ανάληψη	53	480	
	Υποσύνολο (B)	317		150,2
C	<i>Νότιες Ορεινές Εκτάσεις</i>	147	300	
	Υποσύνολο (C)	147		118
Σύνολο	(A+B+C)	746		

Πίνακας 6.4: Ανάλυση της λεκάνης απορροής (Karavokyris and Partners κ.α., 1998, Ιδία επεξεργασία)

Ο συντελεστής διήθησης για τις βόρειες ορεινές περιοχές είναι 0,04, για τις νότιες 0,05 και τις πεδινές 0,07. Βάσει αυτών μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον υδροφορέα. Η πραγματική τιμή του πορώδους του υδροφορέα είναι 0,08 (Veranis and Katirtzoglou, 2001).

Η υδραυλική αγωγιμότητα του στρώματος μεταξύ της λίμνης και του υδροφορέα έχει υπολογιστεί και είναι $K=10^{-9}$ m/sec (Mylopoulos et. al., 2007). Αυτό συμβαδίζει με τις μετρήσεις σε αργίλικα στρώματα. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Darcy και σύμφωνα με τη μέση κάλυψη των 35,000,000 m² προκύπτει μία μηνιαία ροή μεταξύ της λίμνης και του υδροφορέα περίπου της τάξης των 91,000 m³ ενώ η ετήσια ροή είναι της τάξης των 1,092,000 m³. Η ροή αυτή είναι επιπρόσθετη της διήθησης στον υδροφορέα που υπολογίζεται στον Πίνακα 6.5 και οφείλεται στις βροχοπτώσεις και οριζόντια διήθηση.

ii. Αγροτική χρήση

Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για τη γεωργία, υπολογίζεται βάσει του ελλείμματος της κάθε καλλιέργειας που έχει επιλεγεί για το συγκεκριμένο έτος. Οι απαιτήσεις σε νερό για άρδευση ανά περίοδο δίνεται στον πίνακα 6.6.

	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
2011	5,011,020	3,658,840	2,624,820	3,022,520	437,470	2,704,360	1,948,730	4,374,700	1,511,260	1,471,490	1,749,880	0
2012	5,011,020	1,869,190	3,221,370	1,988,500	437,470	676,090	1,511,260	1,630,570	437,470	1,312,410	1,471,490	0
2013	994,250	2,942,980	3,102,060	874,940	2,227,120	2,704,360	5,687,110	1,590,800	1,113,560	1,431,720	3,817,920	1,193,100
2014	1,948,730	6,363,200	1,431,720	79,540	556,780	1,352,180	596,550	1,153,330	7,158,600	2,068,040	1,829,420	556,780
2015	755,630	2,823,670	4,215,620	1,789,650	2,505,510	2,147,580	3,420,220	159,080	874,940	159,080	874,940	79,540
2016	39,770	1,908,960	2,068,040	676,090	278,390	3,102,060	357,930	1,789,650	676,090	39,770	556,780	517,010
2017	198,850	6,084,810	278,390	5,249,640	1,511,260	1,670,340	1,193,100	4,136,080	4,374,700	1,153,330	795,400	437,470
2018	835,170	1,670,340	238,620	1,471,490	2,227,120	2,823,670	2,505,510	914,710	1,471,490	1,073,790	2,664,590	0
2019	1,153,330	5,011,020	2,425,970	477,240	2,187,350	5,011,020	1,829,420	1,391,950	755,630	0	119,310	119,310
2020	140,210	2,463,690	1,241,860	0	0	1,962,940	540,810	2,003,000	1,662,490	1,121,680	0	600,900

Πίνακας 6.5: Εκτιμώμενη διήθηση στον υδροφορέα (m³/μήνα)

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάιος	Ιουν	Ιουλ	Αύγ	Σεπ
2011	0	0	0	0	805,532	0	1,647,602	495,488	7,447,092	8,648,924	5,686,927	4,232,698
2012	0	266,601	0	0	805,532	1,321,714	0	0	10,046,959	11,227,361	6,112,875	4,023,079
2013	597,203	0	0	0	0	0	0	4,230,307	9,001,652	9,412,887	2,933,758	2,954,394
2014	485,180	0	0	840,099	1,104,065	1,804,899	4,663,198	7,608,143	0	7,945,396	6,515,478	3,263,141
2015	1,356,648	0	0	0	0	1,243,898	1,607,931	8,799,891	6,800,300	10,241,617	7,638,628	3,651,916
2016	1,618,036	0	0	127,263	311,984	0	4,039,424	3,777,767	8,351,429	9,514,546	7,521,200	3,368,100
2017	1,499,175	0	196,115	0	0	45,735	3,060,196	1,057,595	3,918,127	8,175,084	7,240,412	3,432,895
2018	504,109	0	296,343	0	0	0	974,090	5,743,308	7,688,224	9,071,136	5,139,273	3,918,269
2019	984,287	0	0	23,033	0	0	1,353,855	5,314,660	9,458,319	11,963,511	8,712,218	4,256,439
2020	1,761,090	0	0	979,890	1,610,648	0	3,317,430	1,606,214	5,909,970	8,554,420	9,590,330	3,301,072

Πίνακας 6.6: Απαιτήσεις της γεωργίας (m³/μήνα)

	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος
2011	0	4,005,265	7,345,265	10,581,807	6,878,174	1,973,997	1,283,098	2,656,112	1,726,473	0	0	0
2012	0	0	6,010,485	7,157,100	4,652,115	0	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	175,885	3,229,027	5,312,570	11,973,510	7,782,782	0	0	0	0
2014	0	3,639,385	4,156,943	2,702,013	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	3,528,918	5,052,332	7,087,167	6,443,461	7,102,639	4,616,716	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	0	1,404,327	912,812	10,301,216	8,040,192	5,882,727	3,823,773	444,508	288,930	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	418,281	271,882	0	0	0	0
2019	0	0	3,405,713	2,213,713	2,539,414	10,568,621	6,869,604	0	0	0	0	0
2020	0	0	2,848,285	1,851,385	0	2,738,246	1,779,860	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.7: Νερό που τροφοδοτεί τη λεκάνη από του χείμαρρους Σχολαρίου και Λαγκαδικίων (m³/μήνα)

iii. Βιομηχανική χρήση

Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία είναι σχετικά σταθερή ως συνολική ζήτηση, αλλά το προφίλ των απαιτήσεων σε νερό διαφέρει ανά βιομηχανία και ανά μήνα. Δεδομένου ότι κάποιες από τις βιομηχανίες λειτουργούν εποχικά και συνήθως κατά τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, ένα μέσο ετήσιο προφίλ δεν θα δώσει την πραγματική εικόνα στη καταπόνηση των υδατικών πόρων του οικοσυστήματος και τις απαιτήσεις για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες. Για την περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν επαρκεί στοιχεία να χρησιμοποιηθούν, οπότε παραλείπεται από το μοντέλο καθώς δεν θα έχει μεγάλη επίπτωση στα αποτελέσματα. Σε κάθε περίπτωση ο όγκος του νερού που χρησιμοποιείται είναι σχετικά μικρός σε σύγκριση με άλλες χρήσεις. Η ετήσια κατανάλωση από τις βιομηχανίες ήταν 1 Mm^3 . Στις μέρες μας είναι πολύ μικρότερο, καθώς οι περισσότερες από τις βιομηχανίες έχουν κλείσει.

iv. Αστική χρήση

Η χρησιμοποίηση του νερού από το γενικό πληθυσμό εκτιμάται περίπου στα $250,000 \text{ m}^3$ ανά μήνα για την περίοδο από Οκτώβριο έως και Απρίλιο και $325,000 \text{ m}^3$ ανά μήνα για τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου. Η αύξηση κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών στηρίζεται σε διεθνείς έρευνες. Η ποσότητα των $250,000 \text{ m}^3$ ανά μήνα βασίζεται στη μέση κατανάλωση των $108 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ανά άτομο. Ο συνολικός πληθυσμός θεωρείται ότι είναι 27,834. Σύμφωνα με τα παραπάνω εκτιμάται ότι το νερό που χρησιμοποιείται για αστικούς σκοπούς είναι περίπου $3,275,000 \text{ Mm}^3$ ανά έτος.

v. Ποταμός Αλιάκμονας

Εάν η παροχή νερού από τον ποταμό Αλιάκμονα επιλεγεί ως λύση, μπορεί να εφαρμοστεί μετά από 2 χρόνια όταν ολοκληρωθούν όλα τα απαραίτητα έργα. Η επιλογή αυτή θα παρέχει στη λίμνη ποσότητα νερού με μέγιστο τα $2,592,000 \text{ m}^3$ ανά μήνα και μόνο κατά την υγρή περίοδο, όταν τα επίπεδα νερού είναι υψηλά και δεν απαιτείται για άρδευση ή άλλες χρήσεις σε περιοχές γύρω του ποταμού.

Σύμφωνα με το Master Plan υπάρχουν τρεις επιλογές για την κατασκευή και λειτουργία των απαραίτητων υποδομών για την παροχή νερού στη λίμνη από τον ποταμό Αλιάκμονα. Αυτές οι τρεις επιλογές έχουν ένα σταθερό κόστος επένδυσης C_e^{AR} της τάξης των €1,37m, €1,73m και €1,77m, ενώ το κόστος λειτουργίας O^{AR} ανέρχεται στα €1,80m, €2,45m και €1,80m αντίστοιχα. Τα ποσά αυτά υπολογίζονται για τη μέγιστη διαθέσιμη παροχή νερού από τον ποταμό.

vi. Εκτροπή των χειμάρρων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων

Μία άλλη επιλογή η οποία θα συνεισφέρει στην αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας είναι η μερική εκτροπή των χειμάρρων Σχολαρίου και Λαγκαδίκια (Karavokyris and Partners κ.α, 1998) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σήμερα το νερό που συλλέγεται από αυτούς τους δύο χείμαρρους καταλήγει ως επιφανειακή ροή στη λίμνη Βόλβη. Η πρόταση είναι η περιορισμένη εκτροπή των δύο αυτών χείμαρρων στη λίμνη Κορώνεια έως ότου η λίμνη να φτάσει σε μία βιώσιμη κατάσταση. Ο όγκος του νερού που συλλέγεται φαίνεται στον Πίνακα 6.6. Η μέθοδος για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού που προέρχεται από την επιφανειακή ροή είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τους χείμαρρους που προμηθεύουν τη λίμνη Κορώνεια σήμερα.

Η υποδομή για την εφαρμογή αυτής της λύσης ήδη υπάρχει, οπότε υπάρχει μόνο το λειτουργικό κόστος, το οποίο εκτιμάται στα €24k. Το κόστος από την επιλογή αυτής της λύσης είναι πολύ χαμηλότερο λόγω η μη χρησιμοποίηση αντλιοστασίου, αφού για την εκτροπή του νερού θα χρησιμοποιηθεί το ήδη υπάρχον κανάλι που συνδέει τις δύο λίμνες και η βαρύτητα.

vii. Διαχείριση των γεωτρήσεων και των μεθόδων άρδευσης.

Εκτός από τις επιλογές που αναφέρθηκαν παραπάνω, μία ακόμη επιλογή για την αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας είναι η χρησιμοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων μέσω των υπαρχόντων γεωτρήσεων ή καινούριων (Karavokyris and Partners κ.α., 1998) που θα αντλούν νερό από βάθος περίπου 150m. Κατά τη διάρκεια εξαιρετικά ξηρών περιόδων μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου προτείνεται η

χρησιμοποίηση των γεωτρήσεων για να ενισχύσει το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης. Σήμερα, υπάρχουν περισσότερες από 1,000 γεωτρήσεις, οι οποίες αντλούν νερό κυρίως από τον ρηχό υδροφορέα με σκοπό την άρδευση. Η πρόταση είναι να χρησιμοποιηθούν 110 γεωτρήσεις για την παροχή με ανώτερο όριο 40,000,000 m³ νερού ετησίως για να ενισχύσουν το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων. Αυτό μπορεί να γίνει για μέγιστη περίοδο τεσσάρων ετών ώστε να αποφευχθεί μη αναστρέψιμη ζημία του υδροφορέα και να επιτραπεί η μερική αναπλήρωσή του.

Η παραπάνω προτεινόμενη λύση σε συνδυασμό με τη βελτίωση των μεθόδων άρδευσης, μπορεί να μειώσει την κατανάλωση του νερού. Το κόστος για την επισκευή ή την κατασκευή συνολικά 110 γεωτρήσεων, οι οποίες θα είναι ικανές να αντλούν 1000 m³/ημέρα η κάθε εκτιμάται στα €3,23m. Με υπόθεση ότι ο υδροφορέας έχει ομοιόμορφο συντελεστή πορώδους 0.08 και 50% ανάκτηση από τα αποθέματα ο όγκος εκτιμάται σε 1,656 Mm³. Άλλες μελέτες έχουν αναφερθεί σε συντελεστή πορώδους που είναι 0,09. Ο τρόπος άρδευσης των καλλιεργειών έχει ένα σχετικό συντελεστή απόδοσης. Ανεξαρτήτως της καλλιέργειας ο συντελεστής απόδοσης με χρήση μπεκ είναι 85% ενώ με χρήση τεχνητής βροχής 55%. Επιπλέον το μοντέλο εξετάζει την αγρανάπαυση των εκτάσεων αραβόσιτου και μηδικής κατά 30%.

6.4.5 Αποτελέσματα

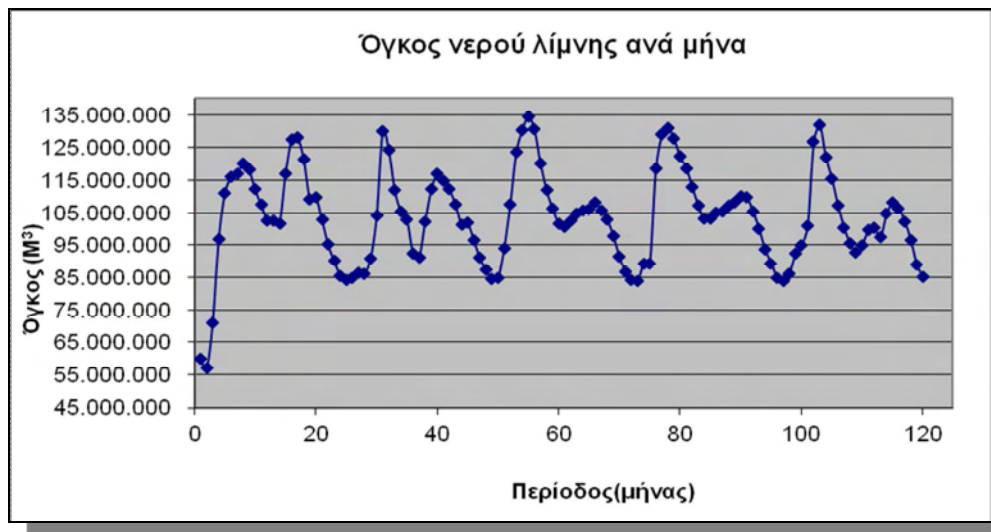
6.4.5.1 Βασικό σενάριο – Βελτιστοποίηση

Στο βασικό σενάριο τα αποτελέσματα προτείνουν τη χρήση περισσότερων του ενός μέτρων για την αποκατάσταση της ισορροπίας της λίμνης. Για την επίτευξη του σχεδίου προτείνεται η μερική εκτροπή των ρεμάτων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων σε συνδυασμό με τη χρήση γεωτρήσεων σε πολύ ξηρές περιόδους. Καθώς τα έργα εκτροπής είναι ήδη διαθέσιμα είναι μια επιλογή με ελάχιστο κόστος και άμεσα εφαρμόσιμη.

Το διάγραμμα 6.4 δείχνει τη μεταβολή του υδάτινου όγκου της λίμνης σε μηνιαία ανάλυση. Ο αρχικός υδάτινος όγκος θεωρείται ίσος με 58 Mm³. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα αν σταματήσει η άντληση από τη λίμνη και με κανονικές καιρικές

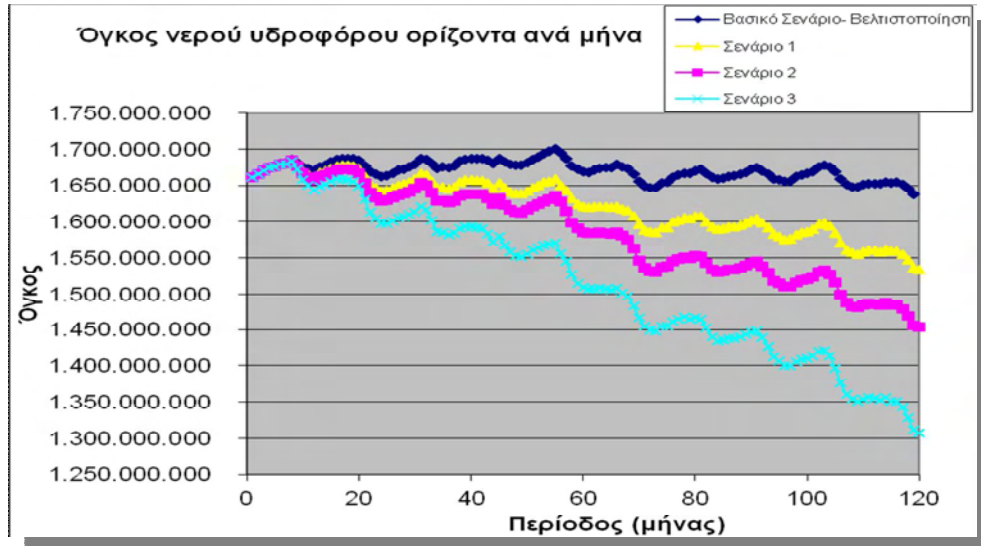
συνθήκες η λίμνη μπορεί να επανέλθει σε σχετική ισορροπία μέσα σε διάστημα μερικών μηνών. Σε περιπτώσεις υψηλής βροχόπτωσης λόγω του υδάτινου όγκου προς τη λίμνη υπάρχει εκροή προς τη Βόλβη. Αυτό δε συμβαίνει σήμερα λόγω των συνεχών αντλήσεων νερού προς γεωργικές χρήσεις.

Για την υποστήριξη του συνολικού υδατικού συστήματος γίνεται μερική εκτροπή των χειμάρρων που ξεκινά από το 90% της συνολικής ροής και ελαττώνεται στο 80% με στόχο περαιτέρω ελάττωση ώστε να αποφευχθούν επιδράσεις στο λοιπό σύστημα.

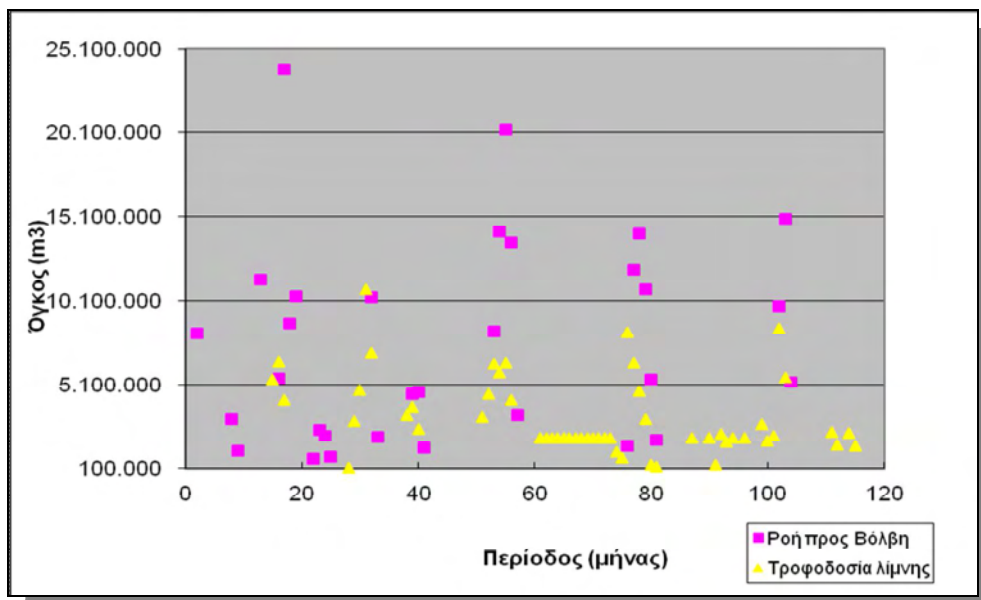


Διάγραμμα 6.2: Όγκος νερού της λίμνης Κορώνειας

Το μοντέλο συμπεριλαμβάνει τα αποθέματα του υδροφορέα. Η κατανάλωση και αναπλήρωση ακολουθούν παρόμοια κατανομή με αυτή της λίμνης όπως δείχνει το διάγραμμα 6.5. Ο αρχικός όγκος του υδροφορέα θεωρείται ίσος με $1,661,700,000 \text{ m}^3$.

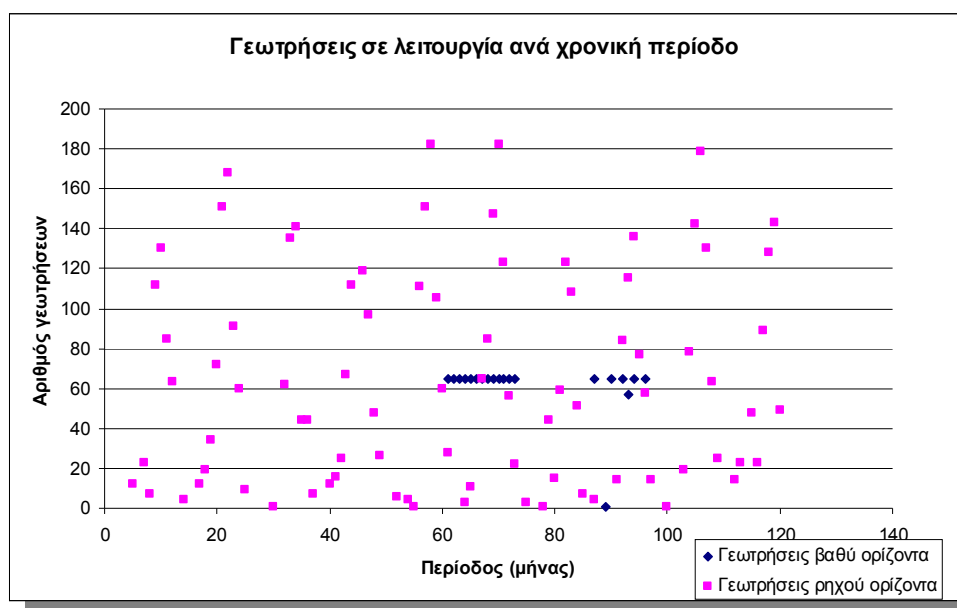


Διάγραμμα 6.3: Όγκος νερού υδροφορέα σε m^3 σε κάθε σενάριο.



Διάγραμμα 6.4: Ροή προς τη Βόλβη και τροφοδοσία της λίμνης από άλλες πηγές.

Ένα από τα συμπληρωματικά μέτρα είναι η χρήση δικτύων άρδευσης και ποτίσματος καλλιεργειών. Η άρδευση θα υποστηρίζεται από ένα σύστημα γεωτρήσεων από τον ρηχό και βαθύ υδροφορέα. Από τις 1000 γεωτρήσεις σε λειτουργία αναμένεται να χρειάζονται 182 του ρηχού και 65 του βαθύ υδροφορέα για την υποστήριξη της λίμνης και της γεωργίας. Η λειτουργία τους δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.5: Γεωτρήσεις σε λειτουργία ανά χρονική περίοδο

Η συνδυασμένη χρήση των υδατικών πόρων είναι δυνατό να βοηθήσει στην αποκατάσταση της λίμνης αλλά και του υδροφορέα ή να περιορίσει σημαντικά τις επιπτώσεις.

Ταυτόχρονα με τις παρεμβάσεις προτείνεται η αλλαγή των καλλιεργειών καλαμποκιού και μηδικής κατά 30% ετησίως και η χρήση μη υδροβόρων μεθόδων άρδευσης. Αυτό όπως εξετάζεται παρακάτω έχει σημαντικές ωφέλειες και μπορεί να φτάσει μέχρι την πλήρη εξισορρόπηση του υδατικού ισοζυγίου. Εξετάστηκε η περίπτωση να χρησιμοποιηθεί ως μόνη παρέμβαση η εκτροπή των χειμάρρων. Η λύση αυτή δεν είναι ικανή από μόνη της να αποκαταστήσει τη λίμνη Κορώνεια στο ζητούμενο όγκο νερού. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά σενάρια που εξετάστηκαν και η επίδρασή τους στις προσπάθειες αποκατάστασης.

6.4.5.2 Σενάριο 1 – Αλλαγή μεθόδου άρδευσης

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η αλλαγή της άρδευσης από καρούλι τεχνητής βροχής σε άρδευση με μπεκ που εξοικονομεί νερό χωρίς αλλαγή του 30% της καλλιεργήσιμης έκτασης από μηδική και καλαμπόκι. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται αυξημένος αριθμός γεωτρήσεων. Από 182 αυξάνεται στις 221. Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα όγκου νερού στον υδροφορέα συνεχίζεται η μείωση του με

αυξημένους ρυθμούς. Οι νέες μέθοδοι άρδευσης έχουν αυξημένη αποδοτικότητα σε σχέση με την άρδευση με τεχνητή βροχή. Μελέτες δείχνουν αύξηση της αποδοτικότητας από 55% σε 85%. Αυτό είναι εμφανές από τα αποτελέσματα του πίνακα 6.7.

6.4.5.3 Σενάριο 2 – Αναδιάρθρωση του 30% των καλλιεργειών χωρίς αλλαγές στον τρόπο άρδευσης

Στη περίπτωση αναδιάρθρωσης του 30% της καλλιεργήσιμης έκτασης από καλαμπόκι και μηδική και χωρίς την χρήση νέων μεθόδων άρδευσης ο αριθμός των γεωτρήσεων αυξάνεται περαιτέρω στις 281. Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα όγκου νερού στον υδροφορέα συνεχίζεται η μείωση του με αυξημένους ρυθμούς. Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα με βάση τις καλλιέργειες και τον τρόπο άρδευσης.

6.4.5.4 Σενάριο 3 – Καμία παρέμβαση στις αγροτικές πρακτικές

Στη περίπτωση αδράνειας όσον αφορά τις πρακτικές καλλιέργειας και μόνο στόχο την αποκατάσταση της λίμνης παρατηρείται η υποβάθμιση του υδροφορέα περαιτέρω. Στη περίπτωση αυτή απαιτούνται 341 γεωτρήσεις ενώ ο όγκος νερού του υδροφορέα μειώνεται σε επίπεδα επικίνδυνα χωρίς δυνατότητες επαναφοράς σε συνθήκες ισορροπίας. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων ο αγροτικός πληθυσμός είναι θετικός στην λήψη μέτρων για την αναστροφή των αρνητικών συνθηκών.

6.4.5.5 Σύγκριση των σεναρίων

Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τα σενάρια σε σχέση με τις απαιτήσεις νερού για αγροτική χρήση.

	Βελτιστοποίηση	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
	Βασικό σενάριο	Μη αναδιάρθρωση καλλιεργειών - νέες τεχνικές άρδευσης	Αναδιάρθρωση καλλιεργειών – υπάρχουσες τεχνικές άρδευσης	Καμία αλλαγή σε καλλιέργειες ή τεχνικές άρδευσης
Γεωτρήσεις για την αποκατάσταση της λίμνης	65	65	65	65
Γεωτρήσεις αρδευτικού δικτύου	182	221	281	341
Συνολικό έλλειμα νερού για άρδευση (Μ ³)	323,600,930	425,971,040	506,484,370	652,645,270
2011	25,920,000	34,075,600	39,670,520	52,662,300
2012	36,646,900	48,333,860	56,148,490	74,697,780
2013	26,160,000	34,270,820	40,092,360	52,964,000
2014	30,180,000	40,270,120	46,352,760	62,235,630
2015	38,544,610	48,636,270	58,886,450	75,165,140
2016	41,766,610	54,718,720	73,105,790	79,179,570
2017	25,254,980	33,863,130	39,030,430	52,046,060
2018	29,550,600	39,217,360	45,669,110	60,608,640
2019	37,323,380	49,489,790	57,681,590	76,484,220
2020	32,253,850	43,095,370	49,846,870	66,601,930

Πίνακας 6.8: Σύγκριση σεναρίων σε σχέση με τις απαιτήσεις νερού για αγροτική χρήση

Όπως φαίνεται στον πίνακα 6.7 αν δεν υπάρξουν κατάλληλα μέτρα και σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες ο υδροφορέας μπορεί να ελαττωθεί κατά 25% του συνολικού όγκου με προοπτικές περαιτέρω επιδείνωσης. Ο συνδυασμός αναδιάρθρωσης καλλιεργειών και ορθολογικής χρήσης νερού μπορούν να μειώσουν την ετήσια κατανάλωση κατά 30 Mm³. Αν αυτό επιτευχθεί δίνει πιθανότητες διατήρησης των αποθεμάτων του υδροφορέα σε καλά επίπεδα και ταυτόχρονα υποστηρίζει το οικοσύστημα της λίμνης.

6.4.6 Συμπεράσματα

Το μοντέλο που προτάθηκε είναι γενικής φύσεως και χρησιμοποιήθηκε για την περίπτωση της λίμνης Κορώνειας. Οι βασικές συνιστώσες βασίζονται στις υποδείξεις του Master Plan. Τα δεδομένα βασίζονται σε διάφορες υδρολογικές μελέτες και έρευνες. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα δεδομένα και για το λόγο αυτό θεωρείται η μοναδική λύση αποκατάστασης.

Το προτεινόμενο μοντέλο, αν και έχει υιοθετηθεί συγκεκριμένα για την περίπτωση της λεκάνης της λίμνης Κορώνειας και εξετάζει τις προτάσεις του κύριου προγράμματος και τις πιο πρόσφατες αναθεωρήσεις του για να φθάσει σε μία βιώσιμη κατάσταση η λίμνη, δεν περιορίζεται μόνο για το υδατικό σύστημα της Κορώνειας. Τα δεδομένα στο μοντέλο είναι διάφορα υδρολογικά στοιχεία όπως οι προβλεπόμενες βροχοπτώσεις στην περιοχή, η εξάτμιση, το παρόν υδατικό ισοζύγιο το οποίο δεν βρίσκεται σε μία σταθερή κατάσταση, οι εκτιμήσεις των χρήσεων του νερού, οι τεχνικές καινοτομίες σχετικά με την άρδευση, την επένδυση και το λειτουργικό κόστος που συνδέονται με τα μέτρα και άλλα. Αυτά μπορούν να τροποποιηθούν για να βελτιώσουν την αρχική κατάσταση χωρίς κανένα αντίκτυπο στην δομή του μοντέλου. Κατά συνέπεια τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ δεν παρουσιάζονται ως η μόνη λύση, αλλά ως ένδειξη των ικανοτήτων που αυτή η προσέγγιση προσφέρει στην λήψη αποφάσεων και στους φορείς χάραξης πολιτικής.

Τα αρχικά αποτελέσματα προτείνουν ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός λύσεων είναι η εκτροπή των τοπικών χειμάρων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων για μικρές χρονικές περιόδους για να υποστηρίξει τον όγκο νερού που φτάνει στη λίμνη και η χρήση των βαθιών γεωτρήσεων για να παρέχει νερό σε εξαιρετικά ξηρές περιόδους. Επιπρόσθετα, συνιστάται η επένδυση σε καλύτερες μεθόδους άρδευσης για τη μείωση της κατανάλωσης νερού. Το μοντέλο στοχεύει στην αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας σε μία βιώσιμη κατάσταση μέσα σε 5 έτη όπως φαίνεται στη γραφική παράσταση υδατικού όγκου της λίμνης. Ο όγκος του νερού της λίμνης ακολουθεί το υδρολογικό πρότυπο της περιοχής. Αρχικά η λίμνη θα χρειαστεί την υποστήριξη των μέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω για να επέλθει μία σταθερή κατάσταση. Μετά από την περίοδο των 5 ετών η λίμνη θα χρειαστεί υποστήριξη μόνο κατά τη διάρκεια των ακραίων ξηρών περιόδων. Όσον αφορά στον όγκο του νερού της λίμνης, αυτός φθάνει στο επιθυμητό επίπεδο των $83,8 \text{ Mm}^3$ μέσα στο πρώτο έτος αλλά λόγω των καιρικών συνθηκών και της έλλειψης υποστήριξης, δεδομένου ότι τα περισσότερα από τα μέτρα απαιτούν τουλάχιστον 1-2 έτη για να ολοκληρωθούν, η μόνιμη κάλυψη που απαιτείται επιτυγχάνεται μετά από 5 έτη.

Το προτεινόμενο μοντέλο είναι ντετερμινιστικό αλλά μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε στοχαστικό για να επιτρέψει την ταυτόχρονη μελέτη πολλαπλών σεναρίων κάτω από ένα σταθμισμένο μέσο μοντέλο. Οι βροχοπτώσεις και η εξάτμιση, οι οποίες

συνδέονται άμεσα με τη θερμοκρασία έχουν αναλυθεί στατιστικά για να βελτιώσουν ελλιπή δεδομένα.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα διατριβή δεν είναι απόλυτα και περαιτέρω ανάλυση απαιτείται για να πάρουμε πολύτιμες πληροφορίες από το μοντέλο. Τα επόμενα βήματα είναι να επιβεβαιωθούν όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και να ελεγχθούν στατιστικά οποιεσδήποτε διαταραχές με ταυτόχρονη αναπροσαρμογή των δεδομένων κόστους σε συνδυασμό με την κοινωνική αποδοχή για την επιλογή αποφάσεων.

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε η αλλαγή τρόπου άρδευσης από καρούλι τεχνητής βροχής σε μπεκ, επειδή είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στάγδην άρδευση στην καλλιέργεια μηδικής, η οποία είναι και η περισσότερο υδροβόρα καλλιέργεια. Στα επόμενα στάδια μπορεί να μελετηθεί η αλλαγή τρόπου ποτίσματος στο βέλτιστο τρόπο ανά καλλιέργεια. Αυτό θα βοηθήσει στο να κατανοηθεί περισσότερο η επίδραση των αγροτικών πρακτικών στη πολιτική αποκατάστασης της λίμνης και του κόστους.

Ο σημαντικότερος λόγος για τα χαμηλής ποιότητας διαθέσιμα στοιχεία όσον αφορά στις υδρολογικές μελέτες στην Ελλάδα είναι σαφώς η μη ύπαρξη κεντρικού σχεδιασμού και σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Πρόσφατα, η Ελληνική κυβέρνηση υιοθέτησε τέτοιου είδους πολιτικές και υπάρχει μια τεράστια προσπάθεια να καθιερωθούν τέτοιες πρωτοβουλίες τόσο σε τοπικό όσο και σε κεντρικό επίπεδο. Επιπλέον, σήμερα αναγνωρίζεται ευρέως ότι η διαχείριση των υδάτων επιτυγχάνεται ορθότερα αν συνδυαστούν πολλές διαφορετικές παράμετροι, οι οποίες έχουν κοινό ενδιαφέρον (The Chemical Engineer, 2005, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Γενικά συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής εξετάζεται η αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Κορώνειας μέσα από μία ολιστική σκοπιά. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας και την εύρεση της βέλτιστης λύσης όσον αφορά στην αποκατάσταση των υδάτων προσπαθώντας να γίνει ελαχιστοποίηση του κόστους. Κατά τη δημιουργία του μοντέλου έγινε προσπάθεια ενσωμάτωσης τόσο οικονομικών, όσο και κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν την κατάσταση του οικοσυστήματος. Το μοντέλο αυτό, το οποίο είναι ένα μοντέλο Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, αξιοποίησε ένα πλήθος ποσοτικών δεδομένων και παραμέτρων και έχει ως στόχο την αποκατάσταση των υδατικών πόρων της λίμνης σε μία βιώσιμη κατάσταση μέσα σε 5 έτη. Μετά την πάροδο της πενταετίας, η λίμνη θα χρειαστεί υποστήριξη μόνο κατά τη διάρκεια εξαιρετικά ξηρών περιόδων. Για την επίτευξη τού στόχου αυτού τα αποτελέσματα του μοντέλου προτείνουν ένα συνδυασμό λύσεων. Αρχικά προτείνεται η εκτροπή των χειμάρρων Σχολαρίου και Λαγκαδικίων για μικρές χρονικές περιόδους και η χρησιμοποίηση βαθιών γεωτρήσεων σε εξαιρετικά ξηρές περιόδους. Επιπρόσθετα, προτείνεται η αντικατάσταση της άρδευσης από καρούλι τεχνητής βροχής σε μπεκ και η αναδιάρθρωση καλλιεργειών με αντικατάσταση των εξαιρετικά υδροβόρων καλλιεργειών καλαμποκιού και μηδικής με άλλες λιγότερο υδροβόρες για εξοικονόμηση του αντλούμενου νερού. Η αποκατάσταση της λίμνης είναι ευεργετική για την περιοχή και τη λεκάνη καθώς το περίσσιο νερό κατά τη διάρκεια των υγρών περιόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει την τοπική οικονομία. Αξίζει να ειπωθεί ότι ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηνιαία βάση για να προαγάγει μια βραχυπρόθεσμη πολιτική της χρήσης του νερού σε συνδυασμό με μία στρατηγικά βιώσιμη θεώρηση.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση της ποιότητας των υδατικών πόρων της λίμνης Κορώνειας πραγματοποιήθηκαν πειράματα οξείας τοξικότητας των υγρών έκπλυσης δειγμάτων ιζημάτων από την περιοχή της λίμνης σε μία σειρά από υδρόβιους οργανισμούς διαφορετικών επιπέδων. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων έδειξαν χαμηλή τοξικότητα σε όλα τα δείγματα εκτός από ένα δείγμα που παρουσίασε υψηλότερη τοξικότητα. Τα αποτελέσματα αυτά δεν ήταν αναμενόμενα αφού παλιότερες μελέτες καταδεικνύουν υψηλά ποσοστά τοξικότητας. Πρέπει εντούτοις να σημειωθεί πως για τα παλιότερα πειράματα χρησιμοποιήθηκε νερό απευθείας από τη λίμνη και όχι υγρά έκπλυσης ιζημάτων. Από την άλλη μεριά, τα πειράματα σε ιζήματα αποτελούν ένδειξη για την ποιότητα των υδάτων, καθώς οι επιβλαβείς τοξικές ουσίες που δεσμεύονται σε αυτά, ενδέχεται να καταλήξουν μέσω επαναδιαλυτοποίησης στην υγρή φάση. Η χαμηλή τοξικότητα που παρατηρήθηκε στις δοκιμές προσδιορισμού τοξικότητας της παρούσας διατριβής μπορεί να αιτιολογηθεί σε κάποιο βαθμό από το γεγονός ότι οι περισσότερες βιομηχανίες και βιοτεχνίες που δραστηριοποιούνταν στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας και οι οποίες πρόσθεταν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο στη λίμνη σήμερα δεν είναι σε λειτουργία. Κατά την άποψη της συγγραφέως της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η ποσοτική αποκατάσταση των υδάτων της λίμνης, η οποία είναι και το σημαντικότερο ζητούμενο στην παρούσα φάση, θα βελτιώσει και την ποιότητά τους σε μεγάλο βαθμό.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια των ερωτηματολογίων στους αγρότες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας καταλήξαμε σε σημαντικά συμπεράσματα που μπορούν να συνεισφέρουν στη χάραξη πολιτικής για την αποκατάσταση της λίμνης. Όσον αφορά στην ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των αγροτών σε θέματα που αφορούν την λίμνη, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το δείγμα γνωρίζει και φαίνεται να είναι ευαισθητοποιημένο σχετικά με τα προβλήματα και την προστασία της λίμνης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όσον αφορά στην αξιολόγηση των παραγόντων που ευθύνονται για την υποβάθμιση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας, καθώς και στην αξιολόγηση των παραγόντων που θα συνεισφέρουν στην αποκατάστασή της, οι απαντήσεις των αγροτών δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες γιατί παρατηρείται αποφυγή ευθυνών από αυτούς. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό των αγροτών θεωρεί ότι οι γεωργικές

δραστηριότητες ευθύνονται σε μικρό βαθμό για την υποβάθμιση της λίμνης, ενώ ευθύνες καταλογίζουν περισσότερο στις βιομηχανικές δραστηριότητες, στη διοικητική οργάνωση και στη νομοθεσία. Παρόμοιες είναι και οι απόψεις τους σχετικά με μέτρα που θα συνεισφέρουν στην βελτίωση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης, καθώς θεωρούν ότι η κατάργηση των παράνομων γεωτρήσεων και η τιμολόγηση του νερού δεν θα βελτιώσουν την κατάσταση που έχει επέλθει. Αξίζει να σημειωθεί, ότι θεωρούν πολύ σημαντικό μέτρο για την αποκατάσταση του οικοσυστήματος την επιδότηση για αλλαγή καλλιεργειών. Παράγοντες που θα βοηθήσουν θεωρούν επίσης ότι είναι η ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς των προβλημάτων του οικοσυστήματος και η εφαρμογή φιλικών περιβαλλοντικών πρακτικών, η συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης και η τουριστική αξιοποίηση της περιοχής. Τέλος, πολύ αισιόδοξα είναι τα αποτελέσματα όσον αφορά στην αλλαγή των τωρινών πρακτικών και στην αλλαγή καλλιεργειών για την προστασία της λίμνης. Οι αγρότες, ενώ σε γενικές γραμμές δεν θεωρούν ότι ευθύνονται για την υποβάθμιση του οικοσυστήματος, είναι πρόθυμοι στην πλειοψηφία τους, αν τους δινόταν η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν κάποια εναλλακτική μέθοδο λίπανσης των καλλιεργειών τους, να στραφούν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους ποτίσματος και σε καλλιέργειες με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό.

Καταλήγοντας, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για να εξασφαλιστεί τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα των υδατικών πόρων του προστατευόμενου οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας είναι αναγκαία η σχεδίαση και η εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών διαχείρισης λαμβάνοντας υπόψη τόσο την οικονομική και κοινωνική ευημερία όσο και την περιβαλλοντική προστασία της περιοχής, η συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων, η ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των αγροτών για φιλοπεριβαλλοντικές πρακτικές και η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης του οικοσυστήματος.

7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διδακτορική διατριβή δίνουν ερεθίσματα για μελλοντική έρευνα. Ορισμένες προτάσεις περαιτέρω έρευνας αναφέρονται παρακάτω:

- Τα επόμενα στάδια της μελέτης θα μπορούσαν να εξετάσουν σε βάθος τη δυνατότητα αλλαγής χρήσεων γης, τη χρήση ανακτημένων λυμάτων για άρδευση των καλλιεργειών ή για εμπλουτισμό της λίμνης. Τα μέτρα αυτά μπορούν να συνεισφέρουν στη διατήρηση του υδατικού ισοζυγίου.
- Στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιήθηκε ένα βασικό σενάριο βροχόπτωσης και καιρικών συνθηκών. Το μοντέλο μπορεί να εμπλουτιστεί με συναρτήσεις αβεβαιότητας για το συνδυασμό πολλών σεναρίων.
- Πραγματοποίηση σε συστηματική βάση βιοδοκιμών τόσο στο νερό όσο και στο ίζημα. Σημαντική είναι η καταγραφή της πιθανής εποχιακής διακύμανσης της τοξικότητας και της πιθανής επαναδιαλυτοποίησης των ρυπαντών των ιζημάτων στην υγρή φάση. Επίσης, προτείνεται να γίνονται και χημικές αναλύσεις, συμπληρωματικά με τις βιοδοκιμές. Τέλος, η δειγματοληψία θα πρέπει να περιλαμβάνει περισσότερα σημεία και σε στρατηγικές θέσεις έτσι ώστε να γίνει απόπειρα συσχέτισης της ρύπανσης με την εστιακή πηγή της.
- Προσπάθεια από τους αρμόδιους φορείς ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των αγροτών σχετικά με την οικολογική αξία αυτού του μοναδικού οικοσυστήματος για την αλλαγή την αντίληψης και της νοοτροπίας τους σε θέματα που αφορούν την λίμνη και ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης. Επιπρόσθετα, σημαντική είναι και η κατάρτισή τους σε θέματα γεωργικών πρακτικών φιλικών προς το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adams, W.J., (1995). Aquatic toxicology testing methods. In: D.J. Hoffmam, B.A. Rattner, G.A. Burton & J.Cairns (eds.), Handbook of .ecotoxicology. Lewis Publishers, Boca Raton, pp.25-45.

Alexandridis, T.K., Takavakoglou, V., Crisman, T.L. and Zalidis, G.C., (2007). Remote sensing and GIS techniques for selecting a sustainable scenario for lake Koronia, Greece. Environmental Management, 39: 278-290.

Ames, B. and Kammen, H.O., (1975). Hair Dyes Are Mutagenic: Identification of a Variety of Mutagenic Ingredients. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 72: 2423-2427.

APHA-AWWA-WEF, (1999). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. Washington D.C.

Arias-Barreiro, C.R, Nishizaki, H, Okubo, K, Aoyama, I. and Mori, IC., (2010). Ecotoxicological characterization of tannery wastewater in Dhaka, Bangladesh, 31(4): 471-475.

Aruoja, V., (2011). Algae *Pseudokirchneriella subcapitata* in environmental hazard evaluation of chemicals and synthetic nanoparticles. PhD Thesis. Estonian University of Life Sciences, Tartu.

ASCE and UNESCO, (1998). Sustainability criteria for water resources systems. Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division. American Society of Civil Engineers and The Working Group of UNESCO/IHP IV Project M-4.3.

Balas, E., (1965). An additive algorithm for solving linear programs with zero-one variables. Operations Research, 13:517-549.

Baltas, E., (2008). A new approach for the determination of hydrologic prefectures in Greece for the water framework directive. *New Medit*, 7(3): 41-47.

Bard, S. M., (2008). Ecotoxicology: The Focal Topics. *Encyclopedia of Ecology*, Jorgensen, S.E. (editor) pp. 1194-1195.

Barton, W. F., (2000). *Research training for social scientists*. SAGE, London.

Biswas, A.K., (2004). From Mar del Plata to Kyoto: a review of global water policy dialogues. *Global Environmental Change Part A*, 14: 81-88.

Bliss C.I., (1939). The toxicity of poisons applied jointly. *Annals of Applied Biology*, 26: 585-615.

Boluda, R., Quintanilla, J.F. Bonilla, J.A., Sáez, E. and Gamón, M., (2002). Application of the Microtox test and pollution indices to the study of water toxicity in the Albufera Natural Park (Valencia, Spain). *Chemosphere*, 46: 355–369.

Botstein, D., Chervitz, S.A. and Cherry J.M., (1997). Yeast as a Model Organism *Science*, 277: 1259–1260.

Bouwer, H., (2000). Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45: 217-228.

BRGM, (1972). Etude Hydrogeologique du Bassin de Mygdonia pour l'alimentation en eau de la Ville de Salonique, Grece, 72 RME 011 FE (O.Y.Θ.).

Buikema, A.L., Jr, Niederlehner, B. R. and Cairns, J., Jr, (1982). Biological Monitoring. Part IV. Toxicity testing. *Water Res.* 16: 239-262.

Butterworth, J., Warner, J., Moriarty, P., Smits, S. and Batchelor, C., (2010). Finding practical approaches to Integrated Water Resources Management. *Water Alternatives*, 3(1): 68-81.

Carballeira, C., De Orte, M.R., Viana, I.G. and Carballeira, A., (2012). Implementation of a minimal set of biological tests to assess the ecotoxic effects of effluents from land-based marine fish farms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78: 148–16.

CEN, (2002). Characterization of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste material and sludge – Part 2: one stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 L/kg with article size below 4 mm (without or with size reduction). EN12457-2', European Committee for Standardization.

Chapman, P.M., (1995). Ecotoxicology and pollution- key issues. *Marine Pollution Bulletin*, 31:167-177.

Crisman, T. L., Alexandridis, T. K., Zalidis, G. C. and Takavakoglou, V., (2014). Phragmites distribution relative to progressive water level decline in Lake Koronia, Greece. *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.1466.

Crisman, T. L., Mitraki, C. and Zalidis, G., (2005). Integrating vertical and horizontal approaches for management of shallow lakes and wetlands. *Ecological Engineering*, 24:379–389.

Dantzig, G.B and Thapa, M.N., (1997). *Linear Programming: Introduction*. New York, Springer.

Dantzig, G.B., (1963). *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton New Jersey.

Dantzig, G.B., (1981). Reminiscences about the origins of linear programming. *Operations Research Letters*, 1(2): 43-48.

Deheyn, D.D., Bencheikh-Latmani, R. and Latz M.I., (2004). Chemical speciation and toxicity of metals assessed by three bioluminescence-based assays using marine organisms. *Environmental Toxicology* 19: 161-178.

Depledge, M.H., (1994). Genotypic toxicity: implications for individuals and populations. *Environmental Health Perspectives*, 102(12): 101-114.

Eiselt, H.A. and Sandblom, C.L., (2007). *Linear Programming and its Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Environment Agency, UK, (1995). *Regulatory whole sample ecotoxicological testing: comparison of approaches*. Vol. 4.

Environment Agency, UK, (2009). *Methods for the Examination of Waters and Associated Materials*. The direct toxicity assessment of aqueous environmental samples using the *Skeletonema costatum* marine algal growth inhibition test.

EU 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327.

FAO, (1997). *Quality control of wastewater for irrigated crop production*, D.W. Westcot, FAO Water Report 10, FAO, Rome.

FAO, (2007). *Coping with water scarcity. Challenge of the 21st century*. Available on line: <http://www.fao.org/nr/water/docs/escarcity.pdf> (τελευταία πρόσβαση Αύγουστος 2014).

Fent K., (2004). Ecotoxicological effects at contaminated sites. *Toxicology* 205(3): 223-40.

Ferrari, B., Radetski, C.M., Veber, A.M., Ferard, J.F., (1999). *Ecotoxicological assessment of solid wastes: A combined liquid and solid phase testing approach using a battery of bioassays and biomarkers*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 1195-1202.

Foddy, W. H., (1994). Constructing Questions for Interviews and Questionnaires: theory and practice in social research. Cambridge, Cambridge University Press.

Fulladosa, E, Murat, J. C. and Villaescusa, I., (2005). Effect of Cadmium(II), Chromium(VI), and Arsenic(V) on Long-Term Viability- and Growth-Inhibition Assays Using *Vibrio fischeri* Marine Bacteria. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 49(3): 299-306.

Fytianos, K. and Laurantou, A., (2004). Speciation of elements in sediment samples collected at Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Environment International, 30(1): 11–17.

Gantidis N., Pervolarakis M. and Fytianos K., (2007). Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece. Environmental Monitoring and Assessment, 125: 175–181.

Gantidis, N., Pervolarakis, M. and Fytianos K., (2007). Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece. Environmental Monitoring Assessment, 125: 175-181.

Garcia, A.F., Valinas Garcia, A.M. and Espinera-Martinez, R., (2001). The Literature on the Estimation of Residential Water Demand, Elsevier Science.

Genitsaris, S., Kormas, K. A. and Moustaka-Gouni, M., (2009). Microscopic eukaryotes living in a dying lake (Lake Koronia, Greece). FEMS microbiology ecology, 69(1): 75-83.

Gennitsaris, S., Kormas, K. A. and Moustaka-Gouni M., (2009). Microscopic eukaryotes in a dying lake (Lake Koronia, Greece). FEMS Microbiology Ecology, 69: 75-83.

Gleick, P., Wolff G., Chaleski E. and Reyes R., (2002). The new economy of water. Pacific Institute.

- Gleick, P.H., (1999). The human right to water. *Water Policy*, 1(5): 487-503.
- Gleick, P.H., (2000). The Changing Water Paradigm – A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water International*, 25(1): 127-138.
- Gourbesville, P., (2008). Challenges for integrated water resources management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 284-289.
- GWP (Global Water Partnership), (2000). Integrated Water Resources Management. Technical Committee Background Paper No. 4, Stockholm, GWP.
- Hernando, M.D., Fernández-Alba, A.R., Tauler, R. and Barceló, D. (2005). Toxicity assays applied to wastewater treatment. *Talanta*, 65(2): 358-366.
- Hillier, F.S. and Lieberman, G.J., (2001). Introduction to Operations Research, 7th edition. New York, NY: MacGraw-Hill.
- ICWE (International Conference on Water and Environment), (1992). The Dublin statement and report of the conference. In: International Conference on Water and Environment, 26-31 January, 1992, Dublin.
- Ignizio, J.P. (1982). Linear Programming in single and multiple objective systems. New Jersey: Prentice-Hale.
- ISO 6341, (1982). Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea).
- Jeffrey, P. and Gearey, M., (2006). Integrated water resources management: lost on the road from ambition to realisation? *Water Science and Technology*, 53(1): 1-8.
- Johnson, B.T., (2005). Microtox acute toxicity test: Chapter 1, Small-scale Freshwater Toxicity Investigations Volume 1 – Toxicity Test Methods, Springer, The Netherlands, 69-105.

Jonch- Clausen, T., (2004). Integrated Water Resources Management (IWRM) and water efficiency plans by 2015. Why, what and how. Global Water Partnership, TEC Background Papers No. 10, Stockholm.

Jonch-Chausen, T. and Fugl, J., (2001). Firming up the Conceptual Basis of Integrated Water Resources Management. Water Resources Development, 17(4): 501-510.

Jonker, L., (2002). Integrated Water Resources Management: theory, practice, cases. Physics and Chemistry of the Earth, 27: 719-720.

Kaiser, K.L.E. and Palabrica, V.S., (1991) Photobacterium phosphoreum toxicity data index. Water Pollution Research Journal of Canada, 26: 361-431.

Kaiser, K.L.E., (1998). Correlation of *Vibrio fischeri* bacteria test data with bioassay data for other organisms. Environmental Health Prospect, 106: 583–591.

Kaiserli, A., Voutsas, D. and Samara C., (2002). Phosphorus fractionation in lake sediments – Lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Chemosphere 46: 1147–1155.

Kallrath, J. and Wilson, J.M., (1997). Business Optimisation using Mathematical Programming. Macmillan, UK.

Kantorovich, L. V., (1939). Mathematical Methods in the Organization and Planning of Production. Publication House of the Leningrad State University.

Kinnear, T. and Taylor, J., (1996). Marketing research: An applied approach. New York, McGraw-Hill Companies.

Kotler, P. and Armstrong, G., (2001). Principles of Marketing, 14th edition. Prentice Hill Inc.

Kungolos, A., Emmanouil, C., Tsiridis, V. and Tsiropoulos, N. (2009). Evaluation of toxic and interactive toxic effects of three agrochemicals and copper using a battery of microbiotests. Science of the Total Environment, 407: 4610-4615.

Kungolos, A., Hadjispyrou, S., Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., and Sakellaropoulos, G. P., (2004). Toxic Properties of Metals and Organotin Compounds and Their Interactions on *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri*. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 4(4-5): 101-110.

Kungolos, A., Samaras, P., Kimeroglou, V. and Dabou X., Sakellaropoulos G.P. (1998). Water Quality and Toxicity Assessment in Koronia Lake-Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 7:615-622.

Land, A. H. and Doig, A. G., (1960). An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*, 28: 497-520.

Landis W.G. and Yu M.H. (1999). *Introduction to Environmental Toxicology: impacts of chemicals upon ecological systems*. 2nd edition. Lewis Publishers, Florida.

Latif, M. and Licek, E. (2004). Toxicity Assessment of Wastewaters, River Waters, and Sediments in Austria Using Cost-Effective Microbiotests. *Environmental Toxicology*, 19: 302–309.

Manakou, V., Tsiakis, P. and Kungolos A., (2013). A mathematical programming approach to restore the water balance of the hydrological basin of Lake Koronia. *Desalination and Water Treatment*, 51: 2955-2976.

Manusadzianas, L, Balkelyte, L, Sadauskas, K, Blinova, I, Pöllumaa, L. and Kahru A., (2003). Ecotoxicological study of Lithuanian and Estonian wastewaters: selection of the biotests, and correspondence between toxicity and chemical-based indices. *Aquatic Toxicology*, 63(1): 27-41.

Matoušek, J. and Gärtner B., (2007). *Understanding and Using Linear Programming*, Springer -Verlag Berlin Heidelberg.

Mendonça, E., Picado, A., Paixão, S.M., Silva, L., Cunha, M.A, Leitão, S., Moura, I., Cortez, C. and Brito, F., (2009). Ecotoxicity tests in the environmental analysis of

wastewater treatment plants: case study in Portugal. *Journal of Hazardous Materials*. 163(2-3): 665-70.

Michaloudi, E. and Kostecka, M., (2004). Zooplankton of Lake Koroneia (Macedonia, Greece). *Biologia, Bratislava*, 59: 165-172.

Michaloudi, E., Moustaka-gouni, M., Gkelis, S., and Pantelidakis, K., (2009). Plankton community structure during an Ecosystem Disruptive Algal Bloom of *Prymnesium parvum*. *Journal of Plankton Research*, 31: 301–309.

Michaloudi, E., Moustaka-Gouni, M., Pantelidakis, K., Katsiapi, M. and Genitsaris, S., (2012). Plankton succession in the temporary Lake Koronia after intermittent dry-out. *International Review of Hydrobiology*, 97: 405-419.

Michaloudi, A. and Kostecka, M., (2004). Zooplankton of Lake Koroneia (Macedonia, Greece). *Biologia Bratislava*, 59: 165-172.

Microbics Corporation, (1992). *Microtox Manual*. Carlsbad, CA: AZUR Environmental.

Microbiotests Inc., (2004a). *Algaltoxkit F-Freshwater Toxicity Test with Microalgae*. Standard Operational Procedure, MicroBioTests Inc., Nazareth, Belgium, 36 pages.

Microbiotests Inc., (2004b). *Daphtoxkit F magna-Crustacean Toxicity Screening Test for Freshwater*, Standard Operational Procedure, MicroBioTests Inc., Nazareth, Belgium, 24 pages.

Mitraki, C., Crisman, T.L. and Zalidis, G., (2004). Lake Koronia: shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. *Limnologica* 34: 110–116.

Molle, F., (2008). Nirvana concepts, narratives, and policy models: Insight from the water sector. *Water Alternatives*, 1(1): 131-156.

Morel, F.M.M., (1983). Principles of Aquatic Chemistry. Wiley, New York, pp. 300–309.

Moustaka-Gouni, M., Michaloudi, E., Kormas, K.A., Vardaka, E. and Genitsaris, S., (2012). Plankton changes as critical processes for restoration plans of lakes Kastoria and Koronia. *European Water* 40: 43-51.

Murty, K.G., (1983). Linear Programming. John Wiley and Sons, New York.

Mylopoulos, N., Mylopoulos Y., Kolokytha, E. and Tolikas, D., (2007). Integrated water management plans for the restoration of Lake Koronia, Greece. *Water International*, 32(1): 720-738.

Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Veranis, N. and Tolikas, D., (2006). Groundwater modeling and management in a complex lake-aquifer system. *Water Resource Management*, 21: 469-494.

Newman, M.C. and Unger, M.A. (2002). Fundamentals of Ecotoxicology. 2nd edition. Lewis Publishers, Florida.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), (2009). Environmental Performance Review, Greece. OECD, Paris.

OECD GUIDELINE 201 FOR TESTING OF CHEMICALS, (1984). Alga, Growth Inhibition Test.

OECD GUIDELINE 202 FOR TESTING OF CHEMICALS, (1984). *Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test and Reproduction Test.

Oppenheim, A., (1992). Questionnaire design, interviewing and attitude measurement. Printer, London and Washington.

Papakostas, S., Michaloudi, E., Triantafyllidis, A., Kappas, I. and Abatzopoulos, T., (2013). Allochronic divergence and clonal succession: Two microevolutionary processes sculpturing population structure of *Brachionus* rotifers. *Hydrobiologia*, DOI 101007/s10750-012-1217-7

Pearce, D. and Ozdemiroglu, E., (2002). Economic valuation with stated preference techniques: Summary Guide. Department for Transport, Local Government and the Regions: London.

Persoone, G., Goyvaerts, M., Janssen, C., De Coen, W. and Vangheluwe, M., (1993). Cost-effective acute hazard monitoring of polluted waters and waste dumps with the aid of Toxkits. Final Report, Commission of the European Communities, Contract ACE 89/BE 2/D3, 600 pages.

Pollard, S., (2002). Operationalising the new Water Act: contributions from the Save the Sand Project-- an integrated catchment management initiative. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27 (11-22): 941-948.

Prato, E., Parlapiano, I. and Biandolino F., (2011). Evaluation of a bioassays battery for ecotoxicological screening of marine sediments from Ionian Sea (Mediterranea Sea, Southern Italy). *Environmental Monitoring Assessment*, 184(9): 5225-5238.

Rahaman M. M. and Varis, O., (2005). Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 1(1): 1-8.

Rand, G.M. and Petrocelli, S.R., (1985). *Fundamentals of aquatic toxicology*. Hemisphere Publishing Corporation, Washington. 666 p.

Rojíčková, R. and Maršálek B., (1999). Selection and sensitivity comparisons of algal species for toxicity testing. *Chemosphere*, 38:3329-3338.

Savenije, H.H.G and Van der Zaag, P., (2008). Integrated water resource management: Concepts and issues. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33: 290-297.

Scoullou, M., Malotidi, V., Spirou, S. and Constantianos, V., (2002). Integrated Water Resources Management in the Mediterranean. GWP-Med & MIO-ECSDE, Athens.

Seda, J. and Petrusek, A., (2011). Daphnia as a model organism in limnology and aquatic biology: introductory remarks. Journal of Limnology, 70(2): 337-344.

Sofios, S., Arabatzis, G. and Baltas E., (2008). Policy for management of water resources in Greece. The Environmentalist, 28: 185-194.

Stalnacke, P. and Gooch, G.D., (2010). Integrated Water Resources Management. Irrigation drainage systems, 24: 155-159.

Staveley, J.P. and Smrchek, J.C. (2005). Algal toxicity test: Chapter 4, Small-scale Freshwater Toxicity Investigations Volume 1 – Toxicity Test Methods, Springer, The Netherlands, 181-202.

Tammes P.M.L., (1964). Isoboles, a graphic representation of synergism in pesticides. Netherlands, Journal of Plant Pathology, 70: 73-80.

Taylor, B.W., (2006). Introduction to Management Science, 9th edition. Prentice Hall, Virginia.

The Chemical Engineer, (2005). IChemE “Water a liquid asset”.

The Chemical Engineer, (2008). IChemE “Desalination, Wastewater, Modelling”.

Thie, P.R. and Keough G.E., (2008). An Introduction to Linear Programming and Game Theory. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Thomas, J. and Durham, B., (2003). Integrated water resource management: looking at the whole picture. Desalination, 156(1-3): 21-28.

Thornthwaite, C. W., and Mather J. R., (1955) published the first version entitled “The Water Balance,” Publications in Climatology VIII(1): 1-104, Drexel Institute of Climatology, Centerton, NJ.

Tigini, V., Giansanti, P., Mangiavillano, A., Pannocchia, A. and Varese, G.C., (2011). Evaluation of toxicity, genotoxicity and environmental risk of simulated textile and tannery wastewaters with a battery of biotests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(4): 866-73.

Truhaut, R., (1977). *Ecotoxicology: objectives, principles and perspectives*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1(2): 151-73.

Tsiridis, V., Samaras, P., Kungolos, A. and Sakellaropoulos G.P., (2006). Application of Leaching Tests for Toxicity Evaluation of Coal Fly Ash. *Environmental Toxicology*, 21: 409-416.

Turc, L., (1955). Le bilan d’ eau des sols. Relations entre les precipitations, l’ evaporation, et l’ ecoulement. *Ann. Agron.*, 6: 5-131.

Tzimopoulos, C, Zeibeki A., Ginidi P. and Evangelides E., (2005). Water Resources Management in the Watershed of Volvi Lake. *Global NEST Journal*, 7: 379-385.

UNDP (United Nations Development Programme), (2006). *Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. New York, Palgrave-Macmillan.

UN-WWAP (United Nations-World Water Assessment Programme), (2003). *Water for People, Water for Life: The United Nations World Water Development Report*. Paris and New York, UNESCO and Berghahn Books.

USEPA, (1996). *Marine Toxicity Identification Evaluation (TIE) Guidance Document, Phase I*. EPA/600/R-96/054. Office of Research and Development, Washington, D.C.

USEPA, (2004). *National Whole Effluent Toxicity (WET) Implementation Guidance Under the NPDES Program*.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), (2006). Water: Facts and trends. Conches, WBCSD.

WCED (World Commission on Development and Environment), (1987). Our Common Future. Oxford University Press, Oxford.

WHO, (1995). Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture, A.C. Chang, A.L Page and T. Asano, WHO, Geneva.

Williams, H.P., (1999). Model building in Mathematical Programming, 4th edition. New York, Wiley.

Wilson G.A., (1996). Farmer environmental attitudes and ESA participation. *Geoforum*, 27(2): 115-131.

Winston W. and Venkataramanan M., (2003). Introduction to Mathematical Programming, 4th edition. Thomson-Brooks/Cole.

World Bank, (1993). Water Resources Management. A World Bank Policy Paper. Washington, USA.

WWC (World Water Council), (2000a). Making water everybody's business, London: Earthscan.

WWC (World Water Council), (2000b). A Water Secure World: Vision for Water, Life and the Environment. Marseille, France, WWC-World Water Council.

Zaimes, G.N and Emmanouloudis, D., (2012). Sustainable Management of the Freshwater Resources of Greece. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 5(1): 77-82.

Zechman, E.M. and Ranjithan, R.S., (2007). Generating alternatives using evolutionary algorithms for water resources and environmental management *problems*, Journal of Water Resource Planning and Management - ASCE, 133, 156-165.

Αραμπατζή – Καρρά, Χ., Ταμβακλή –Τραβασάρου, Μ., Κατωπόδης, Γ., Γκόφας, Α., Χρηστίδης Τ. και Τσακαλέρης, Π., (1996). Πρόγραμμα αντιμετώπισης ειδικών περιβαλλοντικών προβλημάτων του συστήματος λειτουργίας και διαχείρισης της προστατευόμενης περιοχής των λιμνών Κορώνειας, Βόλβης και Μακεδονικών Τεμπών και της ευρύτερης περιοχής τους. ΥΠΕΧΩΔΕ.

Βαλαβανίδης, Α., (2007). Οικοτοξικολογία και Περιβαλλοντική Τοξικολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Βεράνης, Ν. και Κατιρτζόγλου, Κ., (2001). Διερεύνηση των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Περιφερειακή μονάδα Κ. Μακεδονίας.

Βεράνης, Ν., Κατιρτζόγλου, Κ. και Μελαδιώτης, Ι., (2002). Υδρογεωλογικές συνθήκες της υπολεκάνης λίμνης Κορώνειας Νομού Θεσσαλονίκης, Βόρειας Ελλάδας. Πρακτικά 6^{ου} Υδρογεωλογικού συνεδρίου, Ξάνθη.

Δαουτόπουλος, Γ., (2005). Μεθοδολογία κοινωνικών ερευνών. Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.

Δεμίρης, Κ., (1994). Έρευνα υδάτων λεκάνης Μυγδονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, (http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/images/el/applications/greece/pic_2_2.html) (τελευταία πρόσβαση Αύγουστος 2014).

ΕΜΥΘΕΜ, (1978). Μελέτη εξωτερικού υδραγωγείου Θεσσαλονίκης από τη λεκάνη της Μυγδονίας. Οργανισμός Ύδρευσης Θεσσαλονίκης.

Ζαλίδης, Χ., Τακαβάκογλου, Β. και Αλεξανδρίδης, Θ., (2004). Αναθεωρημένο σχέδιο αποκατάστασης της Λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας.

Κατιρτζόγλου, Κ., (2001). Υδρογεωλογική μελέτη λεκανών Μυγδονίας – Ολυνθίου – Χαβρία των νομών Θεσσαλονίκης και Χαλκιδικής. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Περιφερειακή μονάδα Κ. Μακεδονίας.

Κούγκολος, Α. και Εμμανουήλ, Χ., (2013). Οικοτοξικολογία-Οικοτοξικολογικές αναλύσεις σε νερά και υγρά απόβλητα. Εκδόσεις Γράφημα, Θεσσαλονίκη.

Κούγκολος, Α., (2007). Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική (2η έκδοση). Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Λαζαρίδου-Δημητριάδου, Μ., (1991). Ζωολογία ασπόνδυλων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε., Θεσσαλονίκη.

Λυμπεροπούλου, Χ., (1994). Περιβαλλοντική Μελέτη της λίμνης Αγίου Βασιλείου. Τομέας Χημείας Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μήτσιου, Κ. και Τσακουμής, Δ., (2002). Εμπλουτισμός της λίμνης Κορώνειας από τον βαθύ υδροφορέα. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης, Διεύθυνση Υδάτινων Πόρων και Εγγείων Βελτιώσεων.

Μυλόπουλος, Γ. και Τολίκας, Δ., (2001). Εμπλουτισμός της λίμνης Κορώνειας από τον βαθύ υδροφορέα. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης, Διεύθυνση Υδάτινων Πόρων και Εγγείων Βελτιώσεων.

Μυλόπουλος, Γ., Τολίκας, Δ., Μυλόπουλος, Ν., Ζορμπά, Α., Παλαιολόγος, Β., Κολοκυθά, Ε., Μεντές, Α. και Καραμανλίδου, Μ., (2001). Διερεύνηση των

δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του βαθύτερου υδροφορέα της υπολεκάνης της λίμνης Κορώνειας Νομού Θεσσαλονίκης, Το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης- Σενάρια διαχείρισης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος.

Μυλόπουλος, Γ., (1999). Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων. Σημειώσεις, ΠΜΣ Προστασία περιβάλλοντος και βιώσιμη ανάπτυξη.

Μυλόπουλος, Ι.Α., (2000). Διαχείριση της ζήτησης και κοστολόγηση νερού. Ελληνική Επιτροπή για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων. <http://www.waterinfo.gr/eedyp/papers/IMylopoulos.html> (τελευταία είσοδος Άυγουστος 2014).

Οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L327/1

Οδηγία 79/409/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 2ας Απριλίου 1979 περί της διατηρήσεως των άγριων πτηνών.

Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 21ης Μαΐου 1991, για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

Οδηγία 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1992 για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας.

Οδηγία 98/83/EK του Συμβουλίου, της 3ης Νοεμβρίου 1998, σχετικά με την ποιότητα των νερών που προορίζονται για την ανθρώπινη κατανάλωση.

Πολύζος, Σ., (2006). Προγραμματισμός και Οργάνωση των Έργων. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Σιάρδος, Γ., (2005). Μεθοδολογία κοινωνιολογικής έρευνας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Σίσκος, Γ., (1998). Γραμμικός Προγραμματισμός. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.

Τασούλα Α., (2007). Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων. Τεχνικά Χρονικά 1-15.

Τζιμόπουλος Χ. (2004). Επιχειρησιακό Σχέδιο Αποκατάστασης της Λίμνης Κορώνειας του Νομού Θεσσαλονίκης. Ερευνητικό Έργο, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, Α.Π.Θ.

Τζιμόπουλος Χ. και Πλιάτσικα Δ., (2005). Έρευνα διαχείρισης της υδρολογικής λεκάνης Κορώνειας, Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005.

Υ.Α. οικ. 145116/2011 (ΦΕΚ 354/Β'/8.3.2011) Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις.

ΥΔΡΟΜΕΛΕΤΙΚΗ ΕΕ, (1995). Μελέτη υδάτων λεκάνης Μυγδονίας, Τεχνική έκθεση.

ΥΠΕΧΩΔΕ, (1986). Υγροβιότοπος: Λίμνη Βόλβη-Λαγκαδά, Πρόγραμμα οριοθέτησης υγροβιότοπων σύμβασης Ραμσάρ.

ΥΠΕΧΩΔΕ, Επαρχείο Λαγκαδά, Τμήμα αλιείας, (1996). Περιβαλλοντική έκθεση «Σχέδιο διάσωσης λίμνης Κορώνειας», Θεσσαλονίκη.

Υπουργείο Ανάπτυξης, (2003). Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Αθήνα.

Ψιλοβίκος Α., (1977). Παλαιογραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης της Μυγδονίας (Λαγκαδά-Βόλβης), Διδακτορική διατριβή, Φυσικομαθηματική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Javeau, C., (2000). Η έρευνα με ερωτηματολόγιο, το εγχειρίδιο του καλού ερευνητή. Εκδόσεις Τυπωθήτω, Γ. Δαρδάνος, Αθήνα.

Karavokyris and Partners, Knight Piesold, Anelixa and Agrisystems, (1998). Περιβαλλοντική αποκατάσταση της λίμνης Κορώνειας. Τελική Έκθεση (Ταμείο Συνοχής, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γεν. Διευθ. XVII).

SMILES, (2004) Προστασία Υπόγειων Υδροφορέων από Υφαλμύρωση μέσω Εμπλουτισμού με Επεξεργασμένα Βιομηχανικά Απόβλητα και Ανάπτυξη Εργαλείων και Τεχνολογιών για τη Βιώσιμη Διαχείριση των Ιλύων από Μονάδες Καθαρισμού Βιομηχανικών Αποβλήτων. Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

<http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreeks.html> (τελευταία πρόσβαση Αύγουστος 2014).

<http://www.modernwater.co.uk> (τελευταία πρόσβαση Αύγουστος 2014).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΓΙΑ ΑΓΡΟΤΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Α' ΜΕΡΟΣ

1. Πόσο σημαντικά θεωρείτε τα ζητήματα που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος;

Καθόλου							Εξαιρετικά
Σημαντικά	1	2	3	4	5	6	7
	Μέτρια						Σημαντικά

2. Γνωρίζετε ότι η περιοχή της λίμνης είναι προστατευόμενη;

ΝΑΙ

ΟΧΙ

Εάν ναι, αναφέρετε εάν γνωρίζετε το καθεστώς προστασίας.

.....

.....

3. Πόσο σημαντική θεωρείτε της προστασία του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνεια;

Καθόλου							Εξαιρετικά
Σημαντικά	1	2	3	4	5	6	7
	Μέτρια						Σημαντικά

4. Πόσο ενημερωμένος πιστεύετε ότι είστε σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;

Καθόλου							Εξαιρετικά
Ενημερωμένος	1	2	3	4	5	6	7
	Μέτρια						Ενημερωμένος

5. Υπάρχει επαρκής ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς σχετικά με το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

6. Θεωρείτε ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα της λίμνης επηρεάζει την ποιότητα της ζωής σας;

Καθόλου							Εξαιρετικά
	1	2	3	4	5	6	7
	Μέτρια						

7. Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω παράγοντες ευθύνονται για το περιβαλλοντικό πρόβλημα του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας

Γεωργικές δραστηριότητες	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Βιομηχανικές δραστηριότητες	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Προβλήματα στη διοικητική οργάνωση	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Ελλείψεις στη νομοθεσία, καθώς και στον έλεγχο της εφαρμογής της υπάρχουσας νομοθεσίας	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά

8. Αξιολογήστε κατά πόσο οι παρακάτω ενέργειες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης Κορώνειας

Κατάργηση των παράνομων γεωτρήσεων	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Αλλαγή πρακτικών στη γεωργία	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Επιδοτήσεις για αλλαγή καλλιεργειών	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Τιμολόγηση νερού	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Εφαρμογή της νομοθεσίας και επιβολή προστίμων	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά
Ενημέρωση από τους αρμόδιους φορείς των προβλημάτων του	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Μέτρια Εξαιρετικά

οικοσυστήματος καθώς και της εφαρμογής “φιλικών” περιβαλλοντικών πρακτικών	
Συμμετοχή των πολιτών στην προστασία της λίμνης	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Εξαιρετικά Μέτρια
Τουριστική αξιοποίηση της περιοχής	Καθόλου 1 2 3 4 5 6 7 Εξαιρετικά Μέτρια

9. Χρησιμοποιείτε λιπάσματα - φυτοφάρμακα;

ΝΑΙ

ΟΧΙ

10. Εάν χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερη ποσότητα λιπασμάτων - φυτοφαρμάκων, πιστεύετε ότι θα αυξηθεί η απόδοση της καλλιέργειας σας;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

11. Θεωρείτε ότι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού της λίμνης;

Καθόλου

1

2

3

4

5

6

7

Εξαιρετικά

Μέτρια

12. Εάν είχατε τη δυνατότητα, είσαστε διατεθειμένος(η) να χρησιμοποιήσετε κάποια εναλλακτική βιώσιμη μέθοδο λίπανσης της καλλιέργειάς σας;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

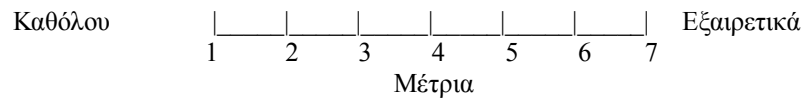
13α. Η άρδευση της καλλιέργειάς σας γίνεται από:

- α) ποτάμι
- β) δημόσιο δίκτυο άρδευσης
- γ) συλλογική γεώτρηση
- δ) ιδιωτική γεώτρηση (νόμιμη)
- ε) ιδιωτική γεώτρηση (παράνομη)

13β. Τι μέρος του κόστους παραγωγής είναι οι δαπάνες για άρδευση;

0% 10% 15% 20% 25% 30% Άλλο

14. Σε τι βαθμό πιστεύετε ότι η συνεχής άντληση υδάτων για άρδευση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει στην ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα της λίμνης;



15. Ποιος είναι ο τρόπος άρδευσης που χρησιμοποιείτε;

συστήματα στάγδην άρδευσης

κατάκλιση

μπεκ

καρούλι τεχνητής βροχής

16. Εάν είχατε τη δυνατότητα θα στρεφόσασταν σε λιγότερο υδροβόρους τρόπους ποτίσματος για την προστασία της λίμνης;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

17. Είσαστε διατεθειμένος-η να πληρώσετε κάποιο χρηματικό ποσό για να χρησιμοποιείτε το νερό της λίμνης Κορώνεια;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

18. Εάν ναι ή ίσως, τι χρηματικό ποσό είσαστε διατεθειμένος/η να πληρώνετε μηνιαία ή ανά κυβικό μέτρο;

A. Μηνιαία πάγια τιμή

0 10 15 20 25 30 Άλλο ποσό

B. Ανά κυβικό μέτρο

5 λεπτά 10 λεπτά 15 λεπτά Άλλο ποσό

19. Εάν όχι, για ποιο λόγο δεν θα διαθέτατε κάποιο χρηματικό ποσό;

.....

20. Εάν είχατε τη δυνατότητα, θα στρεφόσασταν σε καλλιέργεια με λιγότερες απαιτήσεις σε νερό για να την προστασία της λίμνης;

ΝΑΙ

ΙΣΩΣ

ΟΧΙ

Β' ΜΕΡΟΣ

1. Φύλο

Άνδρας

Γυναίκα

2. Ηλικία

20-29

30-39

40-49

50-64

>65

3. Επίπεδο σπουδών

Απόφοιτος Δημοτικού

Απόφοιτος ΙΕΚ

Απόφοιτος Γυμνασίου

Απόφοιτος Ανώτερων Σχολών

Απόφοιτος Λυκείου

Απόφοιτος Ανώτατων Σχολών

4. Οικογενειακή κατάσταση

Άγαμος/μη

Έγγαμος/μη

Διαζευγμένος/νη

Χήρος/α

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ-CROSS TABULATION

1. Συσχετίσεις με την ηλικία

- **ΗΛΙΚΙΑ*ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ;**

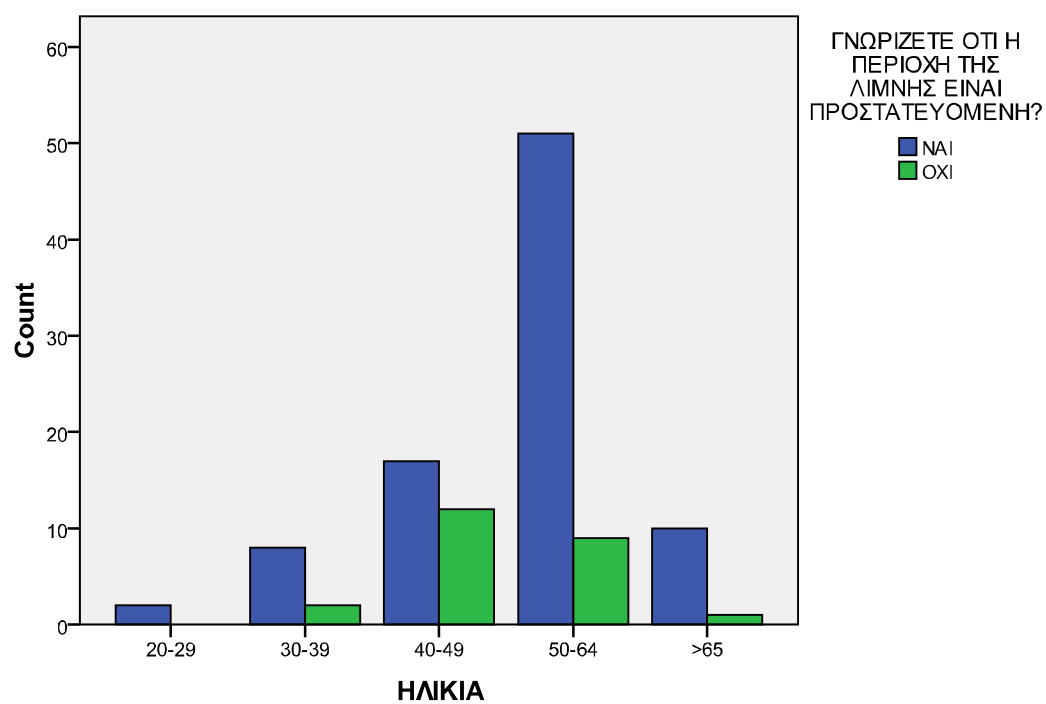
Crosstab

		ΓΝΩΡΙΖΕΤΕ ΟΤΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗ;		Total
		ΝΑΙ	ΟΧΙ	
ΗΛΙΚΙΑ	20-29	2,3%		1,8%
	30-39	9,1%	8,3%	8,9%
	40-49	19,3%	50,0%	25,9%
	50-64	58,0%	37,5%	53,6%
	>65	11,4%	4,2%	9,8%
Total		100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	9,881 ^a	4	,042
Likelihood Ratio	9,615	4	,047
Linear-by-Linear Association	2,264	1	,132
N of Valid Cases	112		

4 cells (40,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,43



- **ΗΛΙΚΙΑ*ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ ΣΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ**

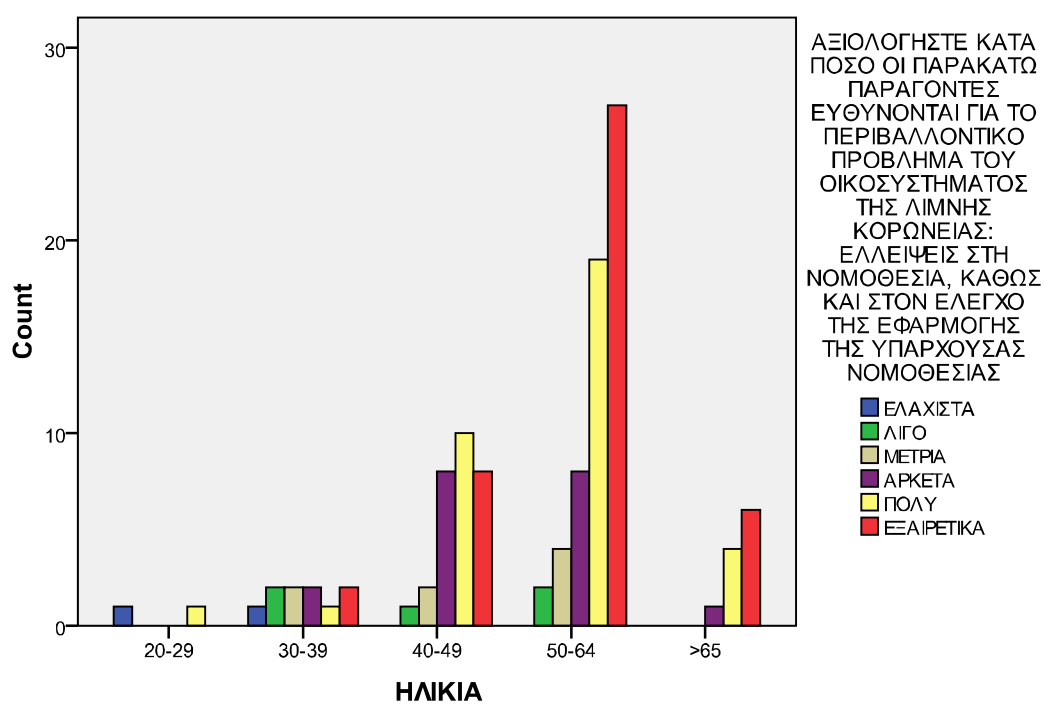
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΕΛΛΕΙΨΕΙΣ ΣΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ						Total
	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
20-29	50,0%				2,9%		1,8%
30-39	50,0%	40,0%	25,0%	10,5%	2,9%	4,7%	8,9%
40-49		20,0%	25,0%	42,1%	28,6%	18,6%	25,9%
50-64		40,0%	50,0%	42,1%	54,3%	62,8%	53,6%
>65				5,3%	11,4%	14,0%	9,8%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	50,104 ^a	20	,000
Likelihood Ratio	28,423	20	,100
Linear-by-Linear Association	17,300	1	,000
N of Valid Cases	112		

a. 25 cells (83,3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,04.



- **ΗΛΙΚΙΑ * ΘΕΩΡΕΙΤΕ ΟΤΙ ΤΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ;**

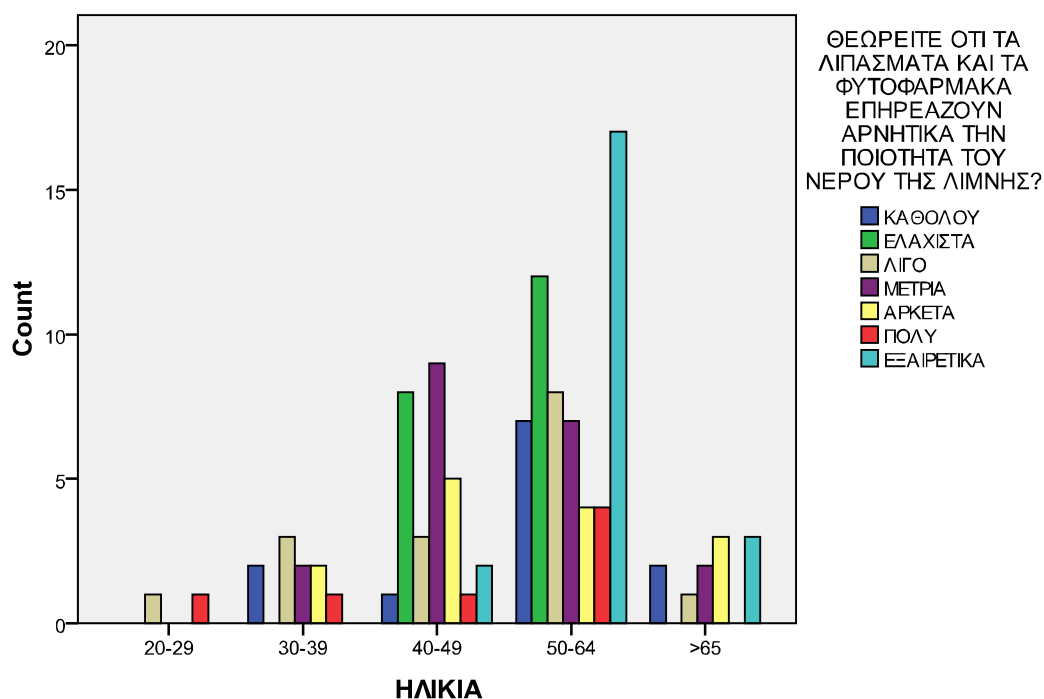
Crosstab

	ΘΕΩΡΕΙΤΕ ΟΤΙ ΤΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΑ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ?							Total
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
20-29			6,3%			14,3%		1,8%
30-39	16,7%		18,8%	10,0%	14,3%	14,3%		9,0%
40-49	8,3%	40,0%	18,8%	45,0%	35,7%	14,3%	9,1%	26,1%
50-64	58,3%	60,0%	50,0%	35,0%	28,6%	57,1%	77,3%	53,2%
>65	16,7%		6,3%	10,0%	21,4%		13,6%	9,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	36,773 ^a	24	,046
Likelihood Ratio	40,146	24	,021
Linear-by-Linear Association	1,461	1	,227
N of Valid Cases	111		

a. 26 cells (74,3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,13.



- **ΗΛΙΚΙΑ * Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΑΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ:ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ(ΝΟΜΙΜΗ)**

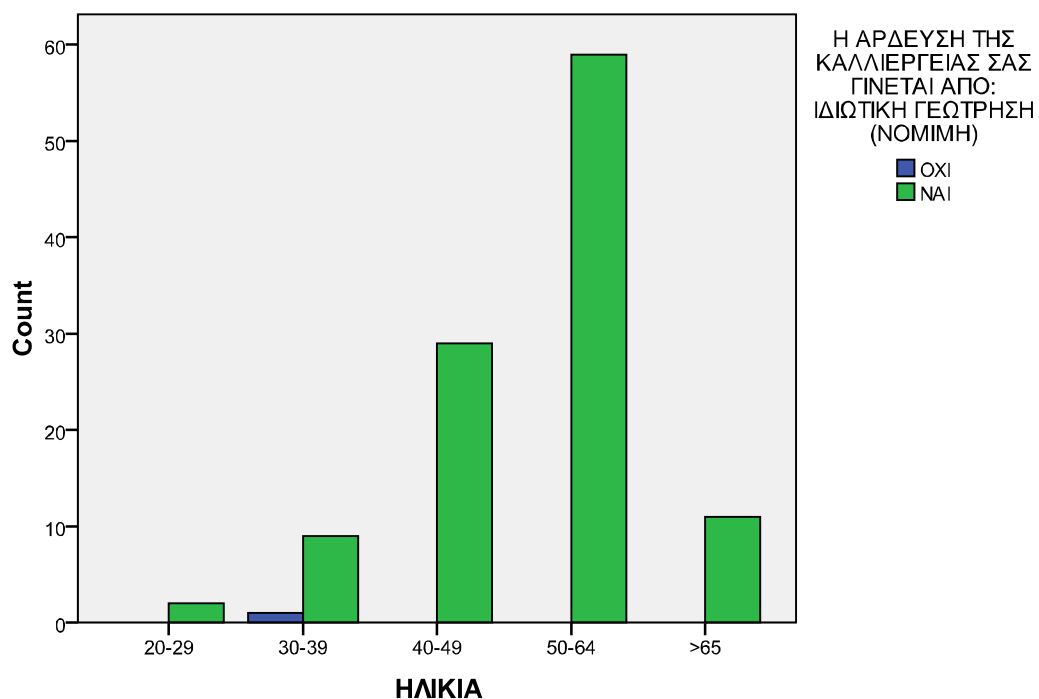
Crosstab

		Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΑΣ ΓΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ:ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ(ΝΟΜΙΜΗ)		Total
		ΟΧΙ	ΝΑΙ	
ΗΛΙΚΙΑ	20-29		1,8%	1,8%
	30-39	100,0%	8,2%	9,0%
	40-49		26,4%	26,1%
	50-64		53,6%	53,2%
	>65		10,0%	9,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	10,192 ^a	4	,037
Likelihood Ratio	4,908	4	,297
Linear-by-Linear Association	3,543	1	,060
N of Valid Cases	111		

a. 6 cells (60,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,02.



- **ΠΙΝΑΚΑΣ 36: ΗΛΙΚΙΑ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ-ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΩΝ**

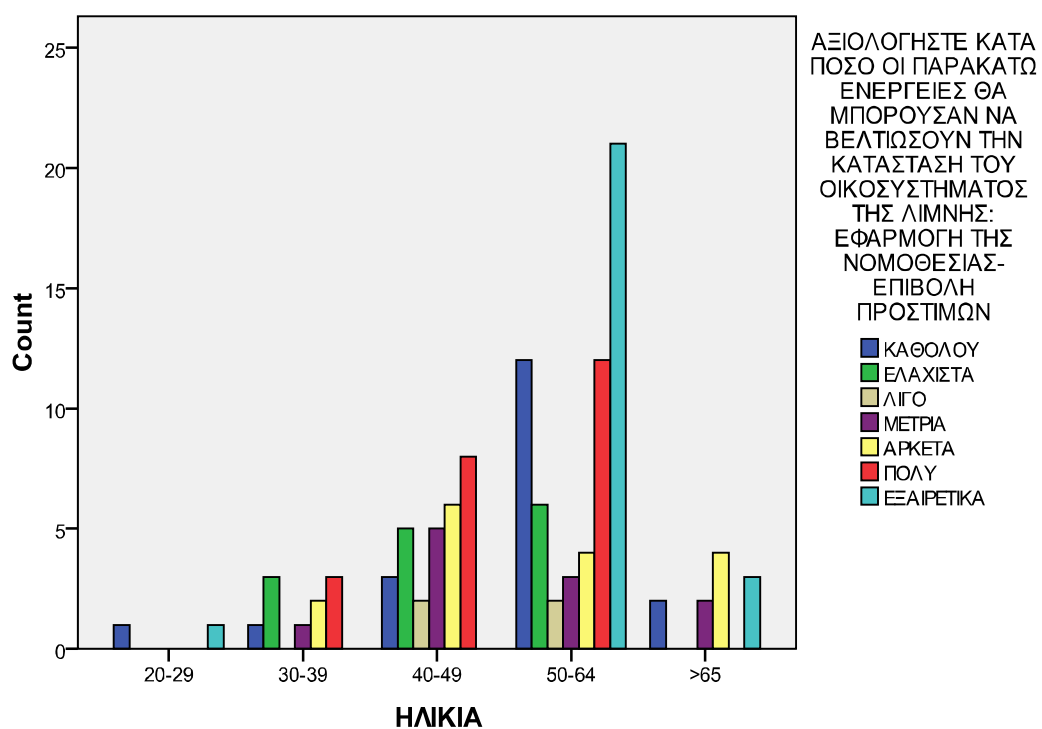
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ-ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΩΝ							Total
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
20-29	5,3%						4,0%	1,8%
30-39	5,3%	21,4%		9,1%	12,5%	13,0%		8,9%
40-49	15,8%	35,7%	50,0%	45,5%	37,5%	34,8%		25,9%
50-64	63,2%	42,9%	50,0%	27,3%	25,0%	52,2%	84,0%	53,6%
>65	10,5%			18,2%	25,0%		12,0%	9,8%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	38,496 ^a	24	,031
Likelihood Ratio	49,825	24	,001
Linear-by-Linear Association	1,825	1	,177
N of Valid Cases	112		

a. 27 cells (77,1%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,07.



- **ΗΛΙΚΙΑ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ**

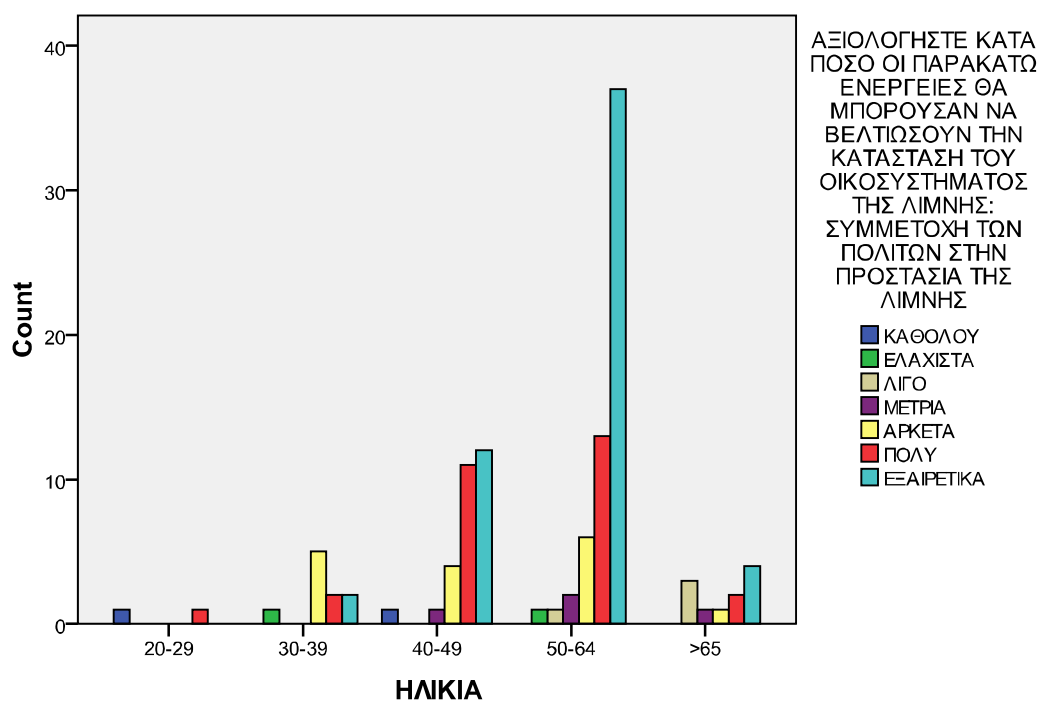
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ							Total
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
20-29	50,0%					3,4%		1,8%
30-39		50,0%			31,3%	6,9%	3,6%	8,9%
40-49	50,0%			25,0%	25,0%	37,9%	21,8%	25,9%
50-64		50,0%	25,0%	50,0%	37,5%	44,8%	67,3%	53,6%
>65			75,0%	25,0%	6,3%	6,9%	7,3%	9,8%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	71,640 ^a	24	,000
Likelihood Ratio	39,929	24	,022
Linear-by-Linear Association	2,790	1	,095
N of Valid Cases	112		

a. 29 cells (82,9%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,04.



- **ΗΛΙΚΙΑ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

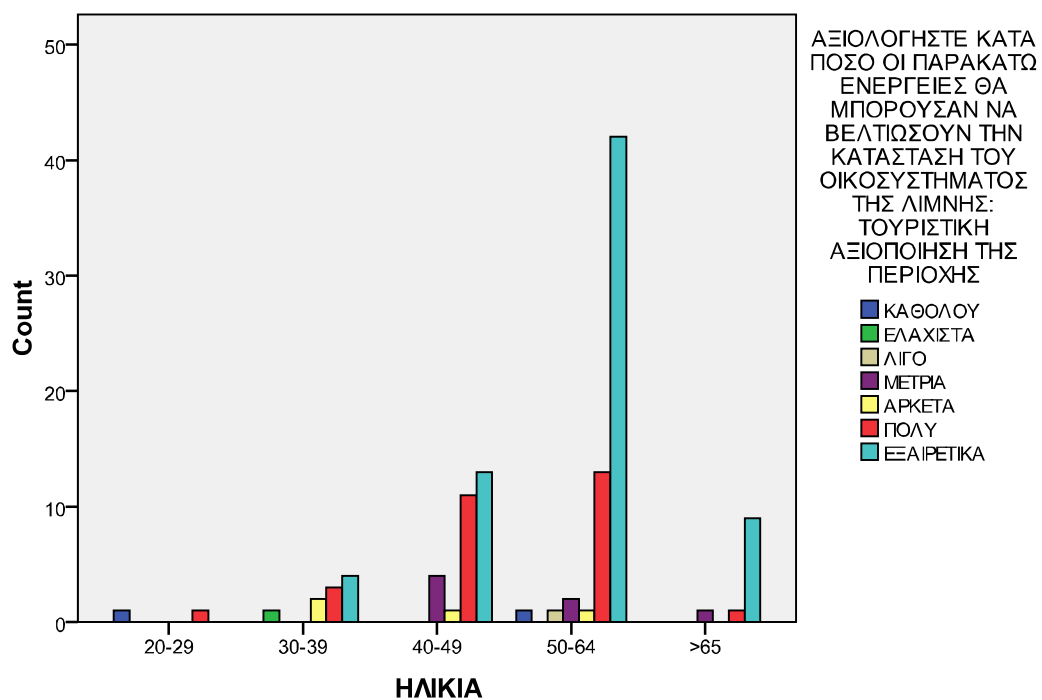
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ							Total
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
20-29	50,0%					3,4%		1,8%
30-39		100,0%			50,0%	10,3%	5,9%	8,9%
40-49				57,1%	25,0%	37,9%	19,1%	25,9%
50-64	50,0%		100,0%	28,6%	25,0%	44,8%	61,8%	53,6%
>65				14,3%		3,4%	13,2%	9,8%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	59,517 ^a	24	,000
Likelihood Ratio	32,442	24	,116
Linear-by-Linear Association	10,172	1	,001
N of Valid Cases	112		

a. 29 cells (82,9%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,02.



2. Συσχετίσεις με το επίπεδο σπουδών

- ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

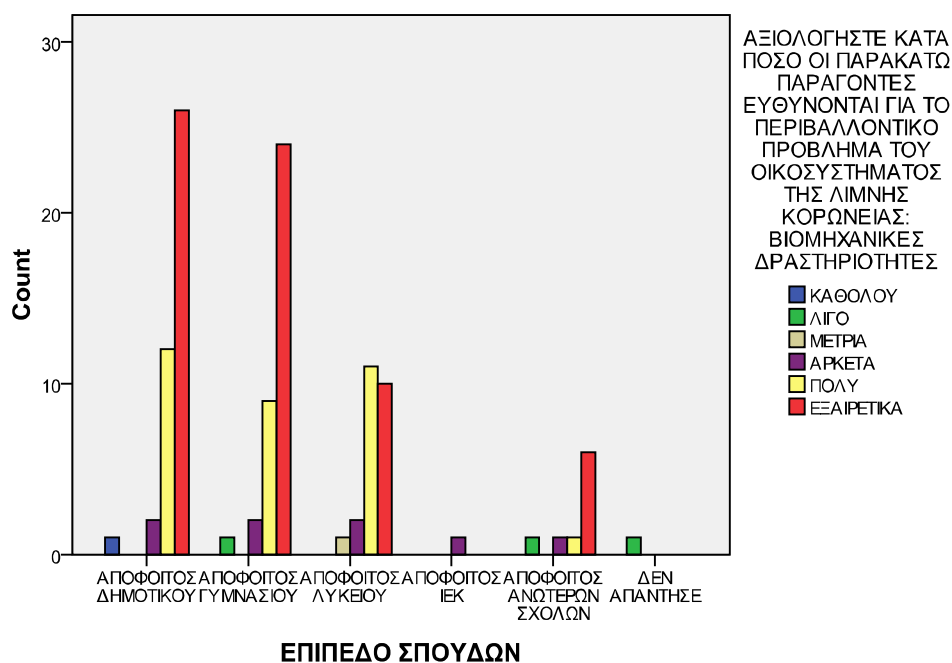
Crosstab

		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ						Total
		ΚΑΘΟΛΟΥ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ	100,0%			25,0%	36,4%	39,4%	36,6%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ		33,3%		25,0%	27,3%	36,4%	32,1%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΛΥΚΕΙΟΥ			100,0%	25,0%	33,3%	15,2%	21,4%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΙΕΚ				12,5%			,9%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΧΟΛΩΝ		33,3%		12,5%	3,0%	9,1%	8,0%
	ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕ		33,3%					,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	64,761a	25	,000
Likelihood Ratio	28,434	25	,288
Linear-by-Linear Association	5,199	1	,023
N of Valid Cases	112		

a. 29 cells (80,6%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,01.



- ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ: ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΠΑΡΑΝΟΜΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

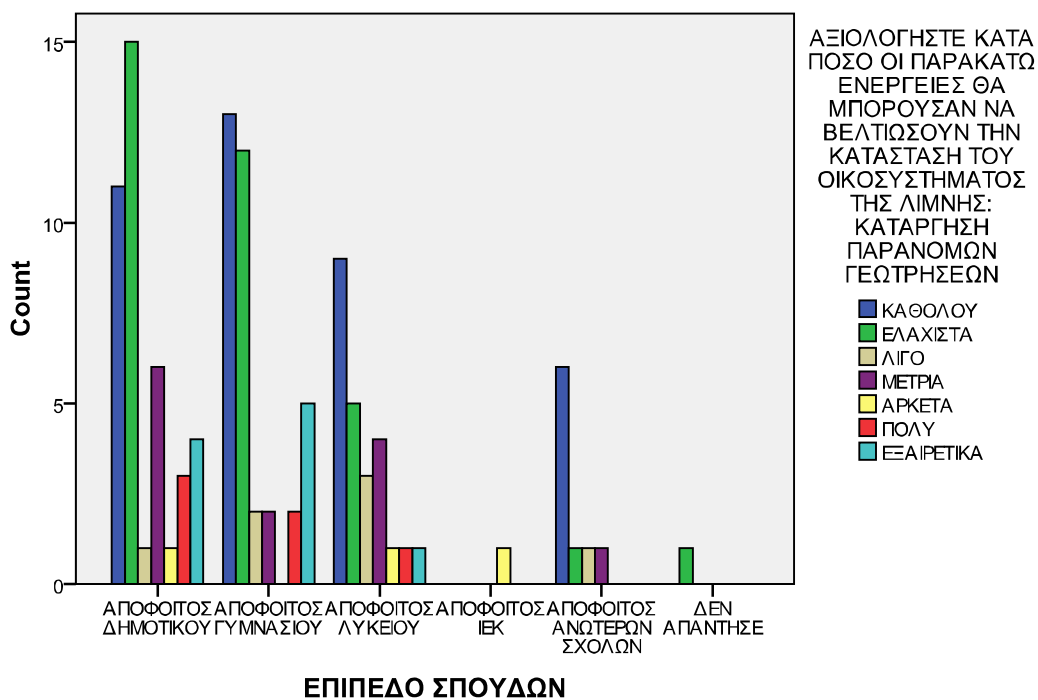
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΚΑΤΑΡΓΗΣΗ ΠΑΡΑΝΟΜΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ							Total	
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ		
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΔΗΜΟΤΙΚ ΟΥ	28,2%	44,1%	14,3 %	46,2%	33,3%	50,0%	40,0%	36,6%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΓΥΜΝΑΣΙΟ Υ	33,3%	35,3%	28,6 %	15,4%		33,3%	50,0%	32,1%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΛΥΚΕΙΟΥ	23,1%	14,7%	42,9 %	30,8%	33,3%	16,7%	10,0%	21,4%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΙΕΚ					33,3%			,9%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΑΝΩΤΕΡΩ Ν ΣΧΟΛΩΝ	15,4%	2,9%	14,3 %	7,7%				8,0%
	ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΗΣ Ε		2,9%						,9%
	Total	100,0%	100,0%	100, 0%	100,0%	100,0%	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	54,014 ^a	30	,005
Likelihood Ratio	27,439	30	,600
Linear-by-Linear Association	2,187	1	,139
N of Valid Cases	112		

a. 36 cells (85,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,03.



- **ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ: ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΡΟΥ**

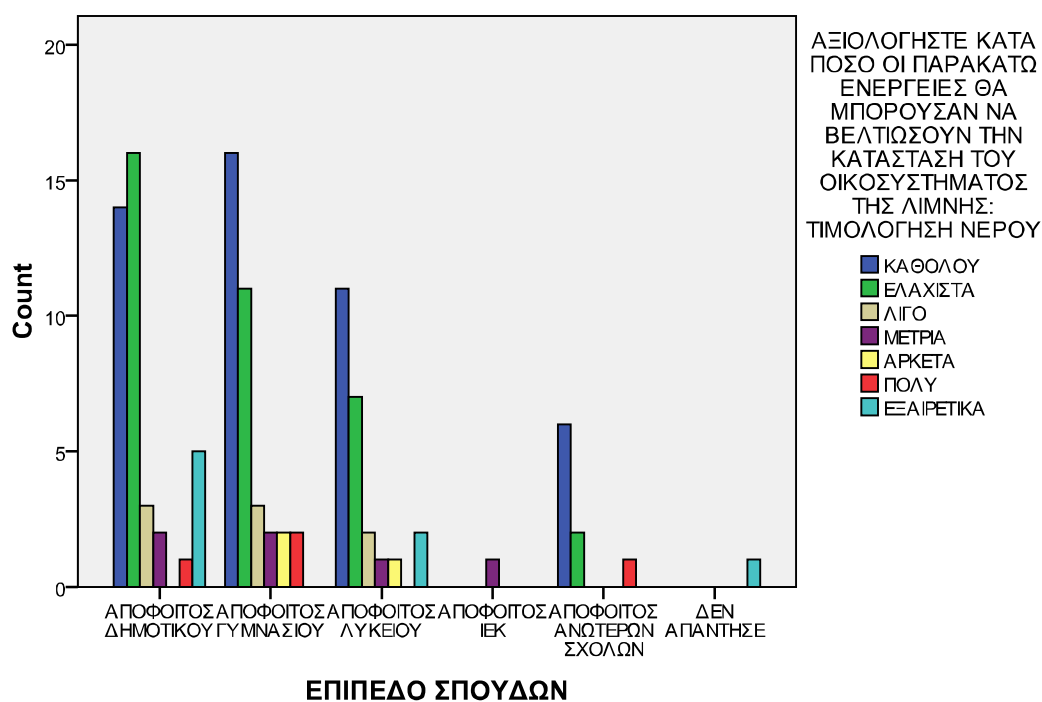
Crosstab

		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ: ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΡΟΥ							Total
		ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ	29,8%	44,4%	37,5%	33,3%		25,0%	62,5%	36,6%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ	34,0%	30,6%	37,5%	33,3%	66,7%	50,0%		32,1%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΛΥΚΕΙΟΥ	23,4%	19,4%	25,0%	16,7%	33,3%		25,0%	21,4%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΙΕΚ				16,7%				,9%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΧΟΛΩΝ	12,8%	5,6%				25,0%		8,0%
	ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕ							12,5%	,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	45,225 ^a	30	,037
Likelihood Ratio	30,945	30	,418
Linear-by-Linear Association	,003	1	,958
N of Valid Cases	112		

a. 36 cells (85,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,03.



- **ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ: ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ**

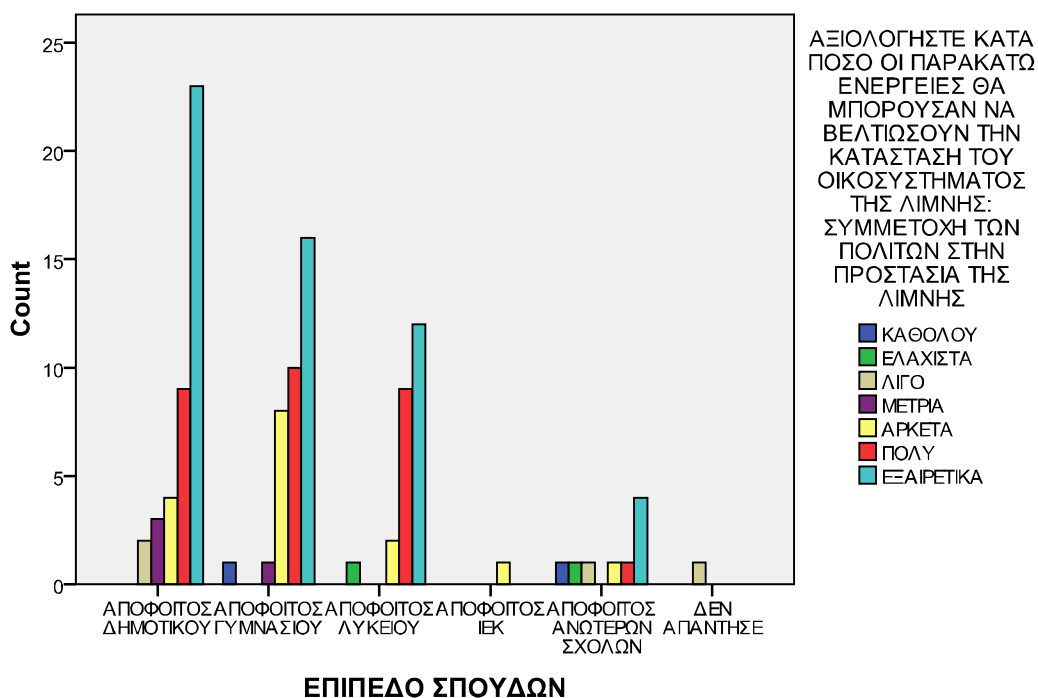
Crosstab

		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ							Total
		ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙ ΚΑ	
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΔΗΜΟΤΙΚ ΟΥ			50,0%	75,0%	25,0%	31,0%	41,8%	36,6%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΓΥΜΝΑΣΙΟ Υ	50,0%			25,0%	50,0%	34,5%	29,1%	32,1%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΛΥΚΕΙΟΥ		50,0%			12,5%	31,0%	21,8%	21,4%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΙΕΚ					6,3%			,9%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟ Σ ΑΝΩΤΕΡΩ Ν ΣΧΟΛΩΝ	50,0%	50,0%	25,0%		6,3%	3,4%	7,3%	8,0%
	ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΗΣ Ε			25,0%					,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0 %	100,0%	100,0%	100,0 %	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	57,636 ^a	30	,002
Likelihood Ratio	35,096	30	,239
Linear-by-Linear Association	6,403	1	,011
N of Valid Cases	112		

a. 34 cells (81,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,02.



- **ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ: ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

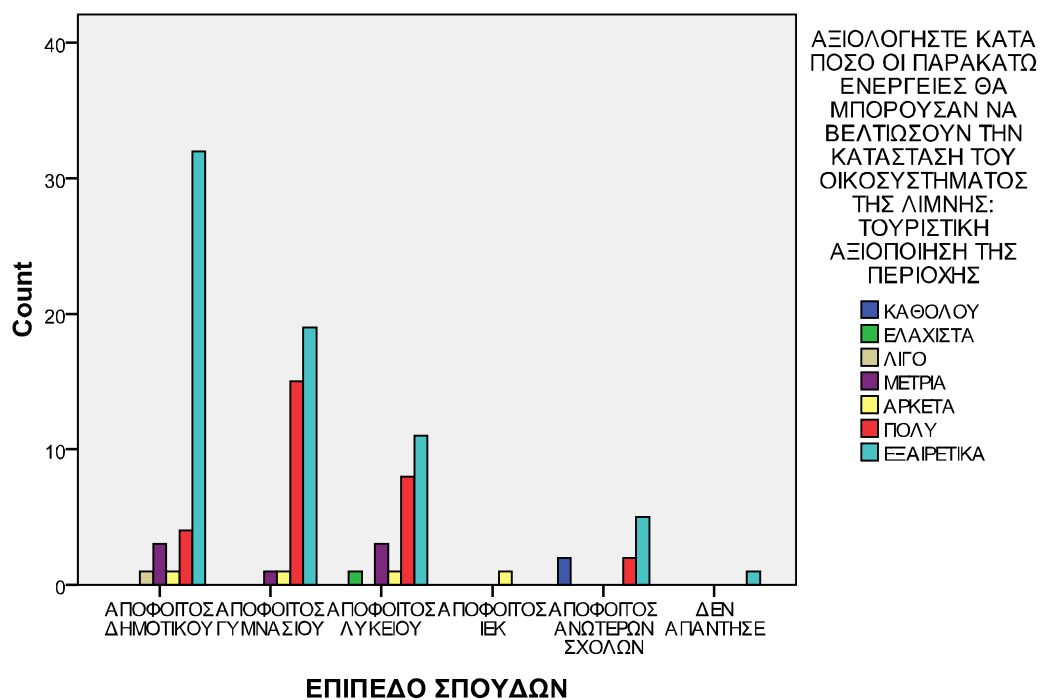
Crosstab

		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ							Total
		ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΔΗΜΟΤΙΚΟΥ			100,0%	42,9%	25,0%	13,8%	47,1%	36,6%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ				14,3%	25,0%	51,7%	27,9%	32,1%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΛΥΚΕΙΟΥ		100,0%		42,9%	25,0%	27,6%	16,2%	21,4%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΙΕΚ					25,0%			,9%
	ΑΠΟΦΟΙΤΟΣ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΧΟΛΩΝ	100,0%					6,9%	7,4%	8,0%
	ΔΕΝ ΑΠΑΝΤΗΣΕ							1,5%	,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	70,710 ^a	30	,000
Likelihood Ratio	38,934	30	,127
Linear-by-Linear Association	5,927	1	,015
N of Valid Cases	112		

35 cells (83,3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,01.



3. Συσχετίσεις με την οικογενειακή κατάσταση

- **ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ * ΠΟΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΘΕΩΡΕΙΤΕ ΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ?**

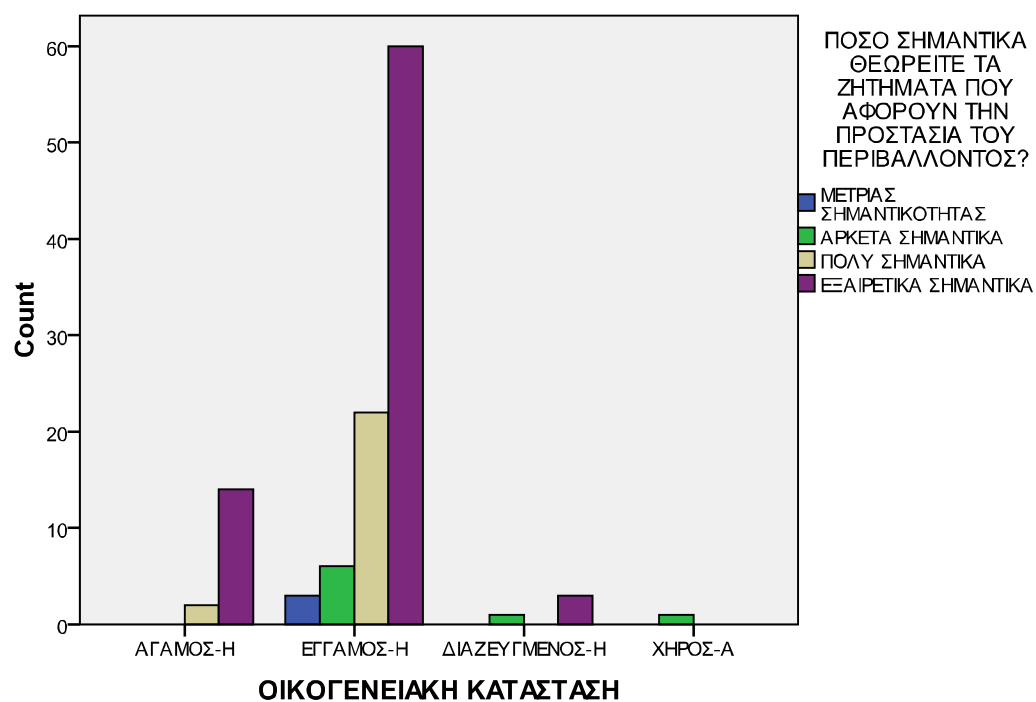
Crosstab

	ΠΟΣΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΘΕΩΡΕΙΤΕ ΤΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ?				Total
	ΜΕΤΡΙΑΣ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΑΡΚΕΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ	ΠΟΛΥ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ	
ΑΓΑΜΟΣ-Η			8,3%	18,2%	14,3%
ΕΓΓΑΜΟΣ-Η	100,0%	75,0%	91,7%	77,9%	81,3%
ΔΙΑΖΕΥΓΜΕΝΟΣ-Η		12,5%		3,9%	3,6%
ΧΗΡΟΣ-Α		12,5%			,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	19,351 ^a	9	,022
Likelihood Ratio	13,477	9	,142
Linear-by-Linear Association	5,473	1	,019
N of Valid Cases	112		

a. 12 cells (75,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,03.



- **ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

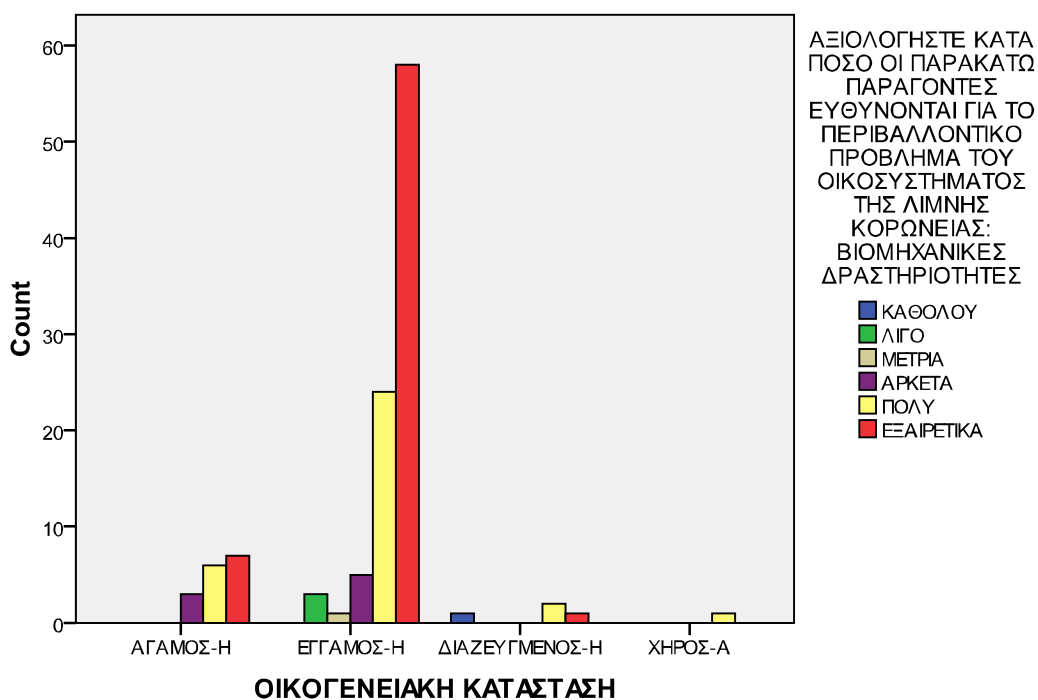
Crosstab

	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ:ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ						Total 1
	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ	
ΑΓΑΜΟΣ-Η				37,5%	18,2%	10,6%	14,3%
ΕΓΓΑΜΟΣ-Η		100,0%	100,0%	62,5%	72,7%	87,9%	81,3%
ΔΙΑΖΕΥΓΜΕΝΟΣ-Η	100,0%				6,1%	1,5%	3,6%
ΧΗΡΟΣ-Α					3,0%		,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	36,904 ^a	15	,001
Likelihood Ratio	16,840	15	,329
Linear-by-Linear Association	,759	1	,384
N of Valid Cases	112		

- a. 20 cells (83,3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,01.



- **ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ * ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ**

Crosstab

		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ ΚΑΤΑ ΠΟΣΟ ΟΙ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΑΝ ΝΑ ΒΕΛΤΙΩΣΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ:ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΠΟΛΙΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ						Total
		ΚΑΘΟΛΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΑ	ΛΙΓΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΡΚΕΤΑ	ΠΟΛΥ	
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΑΓΑΜΟΣ-Η	100,0%				18,8%	13,8%	14,3%
	ΕΓΓΑΜΟΣ-Η		100,0%	75,0%	100,0%	75,0%	82,8%	81,3%
	ΔΙΑΖΕΥΓΜΕΝΟΣ-Η					6,3%	3,4%	3,6%
	ΧΗΡΟΣ-Α			25,0%				,9%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Chi-Square Tests

	Value	Df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	41,815 ^a	18	,001
Likelihood Ratio	18,940	18	,396
Linear-by-Linear Association	,028	1	,868
N of Valid Cases	112		

a. 24 cells (85,7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is ,02.

